



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**"APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA  
CONFIABILIDAD A MOTORES A GAS DE DOS TIEMPOS EN  
POZOS DE ALTA PRODUCCIÓN**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico, que presenta el bachiller:

**Martín Da Costa Burga**

**ASESOR: Ing. Jaime Remigio Collantes Bohórquez**

Lima, agosto del 2010

## RESUMEN

El uso de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC o RCM) contempla no solamente el estudio del equipo como tal sino de los subsistemas que lo conforman y la interacción con el entorno físico que lo rodea.

En esta tesis primero se realizó una adecuada identificación de los problemas que nos dificultan la maximización de la función de los motores a gas de dos tiempos a través del Análisis de modo, fallas, causas y efectos (AMEF).

Al definirse los modos y las causas de las fallas se pudo establecer la criticidad de cada una ellas y el impacto en las metas de producción, mantenimiento, salud y medio ambiente; así como su priorización.

Mediante el desarrollo de a metodología a lo largo del desarrollo del tema se determinaron las siguientes estrategias de mantenimiento para la eliminación de las causas de las fallas identificadas:

- Optimización del mantenimiento preventivo.
- Implementación de mantenimiento predictivo.
- Optimización del cambio sistemático de componentes en función de la frecuencia de las fallas.
- Implementación de inspecciones sensoriales por parte de los operadores.
- Identificación de mejoras en las instalaciones a cargo de Ingeniería de Mantenimiento.
- Identificación de repuestos críticos.

Como resultado de la aplicación de la metodología se espera lograr incrementar la vida útil de los componentes de los equipos, así como la disponibilidad de los mismos al disminuir las fallas y sus consecuencias, incrementando así, las ventas por la recuperación de petróleo crudo a un menor costo de mantenimiento.



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TÍTULO** : **APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD A MOTORES A GAS DE DOS TIEMPOS EN POZOS DE ALTA PRODUCCIÓN**

**ÁREA** : Producción # 39

**PROPUESTO POR** : Ing. Jaime Collantes Bohórquez

**ASESOR** : Ing. Jaime Collantes Bohórquez

**TESISTA** : Martín Da Costa Burga

**CÓDIGO** : 1997.0063

**FECHA** : 24 de noviembre de 2005



**DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:**

El uso de motores a gas de dos tiempos para la extracción y producción de hidrocarburos por medio de bombeo mecánico, ha sido una herramienta importante dentro de la operación en lotes petroleros que no poseen alimentación eléctrica, o que por su geografía ésta se dificulta.

Hay que tener en cuenta las ventajas que posee, siendo las más destacadas, la generación de altos torques de operación a bajas revoluciones; así como el casi nulo costo que resulta la alimentación de combustible, obtenido del propio proceso de extracción y de las baterías de separación de crudo. Y a su vez para su detrimento se suman las desventajas del alto costo de inversión de compra, instalación y mantenimiento.

Finalmente el desarrollo de este trabajo radica en este último punto, la importancia del mantenimiento y el empleo de nuevas tendencias que optimicen su funcionamiento en el incremento de la confiabilidad inherente de los motores de combustión interna de dos tiempos que operan en lotes petroleros después de haberseles efectuado mantenimiento mayor. Aplicación práctica del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA  
CONFIABILIDAD A MOTORES A GAS DE DOS TIEMPOS EN  
POZOS DE ALTA PRODUCCIÓN**

Introducción

Resumen

1. El problema de investigación
2. Fundamentos teóricos del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad - MCC
3. Aplicación del MCC a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción
4. Presentación de resultados

Conclusiones

Recomendaciones

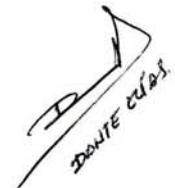
Referencias

Anexos

*Máximo: 100 páginas*



Ing. Jaime Collantes Bohórquez  
Asesor



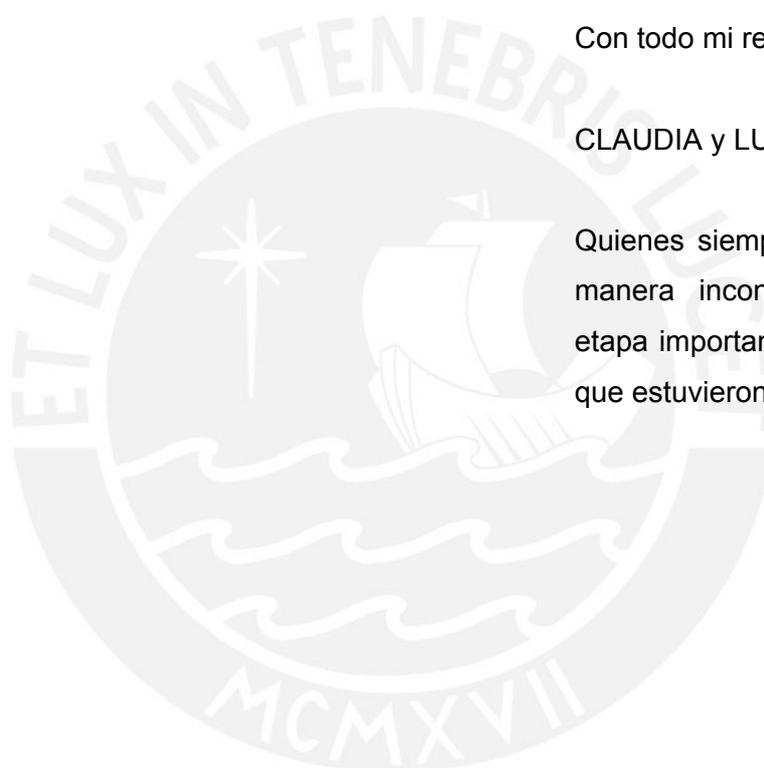
2017/05/01

## DEDICATORIA

Con todo mi respeto y amor:

CLAUDIA y LUZ

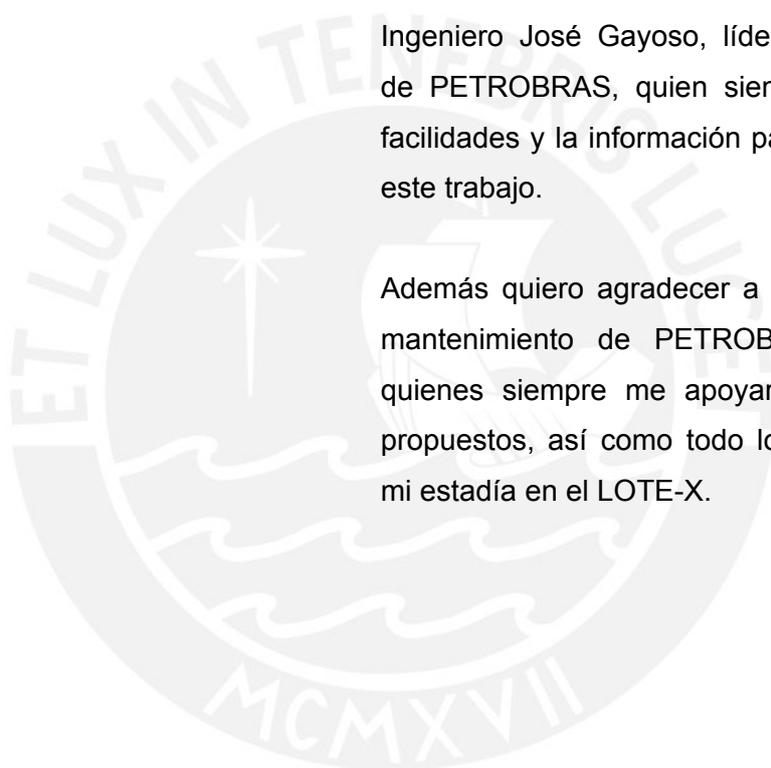
Quienes siempre me apoyaron de manera incondicional en cada etapa importante de mi vida en las que estuvieron presente.



### AGRADECIMIENTO:

Quiero brindar mi más sincero agradecimiento al Ingeniero José Gayoso, líder de mantenimiento de PETROBRAS, quien siempre me brindó las facilidades y la información para la realización de este trabajo.

Además quiero agradecer a todo el personal de mantenimiento de PETROBRAS y SKANSKA quienes siempre me apoyaron en los trabajos propuestos, así como todo lo aprendido durante mi estadía en el LOTE-X.



## INDICE

TEMA	PÁGINA
Introducción	4
<b>1. El problema de investigación.</b>	<b>5</b>
1.1 Generalidades.	5
1.2 Descripción del problema.	16
1.3 Enunciado del problema.	17
1.4 Delimitación del problema.	17
1.5 Justificación e importancia del trabajo.	18
1.6 Objetivos del trabajo de investigación.	19
<b>2. Fundamentos teóricos del Mantenimiento</b>	
<b>Centrado en la Confiabilidad- MCC.</b>	<b>20</b>
2.1 Antecedentes del empelo del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.	20
2.2 Fundamento teórico.	21
2.3 Modelos probabilísticos.	36
<b>3. Aplicación del MCC a motores a gas de dos</b>	
<b>tiempos en pozos de alta producción.</b>	<b>45</b>
3.1 Definición del contexto operacional.	45
3.2 Elaboración del análisis de fallas, y criticidad de los motores de dos tiempos.	46
3.3 Ejecución del análisis de la vida útil de los motores a gas de dos tiempos.	58
3.4 Diagrama de decisiones.	61
<b>4. Presentación de Resultados.</b>	<b>66</b>
4.1 Resultados del AMEF	66
4.2 Resultados del análisis de criticidad de Componentes.	71
4.3 Resultado de la aplicación del método gráfico a los motores tipo A.	72
4.4 Hojas de información.	73
4.5 Resultado de la elaboración de la hoja de decisiones.	76

<b>5. Conclusiones y recomendaciones.</b>	86
5.1 Conclusiones.	86
5.2 Recomendaciones.	87
<b>Bibliografía.</b>	89
<b>Anexos</b>	



## INTRODUCCION

La ingeniería de mantenimiento ha evolucionado desde sus inicios sufriendo grandes cambios a lo largo del desarrollo industrial a través del tiempo; proviniendo desde una cultura reactiva de preservación de la integridad del activo enfocado en la atención de correctivos, hasta convertirse en uno de los pilares estratégicos de los negocios mostrándose como una inversión que en corto, mediano o largo plazo implicarán una rentabilidad financiera mayor al optimizar la condición de los activos garantizando así un incremento en la producción de bienes o servicios reduciendo los costos fijos existentes.

Es debido a este nuevo concepto que actualmente Ingeniería de Mantenimiento es uno de los pilares en los que se basa la estrategia del negocio cambiando paradigmas y conceptos que nos permitirán llegar a grandes innovaciones.

