

**ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD A LAS UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO
DE CAMPO JAZMIN PERTENECIENTE A MANSAROVAR ENERGY
COLOMBIA LTD MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE DISTRIBUCIONES
ESTADÍSTICAS.**

ALEX IVÁN MONTERO TRESPALACIOS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2013

**ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD A LAS UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO
DE CAMPO JAZMIN PERTENECIENTE A MANSAROVAR ENERGY
COLOMBIA LTD MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE DISTRIBUCIONES
ESTADÍSTICAS.**

ALEX IVÁN MONTERO TRESPALACIOS

**Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

Director

ALVARO LUIS LOBELO DIAZ

Ingeniero Electricista

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2013

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a: A dios, por encausarme siempre por el camino del bien, del compromiso y de la honestidad.

A mi familia por su acompañamiento y apoyo en todos mis proyectos.

Dedico este triunfo a mis hijos por ser también una razón para terminar este ciclo y para que desde ya, vean en el estudio, una oportunidad de desarrollo en sus vidas.

A mi esposa Karen por su paciencia y entendimiento en todo este tiempo.

CONTENIDO

INTRODUCCION	11
1 CONCEPTOS TEORICOS.....	12
1.1 DISTRIBUCIÓN WEIBULL.....	12
1.1.1 Función de Confiabilidad $R(t)$	14
1.1.2 Función de Densidad de Probabilidad de Fallas $f(t)$	14
1.1.3 Función de Tasa de Falla $\lambda(t)$	15
1.1.4 Parámetros de vida útil y de reparaciones en Weibull.	16
1.2 DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS DE CMD: CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD	17
1.2.1 Concepto de Confiabilidad.....	17
1.2.2 Concepto de Mantenibilidad.	19
1.2.3 Concepto de Disponibilidad.	22
2 DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS DEL ESTUDIO.....	27
2.1 CAMPO PRODUCCION JAZMIN MECL	27
2.1.1 Descripción de la planta en estudio.....	27
2.1.2 Equipos que componen el estudio.....	30
3 ESTUDIO DE CONFIABILIDAD.....	46
3.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	46
3.1.1 Datos históricos campo Jazmin MECL	46
3.2 CALCULOS CON DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL	52
3.2.1 Cálculos unidades bombeo mecanico campo Jazmin	52
4 ESTRATEGÍAS PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD	63
4.1 ESTRATEGÍAS PARA UNIDADES BOMBEO MECANICO JAZMIN	63
5 CONCLUSIONES.....	67
BIBLIOGRAFÍA	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetro de forma Weibull asociado a la curva de la bañera.	13
Tabla 2. Parámetro de forma Weibull.	13
Tabla 3. Barriles crudo diario producido por Unidad Bombeo	31
Tabla 4. Unidades Bombeo seleccionadas para el estudio.....	44
Tabla 5. Tiempo parada y operación unidad Jazmin AH06	46
Tabla 6. Tiempo parada y operación unidad Jazmin AT06	47
Tabla 7. Tiempo parada y operación unidad Jazmin AT05	47
Tabla 8. Tiempo parada y operación unidad Jazmin AX02.....	48
Tabla 9. Tiempo parada y operación unidad Jazmin AZ02	48
Tabla 10. Tiempo parada y operación unidad Jazmin BC03	49
Tabla 11. Tiempo parada y operación unidad Jazmin BK04	49
Tabla 12. Tiempo parada y operación unidad Jazmin CB01	50
Tabla 13. Tiempo parada y operación unidad Jazmin CR03	50
Tabla 14. Tiempo parada y operación unidad Jazmin L003	51
Tabla 15. Tiempo parada y operación unidad Jazmin W001	51
Tabla 16. Resumen Cálculo de Confiabilidad.....	52
Tabla 17. Modos de Fallas Ocurridos Mes de Enero 2013	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ecuacion de Weibull.....	14
Figura 2. Función de confiabilidad para la distribución Weibull	14
Figura 3. Función de densidad de probabilidad de fallas para la distribución Weibull.....	15
Figura 4. Función de tasa de fallas para la distribución Weibull.....	16
Figura 5. Perfil de funcionalidad.....	20
Figura 6. Duración incierta del tiempo de recuperación.....	22
Figura 7. Grafica de Unidades Bombeo	31
Figura 8. Grafica Tiempo Medio Entre Fallas de Unidades Bombeo.....	53
Figura 9. Grafica Disponibilidad vs Unidades Bombeo.....	53
Figura 10. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad AH06	54
Figura 11. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad AT04	55
Figura 12. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad AT05.....	56
Figura 13. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad BC03	57
Figura 14. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad BK04	58
Figura 15. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad CB01	59
Figura 16. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad CR03	60
Figura 17. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad L003	61
Figura 18. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad W001	62
Figura 19. Grafica Disponibilidad alcanzada del 2012 del proceso de Extracción Crudo	64
Figura 20. Grafica Análisis Pareto Modo Fallas vs Ocurrencia Enero 2013.....	65

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD A LAS UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO DE CAMPO JAZMIN PERTENECIENTE A MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE DISTRIBUCIONES ESTADÍSTICAS.*

AUTORES: ALEX IVÁN MONTERO TRESPALACIOS**

PALABRAS CLAVES: DISTRIBUCIÓN WEIBULL, MANTENIBILIDAD, CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD, INDICADORES CMD, MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD.

DESCRIPCION O CONTENIDO: Esta monografía desarrolla un modelo integral para identificar cuáles son los equipos críticos de un campo de producción de petróleo con el objetivo de realizar la estimación y análisis de los parámetros de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de estos equipos, y recomendar unas estrategias adecuadas de mantenimiento que se vean reflejadas en el aumento de la producción y disminución de los costos de reparación convirtiendo a mantenimiento en un departamento que genera valor a la empresa. Como caso de estudio se toma a Campo Jazmín perteneciente a Mansarovar Energy Colombia Ltd. para abarcar un sector fundamental de la industria del petróleo, sin embargo esta metodología puede ser aplicada a cualquier empresa del sector industrial y de servicios que quieran mejorar el mantenimiento. En esta monografía, se diagnostica las condiciones de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos usados en el proceso de extracción de crudo, como lo son las Unidades de Bombeo Mecánico instaladas en dicho campo. Este diagnóstico se inicia con el cargue de los tiempos de operación hasta la falla de cada equipo, en el software WEIBULL++8 para simular distintas condiciones de operación. Una vez calculados los índices de confiabilidad, se procede a evaluar la disponibilidad frente a los requerimientos del campo con el fin de identificar alguna oportunidad de mejora en los equipos.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Alvaro Luis Lobelo Diaz

SUMMARY

TITLE: RELIABILITY ANALYSIS THE MECHANICAL PUMP UNITS OF JAZMIN FIELD OWNED MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD BY USING STATISTICAL DISTRIBUTIONS.*

AUTHORS: ALEX IVÁN MONTERO TRESPALACIOS**

KEY WORDS: WEIBULL DISTRIBUTION, MAINTAINABILITY, RELIABILITY, AVAILABILITY, RAM INDICATORS, MANSAROVAR ENERGY COLOMBIA LTD.

SUBJECT OR DESCRIPTION: This monograph develops an integral model to identify the critical equipments of a production field with the purpose of to do an estimation and analyze the indicators of Reliability, Maintainability and Availability of these equipments, to establish recommendations or good strategies of maintenance that result in the increase of production and decrease of repair costs, so the maintenance department becomes an important value for the company. As case of study is taken a Jazmin Field owned Mansarovar Energy Colombia Ltd to cover one fundamental sector of the oil industry, however this methodology can be used in any kind of industry and services companies that have the intention of improve their maintenance. In this monograph there is a reliability, support and availability diagnosis of the used equipments in the oil production process, such as Mechanical Pump Units installed on it. This diagnosis is started with the operation times load until the fail of each equipment in the WEIBULL++8 software in order to simulate several operation conditions. Once the reliability indexes have been calculated, we can evaluate the availability taking into account the field requirements in order to identify some kind of improvement in the equipments.

* Monograph

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization.
Director: Alvaro Luis Lobelo Diaz

INTRODUCCION

La complejidad empresarial de hoy en día y el gran desarrollo tecnológico involucrado en los equipos de producción; hacen que el mantenimiento se deba estudiar y aplicar con mayor contenido científico, rigurosidad analítica y profundidad, si se desea maximizar la eficacia, eficiencia, efectividad y productividad de los activos.

En la empresa en la que laboro actualmente, Mansarovar Energy Colombia Ltd, encontramos una gran oportunidad de estudio en el campo de la ingeniería de confiabilidad, debido a que en la organización del mantenimiento de esta compañía, el tema de la confiabilidad es muy incipiente, por lo tanto es de gran interés desarrollar temas y manejar información que esté relacionada con esta rama del mantenimiento, para aportar un grano de arena en el proceso de mejoramiento de esta compañía.

Esta monografía tiene una perspectiva práctica, puesto que el resultado de la investigación está enfocado a mejorar los sistemas y procedimientos de las organización donde laboro; la importancia y la relevancia que existe en la toma de decisiones y planteamiento de estrategias acertadas de mantenimiento, y el análisis del comportamiento de los equipos a partir de los datos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, brindan una oportunidad excelente para desarrollar la gerencia de mantenimiento en estas organizaciones.

En este documento se encuentra un contenido teórico y herramientas de análisis Como lo son la distribución Weibull y los indicadores CMD, que permiten generar estrategias y acciones de mejoramiento de la disponibilidad de los sistemas, y que pueden ser aplicados a cualquier tipo de empresa industrial.

1 CONCEPTOS TEORICOS

1.1 DISTRIBUCIÓN WEIBULL

La distribución Weibull es una expresión semi-empírica muy útil para representar la vida de los componentes, fue desarrollada por el matemático sueco Waloddi Weibull en el año 1951 para describir las variaciones en la resistencia a la fatiga del acero, trataba de encontrar una distribución que describiera la expresión de confiabilidad en rodamientos de bolas (Kelly y otros, 1998, 24) (O'Connor, 1989, 39) (Weibull, 1951, 293).

La distribución de Weibull posee, en su forma general, tres parámetros que le dan una gran flexibilidad (Rojas, 1975, 63). Ellos son:

- Parámetro de posición (γ): el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula (Forcadas, 1983, 42). Es considerado el tiempo de vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución.
- Parámetro de escala o característica de vida (η): su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema. Cuando $\eta = 0$ y $\beta = 1$, representa la vida útil (Forcadas, 1983, 42).
- Parámetro de forma (β): refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución.

Seleccionando adecuadamente los valores de los parámetros es posible obtener mejores ajustes que los obtenidos con otras distribuciones. (Rojas, 1975, 63)

El parámetro β le permite a la distribución de Weibull tomar diversas formas, parámetros β menores a 1 son característicos de los equipos en períodos de mortalidad infantil (tasa de falla decreciente); con valores cercanos a uno, de equipos en períodos de vida útil (tasa de falla constante y aleatoria); y con valores mayores a 1, de equipos en períodos de desgaste (tasa de falla creciente), (Díaz, 1992, 21) (García, 1996, 190) (Weibull Distribution Internet, 2000).

En la tabla 1 se muestra un resumen de los períodos de la curva de la bañera, asociados al parámetro β de la distribución Weibull:

Tabla 1. Parámetro de forma Weibull asociado a la curva de la bañera.

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

Fuente: DIAZ MATALOBOS, Ángel

En la tabla 2 se puede observar las características del parámetro de forma de Weibull (β):

Tabla 2. Parámetro de forma Weibull.

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

Fuente: DIAZ MATALOBOS, Ángel

A continuación se presentan las principales características de ésta distribución.