El dejar de lado esta visión moderna del mantenimiento es poner en riesgo y atentar contra los objetivos del negocio, pudiendo de alguna manera generar pérdidas incalculables o finalmente llevar a la quiebra a la empresa y a la pérdida del empleo.

Es por ello que el desarrollo del presente proyecto tiene como objetivo presentar una metodología diseñada para disminuir las posibles fallas existentes de los equipos y sistemas incrementando su disponibilidad y confiabilidad.

## CAPITULO 1

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 GENERALIDADES

El uso de motores a gas de dos tiempos para la extracción y producción de hidrocarburos por medio de bombeo mecánico, ha sido una herramienta importante dentro de la operación en lotes petroleros que no poseen alimentación eléctrica, o que por su geografía ésta se dificulta.

Para la aplicación de motores a gas en zonas de explotación petrolífera se debe de tener en cuenta las ventajas que posee, siendo las mas destacadas, la generación de altos torques de operación a bajas revoluciones; así como el casi nulo costo que resulta la alimentación de combustible, obtenido del propio proceso de extracción y de las baterías de separación de crudo. Y a su vez para su detrimento se suman las desventajas del alto costo de inversión de compra, instalación y mantenimiento.

El desarrollo de este trabajo radica en este último punto, la importancia del mantenimiento y el empleo de nuevas tendencias que optimicen su funcionamiento en el incremento de la confiabilidad inherente de los motores de combustión interna de dos tiempos que operan en lotes petroleros después de haberseles efectuado mantenimiento mayor.

##### 1.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA SELECCIÓN DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA A GAS QUE TRABAJAN EN EQUIPOS DE EXTRACCIÓN DE CRUDO.

Los motores de combustión interna a gas son una de las partes principales de una instalación de unidades de bombeo mecánico, por tanto su selección es parte importante durante su diseño; para lo cual se consideran todas las características mecánicas e hidráulicas existentes.

Petróleos del Perú S.A. determina la potencia de los motores de combustión interna de dos tiempos de acuerdo a un procedimiento estandarizado en el manual de diseño de unidades de bombeo.

Debido a que el método para calcular tales cargas requiere de un cierto número de suposiciones, se necesitan tener varias alternativas antes de llegar a una solución definitiva, empleándose softwares que permitan simular dichas condiciones iterativas.

### 1.1.1.1 CÁLCULO DE POTENCIA.

Luego de haberse determinado las cargas, la potencia de los motores de combustión interna se puede determinar mediante dos procedimientos:

#### a. Por medio de las características hidráulicas.

Determinese la potencia (HP) hidráulica teórica multiplicando la razón de la producción de barriles por día (PD) por la elevación total (profundidad de ubicación de la bomba o Depth, expresada en pies de profundidad del pozo) y divídase este producto por la constante 136000. Adicionalmente debido a las características de fricción del sistema de tuberías se ha considerado un factor de 40% para motores de combustión interna de bajas revoluciones de acuerdo a la siguiente relación [LUFKIN, 2002].

$$P_t = \frac{PD \times \text{Depth}}{136000 \times 0.4} \quad \text{HP} \quad (1.1)$$

#### b. Por medio de las características de diseño.

Inicialmente determinese el torque del motor en Lb-pie en función de las características de diseño de la instalación, multiplíquese el Torque máximo de la unidad de bombeo ( $T_{AIB}$ ) por el número de desplazamiento lineal del émbolo por minuto (SPM, strokes per minute) de la misma; para luego ser dividida entre la velocidad de giro (RPM) y la constante 12. Luego se obtiene la potencia del motor en HP por medio del producto del torque del motor y la velocidad de giro (RPM) y finalmente divídase por la constante 5252 [LUFKIN, 2002].

$$T_m = \frac{T_{AIB} \times \text{SPM}}{12 \times \text{RPM}} \quad \text{Lb-pie} \quad (1.2)$$

$$P_t = \frac{T_{AIB} \times \text{RPM}}{5252} \quad \text{HP} \quad (1.3)$$

Luego de calculada la potencia del motor para ambos casos se emplea las curvas de motor, donde se selecciona a su vez en función del torque y la velocidad [ARROW, 2005]. Ver gráfico 1

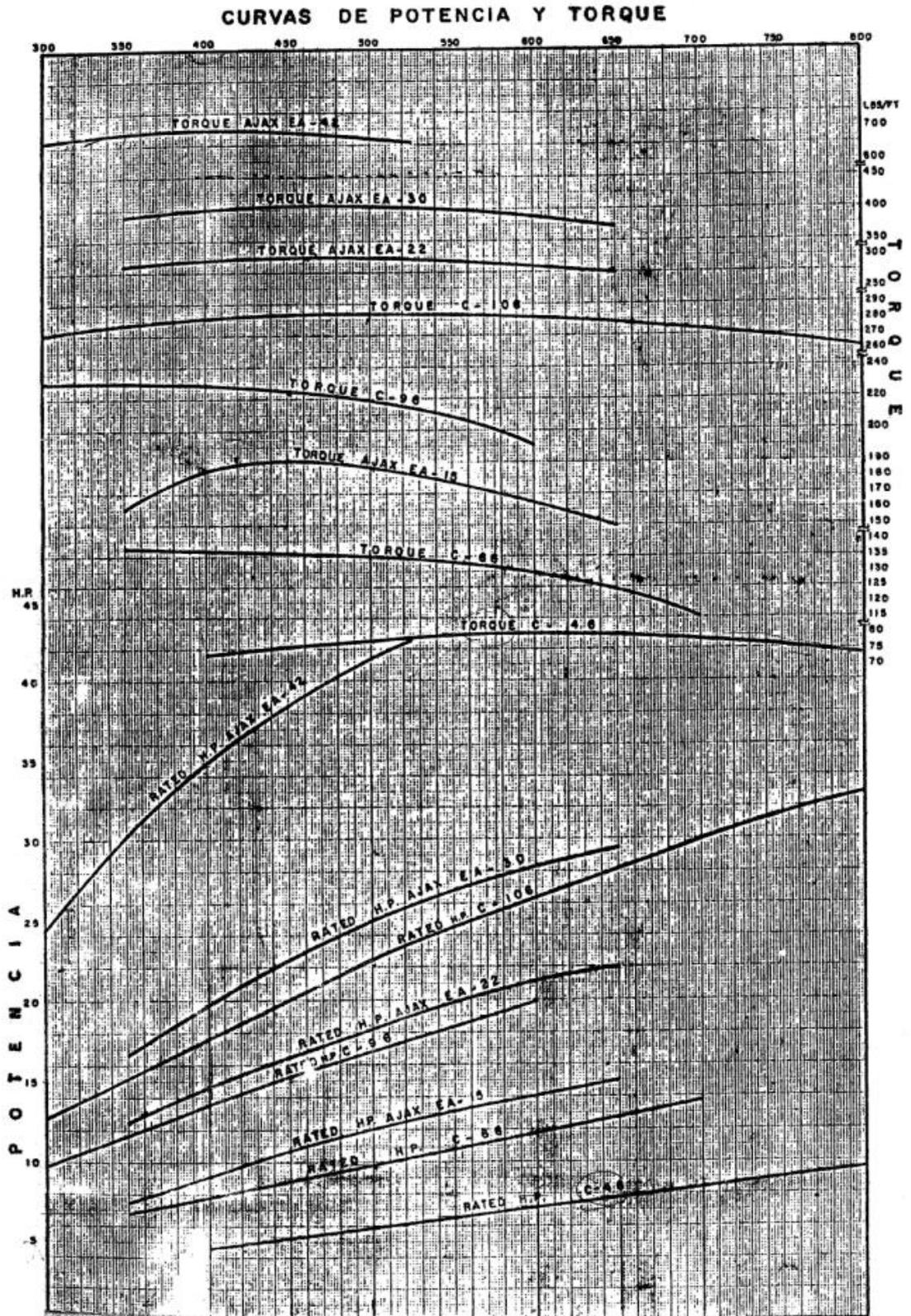


Gráfico 1. Tabla característica de motores de combustión interna.

## 1.1.2 LA *DIFERIDA* COMO VISUALIZADOR DE LA PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN.

### 1.1.2.1 QUÉ ES LA *DIFERIDA* DE MANTENIMIENTO Y LAS FORMAS DE MEDICIÓN EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA.

Para cualquier sistema de producción que mantienen un programa de gestión de calidad, se necesitan variables de medición que nos permitan cuantificar las deficiencias existentes que revelarán el estado real de nuestro entorno productivo, para las empresa del rubro de hidrocarburos uno de los principales indicadores de mantenimiento es la producción diferida o Down time.

Definiremos a la producción *diferida*, como “el valor de producción de programado que no se pudo completar debido factores externos que afectaron su consecución”, dicha pérdida se ve claramente reflejada en función de los costos de venta en el mercado del crudo en la actualidad.

Por tanto; la *diferida* de mantenimiento es el valor de producción programada que no se pudo completar debido a problemas de mantenimiento de equipos y/o sistemas.

Las empresas petroleras y para este caso la información obtenida de los controles diarios de una empresa transnacional que opera en el norte del Perú, subdivide los rubros de diferida en función de los equipos existentes, y a su vez las causas de diferidas también han sido subdivididos en función de las fallas mas características de los equipos y sistemas, tanto para problemas de producción como para los problemas de mantenimiento.

Para las aplicaciones del desarrollo de este trabajo de investigación no se emplearán los criterios de mantenimiento preventivo de motor ya que es una tarea programada del equipo, ni el de razones climáticas; ya que no representan una falla inherente al desgaste de los equipos a estudiar.

### 1.1.2.2 LA CONTAMINACIÓN OCASIONADA COMO INDICADOR DEL ESTADO DEL MANTENIMIENTO DE MOTORES A GAS.

Actualmente, los MCI producen cerca del 85% de la energía que se consume en la tierra. Los gases de escape que contienen sustancias tóxicas representan uno de los factores más peligrosos de polución del medio ambiente.

La composición y la proporción de los componentes tóxicos dependen de los factores estructurales, de regulación, regímenes de trabajo, del estado técnico. Finalmente estos factores pueden resumirse en el grado de

perfección del funcionamiento, el cual se puede obtener mediante un correcto plan de mantenimiento, que si bien no nos permitirá la reducción total de las emanaciones; nos permitirá obtener una menor cantidad de productos tóxicos que se liberarán al medio ambiente [PATRAKHALTSEV, 1993].

#### 1.1.2.2.1 FUENTES DE EMISIONES TÓXICAS DE LOS MCI

En general los gases de escape de los motores representan una mezcla heterogénea de sustancias diferentes con diversas propiedades físicas y químicas, compuesta por un 99% de los productos de la combustión completa y del exceso de aire. Cerca de un 1% de los gases de escape contiene mas de 300 sustancias, de la cuales la mayoría es tóxica.