1.1.1 Función de Confiabilidad R(t).

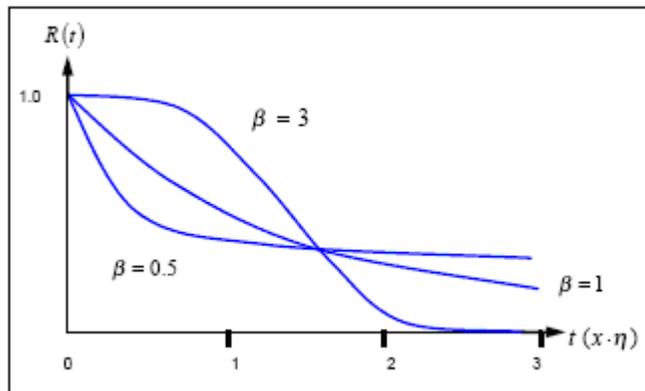
La siguiente es la ecuación de la función de confiabilidad para la distribución Weibull y su gráfica en la figura 2:

Figura 1. Ecuacion de Weibull

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

Fuente: O'CONNOR, Patrick

Figura 2. Función de confiabilidad para la distribución Weibull



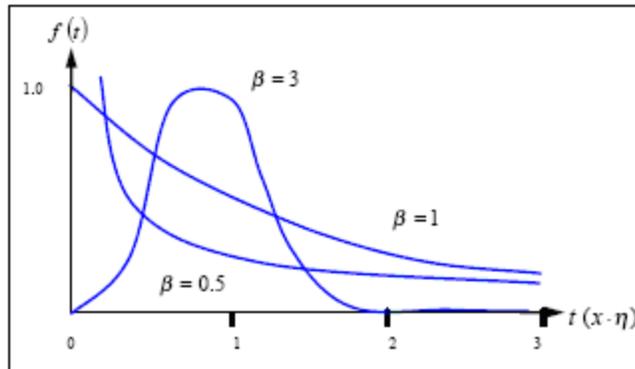
Fuente: O'CONNOR, Patrick

1.1.2 Función de Densidad de Probabilidad de Fallas f(t).

También se le conoce como Falla instantánea en el tiempo t. La siguiente es la ecuación de la función de densidad de probabilidad de fallas para la distribución Weibull y su gráfica en la figura 3:

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

Figura 3. Función de densidad de probabilidad de fallas para la distribución Weibull



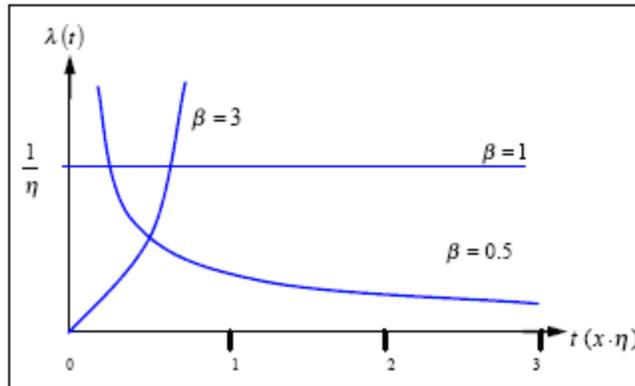
Fuente: O'CONNOR, Patrick

1.1.3 Función de Tasa de Falla $\lambda(t)$.

La tasa de falla expresa la cantidad de averías o reparaciones por unidad de tiempo que ocurren en el tiempo en que se estudia un elemento. La siguiente es la ecuación de la función de tasa de fallas para la distribución Weibull y su gráfica en la figura 4:

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

Figura 4. Función de tasa de fallas para la distribución Weibull



Fuente: O'CONNOR, Patrick

1.1.4 Parámetros de vida útil y de reparaciones en Weibull.

La vida útil o Tiempo Medio entre Fallas MTBF se puede estimar a partir de:

$$\text{Esperanza (TBF)} = \text{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int (1 - F(t)) * dt ,$$

Donde MTBF Tiempo Medio entre Fallas, R(t) es la función de confiabilidad y F(t) es la función de no confiabilidad.

$$\text{MTBF} = \eta * \text{FunciónGamma} \left(1 + \frac{1}{1 + \beta} \right),$$

Donde Eta η parámetro de escala y β es el de forma, con función Gamma para la estimación.

El Tiempo Medio de Reparación MTTR se estima como sigue:

$$\text{Esperanza (TTR)} = \text{MTTR} = \int_0^{\infty} M(t) dt$$

Donde MTTR Tiempo Medio de Reparaciones con M(t) como función de Mantenibilidad. Además:

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

Donde η parámetro de escala y β es el de forma, con función Gamma para la estimación.

En general es más preciso cuando se trabaja con distribuciones que con cálculos puntuales, ya que existe un solo valor de β y η para un mismo valor de MTBF al igual ocurre con el MTTR.

1.2 DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS DE CMD: CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD

1.2.1 Concepto de Confiabilidad.

La probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las que fue diseñado, durante el período de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación dadas se define como confiabilidad.

La confiabilidad puede ser cuantificada de varias maneras utilizando conceptos probabilísticos, debido a que no se puede saber con certeza cuando ocurrirán las fallas del equipo.

La definición muestra que existen cuatro características específicas de la confiabilidad: probabilidad, desempeño satisfactorio, período de tiempo especificado y condiciones de operación dadas, estas se definen a continuación:

- Probabilidad. Es la expresión que representa una fracción o un porcentaje que significa el número de veces que ocurre un evento, dividido por el número total de intentos. Por ejemplo, la probabilidad de que un equipo se desempeñe eficazmente durante 80 horas es 0.75 (o 75%), indica que el equipo funcionará satisfactoriamente 75 veces de 100 ensayos por al menos 80 horas.
- Desempeño satisfactorio. Es el segundo elemento en la definición de confiabilidad, indica que criterios específicos deben ser establecidos para

describir lo que es considerado como una operación satisfactoria. Una combinación de factores cualitativos y cuantitativos definen las funciones que el sistema debe lograr, usualmente presentados en el contexto como especificaciones del sistema. El desempeño satisfactorio de un equipo implica conocer cuándo éste falla y ya no se está desempeñando satisfactoriamente.

- Período de tiempo. Debe ser plenamente identificado, por ejemplo el intervalo de tiempo puede estar basado en el calendario, en las horas de operación, en ciclos o incluso en otras medidas como kilómetros recorridos, como es el caso de las llantas de un automóvil. La confiabilidad debe ser medida basándose en pruebas o ensayos a través del tiempo y bajo condiciones de operación muy similares en las cuales el equipo va a funcionar en la realidad
- Condiciones de operación dadas. Son en las que se espera que el equipo funcione, constituyen el cuarto elemento significativo de la definición básica de confiabilidad. Estas condiciones incluyen factores como ubicación geográfica donde se espera que el equipo opere, el medio ambiente, vibraciones, transporte, almacenamiento, empaque, etc.

Los factores anteriores no sólo se analizan en el momento de operación del equipo, sino también en condiciones en que el sistema está almacenado o está siendo transportado de un lugar a otro. La experiencia indica que el empaque, el almacenamiento y el transporte son algunas veces más críticos para la confiabilidad, que las condiciones mismas experimentadas durante su operación.

La confiabilidad es una medida que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un elemento y ayuda en el momento de seleccionar un equipo entre varias alternativas.

Los estudios de confiabilidad se realizan sistemática y rutinariamente en el diseño de equipos y sistemas, con la idea de mejorar la calidad de los productos.

La no confiabilidad provoca pérdidas de tiempo, altos costos, mayor número de repuestos y riesgos para la vida de las personas. Entre muchas de las causas de no confiabilidad se pueden resaltar las siguientes:

- La complejidad creciente de los equipos.
- La automatización y complejidad de los procesos.
- La complejidad de las organizaciones y de las comunicaciones internas.
- La dinámica del desarrollo tecnológico.
- Las restricciones presupuestarias.
- Los errores humanos.
- Las fallas aleatorias.
- La falta de programas de confiabilidad.
- La falta de programas adecuados de mantenimiento y reparación.

1.2.2 Concepto de Mantenibilidad.

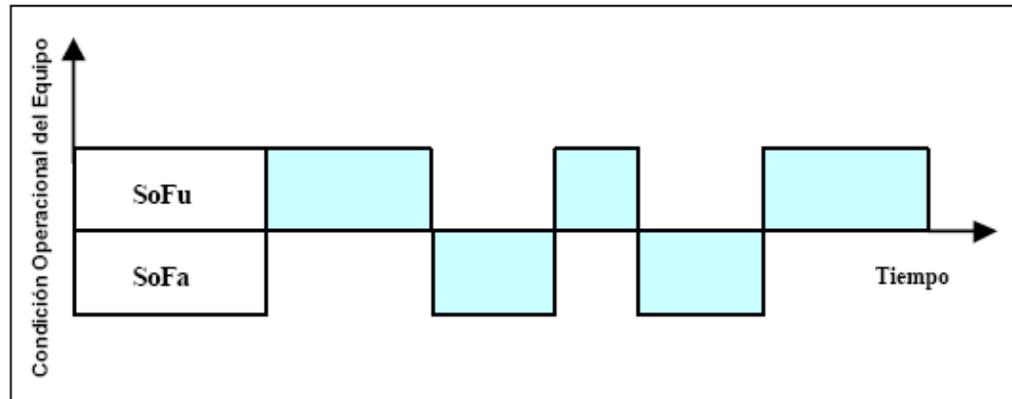
El fallo del sistema se define como un evento cuya realización provoca la pérdida de capacidad para realizar las funciones requeridas, o la pérdida de capacidad para satisfacer los requisitos especificados. Un fallo causará la transición de un equipo de su estado satisfactorio a su estado insatisfactorio, conocido como estado de fallo, SoFa. Por lo tanto para satisfacer las necesidades de acuerdo con las especificaciones establecidas, todos los equipos pueden pertenecer a uno de los dos siguientes estados:

- Estado de funcionamiento, SoFu (State of Functioning).
- Estado de Fallo, SoFa (State of Failure).

Un equipo recuperable durante su vida operacional hasta el día de su falla fluctúa entre SoFu y SoFa. Los estados del equipo durante su proceso de uso se llama

perfil de funcionalidad, normalmente se usa el tiempo de calendario como unidad de tiempo operativo en la representación del perfil, ver figura 5.

Figura 5. Perfil de funcionalidad



Fuente: KNEZEVIC

La mantenibilidad de un equipo es la probabilidad de que un dispositivo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir su misión en un tiempo dado, luego de la aparición de una falla y cuando el mantenimiento es realizado en un determinado período de tiempo, al nivel deseado de confianza, con el personal especificado, las habilidades necesarias, el equipo indicado, los datos técnicos, manuales de operación y mantenimiento, el departamento de soporte de mantenimiento y bajo las condiciones ambientales especificadas (Knezevic, 1996, 47)

La mantenibilidad puede expresarse en términos de factores de mantenimiento, tiempo empleado y costos. Más específicamente la mantenibilidad puede ser definida como (Knezevic, 1996, 48) (Blanchard y otros, 1995, 2):

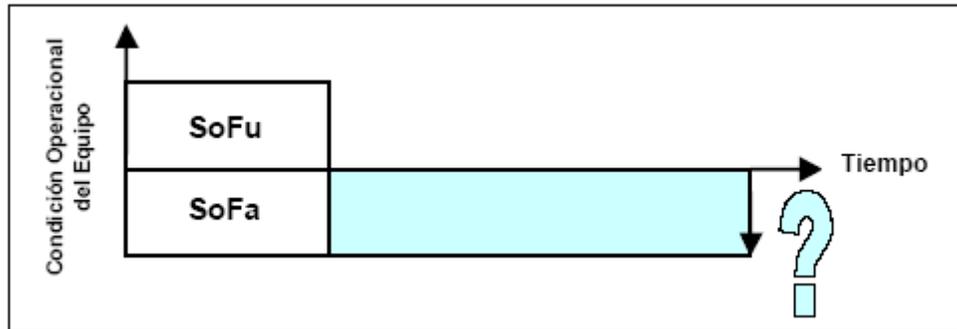
- Una característica inherente de un equipo o el diseño de un producto. Hace referencia a la facilidad, precisión, seguridad y economía en el desempeño de las acciones de mantenimiento. Un equipo podría ser diseñado de tal manera que pueda ser mantenido sin grandes inversiones de tiempo, al

menor costo, con un mínimo impacto ambiental y con el mínimo gasto de recursos.

- La habilidad de un equipo de ser mantenido, donde el mantenimiento constituye una serie de acciones necesarias para recuperar o conservar un equipo en el estado SoFu. Mantenibilidad es un parámetro de diseño y el mantenimiento es requerido como una consecuencia del diseño (Moore Internet, 2001) (Maintainability Internet, 1998).
- Una característica de diseño e instalación la cual es expresada como la probabilidad de que un equipo sea recuperado o conservado en las condiciones especificadas, en un período de tiempo dado, cuando el mantenimiento es realizado acorde con los procedimientos y recursos preestablecidos.
- Una característica de diseño e instalación la cual es expresada como la probabilidad que el mantenimiento no requerirá más tiempo del período dado, cuando el equipo es operado acorde con los procedimientos prescritos por el personal con las habilidades adecuadas.
- Una característica de diseño e instalación la cual es expresada como la probabilidad que el costo de mantenimiento para un equipo no excederá la cantidad de dinero especificada en un período de tiempo, cuando el equipo es operado y mantenido acorde con los procedimientos prescritos.