De un modo general, en los MCI existen varias fuentes de emisiones tóxicas de las cuales las principales son: los gases de combustible, los gases del cárter y los gases de escape.

- a) **Los gases de combustible:** para el caso de motores a gas la alimentación de los mismos se producen por alimentación directa del pozo o por medio del gas separado en las baterías de producción; para este caso en particular el tipo de contaminación se produce por el venteo a la atmósfera de este hidrocarburo o por la presencia de fugas en las líneas de alimentación.
- b) **Los gases del cárter:** representan una mezcla gaseosa de productos de combustión y de la combustión incompleta de hidrocarburos que, por las holguras entre los anillos del émbolo y los cilindros así como los vapores de aceite que se encuentran en el cárter. La toxicidad máxima de los gases del cárter es 10 veces inferior a los gases de escape.
- c) **Los gases de escape:** que es fuente principal de emisiones tóxicas, vienen a ser una mezcla de productos gaseosos resultantes de la combustión, así como del exceso de aire y de otros elementos en cantidades microscópicas, tanto líquidos como sólidos que vienen del cilindro del motor al sistema de escape.

Los componentes tóxicos principales de los gases de escape de los motores son el monóxido de carbono y los óxidos nitrosos. Además de los gases de escapes se encuentran presentes hidrocarburos saturados y no saturados, aldehídos, sustancias cancerígenas, hollín y otros componentes [PATRAKHALTSEV, 1993].

#### 1.1.2.2.2 COMPOSICIÓN DE LAS EMISIONES TÓXICAS

Las emisiones tóxicas se clasifican en reglamentadas y no reglamentadas. Su acción sobre el organismo es diferente: desde sensaciones desagradables hasta enfermedades graves, incluyendo el cáncer; en concentraciones considerables pueden tener efecto letal.

Las principales emanaciones tóxicas son:

- **Monóxido de carbono:** Producto de la combustión incompleta del combustible. Se forma como consecuencia de la mala mezcla aire combustible en el interior del cilindro.
- **Óxidos de nitrógeno:** representa a los componentes más tóxicos del gas de escape, se considera 10 veces más peligrosos que el monóxido de carbono.
- **Hidrocarburos:** resultado de la combustión incompleta, expelidos con los gases de escape, representan la mezcla de varios compuestos químicos de olor desagradable. Las emisiones de  $C_xH_y$  causan muchas enfermedades crónicas.
- **Humo:** mezcla de hollín partículas sólidas, vapor, gotas minúsculas de agua y aceite y de otros aerosoles.

El humo blanco es causado por el encendido del motor en frío; y el humo azul por la combustión de aceite lubricante, particularmente en los motores de dos tiempo (equipo de estudio en esta tesis), también a este tipo de humo se le conoce como “humo de aceite”.

- **Hollín:** se forma por diversos factores que son, la temperatura y la presión en la cámara de combustión, el tipo de combustible, la proporción entre aire y combustible y las particularidades estructurales del motor. El hollín es uno de los causantes de detonaciones en los MCI [PATRAKHALTSEV, 1993].

#### 1.1.3 INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO, FILOSOFÍAS Y HERRAMIENTAS DE OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO Y CALIDAD.

La ingeniería de mantenimiento es el conjunto de actividades que permiten que la confiabilidad sea incrementada y la disponibilidad sea garantizada. El objetivo de la ingeniería de mantenimiento es la reducción de las intervenciones de reparación y de

la convivencia con problemas crónicos, a través de la mejora continua de los controles y sistemas.

La ingeniería de mantenimiento, conocida en algunas empresas como “Métodos de Mantenimiento”, tiene un papel importante para el desarrollo técnico del mantenimiento industrial. Cabe a ella la elección de las herramientas para la actualización técnica de los sistemas y procesos, equipos y personal de mantenimiento. La misión de la ingeniería de mantenimiento es promover los progresos técnicos del mantenimiento, a través de la gestión de herramientas que proporcionan la mejora de su desempeño; es una adecuación de los equipos e instalaciones a las condiciones de operación a las cuales serán exigidos.

La ingeniería de mantenimiento es el mantenimiento basado en el conocimiento, a través de un trabajo sistemático para eliminar las causas de las fallas, y poder alcanzar un nivel de mantenimiento de clase mundial.

#### **1.1.3.1 PRINCIPALES FILOSOFÍAS Y HERRAMIENTAS DE DESARROLLO DEL MANTENIMIENTO Y CALIDAD.**

A continuación se muestra un resumen de las más importantes filosofías y herramientas de mantenimiento empleadas a nivel industrial en la actualidad.

##### **1.1.3.1.1 MRP METODOLOGÍA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS.**

Es la metodología para analizar la solución de problemas basado en reuniones grupales multidisciplinarias dentro de las empresas, adoptando el ciclo de calidad P.D.C.A. (Plan-Do-Check-Act).

La metodología contempla las siguientes fases:

- a) Identificación.
- b) Observación.
- c) Análisis.
- d) Plano de acción.
- e) Implementación.
- f) Verificación.
- g) Estandarización
- h) Verificación del estándar.

La metodología de análisis y resolución de problemas es un procedimiento que puede ser usado tanto para la solución de problemas, así como para promover los procesos de mejora dentro de las empresas.

Solucionar un problema es mejorar los malos resultados hasta un nivel razonable. La relación de causa efecto es analizada con bastante precisión.

El ataque del problema debe ser planeado e implementado de manera que pueda impedir la reaparición de los factores causantes del problema.

Emplea como herramienta la ejecución de la lista de comprobación, como se muestra en el siguiente cuadro:

¿Qué?	¿Cuál es el problema? ¿Qué se ha observado?
¿Quién?	¿Quién interviene en el problema? ¿Quién está antes o después del problema en el flujo de trabajo?
¿Dónde?	¿Dónde se manifiesta? ¿Dónde se origina?
¿Cuándo?	¿En qué ocasión aparece? ¿En qué momentos y por cuánto tiempo?
¿Cómo?	¿Cómo se manifiesta? ¿Con cuánta frecuencia ocurre? ¿Cuál es la importancia del problema? ¿Cuál es la importancia en tiempo perdido? ¿Cuál es la importancia en costos? ¿Cuál es la importancia en cuanto a la frecuencia?
¿Por qué?	¿Por qué ocurre el problema? <b>Pregunta clave que se debe responder.</b>

Cuadro 1.Herramienta de solución de problemas

**1.1.3.1.2 ACR ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ.**

Es una herramienta utilizada para identificar las causas que originan fallos o problemas, las cuales al ser corregidas evitarán la ocurrencia de los mismos.

Es una técnica de identificación de causas fundamentales que conducen a fallos recurrentes. Las causas identificadas son causas lógicas y su efecto relacionado, es importante mencionar que es un análisis deductivo, el cuál identifica la relación causal que conduce al sistema, equipo o componente a un fallo. Se utiliza una gran variedad de técnicas y su selección depende del tipo de problema, disponibilidad de la data y conocimiento de las técnicas: análisis causa-efecto, árbol de fallo, diagrama espina de pescado, análisis de cambio, análisis de barreras y eventos y análisis de factores causales.

En el siguiente gráfico se muestra la elaboración de un diagrama de espina de pescado para la identificación de las causas raíz [PASCUAL, 2002].

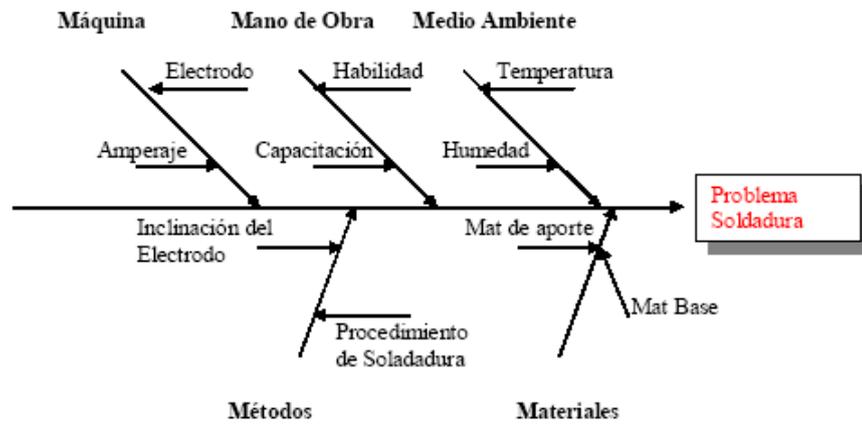


Gráfico 2. Diagrama de espina de pescado.

### 1.1.3.1.3 IBR INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO.

Esta metodología tiene como fundamento lo establecido en el documento del Instituto Americano del Petróleo API RP-580 “Inspección Basada en Riesgo”, el cual define el proceso para desarrollar una evaluación de riesgo, cuyo fin principal es el de obtener un Plan de Inspección, enfocado a los equipos que representan un mayor nivel de riesgo para la seguridad de la instalación.

La metodología del IBR se define como un proceso de evaluación y administración de riesgo enfocado en los modos de falla o mecanismos de daño específico aplicable a equipos estáticos de una planta de procesos. El riesgo puede ser controlado a través de la inspección, esto es, la IBR permite desarrollar planes de inspección que enfocan su atención en los equipos de alto riesgo básicamente, circuitos de tubería, recipientes a presión, tanques, intercambiadores de calor, etc., sin descuidar los equipos con menor contribución al riesgo de la instalación. Así mismo, es evaluada la contribución de cada componente al nivel de riesgo global de la planta.

El nivel de riesgo es determinado de acuerdo con la ecuación:

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Consecuencia}$$

### 1.1.3.1.4 MBC MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN.

O mantenimiento predictivo, este tipo de mantenimiento consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir fallas o evitar las consecuencias de las mismas según condición.

Incluye las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetivas (con los sentidos), como la reparación por defectos.

Los principales objetivos son:

1. Reducir el impacto de los procedimientos preventivos en el resultado de la operación.
2. Eliminación de desmontajes y montajes innecesarios para la inspección.
3. Impedir la propagación de daños.
4. Maximizar la vida útil total de los componentes de los equipos.

#### 1.1.3.1.5 OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PMO).

La optimización del programa preventivo se debe basar en un plan técnico de mantenimiento, seguido de una evaluación económica que resulta en un plan de mantenimiento optimizado (PMO).

El proceso del PMO consta de nueve pasos, los cuales son los siguientes.

1. Compilación de Tareas
2. Análisis de los Modos de Fallo
3. Racionalización y Revisión de los Modos de Fallo
4. Análisis Funcional (Opcional)
5. Evaluación de Consecuencias
6. Determinación de la Política de Mantenimiento
7. Agrupación y Revisión
8. Aprobación e Implementación
9. Programa de Vida

Se debe notar que en una asignación completa del PMO, se necesita tener algún proceso de clasificación de sistemas. Esto puede hacerse al revisar la jerarquía de los equipos y subdividirlos en sistemas apropiados para el análisis. Habiendo hecho esto, la importancia de cada uno de los sistemas de los equipos identificados es evaluada en términos de su contribución a los objetivos estratégicos de la organización que lo implementará.

Los sistemas de alta importancia tienden a ser aquellos que tendrán un impacto de los modos siguientes:

- Que tengan un alto riesgo percibido en términos de alcanzar objetivos comerciales, de seguridad o ambientales.
- Que tengan un impacto significativo sobre el rendimiento de la planta, los costos operativos o de mantenimiento.
- Que estén consumiendo trabajo de modo excesivo para operar y mantenerse.

### 1.1.3.1.6 TPM MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) se puede definir como una filosofía para mejorar la efectividad global de los equipos, con la participación activa de los operadores”.

El concepto total considera la efectividad económica total con la participación de todo el personal.

El TPM se ha implementó originalmente en Japón (1971). Envuelve el concepto de mirar la empresa como un todo, lo que lleva a descentralizar las actividades, por ejemplo, el personal de producción es incluido en las tareas de mantenimiento.

El objetivo inmediato del TPM es la "eliminación total de las pérdidas de producción": obtención de cero pérdidas de producción implica cero fallas y cero defectos de calidad. Ello mejora la efectividad del equipo, se reducen los costos y se incrementa la productividad.

EL TPM promueve la idea de que los sistemas productivos son combinaciones de hombres y máquinas (sistemas hombre-máquina) que deben ser optimizados como conjunto, al mínimo costo.

Las bases del TPM se describen en el siguiente gráfico:

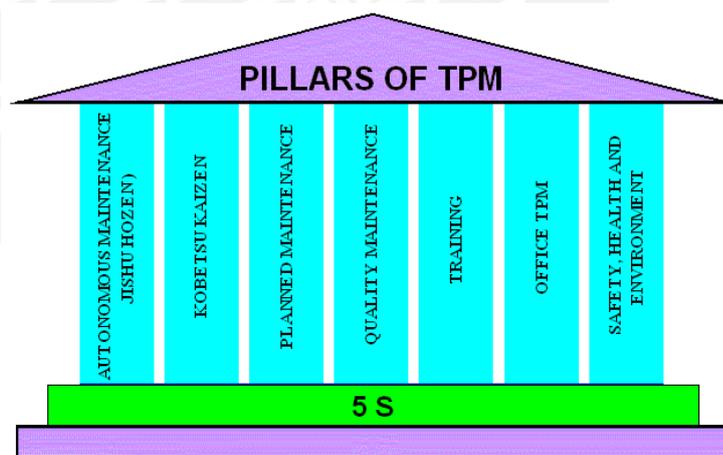


Gráfico 3. Pilares del TPM

### 1.1.3.1.7 MCC- MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) es un proceso usado para determinar sistemática y científicamente que debe ser hecho para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan. Ampliamente reconocido por los profesionales del mantenimiento como la forma más "costo-eficaz" de desarrollar estrategias

de mantenimiento de clase mundial, RCM o MCC lleva las mejoras rápidas sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de planta, calidad de producto, seguridad e integridad ambiental.

## 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 La instalación de motores de combustión interna se encuentra ubicada en la zona del Lote X, Distrito El Alto, Departamento de Piura (Perú). Este lote es de tipo marginal y es explotado por la empresa PETROBRAS ENERGIA PERU S.A.; en la actualidad existen instalados aproximadamente 320 motores, los cuales se encuentran distribuidos en toda la superficie del lote.

1.2.2 La finalidad de los motores de combustión interna es la de transmitir la potencia y torque necesarios para la activación de las unidades de bombeo mecánico para la extracción del crudo; pero se debe tener en cuenta que estos equipos trabajan en simultaneo por turnos establecidos en función de las características de los pozos; es decir trabajan las 24 horas del día pero no producen durante todo el tiempo de operación.

1.2.3 En el periodo enero-noviembre 2005, por el rubro de motores a gas se obtuvo una diferida total de 3498.16 Barriles de crudo (BLS), para el caso de motores de dos tiempo en pozos alta producción se tuvo una diferida de 1037.29 BLS significando 29.65% de la diferida total, al costo del petróleo del mercado mundial en ese periodo de US\$ 65.00 significó una pérdida de US\$ 67423.85 por costo de producción diferida.

1.2.4 Los tipos de motores empleados en el lote son los siguientes:

- Motor monocilíndrico de dos tiempos marca AJAX.
- Motor monocilíndrico de cuatro tiempos marca ARROW.
- Motor de 8 cilindros de cuatro tiempos marca WAUKESHA.

1.2.5 Los mantenimientos preventivos en el Lote X se realizan cada 4 meses para los motores AJAX y ARROW; y cada 2 meses para los motores WAUKESHA.

1.2.6 Actualmente al no contarse con motores nuevos para la instalación en los distintos tipos de pozos, se procede a la reparación mayor sistemática de ellos, sin complementar las características totales de un Overhaul por el alto costo que

involucra (al llegar a este punto es más conveniente el cambio de los motores por unidades nuevas). Dichos mantenimientos mayores de los motores se ejecutan cada 3 años.

1.2.7 Actualmente los motores instalados se encuentran subdivididos en su aplicación para los tres tipos de pozos de explotación de lote, definiéndose como:

- Pozos tipo A pozos de alta producción.
- Pozos tipo B pozos de media producción.
- Pozos tipo C pozos de baja producción.

1.2.8 Los pozos tipo A son de clasificación crítica y por tanto es necesario que su confiabilidad sea la mayor posible, y a su vez se suma que la mayor cantidad de motores que lo integran son los motores monocilíndricos de dos tiempos AJAX.

1.2.9 No existen cálculos de las características de la vida útil de los motores de combustión interna, así como tampoco los índices de confiabilidad de los mismos.

1.2.10 Muchos de estos problemas de mantenimiento, se hubieran podido minimizar o eliminar, si se ejecutara una adecuada estrategia de mantenimiento, un plan de mantenimiento que identifique las fallas más comunes y el modo de solucionarlas efectivamente.

### 1.3 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Luego de haber descrito brevemente la situación actual de los motores a gas monocilíndricos de dos tiempos AJAX que trabajan en pozos de alta producción, procedemos a formular el problema, del siguiente modo:

¿Es posible calcular y mejorar los parámetros de confiabilidad que afectan a los motores de dos tiempos que funcionan en pozos de alta producción, con la aplicación del MCC?

### 1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En la presente investigación encontramos las limitaciones siguientes:

**A.-TEORICA.-** Durante el proceso de investigación, se utilizarán las teorías, vocabulario y enfoques teóricos propios de CONFIABILIDAD y MCC, así como los relacionados con el proceso operacional de motores de combustión interna, para tal efecto emplearemos los libros, revistas especializados, normas, artículos científicos y otras fuentes documentales para resolver mejor el problema.

**B.-TEMPORAL.-** El estudio de tipo longitudinal, es decir la ejecución de la investigación es relativamente corta y durante la cual se conoce las variaciones desde el inicio hasta la culminación. El estudio se inicia en septiembre del 2005 y culmina en marzo del 2006.

**C.-ESPACIAL.-** Nuestra unidad de análisis son los motores de combustión interna de dos tiempos, marca AJAX, modelos EA 15, EA 22, EA 30 y EA 42 , instalados en el lote X, de PETROBRAS ENERGIA PERU S.A., con lo cual los resultados de nuestro estudio se limitan a las características propias de este tipo de motores.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL TRABAJO

### 1.5.1 En el aspecto del Mantenimiento

- a) Optimizar el tiempo de vida útil de los motores de dos tiempos.
- b) Optimizar los planes de mantenimiento.
- c) Elimina las fallas de mantenimiento que son crónicas.
- d) Disminuir las paradas no programadas.
- e) Los resultados permiten establecer programas más eficaces de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo y la frecuencia correspondiente.
- f) La poca difusión del MCC como filosofía y herramienta de mantenimiento en la industria nacional.

### 1.5.2 En el aspecto de costos

- a) Optimización de los costos de mantenimiento programado.
- b) Optimización de los costos de mantenimiento no programado.
- c) Mejora la administración de contratos por servicios de mantenimiento.
- d) Reducción de pérdidas de producción causada por producción diferida.

### 1.5.3 En el aspecto de Seguridad y Normalización

- a) Fomenta Seguridad operacional y la protección e integridad ambiental, porque son prioritarios.

- b) Para la aplicación de esta metodología se han tenido en cuenta los alcances de las normas OSHAS 18001 y la ISO 14000 en lo referente a seguridad ocupacional y medio ambiente.
- c) Ayuda al proceso de normalización (ISO 9000), estableciendo procedimientos claros y efectivos de trabajo y de registro de las labores de mantenimiento.

## 1.6 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivos los siguientes:

- a) Calcular e identificar los valores numéricos de los parámetros característicos de los motores de combustión interna de dos tiempos, determinando así la etapa de la vida útil en que se encuentra cada equipo.
- b) Evaluar las condiciones de vida útil y la confiabilidad de los motores de dos tiempos desde su puesta en marcha hasta el 30 de noviembre del 2005 (fecha final del registro de la data), tanto de manera individual como del sistema, con la finalidad de realizar las mejoras de los mantenimientos preventivos y correctivos
- c) Alcanzar la relación de subsistemas y partes críticas de los motores de dos tiempos, para realizar una mejor programación de la logística de repuestos y partes.
- d) Disminución del promedio anual de días de parada no programada.

## CAPITULO 2

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

#### 2.1 ANTECEDENTES DEL EMPLEO DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad fue desarrollado en un principio por la industria de la aviación comercial de los Estados Unidos, en cooperación con entidades gubernamentales como la NASA y privadas como la Boeing (constructor de aviones). Desde 1974, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, ha usado el MCC, como filosofía de mantenimiento de sus sistemas militares aéreos. El éxito del MCC en el sector de la aviación, ha hecho que otros sectores tales como la generación de energía (plantas nucleares y centrales termoeléctricas), petroleras, químicas, gas, refinación e industria de manufactura, se interesen en implantar esta filosofía de gestión de mantenimiento, adecuándola a sus necesidades de operación, a este tipo de adaptación a la rama industrial se le conoce como MCC 2 [AMÉNDOLA, 2002].

Un aspecto favorable de la filosofía del MCC, es que la misma promueve el uso de las nuevas tecnologías desarrolladas para el campo del mantenimiento. La aplicación adecuada de las nuevas técnicas de mantenimiento bajo el enfoque del MCC, nos permiten de forma eficiente, optimizar los procesos de producción y disminuir al máximo los posibles riesgos sobre la seguridad personal y el ambiente, que traen consigo los fallos de los activos en un contexto operacional específico.