La mantenibilidad es una característica que depende del diseño, históricamente se han ignorado los aspectos de la recuperación de los equipos porque los diseñadores se preocupan más por la funcionalidad de éstos. ¿Cuánto durará la tarea de mantenimiento?, es una pregunta que está directamente relacionada con la parte inferior del perfil de funcionalidad como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Duración incierta del tiempo de recuperación



Fuente: KNEZEVIC, Jezdimir

La ingeniería de mantenibilidad se crea cuando los diseñadores y fabricantes comprenden la carencia de medidas técnicas y disciplinas científicas en el mantenimiento. Por esto es una disciplina científica que estudia la complejidad, los factores y los recursos relacionados con las actividades que debe realizar el usuario para mantener la mantenibilidad de un producto y que elabora métodos para su cuantificación, evaluación y mejora.

La reducción de los costos de mantenimiento durante su uso también son influenciados por la mantenibilidad, proporciona una herramienta a los ingenieros para la descripción cuantitativa de la capacidad inherente de su producto de ser recuperado para el servicio, mediante la realización y tareas del mantenimiento.

1.2.3 Concepto de Disponibilidad.

La probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo y tiempo logístico se define como disponibilidad.

La disponibilidad es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un equipo. La mayoría de los usuarios aseguran que necesitan la disponibilidad de un equipo tanto como la seguridad. Hay varios métodos para lograrlo, uno es construir un equipo que cuando falle sea fácil de recuperar, y el segundo es construir los equipos confiables, y por lo tanto, demasiado costosos que nadie los compraría.

También es una medida importante y útil en casos en que el usuario debe tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas. Para tomar una decisión objetiva con respecto a la adquisición del nuevo equipo, es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen más completa sobre el perfil de funcionalidad.

La modelación de la disponibilidad se puede realizar mediante diversas técnicas, desde unas muy simples que se basan en indicadores puntuales e instantáneos que se calculan independiente de la estimación de probabilidades y de sus leyes que modelan el CMD, hasta otras más complejas donde si se tienen en cuenta las distribuciones que simulan el comportamiento de la confiabilidad y de la mantenibilidad. A continuación se describen algunas opciones de Disponibilidad:

- Disponibilidad Genérica A_G . Es muy útil cuando se tienen los tiempos totales de funcionamiento y de no disponibilidad, en este caso no se poseen los tiempos exactos de demoras logísticas, suministros, retrasos, otros.

$$A_G = \frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Los MUT solo consideran los tiempos en que el equipo funciona correctamente, como a su vez los MDT contemplan todo lo que genere no disponibilidad, los tiempos de paradas previstas o planeadas por

mantenimiento deben descontarse del tiempo en que el equipo puede operar.

- Disponibilidad Inherente A_I . Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas y en un entorno ideal de soporte logístico, es decir, con la disponibilidad adecuada de personal, repuestos, herramientas, equipos de prueba y demás, sin considerar ninguna demora logística o administrativa (Blanchard y otros, 1994; 127). El MTTR es el tiempo activo neto de reparación sin ninguna demora y con todos los recursos disponibles al iniciarse la reparación. No contempla los mantenimientos planeados (preventivos o predictivos). La disponibilidad inherente está basada únicamente en la distribución de fallas y la distribución de tiempo de reparación (Ebeling, 1997; 255).

$$A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

- Disponibilidad Alcanzada A_A . Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas y en un entorno ideal de soporte logístico, sin considerar ningún retraso logístico o administrativo pero involucrando en sus cálculos los tiempos imputables a las actividades planeadas de mantenimiento.

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

Donde \overline{M} es el tiempo medio de mantenimiento activo requerido para realizar cualquier tarea de mantenimiento.

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

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + \overline{M}'}$$

Donde \overline{M}' se calcula igual que \overline{M} solo que al momento de calcular el MTTR no solo se toman los correspondientes TTR, sino que se le suman respectivamente sus tiempos logísticos de demora (LDT) pertinentes a cada una de las reparaciones.

- Disponibilidad Operacional Generalizada A_{GO} . Es útil para explicar los lapsos de tiempo en que los equipos están disponibles y no producen (Aven, 1999).

$$A_{GO} = \frac{MTBM'}{MTBM' + \overline{M}'}$$

Donde $MTBM'$ se calcula igual que $MTBM$ del caso anterior de disponibilidad, solo que los Ready Time se les suman a los tiempos útiles que los anteceden o siguen (el que este más cercano), de tal forma que los tiempos útiles correspondientes aumentan en el valor del tiempo de alistamiento (Ready Time) y por ende aumenta también el $MTBM_C$ o $MTBM_P$ en cada caso, tanto en reparaciones (correctivos) como en las

tareas preactivas (mantenimientos planeados), con lo cual aumenta entonces el $MTBM_C$ y el $MTBM_P$.

2 DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS DEL ESTUDIO

2.1 CAMPO PRODUCCION JAZMIN MECL

2.1.1 Descripción de la planta en estudio

Durante la década de los años 40, con el descubrimiento y desarrollo del Campo Velázquez, de crudo mediano entre 21-23 grados API, y del Campo Teca en la década de los años 1980, con crudo de unos 13 grados API, se remonta el campo de acción de MECL. Desde ese entonces se han desarrollado otros campos de crudo pesado, como: Nare Sur, Jazmín, Under River y más recientemente, los campos Girasol y Moriche, en aquel tiempo en manos de la Texas Petroleum Company. Existen adicionalmente otras áreas ya exploradas como Chicalá, Abarco y Áreas de Moriche Buffer también de crudos pesados, con gravedades en el orden de 11 a 14 grados API, a profundidades entre 1.500 y 3.000 pies.

Luego de estos años de exploración y explotación, en 1994, la compañía petrolera Omimex Resources Inc. de origen estadounidense adquirió el campo petrolero Velázquez, antigua propiedad de Texas Petroleum Company, por medio de una licitación internacional. Un año después de comprar el campo Velázquez (única propiedad petrolera de carácter privado en el país), Omimex de Colombia. Ltd. adquirió la propiedad del Oleoducto Velázquez - Galán y los derechos de Texaco en los contratos de Asociación Cocorná y Nare, suscritos con Ecopetrol.

Una década después, en la ronda de negocios abierta por Omimex Resources Inc., a finales del 2005, las compañías Oil & Natural Gas Corporation (ONGC), compañía estatal petrolera de India y SINOPEC Corp., empresa estatal petrolera

de China, se mostraron interesadas en la compra de las acciones de Omimex de Colombia, Ltd.

Después de varias rondas de negociación, las mencionadas empresas estatales decidieron unirse y por intermedio de sus subsidiarias, ONGC Nile Ganga B. V., y SINOPEC Overseas Oil & Gas Limited., crearon la compañía Mansarovar Energy Colombia, Ltd. (MECL), según las leyes de Bermuda, con el fin de fusionar tecnologías y capitales y así culminar con la compra de la casa matriz de Omimex de Colombia, Ltd. Sin embargo, el 24 de agosto de 2006, la empresa ONGC de India decidió cambiar la subsidiaria que la representaba en su participación en Mansarovar Energy Colombia, Ltd., por ONGC Amazon Alaknanda Limited, quienes finalmente son los accionistas, de India, de Mansarovar.

Como consecuencia de lo anterior, el 20 de septiembre de 2006, Omimex Resources, Inc., propietaria de las acciones de Omimex de Colombia, Ltd., y MECL firmaron el acuerdo de compra (SPA- Stock Purchase Agreement), en el que consolidaron la negociación. En esta fecha, los asesores externos en Nueva York, Delhi, Pekín, Bermuda y Colombia, así como el personal directivo de MECL, en Bogotá, aunaron esfuerzos y en un tiempo récord se logró la legalización de la nueva compañía en nuestro país, pues a partir del 1 de diciembre de 2006 quedó registrado ante la Cámara de Comercio de Bogotá el cambio de la razón social y a partir del 4 del mismo mes y año, la nueva representación legal.

A través de la fusión de tecnologías y capitales de ONGC Amazon Alaknanda Ltd., de India, y SINOPEC Overseas Oil & Gas Limited., se creó MECL, una compañía que pretende alcanzar los más altos niveles de productividad posibles en Colombia.

La operación es en la zona del “Magdalena Medio” donde se tiene, con Ecopetrol, los derechos de la Asociación Nare; desarrollamos operaciones privadas en el campo Velázquez y el Oleoducto Velázquez – Galán, y un contrato de operación del Campo Teca. Mansarovar es el producto de la alianza de dos compañías estatales de petróleo de India y China. Estos países tienen una frontera común en el Himalaya, y el lago Mansarovar es justo parte de esta frontera. En China, al sur del monte Kailasa se encuentra el lago Mansarovar¹, el cuerpo de agua dulce más alto del mundo: 4.556 metros sobre el nivel del mar. Según los hindúes, el lago de forma casi redonda, fue creado por Brahma, el Dios de la creación y hoy es sitio de peregrinación y purificación de tibetanos e hindúes.

La leyenda dice que los hijos de Brahma, hombres santos, pasaron 12 años de austeridad en cercanías del Mansarovar. Durante este tiempo, carecieron de espacio suficiente para realizar sus ritos, pero siempre rezaron a su padre divino para que los ayudara. Como recompensa, estos santos, al beber las aguas del lago y bañarse con éstas, fueron perdonados de sus pecados de esta vida y las otras, y liberados del nacimiento y de la muerte, para finalmente unirse con Shiva, la deidad que transforma, mediante la danza cósmica continua y eterna de los cielos de nacimientos y muertes, la creación.

La construcción del símbolo se basa en dos rombos entrelazados, con puntas redondeadas y divididos por la mitad horizontal, para semejar las montañas del Tíbet y su reflejo en el lago Mansarovar. Las montañas simbolizan la constancia y la firmeza, el reflejo en el agua representa el autoanálisis. Los rombos entrelazados simbolizan la unión de las nacionalidades de los socios, China e India, los cuales están representados por el uso de los colores rojo y azul, respectivamente. Además, el logo simboliza la M de Mansarovar que se refleja verticalmente, semejando el paisaje del lago y sus montañas.

Los rombos entrelazados simbolizan la unión de las nacionalidades de los socios, China e India, los cuales están representados por el uso de los colores rojo y azul,

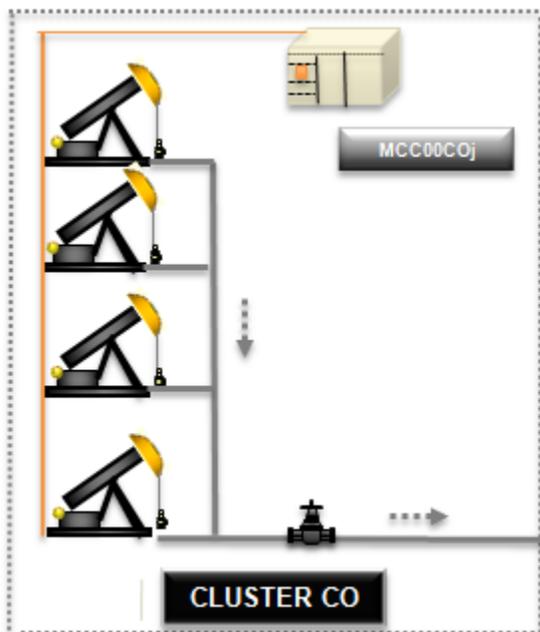
respectivamente. Además, el logo simboliza la M de Mansarovar que se refleja verticalmente, semejando el paisaje del lago y sus montañas.

2.1.2 Equipos que componen el estudio

El campo producción de Jazmin de Mansarovar tiene una producción diaria de 8284 Barriles de Petroleos diarios, y en total son 373 unidades de bombeo, para hacer el estudio de confiabilidad es importante definir inicialmente las unidades que se van a analizar, dado la gran cantidad de equipos que conforman este campo de producción se hace tedioso realizar el análisis a todas las unidades, por tal razón se van a seleccionar las unidades con mayor potencial, a continuación se presenta el listado de unidades de bombeo que conforman el campo de producción de Jazmin:

Las locaciones de las unidades de bombeo están instaladas en Cluster los cuales están conformados por unidades de bombeo Marca Lufkin, y funcionan con motores eléctrico de 480 VAC, y son alimentadas a través de un transformador de 13,2KVAC/480 VAC, y la energía la suministra una red eléctrica de 13,2 KVAC.