El MCC es también un nuevo método para el planeamiento del mantenimiento que hace uso de las diversas técnicas de mantenimiento existentes, mas exige que las prácticas comunes de mantenimiento preventivo sean modificadas.

La metodología del MCC se basa en conceptos de la confiabilidad:

- Preservación de las funciones operacionales del sistema.
- Análisis sistemático de los modos de falla que pueden llevar al sistema a dejar cumplir con las funciones operativas.
- Aplicación de la técnica de Análisis de los Modos de Falla y Efectos-AMFE y del Árbol lógico de decisiones.
- Análisis de las consecuencias de las fallas.
- Definición de los tipos de intervenciones de mantenimiento más eficaces.
- Selección de acciones para la eliminación o disminución de las fallas y sus consecuencias.

El análisis efectuado por este proceso puede minimizar los costos de mantenimiento con el aumento de la disponibilidad, indicando, por ejemplo cuando la mejor solución y dejar ocurrir una falla y ejecutar una actividad de mantenimiento correctivo, o implantar una actividad preventiva.

## 2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.2.1 LA EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

#### 2.2.1.1 PARADIGMAS DEL MANTENIMIENTO

Tradicionalmente el mantenimiento poseía las siguientes características:

- Prescripción de legislación y estándares.
- Recomendación de vendedores.
- Experiencias prácticas previas.
- Uso de nuevas tecnologías sólo por el hecho que pueden ser usadas.
- Definido por juicio de experiencia.
- No existían justificaciones documentadas claras

Ahora bien con el propósito de tener una visión más clara de la evolución de la confiabilidad de las operaciones/equipos se plantea la necesidad de responder las siguientes preguntas [AMÉNDOLA, 2002]:

*¿Qué es Mantenimiento?*

Antes	Ahora
Es para preservar el Activo Físico	Es para preservar la función de los activos.
El mantenimiento rutinario es para prevenir fallos	El mantenimiento rutinario es para evitar, reducir o eliminar las consecuencias de los fallos.
El objetivo primario de la función Mantenimiento es optimizar la disponibilidad de la planta al mínimo coste.	El mantenimiento afecta todos los aspectos del negocio; riesgo, seguridad, integridad ambiental, eficiencia energética, calidad del producto y servicio al cliente. No solo la disponibilidad y los costes.

*¿Quién y cómo se deben formular los programas de Mantenimiento?*

Antes	Ahora
Las política de mantenimiento deben ser	Las políticas de mantenimiento deben ser

formuladas por los gerentes y los programas deben ser desarrollados por especialistas calificados	formuladas por las personas más cercanas e involucradas con los activos. El rol gerencial es proveer las herramientas
La organización de Mantenimiento por sí misma puede desarrollar un exitoso y duradero programa de mantenimiento	Un exitoso y duradero programa de mantenimiento, sólo puede ser desarrollado por mantenedores y usuarios trabajando juntos.
Los fabricantes de equipos son los que están en mejor posición de recomendar un plan de mantenimiento a nuevos activos.	Los fabricantes de equipos pueden jugar un importante pero limitado papel en el desarrollo de un programa de mantenimiento para nuevos activos.
Siempre es posible encontrar una rápida solución a todos los problemas de efectividad del mantenimiento.	Los problemas de mantenimiento son mejor resueltos en dos fases: cambio de la manera de pensar de la gente y lograr que ellos apliquen sus nuevos conceptos técnicos y de procesos, un paso a la vez.
Políticas genéricas de mantenimiento pueden desarrollarse para casi todos los activos físicos.	Políticas genéricas de mantenimiento pueden desarrollarse sólo para aquellos tipos de activos físicos, cuyo contexto operacional, funciones y estándares de desempeño deseado sean idénticos.
Data completa sobre ocurrencia de fallos, debe estar disponible para hacer posible el desarrollo de un programa de mantenimiento exitoso.	Las decisiones sobre gerencia de los activos y su fallo casi siempre deberán ser hechas con una inadecuada data sobre la ocurrencia del fallo.
Existen tres (03) tipos de mantenimiento; predictivo, preventivo y correctivo.	Existen cuatro (04) tipos de mantenimiento; predictivo, preventivo, correctivo y detectivo.

*¿Cómo podemos mejorar la Confiabilidad de un Equipo?*

<b>Antes</b>	<b>Ahora</b>
La mayoría de los equipos aumenta su probabilidad de fallo a medida que envejece	La probabilidad de fallo de la mayoría de los equipos no aumenta en función de su envejecimiento.

Si ambos son técnicamente posibles y apropiados, el mantenimiento mayor (overhaul/reemplazo general) será más económico (barato) y efectivo que el mantenimiento basado en el monitoreo de condiciones.	Si ambos son técnicamente posibles y apropiados, el mantenimiento basado en el monitoreo de condiciones será más económico (barato) y efectivo que el mantenimiento mayor (overhaul/reemplazo general), a lo largo de la vida del activo
La forma más rápida y segura de mejorar el desempeño de un equipo de baja confiabilidad es actualizar el diseño.	Usualmente es más coste efectivo mejorar el desempeño de un equipo de baja confiabilidad, mejorando la forma como es operado y manteniendo, antes de modificar el diseño.

*¿Son previsibles los accidentes ocasionados por fallos múltiples?*

Antes	Ahora
Los incidentes serios o accidentes catastróficos que involucran fallos múltiples son usualmente producto de mala suerte o “actos de Dios” y esto los hace no gerenciable.	Por lo general, en su gran mayoría los fallos múltiples son una variable manejable, especialmente en sistemas de protección.

### 2.2.1.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento durante su evolución ha recibido cambios muy grandes, determinándose una serie de enfoques y mejoras aplicadas en cada una de las etapas de su desarrollo.

Es por esto que se llegan a distinguir tres generaciones muy diferenciadas desde sus inicios hasta nuestros días.

#### **Primera Generación:**

Periodo Post-II Guerra Mundial, la existencias de pocas máquinas su simplicidad, sobredimensionamiento y robustez; la prevención no era una prioridad ya que los niveles de producción bajos y por tanto la paradas del proceso para el mantenimiento no generaban pérdidas considerables.

El mantenimiento aplicado en este periodo es el mantenimiento correctivo [TAVARES, 2000].

### Segunda generación:

El proceso productivo es el que manda, la complejidad de las nuevas máquinas y las pérdidas por tiempo improductivo; generó la necesidad de prevenir los fallos que se presenten.

A partir de ese periodo se comenzó a implementar el mantenimiento preventivo, así como la necesidad de planificar y programar el mantenimiento en intervalos fijos [TAVARES, 2000].

### Tercera generación:

A mediados de los setentas; la industria opera a volúmenes de producción muy altos; a raíz del avance tecnológico, las nuevas investigaciones se aceleran incrementando la mecanización de los sistemas. Este crecimiento en la complejidad de los sistemas productivos nos exigieron productos confiables de alta calidad considerando aspecto de seguridad, y esto se consolida en el desarrollo de un mantenimiento proactivo que genere una mejora continua dentro del proceso productivo; siendo ahora la estrategia “Producción = Mantenimiento + Operaciones”

## 2.2.2 ¿QUÉ ES CONFIABILIDAD?

### 2.2.2.1 DEFINICIONES

#### 2.2.2.1.1 CONFIABILIDAD $R(t)$

La confiabilidad de un componente en el instante  $t$ ,  $R(t)$ , es la probabilidad de que un elemento no falle en el intervalo  $(0,t)$ , dado que era nuevo o como nuevo en el instante  $t=0$ .

Un componente puede presentar diferentes tipos de confiabilidades, asociadas a diferentes funciones.

La confiabilidad se relaciona básicamente con la tasa de fallas (cantidad de fallas) y con el tiempo medio de operación y el tiempo de operación. Mientras el número de fallas de un determinado equipo vaya en aumento o mientras el tiempo medio de operación de un equipo disminuya, la confiabilidad del mismo será menor (variable a modelar en Tiempos Operativos) [REYES; OCAMPO, 1996].

### 2.2.2.1.2 TASA DE FALLOS

La tasa de fallos  $Z(t)$  o  $\lambda(t)$  se define como la probabilidad de que se produzca una falla del sistema o componente en el intervalo de tiempo  $[t, t+dt]$ . Se mide las fallas por unidad de tiempo.

Matemáticamente podemos definir la tasa de fallo de un intervalo  $[t_1, t_2]$  como:

$$Z(t) = \frac{R(t_1) - R(t_2)}{R(t_1) \times (t_2 - t_1)} \quad (2.1)$$

O una tasa de fallo instantáneo:

$$Z(t) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t) \times (t + \Delta t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.2)$$

También se define la tasa de fallos como el número de fallas por unidad de tiempo en el instante  $t$  por el número de componentes

$$Z(t) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{n(t) \times (t + \Delta t)} \quad (2.3)$$

### 2.2.2.2 CÁLCULOS DE CONFIABILIDAD

En la actualidad existen muchos métodos para realizar los cálculos de confiabilidad de equipos, se pueden establecer las funciones necesarias para determinarlos tanto en la parte de repercusión de los costos como en la vida del equipo, así tenemos los criterios más estudiados [REYES; OCAMPO, 1996]:

#### 1) En función al uso de máquinas o equipos.

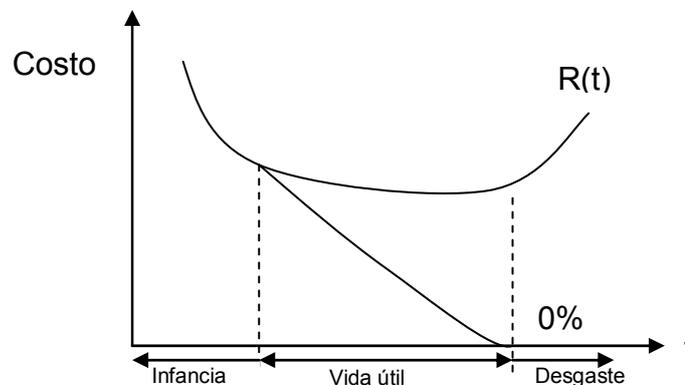


Gráfico 4. Curva de desgaste vs. Costos

**2) En función de los Costos de Producción y Mantenimiento**

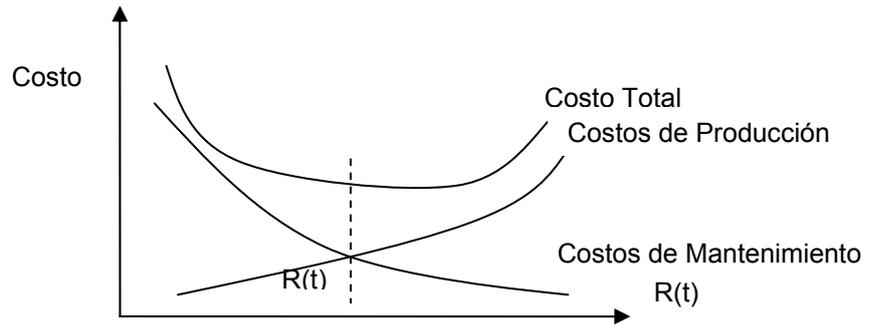


Gráfico 5. Curva Confiability vs. Costos de mantenimiento

**3) En Función de la Supervivencia.**

Se refiere a las piezas mecánicas que sobreviven en el tiempo. Se Verifica de acuerdo a la relación:

$$R(t) = \frac{S(t)}{S(o)} \tag{2.4}$$

Donde:

S(t): número de piezas viva que quedan, después del tiempo t.