Figura 7. Grafica de Unidades Bombeo



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. Barriles crudo diario producido por Unidad Bombeo

Unidad Bombeo	BOPD
JAZ-CQ01	57,75
JAZ-CQ02	17,48
JAZ-CQ03	0
JAZ-A001	35,88
JAZ-A002	36,4
JAZ-A003	34,8
JAZ-A004	35,4
JAZ-A008	43,5
JAZ-A009	47
JAZ-AA01	0
JAZ-AA02	9,72
JAZ-AA03	15,5

JAZ-AA04	45,6
JAZ-AA05	52,5
JAZ-AA06	10,668
JAZ-AB01	15,4
JAZ-AB02	0
JAZ-AB03	8,55
JAZ-AB04	0
JAZ-AB05	3,66
JAZ-AC01	33,81
JAZ-AC02	41,28
JAZ-AC03	58,4
JAZ-AC04	17,82
JAZ-AC05	14,7
JAZ-AC06	26,6
JAZ-AC07	22,08
JAZ-AC08	13,2
JAZ-AD01	42,56
JAZ-AD02	56,8
JAZ-AD03	7,59
JAZ-AD04	29,52
JAZ-AD05	18,48
JAZ-AD08	0
JAZ-AE01	34,1
JAZ-AE02	0
JAZ-AE03	8,31
JAZ-AE04	22,5
JAZ-AE05	38,64
JAZ-AE06	45
JAZ-AE07	26,6

JAZ-AE08	30,25
JAZ-AF01	20,586
JAZ-AF02	11,6
JAZ-AF03	16,1
JAZ-AF05	25,5
JAZ-AF06	12,1
JAZ-AG01	2,84
JAZ-AG02	11,9
JAZ-AG03	2,96
JAZ-AG04	35,6
JAZ-AG05	0
JAZ-AH01	25,2
JAZ-AH02	0
JAZ-AH03	56,24
JAZ-AH04	31,5
JAZ-AH05	15,8
JAZ-AH06	69,5
JAZ-AI01	42
JAZ-AI02	9,86
JAZ-AI03	14,25
JAZ-AI04	2,1
JAZ-AI05	21,9
JAZ-AJ01	29,04
JAZ-AJ02	17,7
JAZ-AJ03	52,8
JAZ-AJ04	34,32
JAZ-AJ05	17,8
JAZ-AK02	0
JAZ-AK03	33,84

JAZ-AK04	7,65
JAZ-AK05	27,5
JAZ-AK06	7,74
JAZ-AK07	2,7
JAZ-AM01	32,2
JAZ-AM02	21,15
JAZ-AM03	39
JAZ-AN01	47,5
JAZ-AN02	34
JAZ-AN03	14,26
JAZ-AN04	1,8
JAZ-AN05	3,48
JAZ-AN06	4
JAZ-AN07	0
JAZ-AN08	8,4
JAZ-AN09	50,56
JAZ-AN10	19,25
JAZ-AN11	0
JAZ-AO01	32,025
JAZ-AO02	2,68
JAZ-AO03	24,025
JAZ-AO04	31,85
JAZ-AP01	14,26
JAZ-AP02	0
JAZ-AP03	33,48
JAZ-AP04	35,67
JAZ-AP05	22,56
JAZ-AP06	9
JAZ-AP07	14,79

JAZ-AP08	19,04
JAZ-AP09	22,4
JAZ-AQ01	6,5
JAZ-AQ02	17,25
JAZ-AQ03	17,28
JAZ-AQ05	13,68
JAZ-AQ06	14,06
JAZ-AR01	9,594
JAZ-AR02	29,294
JAZ-AR03	4,8
JAZ-AR04	33,33
JAZ-AR05	2,142
JAZ-AS01	12,84
JAZ-AS02	19
JAZ-AS03	12,221
JAZ-AS04	18,56
JAZ-AS05	21,012
JAZ-AS06	33
JAZ-AS07	8,58
JAZ-AT01	57,5
JAZ-AT02	51,5
JAZ-AT04	68,6
JAZ-AT05	99,18
JAZ-AU01	4,06
JAZ-AU02	0
JAZ-AU03	0
JAZ-AU04	11,2
JAZ-AU05	0
JAZ-AU06	1,92

JAZ-AU07	0
JAZ-AU08	10,92
JAZ-AU09	0
JAZ-AV01	31,08
JAZ-AV02	2,08
JAZ-AV03	27,06
JAZ-AWY1	0
JAZ-AWY2	16,32
JAZ-AWY3	22,2
JAZ-AX01	2,96
JAZ-AX02	64,5
JAZ-AX03	14
JAZ-AY01	21
JAZ-AY02	0
JAZ-AY03	20,59
JAZ-AZ01	3,7
JAZ-AZ02	21
JAZ-AZ03	35,2
JAZ-AZ04	82
JAZ-AZ05	40,74
JAZ-AZ06	8,6
JAZ-AZ07	5,18
JAZ-B001	25,2
JAZ-B002	0
JAZ-B003	53,2
JAZ-B005	31,35
JAZ-B006	48,28
JAZ-BA01	15,18
JAZ-BA02	15,84

JAZ-BA03	2,6
JAZ-BA05	48,88
JAZ-BB01	5,15
JAZ-BB02	6,48
JAZ-BB03	47,5
JAZ-BC01	19,8
JAZ-BC02	30,6
JAZ-BC03	66
JAZ-BC04	56,4
JAZ-BC05	18,06
JAZ-BD01	10,902
JAZ-BD02	26
JAZ-BE01	27,892
JAZ-BE02	21,3
JAZ-BE03	5,98
JAZ-BE05	40,17
JAZ-BE06	27,28
JAZ-BF01	32,2
JAZ-BF02	4,48
JAZ-BF03	42,05
JAZ-BF04	38,016
JAZ-BG01	22,8
JAZ-BG02	4,2
JAZ-BG03	46,74
JAZ-BG04	22
JAZ-BH01	11
JAZ-BH02	10
JAZ-BH03	20,14
JAZ-BH04	27

JAZ-BI01	56
JAZ-BI02	31,005
JAZ-BI03	23,8
JAZ-BJ01	28
JAZ-BJ02	22,4
JAZ-BJ03	0
JAZ-BJ04	42,176
JAZ-BK01	6,3
JAZ-BK02	57,936
JAZ-BK04	63,2
JAZ-BK05	48,1
JAZ-C001	18
JAZ-C002	50,74
JAZ-C004	0
JAZ-C005	55,2
JAZ-CB01	61,8
JAZ-CH01	42,8
JAZ-CI01	54,896
JAZ-CI02	32,45
JAZ-CI03	52,8
JAZ-CJ01	22,88
JAZ-CJ02	9,6
JAZ-CJ03	17,7
JAZ-CK01	13,8
JAZ-CK02	40
JAZ-CK03	49
JAZ-CM01	45,5
JAZ-CM02	4,5
JAZ-CM03	8,6

JAZ-CM04	16,74
JAZ-CM05	5,65
JAZ-CO01	30,5
JAZ-CO02	20,1
JAZ-CP01	0
JAZ-CP02	23,5
JAZ-CP03	0,85
JAZ-CR01	16,52
JAZ-CR02	20,6
JAZ-CR03	62,16
JAZ-D001	45,5
JAZ-D002	26,7
JAZ-D003	15,5
JAZ-D004	7,56
JAZ-D005	4,95
JAZ-D006	17,63
JAZ-D007	48,8
JAZ-D008	15,5
JAZ-E001	9,2
JAZ-E002	5,72
JAZ-E003	3,62
JAZ-E005	6,37
JAZ-E006	0,63
JAZ-E007	5
JAZ-E008	1,14
JAZ-E010	3,8
JAZ-F001	21,56
JAZ-F002	17,8
JAZ-F003	22,62

JAZ-F004	18,48
JAZ-F005	31,2
JAZ-G001	49,8
JAZ-G002	32,66
JAZ-G003	21,9
JAZ-G004	0
JAZ-G005	0
JAZ-G006	6,16
JAZ-G007	21,16
JAZ-G008	0
JAZ-H001	40,5
JAZ-H002	5,46
JAZ-H003	4,3
JAZ-H004	31,45
JAZ-H005	40,77
JAZ-H006	82,32
JAZ-I001	49,35
JAZ-I002	13
JAZ-I003	28,2
JAZ-I004	27,84
JAZ-I005	6,48
JAZ-I006	25,75
JAZ-I007	22,01
JAZ-I008	31,05
JAZ-I010	1,9
JAZ-J001	42,105
JAZ-J002	51,5
JAZ-J003	2,3
JAZ-J004	27,8

JAZ-JAZ1	3,74
JAZ-K001	7,28
JAZ-K002	22,96
JAZ-K003	0
JAZ-K004	0
JAZ-K007	20,033
JAZ-K008	9,68
JAZ-L001	7,85
JAZ-L002	35,4
JAZ-L003	65,8
JAZ-L004	28,457
JAZ-M002	28,38
JAZ-M003	29,14
JAZ-M004	21,84
JAZ-M005	0
JAZ-M006	12,1
JAZ-M007	6,42
JAZ-M008	10,92
JAZ-M009	9,54
JAZ-M010	12,6
JAZ-MOD1	0
JAZ-N001	7,54
JAZ-N002	0
JAZ-N003	11,2
JAZ-N004	11
JAZ-N005	25,76
JAZ-N006	3,92
JAZ-N007	23,18
JAZ-N008	8,7

JAZ-N009	9,88
JAZ-N010	4,42
JAZ-N011	20,7
JAZ-O001	37,8
JAZ-O002	36,24
JAZ-O003	43,52
JAZ-O004	29,15
JAZ-O005	27,538
JAZ-P001	38,4
JAZ-P002	42,6
JAZ-P003	38,5
JAZ-P004	15,77
JAZ-P005	16,24
JAZ-P006	39,96
JAZ-P007	15,34
JAZ-P008	14,26
JAZ-P009	30
JAZ-Q001	20,8
JAZ-Q003	2,34
JAZ-Q004	9,76
JAZ-Q005	32,96
JAZ-Q006	36,8
JAZ-Q009	0
JAZ-Q010	0
JAZ-Q011	0
JAZ-Q013	0
JAZ-ROB1	0
JAZ-S001	15,84
JAZ-S002	27,39

JAZ-S003	21,7
JAZ-S004	0
JAZ-S005	0
JAZ-S006	19,24
JAZ-S007	3,64
JAZ-S008	24,48
JAZ-S009	7,02
JAZ-S010	7,95
JAZ-S011	29
JAZ-T001	36,96
JAZ-T002	23,5
JAZ-T003	54,96
JAZ-T004	0
JAZ-T005	10,76
JAZ-U001	31,68
JAZ-U002	8,8
JAZ-U003	29,04
JAZ-U004	17,64
JAZ-U005	0
JAZ-U006	45,44
JAZ-U007	26,5
JAZ-W001	75
JAZ-W002	41,175
JAZ-W004	0
JAZ-X001	55,44
JAZ-X002	0
JAZ-X003	25,25
JAZ-X004	9,1
JAZ-X005	28,08

JAZ-Y001	54,5
JAZ-Y002	36,3
JAZ-Y003	19,2
JAZ-Y004	0
JAZ-Z001	26,04
JAZ-Z002	5,31
JAZ-Z003	12,16
JAZ-Z004	35,4
JAZ-Z005	12,75
JAZ-Z006	11,6
JAZ-Z007	28,89
JAZ-Z008	17,76
JAZ-Z009	30,8

Fuente: Mansarovar Energy Colombia Ltd

En Promedio cada unidad de bombeo tiene una producción diaria de 22,2 Barriles de Petróleo diario y la producción por unidad oscila entre 0 a 99,18 barriles crudo diario, para la selección de los equipos se tomaran aquellas unidades cuya producción sea superior a 60 barriles de crudo diario. Las siguientes son las unidades seleccionadas para el estudio de confiabilidad:

Tabla 4. Unidades Bombeo seleccionadas para el estudio

POZO	BOPD
JAZ-AH06	69,5
JAZ-AT04	68,6
JAZ-AT05	99,18
JAZ-AX02	64,5
JAZ-AZ04	82

JAZ-BC03	66
JAZ-BK04	63,2
JAZ-CB01	61,8
JAZ-CR03	62,16
JAZ-H006	82,32
JAZ-L003	65,8
JAZ-W001	75

Fuente: Mansarovar Energy Colombia Ltd

En total son 12 unidades erigidas para analizar sus tendencias y probabilidad de fallas, que equivalen al 3,2 % del total de las unidades que conforman el campo.

3 ESTUDIO DE CONFIABILIDAD

3.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.1.1 Datos históricos campo Jazmin MECL

Se tomó los datos históricos de los tiempos de paradas de las unidades de bombeo mecánico seleccionado desde el mes de septiembre 2012 hasta febrero del 2013, los siguientes son los cuadros de operación y tiempo de paradas de los equipos:

Tabla 5. Tiempo parada y operación unidad Jazmin AH06

AH06	
UPTIME (HR)	DOWNTIME (HR)
TBF	TTR
143,92	0,08
431	1
1535,5	0,5
302	10
287	1
191,5	0,5
406	2
310	2

Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Tabla 6. Tiempo parada y operación unidad Jazmin AT06

AT04	
UPTIME (HR)	DOWNTIME (HR)
TBF	TTR
215,88	0,12
47,5	0,5
167,5	0,5
359,5	0,5
263,2	0,8
407,96	0,04
143,98	0,02
719,75	0,25
95,98	0,12

Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Tabla 7. Tiempo parada y operación unidad Jazmin AT05

AT05	
UPTIME (HR)	DOWNTIME (HR)
TBF	TTR
143	1
71,88	0,12
119,92	0,08
1127,96	0,04
863,25	0,75
95,98	0,02

Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Tabla 8. Tiempo parada y operación unidad Jazmin AX02

AX02	
UPTIME (HR)	DOWNTIME (HR)
TBF	TTR
2183	1
8693,2	0,08

Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Tabla 9. Tiempo parada y operación unidad Jazmin AZ02

AZ04	
UPTIME (HR)	DOWNTIME (HR)
TBF	TTR
3047,82	0,08

Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

En el periodo analizado se registraron pocos eventos para las unidades Jazmin AX02 y la unidad Jazmin AZ04 por tal razón esta unidad no se tendrá en cuenta para el análisis estadístico.