S(o): Número de piezas que entran al sistema en el periodo t=0.

Se observa el comportamiento de la supervivencia en el siguiente gráfico:

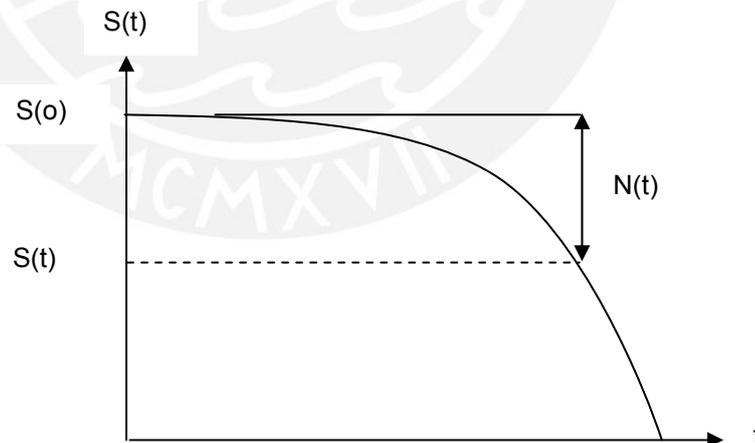


Gráfico 6. Curva de Supervivencia

**4) En función de la probabilidad de Falla F(t).**

N(t): Número de piezas falladas durante el tiempo t.

$$F(t) = \frac{S(o) - S(t)}{S(o)} = \frac{N(t)}{S(o)} \tag{2.5}$$

$$F(t) = \frac{S(o)}{S(o)} - \frac{S(t)}{S(o)}$$

Sabemos que:  $R(t) = \frac{S(t)}{S(o)}$

$$F(t) = 1 - \frac{S(t)}{S(o)}$$

Por tanto:  $R(t) = 1 - F(t)$

O también:  $R(t) = 1 - \frac{N(t)}{S(o)}$  ( 2.6)

Una mejor manera de poder observar dichas características es a través de la curva de mortalidad.

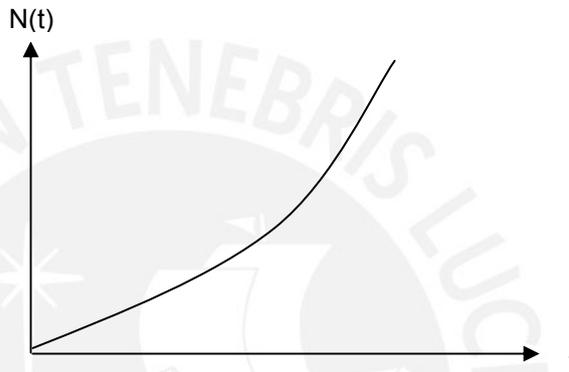


Gráfico 7. Curva de mortalidad

### 5) En función de la velocidad de Falla V(t)

Velocidad de falla: es la velocidad del número de piezas falladas respecto al tiempo.

$$-V(t) = \frac{dN(t)}{dt} \tag{2.7}$$

Sabemos:

$$R(t) = 1 - F(t) \text{ , entonces } R(t) = 1 - \frac{N(t)}{S(o)}$$

Derivando obtenemos

$$\frac{dR(t)}{dt} = - \frac{1}{S(o)} \frac{dN(t)}{dt} \text{ entonces } \frac{dR(t)}{dt} = - \frac{V(t)}{S(o)} \tag{2.8}$$

### 6) En función de la Tasa de Fallo Z(t)

Tasa de fallo.- Es la relación entre las velocidades de falla con respecto a la cantidad de piezas sobrevivientes después de un tiempo t.

$$Z(t) = \frac{V(t)}{S(t)} \tag{2.9}$$

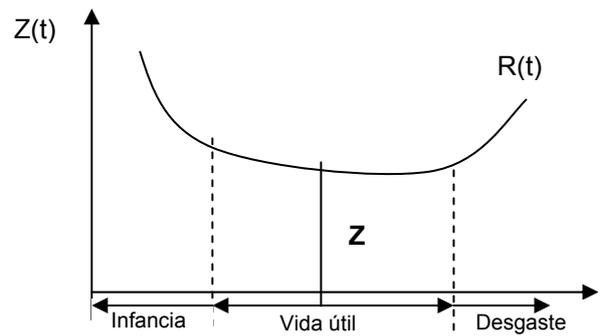


Gráfico 8. Curva de la tasa de fallos

### 2.2.2.3 CONFIABILIDAD DE SISTEMAS

Un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados dentro de las unidades de proceso que tienen una función específica de acuerdo a su operatividad. Y es esta operatividad la cual debemos garantizar; y dado que la confiabilidad individual de cada elemento afecta directamente a todo el sistema, nuestro objetivo es poder garantizar la confiabilidad del sistema a través de sus componentes.

También una sola máquina o equipo constituye un sistema [REYES; OCAMPO, 1996].

#### 2.2.2.3.1 TIPOS DE SISTEMAS

Existen dos tipos:

##### 1) Sistemas es serie

Es cuando la interrupción de una máquina y/o equipo hace parar la línea de producción. Por ejemplo

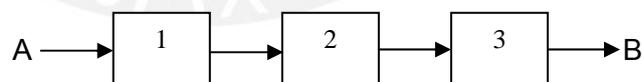


Gráfico 9. Sistema de equipos en serie.

Confiabilidad:

En general:

$$R_s = \prod_{i=1} R_i$$

(2.10)

Para el caso del ejemplo:

$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3$$

##### 2) Sistemas en paralelo

Llamado también sistemas redundantes el cual es más complejo, a la vez también más costosos y por lo tanto de mayor confiabilidad. Esto significa

que algunas funciones pueden de estar duplicadas, triplicadas, etc. Existen de dos tipos.

**a) Sistemas de paralelo activo:**

Existen dos casos:

**Primer caso:**

Sistemas de dos unidades.

- Ambas unidades están funcionando.
- Sólo se requiere una.
- Falla el sistema si las dos unidades fallan.

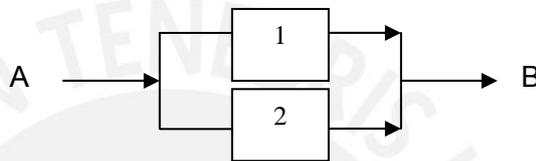


Gráfico 10. Sistema de 2 equipos en paralelo.

Contabilidad:

$$R_s = R_1 + R_2 - R_1 \times R_2 \tag{2.11}$$

**Segundo caso:**

i) Sistema de tres unidades

- Las tres unidades funcionan.
- Sólo requiere una.
- Falla el sistema si las tres unidades fallan.

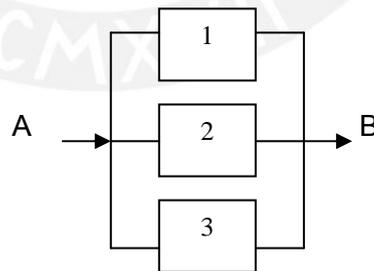


Gráfico 11. Sistema de 3 equipos en paralelo.

Confiabilidad:

$$R_s = 1 - F_s = 1 - F_1 \times F_2 \times F_3 \tag{2.12}$$

$$= R_1 + R_2 + R_3 - R_1 \times R_2 - R_1 \times R_3 - R_2 \times R_3 + R_1 \times R_2 \times R_3$$

ii) Sistema de tres unidades (la misma disposición de i)

- Las tres unidades funcionan.

- Sólo se requieren dos.
- Falla el sistema si fallan dos unidades.

Confiabilidad:

$$R_s = R_1 \times R_2 + R_1 \times R_3 + R_2 \times R_3 - 2 \times R_1 \times R_2 \times R_3 \quad (2.13)$$

### b) Sistemas de paralelo secuencial

Estos sistemas no funcionan simultáneamente sino que espera a que se produzca la falla para poder entrar en servicio. Como funcionan un número determinado de unidades, las que fallan pueden ser reparadas o sustituidas por otra, de modo que no puede fallar cuando no funciona. También se denomina sistemas en reserva (stand by).

Existen 4 casos:

**Primer caso:** Sistema con dos unidades idénticas.

- Una unidad funciona.
- La otra unidad está en reserva.

**Segundo caso:** Sistema con tres unidades idénticas.

- Una unidad funciona.
- Las otras dos unidades están de reserva.

**Tercer caso:** Sistema con dos unidades desiguales.

- Ambas unidades dentro de la vida útil.
- Una de las unidades es de menor capacidad que la principal.
- Condiciones:
  - El sistema cumple su función si una unidad falla en un tiempo  $t_1$  ( $t_1 < t$ ).
  - El tiempo  $t_1$  debe ser mínimo.

### 2.2.3 LA CURVA DE DAVIES O DE LA BAÑERA

Dado que la tasa de los fallos varía respecto al tiempo, su representación típica tiene forma de bañera, el cual es un gráfico que representa, de manera general las fases de vida de un componente. Aunque sea presentada como genérica sólo es válida para componentes individuales.

De acuerdo a esta curva la vida de los dispositivos tiene un comportamiento que viene reflejado por tres etapas diferenciadas:

- Fallas iniciales o etapa de mortalidad infantil (Tasa decrece)
- Fallas normales o etapa de vida útil (Tasa constante)
- Fallas de desgaste o etapa de desgaste (Tasa aumenta)

En la siguiente figura se puede ver la representación de la curva típica de la evolución de la tasa de fallas.