Tabla 10. Tiempo parada y operación unidad Jazmin BC03

BC03	
UPTIME (HR)	DOWNTIME (HR)
TBF	TTR
215,88	0,12
743,42	0,5
95,92	0,08
407,96	0,04
167,43	0,47
815,98	0,02
791,33	0,67
310	2

Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Tabla 11. Tiempo parada y operación unidad Jazmin BK04

BK04	
UPTIME (HR)	DOWNTIME (HR)
TBF	TTR
767,97	0,03
143,5	0,5
551,3	0,7
2183	1

Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Tabla 12. Tiempo parada y operación unidad Jazmin CB01

CB01	
UPTIME (HR)	DOWNTIME (HR)
TBF	TTR
767,97	0,03
671,93	0,07
287,92	0,08
47,5	0,5
215	1
1535,5	0,5
95,5	0,5

Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Tabla 13. Tiempo parada y operación unidad Jazmin CR03

CR03	
UPTIME (HR)	DOWNTIME (HR)
TBF	TTR
623	1
143,97	0,03
671,93	0,07
191,92	0,08
1823	1
71,5	0,5
95,5	0,5

Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Tabla 14. Tiempo parada y operación unidad Jazmin L003

L003	
UPTIME (HR)	DOWNTIME (HR)
TBF	TTR
191,88	0,12
71,5	0,5
71,5	0,5
119,5	0,5
575,92	0,08
407	1
143,53	0,47
815,98	0,02

Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Tabla 15. Tiempo parada y operación unidad Jazmin W001

W001	
UPTIME (HR)	DOWNTIME (HR)
TBF	TTR
215,88	0,12
839,92	0,08
407,96	0,04
143,53	0,47
815,92	0,02
886	2

Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

3.2 CALCULOS CON DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

3.2.1 Cálculos unidades bombeo mecanico campo Jazmin

Usando el Software de Reliasoft Weibull++8 se realizó los cálculos de Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), Tiempo Medio Reparación (MTTR), Beta, y Eta, además se obtuvieron las gráficas de confiabilidad vs tiempo para observar el comportamiento de las unidades en el tiempo.

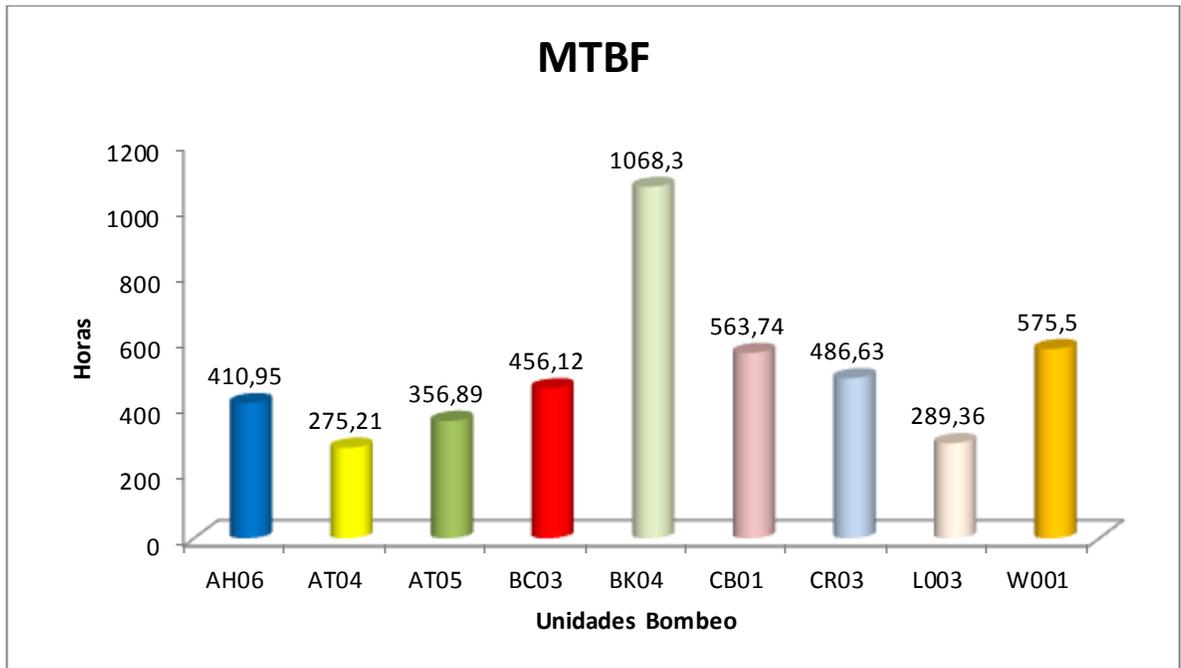
A continuación se presenta el resumen de los cálculos:

Tabla 16. Resumen Cálculo de Confiabilidad

	AH06	AT04	AT05	BC03	BK04	CB01	CR03	L003	W001
MTBF	410,95	275,21	356,89	456,12	1068,3	563,74	486,63	289,36	575,5
MTTR	2,03	0,35	0,33	0,5	0,84	0,42	0,51	0,46	0,39
BETA	1,76	1,36	1,02	1,4	0,9	0,89	0,96	1,25	1,42
ETA	461,6	300,8	360,14	500,7	1020,89	532,5	478,9	310,69	632,6
DISPONIBILIDAD	99,51%	99,87%	99,91%	99,89%	99,92%	99,93%	99,90%	99,84%	99,93%

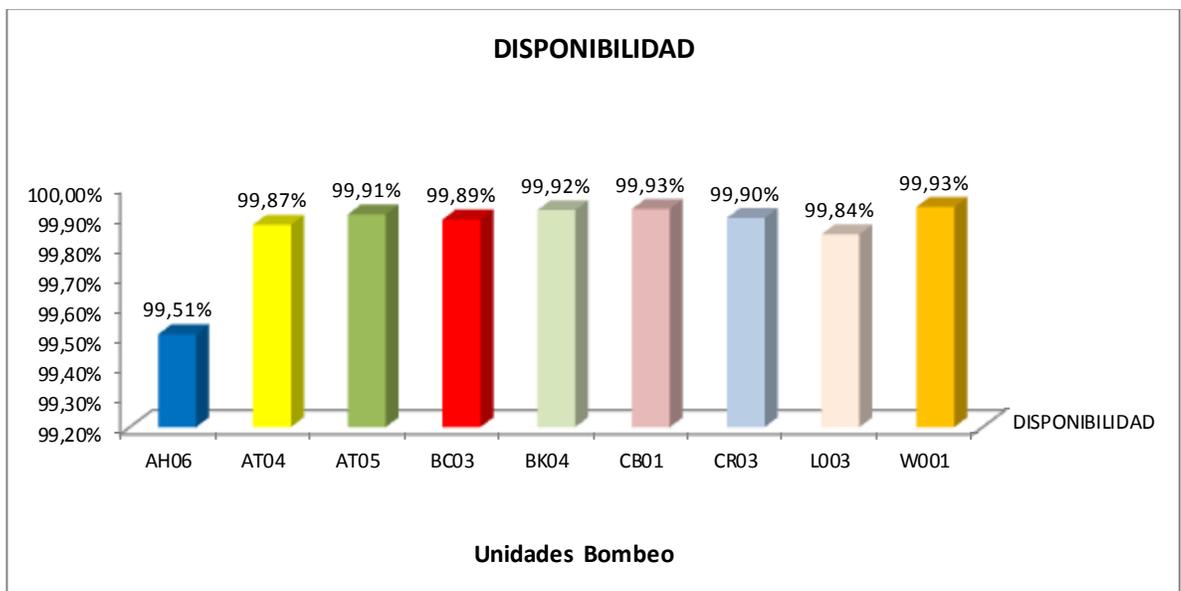
Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Figura 8. Grafica Tiempo Medio Entre Fallas de Unidades Bombeo



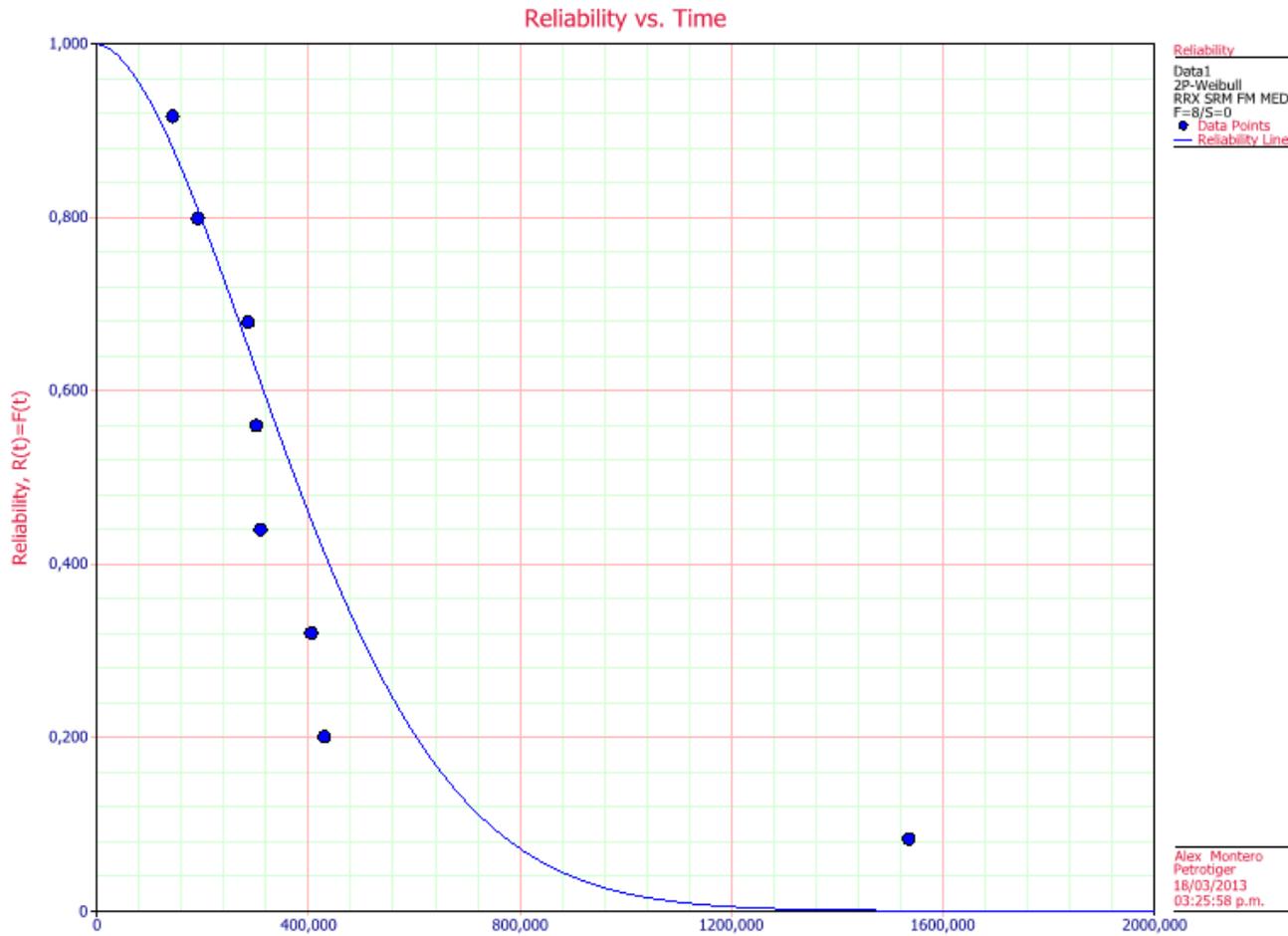
Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Figura 9. Grafica Disponibilidad vs Unidades Bombeo



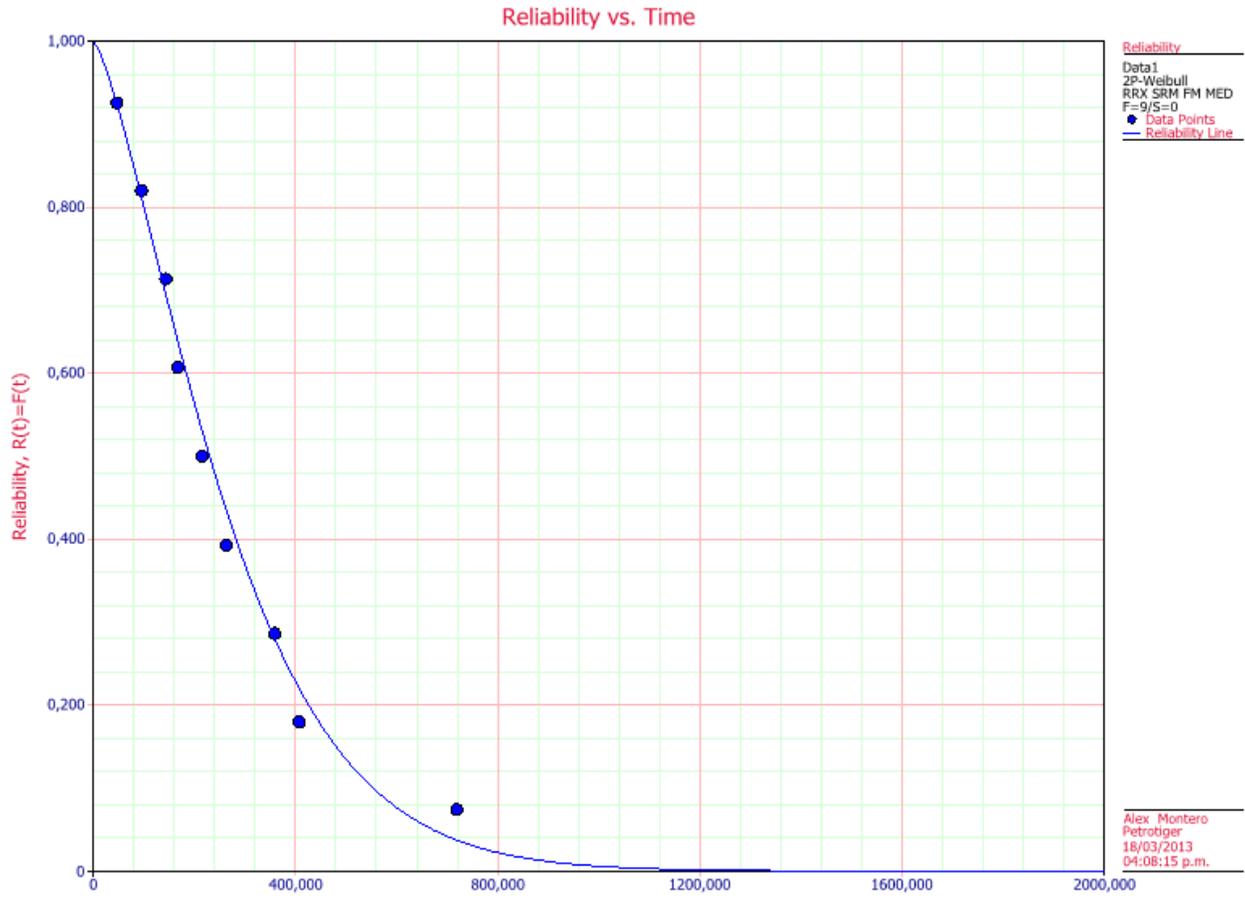
Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Figura 10. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad AH06



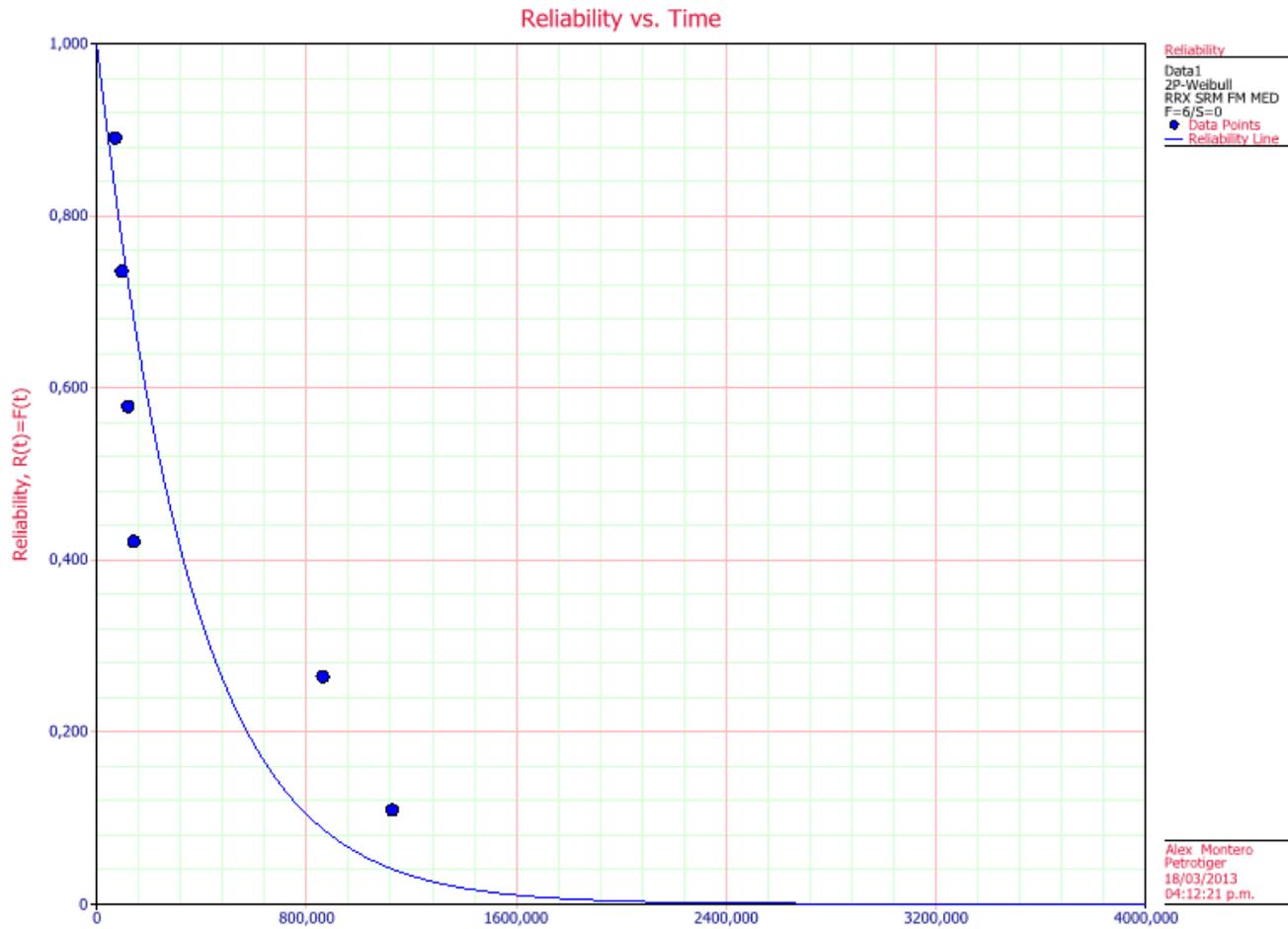
Fuente: Modelamiento software WEIBULL ++ 8

Figura 11. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad AT04



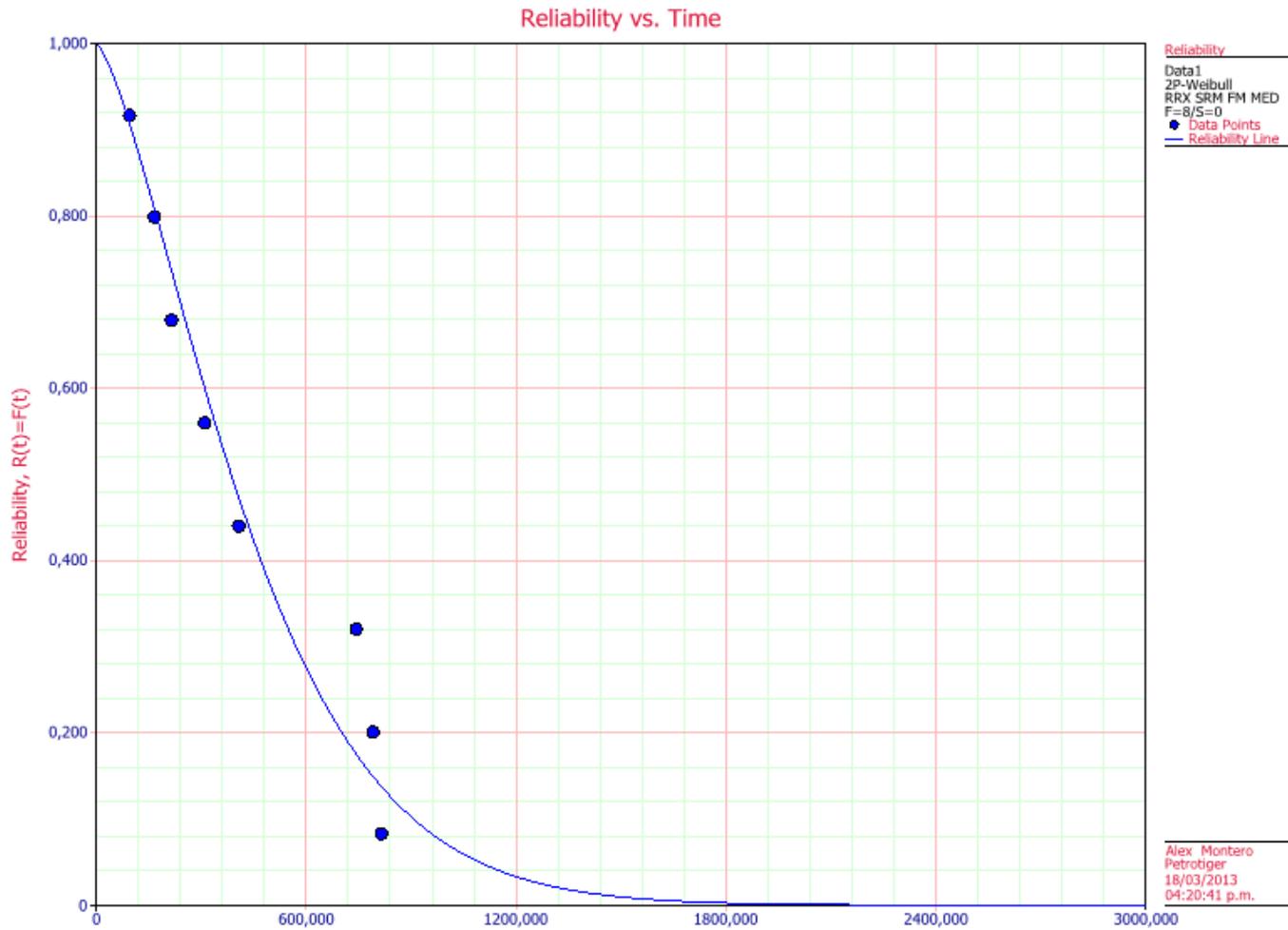
Fuente: Modelamiento software WEIBULL ++ 8