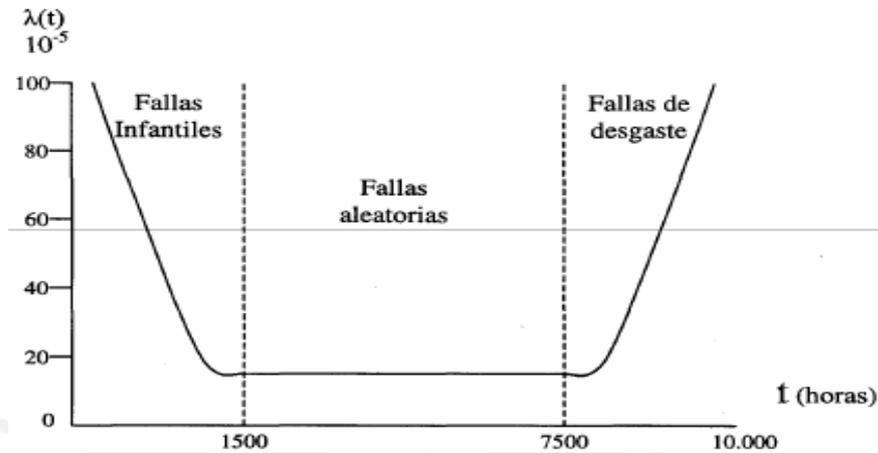


Gráfico 12. Curva de Davies o de la Bañera

A continuación se describen dichos periodos de vida de los componentes:

**Fallas iniciales o etapa de mortalidad infantil:** es caracterizada por fallos prematuros. La tasa de fallas es decreciente, teniendo su origen en la deficiencia del proceso de fabricación y control de calidad, mano de obra no calificada, materiales fuera de especificación, componentes no especificados, sobrecarga en la primera prueba, contaminación, error humano, instalación inadecuada, etc.

**Fallas normales o etapa de vida útil:** es caracterizado por una tasa de fallas constante. Normalmente las fallas son de naturaleza aleatoria, poco pudiendo ser hecho para evitarlas. Las fallas casuales de este periodo son, de entre otras: interferencia indebida, tensión/resistencia, factor de seguridad insuficiente, cargas mayores que las esperadas, resistencia menor que la esperada, defectos abajo del límite de sensibilidad de los ensayos, errores humanos durante el uso, aplicación indebida, abuso, fallas no detectables, causas inexplicables y fenómenos naturales imprevisibles.

**Fallas de desgaste o etapa de desgaste:** se inicia cuando está terminando la vida útil del equipo; la tasa de fallas por desgaste crecen continuamente.

Son causas del periodo de desgaste: el envejecimiento, desgaste/abrasión, degradación de la resistencia, fatiga, fluencia, corrosión, deterioro mecánico-eléctrico,

químico o hidráulico, mantenimiento insuficiente o deficiente y vida de proyecto muy corta [PASCUAL, 2002].

## 2.2.4 METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MCC

La metodología MCC, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas:

1. ¿Cuál es la función del activo?
2. ¿De qué manera puede fallar?
3. ¿Qué origina la falla?
4. ¿Qué pasa cuando falla?
5. ¿Importa si falla?
6. ¿Se puede hacer algo para prevenir la falla?
7. ¿Qué pasa si no podemos prevenir la falla?

El éxito del proceso de implantación del MCC en la industria dependerá básicamente del trabajo de equipo de MCC, el cuál se encargará de responder las siete preguntas básicas [AMÉNDOLA, 2002].

## 2.2.5 HERRAMIENTAS CLAVES DE APLICACIÓN PARA EL DESARROLLO DEL MCC

### 2.2.5.1 DEFINICIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL

Como parte de la definición de contexto operacional es importante tener en claro los procesos y sistemas:

**Unidades de proceso:** se define como una agrupación lógica de sistemas que funcionan unidos para suministrar un servicio.

**Sistemas:** Conjunto de elementos interrelacionados dentro de las unidades de proceso que tienen una función específica.

En esta parte del MCC nosotros podremos definir los factores que delimitan el problema de estudio, como:

- Perfil de operación.
- Ambiente de operación.
- Calidad/disponibilidad de los insumos requeridos (gas natural, aire, etc.)
- Alarmas señales de paro.
- Política de repuestos, recursos y logística.

- Condiciones laborales: horarios, guardias, nóminas, etc.

Luego a partir de dichas definiciones podremos desarrollar el contexto operacional, jerarquizando nuestro sistema, diseñando el diagrama EPS (entrada, proceso y salida); a su vez establecer e identificar las características de operación del personal tales como los turnos de operación, los parámetros de calidad y mantenimiento; y finalmente la división de nuestro proceso en sistemas así como en su delimitación.

### 2.2.5.2 ANÁLISIS DE MODO DE FALLA Y EFECTO

El AMEF (análisis de modo de fallas y efectos de fallos) y el árbol lógico de decisión, constituyen las herramientas fundamentales que utiliza el MCC que responderán las siete preguntas básicas:

- **AMEF (Análisis de modo de fallas y efecto de fallos):** herramienta que permite identificar los efectos o consecuencias de los modos de fallos de cada activo en su contexto operacional. A partir de esta técnica se logra:

1. Asegurar que todos los modos de falla concebibles y sus efectos sean comprendidos.
2. Identificar debilidades de diseño.
3. Proveer alternativas en la etapa de diseño.
4. Proveer criterios para prioridades de acciones correctivas.
5. Proveer criterios para prioridades de acciones preventivas.
6. Asistir en la identificación de fallas en sistemas con anomalías.

Pudiendo así responder las pregunta 1, 2, 3, 4 y 5 del MCC.

Existen muchas manera de evaluar el AMEF en el siguiente gráfico se observa un formato de realización.

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX				Equipo de diseño:	Pag n° 1 de 7	N° AMFE: 1					
Sistema: Encendido				Martín Da Costa Burga	Fecha 10/01/2006	Condiciones existentes					
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas Potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR		
Bujía	Genera la chispa de encendido del motor	Golpeteo del motor	Alta vibración del motor	Suciedad	correctivo/inspección visual	6	4	4	96		
				Exesivo entrehierro	correctivo/inspección visual	6	3	4	72		
		No hay chispa	Falla en el arranque	Falla de mantenimiento	mtto. Preventivo	9	7	5	315		
				Detonaciones	correctivo	7	4	3	84		
				Oscilaciones	Parada de motor	Exesivo entrehierro	inspección visual	9	2	5	90
				Disminución de rpm	Pérdida de potencia	Bujías engrasadas	inspección visual	8	2	3	48
Magneto	Genera la corriente que se suministra a la bujía	Golpeteo del motor	Parada de motor	No hay chispa	motor no arranca	inspección visual	9	6	5	270	
				Masa hace tierra	motor no arranca	Cable suelto	inspección visual	9	4	7	252
				motor no arranca	motor no arranca	magneto con suciedad	inspección visual	9	4	4	144
Bobina	Envía corriente a la bujía	No hay chispa	motor no arranca	motor no arranca	cable roto	correctivo	9	4	5	180	
				motor no arranca	Pérdida de carga	mtto. Preventivo	9	5	5	225	
Cable de bujía	Envía chispa a bujía	Circuito abierto	Falla en el arranque	cable roto	correctivo	9	4	3	108		
				Cable suelto	mtto. Preventivo	9	3	3	81		
		Golpeteo del motor	Alta vibración del motor	Cable a tierra	inspección visual	6	3	4	72		
				Cable suelto	correctivo	6	3	4	72		
		Ruido	Detonaciones	Cable suelto	correctivo	7	2	3	42		
				Cable a tierra	correctivo	7	2	3	42		
Cableado eléctrico	Conexión eléctrica del motor	Circuito abierto	Falla en el arranque	cable roto	mtto. Preventivo	7	7	3	147		
				Detonaciones	cable suelto	inspección visual	7	3	3	63	
		No hay chispa	motor no arranca	Cable roto	correctivo	9	7	5	315		

Gráfico 13. Formato de AMEF

Dentro del desarrollo del AMEF se determina el NPR (Número de prioridad de riesgo), el cual se da por la multiplicación por tres índices de probabilidad, los cuales son la **Gravedad o Severidad**, el nivel de **Ocurrencia** y por la facilidad de **Detección**.

$$\text{NPR} = \text{GxOxD}$$

(2.14)

Dichos índices de evaluación se van determinando en escalas de 1 hasta 10 en función de las características que se describan para cada uno de ellos, siendo puntaje el menor 1 y 1000 el mayor para la evaluación y por consecuencia el valor más crítico de un AMEF. Definiremos dicho índices:

**Gravedad o Severidad:** se refiere a la probabilidad de fallos en el proceso, está basada únicamente en el efecto de fallo; todas las causas potenciales de fallo para un efecto particular también reciben la misma clasificación.

**Ocurrencia:** o la frecuencia en la cual se presentan las fallas, cuando se asigna esta clasificación, se deben considerar dos probabilidades:

- La probabilidad de que se produzca una falla.
- La probabilidad de que, una vez ocurrida la falla, esta provoque el efecto nocivo indicado.

**Detección o probabilidad de No Detección:** este indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, llegue a ser informado. Se está definiendo la “no detección”, para que el índice de prioridad crezca de forma análoga del resto de índices a medida que aumenta el riesgo. Tras lo dicho se puede deducir que este índice está íntimamente relacionado con los controles de detección actuales y la causa.

**ANÁLISIS DE CRITICIDAD.**-Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos).

Para realizar este análisis tomaremos en cuenta lo siguiente:

**Criterios utilizados.**-Los criterios empleados son los siguientes:

- Seguridad.
- Ambiente.
- Producción.
- Costos (operacionales y mantenimiento).
- Frecuencia de fallas.

- Tiempo promedio para reparar.
- Presentación de resultados.

Definiremos:

**CRITICIDAD TOTAL**= Frecuencia de falla x Consecuencia

**Frecuencia** = Número de fallas en un tiempo determinado.

**Consecuencia** = (Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional) + Costo Mto. + Impacto SAH

- **ÁRBOL LÓGICO DE DECISIONES:** herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del MCC. A partir del árbol lógico de decisiones se obtienen las respuestas para las preguntas 6 y 7.