Figura 12. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad AT05



Fuente: Modelamiento software WEIBULL ++ 8

Figura 13. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad BC03



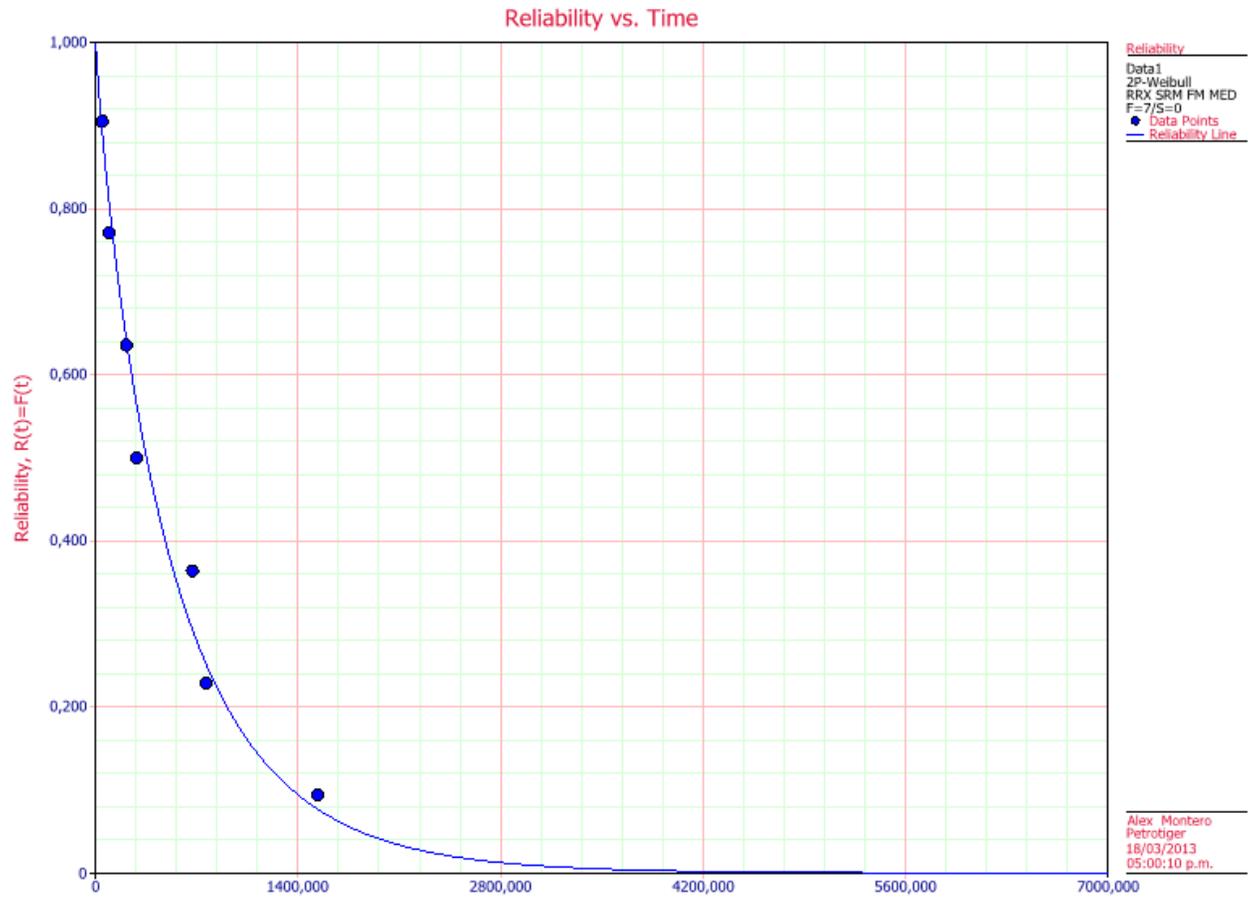
Fuente: Modelamiento software WEIBULL ++ 8

Figura 14. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad BK04



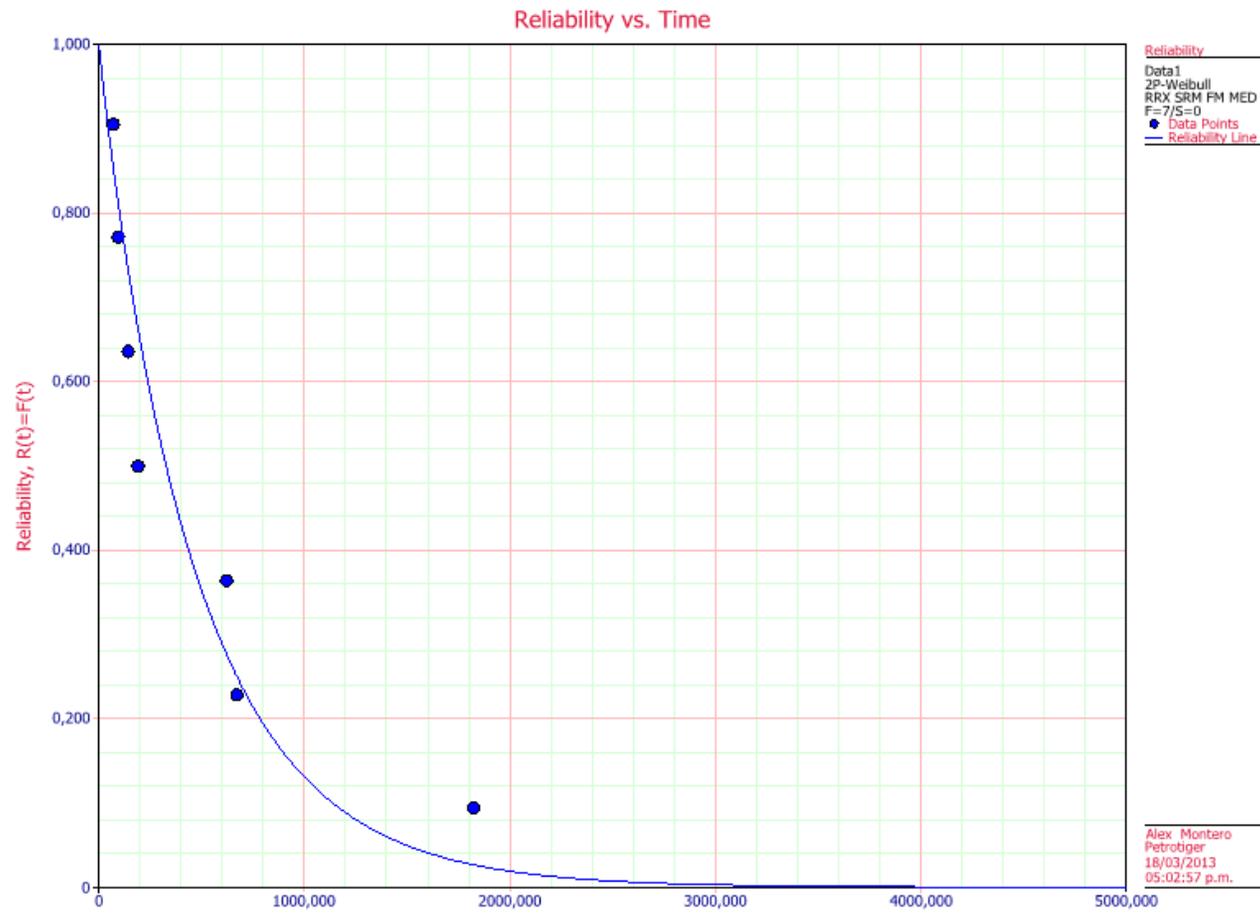
Fuente: Modelamiento software WEIBULL ++ 8

Figura 15. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad CB01



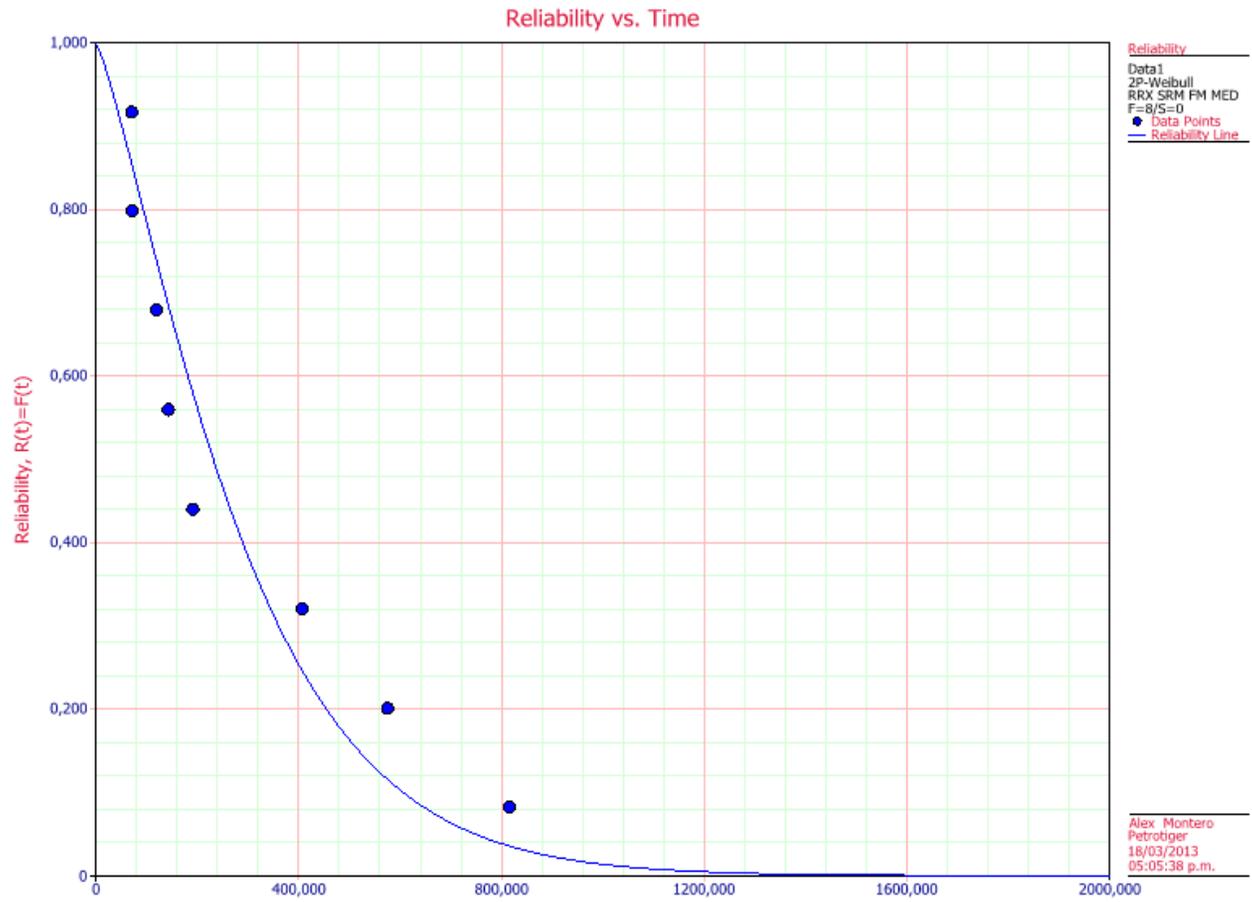
Fuente: Modelamiento software WEIBULL ++ 8

Figura 16. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad CR03



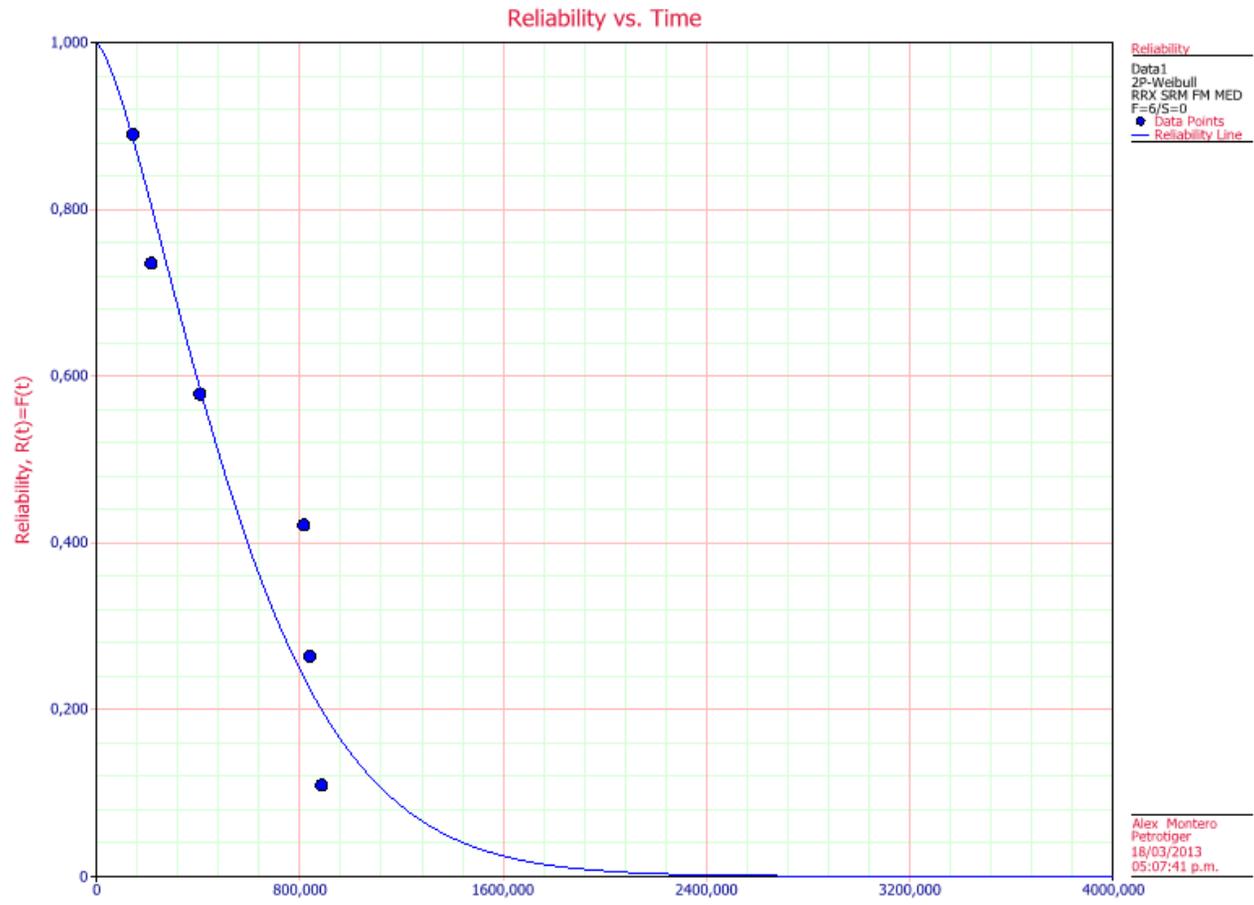
Fuente: Modelamiento software WEIBULL ++ 8

Figura 17. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad L003



Fuente: Modelamiento software WEIBULL ++ 8

Figura 18. Grafica Confiabilidad vs Tiempo Unidad W001



Fuente: Modelamiento software WEIBULL ++ 8

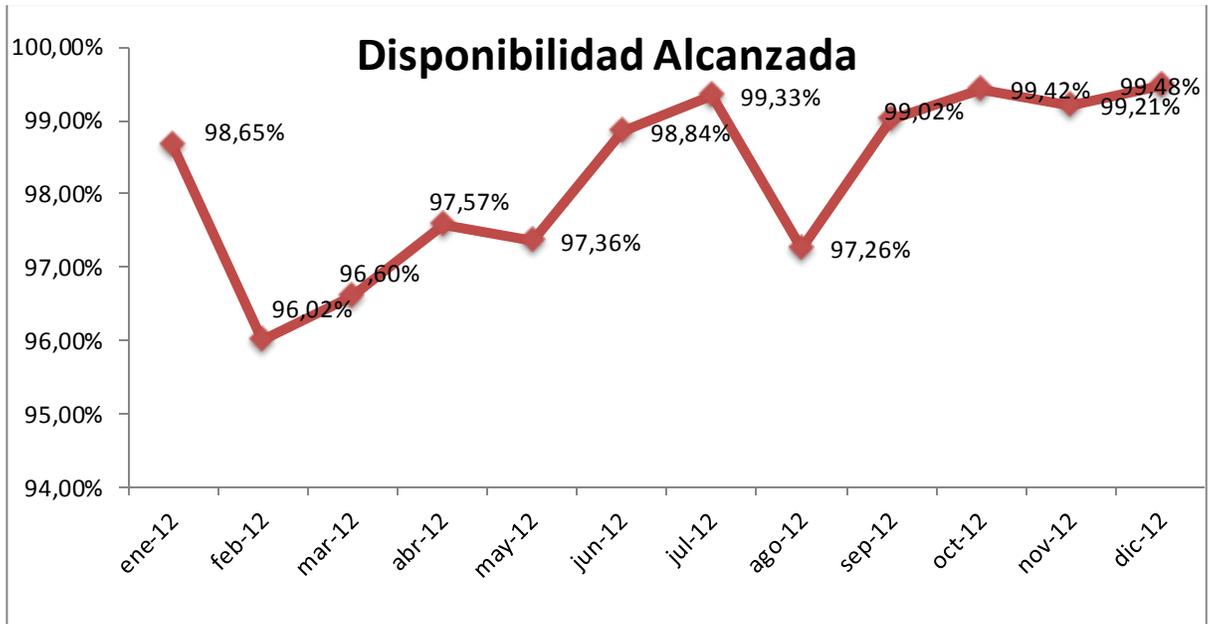
4 ESTRATEGÍAS PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD

4.1 ESTRATEGÍAS PARA UNIDADES BOMBEO MECANICO JAZMIN

Analizando los resultados de estudios observamos que las unidades de bombes mecánico que fueron objeto de estudios presentan una tasa de falla creciente ya que el beta es mayor que 1 en su mayoría, y esto es consecuente con la vida útil que llevan estos equipo dado que tienen más de 10 años de operación en los campo de producción en Mansarovar. La estrategia de mantenimiento adecuada para intervenir estas unidades es la realización de RCM (Mantenimiento Basado en Confiabilidad), en este estado de envejecimiento lo más conveniente para disminuir la tasa de fallas y aumentar el ciclo de vida es la implementación de estos RCM.

El tiempo medio entre falla TMEF promedio de todas las unidades de bombeo fue de 498,1 Horas equivalente a 20 días, esto quiere decir que cada 20 días las unidades de bombeo mecánico están presentando fallas, lo paradójico es que al calcular la disponibilidad alcanzada del proceso de extracción de crudo de campo Jazmin para el mes de Diciembre 2012, el resultado de este valor 99,48% lo cual es un buen indicador a pesar de contar con un corto periodo TMEF, a continuación se presenta la gráfica del comportamiento de la disponibilidad alcanzada mes a mes de campo Jazmin.

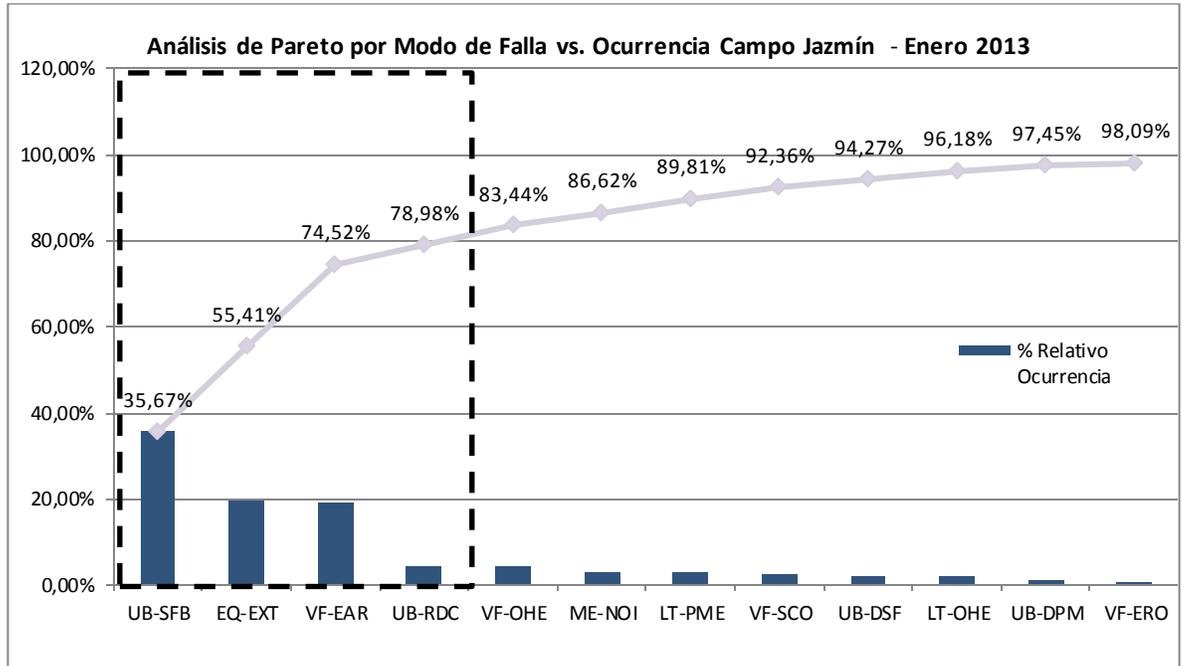
Figura 19. Grafica Disponibilidad alcanzada del 2012 del proceso de Extracción Crudo



Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

La razón fundamental de que se presente este comportamiento de tener una tasa de falla creciente, un MTBF corto de 498,1 Horas y a pesar de tener estos indicadores adversos el comportamiento de las disponibilidad todos estos indicadores adversos se cuenta con una disponibilidad superior al 99%, esto se debe al que el tiempo medio de reparación MTTR en promedio de las unidades de bombeo es de 0,6 Horas, son fallas que se resuelven rápido y no requieren tantas horas hombre para resolverse, se debe identificar cuales fallas que están impactando en la operación de estos equipos, a continuación se presenta los paretos del número de fallas ocurridas durante el mes de Enero 2013.

Figura 20. Grafica Análisis Pareto Modo Fallas vs Ocurrencia Enero 2013



Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Tabla 17. Modos de Fallas Ocurridos Mes de Enero 2013

Modos de Fallas	Ocurrencia	Descripción Modo Fallas
UB-SFB	56	Daño de Stuffing Box
EQ-EXT	31	Falla red eléctrica 13,2 KV
VF-EAR	30	Falla a tierra Variadores Velocidad
UB-RDC	7	Rotura de Correas
VF-OHE	7	Sobre Temperatura Varidores Velocidad
ME-NOI	5	Ruido Motor Electrico

Fuente: Base de Datos Mantenimiento MECL.

Los paretos del estudio arrojan como resultado que las fallas más recurrente son los daños de Stuffing Box, esta falla se presenta por las condiciones operacionales de las unidades bombeo ya que estas por tener un bajo API se le deben inyectar

vapor de agua para bajar la viscosidad del pozo para facilitar el proceso de extracción, la unidad es sometida a cambio de temperatura bruscos los cuales sobrepasan los límites nominales de operación del empaque de Stuffing Box y la unidad entra en fallas, para solucionar la falla se debe cambiar los empaques, este procedimiento dura aproximadamente 30 minutos, lo cual es un tiempo de reparación corto.

Las fallas EQ-EXT están asociadas a los disparos eléctricos en la red de media tensión de 13,2 Kvac, son fallas por caídas de ramas, animales y objetos en la red, o daños de algunos componentes que conforman la red de media tensión como aisladores, pararrayos, etc. Cuando se presenta esta falla su solución es rápida debido que en su mayoría se presenta es un recierre y en cuestión de minutos se restablece el suministro de energía eléctrica por lo que el tiempo de restablecimiento de la función es corto en cuestión de minutos.

Las falla VF-EAR falla a tierra de variadores de frecuencia se presenta por problemas con los componentes electrónicos y paradas cuando la banda de comunicación del cable plano del variador de frecuencia marca DANFOSS cuando se cristaliza el cable y este al entrar en contacto con el chasis del variador produce falla a tierra en el equipo y ocasiona la parada de la unidad de bombeo, esta falla al igual que las otras se solucionan en menos de 30 minutos.

Para solucionar o mitigar las fallas descritas además de la realización de los RCM se deben generar una Análisis de Causa Raíz (RCA) para generar acciones que solucionen las fallas descritas.

5 CONCLUSIONES

Para realizar un mejor análisis de los indicadores de desempeños de la ejecución de mantenimiento además de medir disponibilidad se debe medir la confiabilidad para realizar una mejor medición de los análisis de desempeño, dado que en algunas ocasiones podemos tener equipos con una alta disponibilidad pero con una baja confiabilidad.

Los indicadores de confiabilidad y disponibilidad son una herramienta valiosa para la ingeniería de mantenimiento, debido a que sirven de punto de referencia para saber en qué estado se encuentra el área de mantenimiento en la compañía y permiten mostrar si la gestión que se está realizando tiene el efecto deseado de maximizar la disponibilidad de los equipos.

Se requiere que mejoren en planificación y análisis de fallas, debido a que los equipos se encuentran con una tasa de fallas creciente con un beta mayor que 1, por lo tanto se debe utilizar técnicas como FMECA, RCM, y RCA para una mejora en la gestión de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

GONZALEZ, Isnardo. Seminario IV: Evaluación de la Investigación. En: Postgrado en gerencia de mantenimiento. (2008). Universidad Industrial de Santander.

IRESON, Grant. Reliability Handbook. New York: McGraw Hill, 1966.

LEEMIS, Lawrence. Reliability: Probabilistic models and statistical methods. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

MORA GUTIERREZ, Alberto. Planeación estratégica de alta dirección en empresas de mantenimiento. Revista ACIEM. No. 077 (1995); p. 43 – 47.

MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios. Medellín: AMG, 2005.

MOUBRAY, John. RCM Reliability Centred Maintenance. New York: Industrial Press, 1992.

RAMAKUMAR, Ramachandra. Engineering Reliability, Fundamentals and Applications. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

RAMIREZ, Ramón Alberto, VILLARREAL, Fernando y ACOSTA, Julio. Plan piloto de RCM2 en la empresa Propilco S.A. Cartagena, 2004, 60p. Monografía (Especialista en Gerencia de Mantenimiento). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

TORO OSORIO, Juan y CESPEDES GUTIERREZ, Pedro. Metodología para medir Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad en Mantenimiento. Medellín, 2001,

126p. Tesis (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Facultad de Ingeniería.
Departamento de Ingeniería Mecánica.

WOODHOUSE, John. *Criticality Analysis Revisited*. Newbury: 1994.