**Construcción del árbol de decisiones:** Para definir el tipo de mantenimiento a realizar y las actividades concretas a ejecutar, utilizaremos El árbol lógico de decisión de las consecuencias de los modos de falla y el árbol lógico de decisión de las actividades de mantenimiento respectivas según el MCC, como se muestra en el siguiente gráfico:

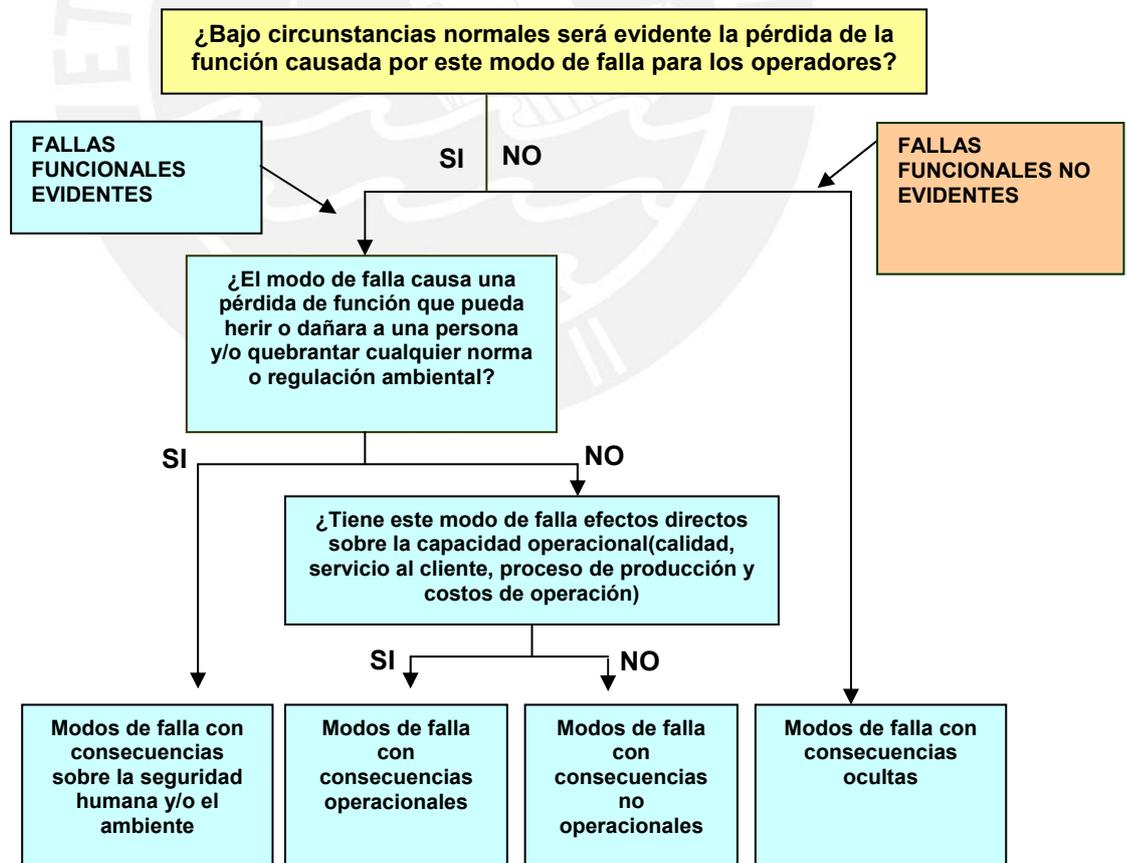


Gráfico 14. Árbol lógico de decisiones.

En forma general, el esquema propuesto a utilizar para conducir el MCC, se resume en el siguiente diagrama de bloques, que detalla los siguientes pasos a seguir:

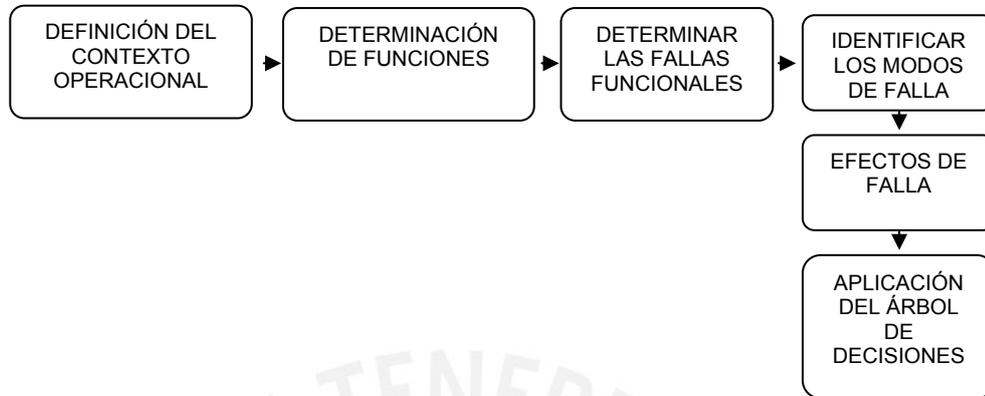


Gráfico 15. Esquema de conducción del MCC

## 2.3 MODELOS PROBABILÍSTICOS

### 2.3.1 INTRODUCCIÓN A LOS MODELOS PROBABILÍSTICOS

El diseño de un programa eficiente de mantenimiento (en términos de costo global de mantenimiento) implica la comprensión de los fenómenos de falla de los equipos. Dado que las fallas de los equipos son eventos aleatorios, estudiaremos conceptos y modelos estadísticos que nos permitan controlar y mejorar la confiabilidad, y con ello los costos.

La mayor dificultad que enfrentaremos será el alto grado de incertidumbre de los estudios y los efectos de condiciones cambiantes ambientales y de operación en el comportamiento de los equipos [PASCUAL, 2002].

### 2.3.2 MODELOS PROBABILÍSTICOS DE CONFIABILIDAD

Los modelos que permiten el estudio de las fallas y confiabilidad son:

#### 2.3.2.1 MODELO EXPONENCIAL

Para el caso de que  $Z(t)$  o  $\lambda(t)$  sea constante nos encontramos ante una distribución de fallas de tipo exponencial.

Matemáticamente podremos escribir la función densidad de probabilidad de falla:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \text{ cuando } t \geq 0$$

Integrando  $f(t)$ : 
$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \tag{2.15}$$

Y la confiabilidad tendrá la expresión siguiente:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.16)$$

La confiabilidad  $R(t)$  representa en este caso la probabilidad de que el dispositivo, caracterizado por una tasa de fallos constante, no se averíe durante el tiempo de funcionamiento  $t$ .

Esta fórmula de fiabilidad se aplica correctamente a todos los dispositivos que han sufrido un tiempo de funcionamiento apropiado que permita excluir los fallos infantiles, y que no estén afectados aún por el desgaste.

#### **Tiempo Medio Hasta un Fallo (MTTF):**

La calidad de funcionamiento de un cierto elemento vendrá dada generalmente por el tiempo que se espera que dicho elemento funcione de manera satisfactoria. Estadísticamente se puede obtener una expectativa de éste tiempo hasta que se produzca un fallo, que se llama tiempo medio hasta un fallo MTTF. Alternativamente, en sistemas que son reparados continuamente después que se produzcan fallos y continúan funcionando, la expectativa se llama tiempo medio entre fallos MTBF, en cualquiera de los casos el “tiempo” puede ser tiempo real o tiempo de operación.

Dado que la densidad de fallos es  $f(t)$ , el tiempo  $t$  que se espera que transcurra hasta un fallo viene dado por:

$$E(t) = MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} \lambda t \cdot e^{-\lambda t} \cdot dt \quad (2.17)$$

$$MTTF = \lambda^{-1}$$

Vemos que MTTF y la tasa de fallos es recíproco.

#### **Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF):**

Se demuestra que para la distribución exponencial el MTBF es igual a la inversa de la tasa de fallos y por lo tanto igual al MTTF o sea:

$$MTBF = m = \lambda^{-1} = MTTF \quad (2.18)$$

Donde  $m$  = probabilidad de supervivencia (esperanza de vida)

Al igual que  $\lambda$ , el parámetro  $m$  describe completamente la fiabilidad de un dispositivo sujeto a fallos de tipo aleatorio, esto es, la fiabilidad exponencial. La función de fiabilidad, llamada también “probabilidad de supervivencia” se puede escribir por tanto:

$$R(t) = e^{-t/m} \quad (2.19)$$

Si llevamos a un gráfico esta función, con los valores de  $R(t)$  en ordenadas y los valores correspondientes de  $t$  en abscisas, se obtiene la “curva de supervivencia”, representada en la siguiente figura:

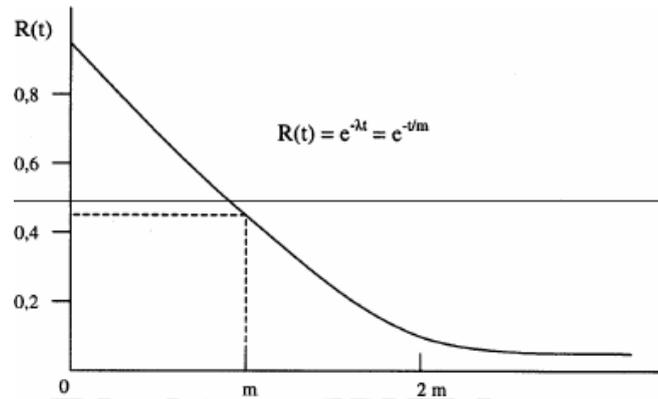


Gráfico 16. Curva de supervivencia

La fórmula anterior proporciona la probabilidad de supervivencia del dispositivo para cualquier intervalo de tiempo comprendido dentro del ámbito de la vida útil del mismo, o sea desde el momento 0 al momento  $t$ . Se supone que el dispositivo ha superado las misiones precedentes y que no se encuentra al final de su vida útil durante el curso de la misión considerada.

Este modelo se aplica cuando los equipos se encuentran dentro de su vida útil.

### 2.3.2.2 MODELO LOG-NORMAL

La función distribución de fallas se describe en la siguiente ecuación es:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{1}{t} \exp \left[ -\frac{1}{2} \frac{(\ln t - m)^2}{\sigma^2} \right], t \geq 0 \tag{2.20}$$

Y la confiabilidad se expresa  $R(t) = 1 - F(t)$ , donde  $F(t) = \int_0^t f(u).du$

Donde  $m$  y  $\sigma$  corresponden a la media y a la desviación standard de del tiempo en que fallan pero luego de aplicar el logaritmo natural. Haciendo un cambio de variables:

$$F(t) = \Phi \left( \frac{\ln t - m}{\sigma} \right) \tag{2.21}$$

Donde  $\Phi(x)$  es la función de Gauss normalizada, para determinar en tiempo medio entre fallas:

$$MTBF = \exp \left( m + \frac{1}{2}\sigma^2 \right) \tag{2.22}$$

Este modelo se aplica cuando el equipo se encuentra en su etapa de desgaste.

### 2.3.2.3 MODELO WEIBULL

El modelo probabilístico de Weibull es muy flexible, pues la ley tiene tres parámetros que permiten “ajustar” correctamente toda clase de resultados experimentales y operacionales. Contrariamente al modelo exponencial, la ley de Weibull cubre los casos en que la tasa de fallo  $\lambda$  es variable y permite por tanto ajustarse a los períodos de “juventud” y a las diferentes formas de “envejecimiento”. Es decir se aplica a equipos en cualquier etapa de su vida. Recordemos la curva de Davies o de la “bañera” de  $Z(t)$ , para su utilización se precisan los resultados de ensayo de muestras o la toma de datos de funcionamiento (TBF = tiempo entre fallos).

Estos resultados permiten estimar la función de repartición  $F(t)$  que corresponde a cada instante  $t$ .

La determinación de los tres parámetros permite, utilizando tablas, evaluar la MTBF y la desviación típica. Por otra parte, el conocimiento del parámetro de forma  $\beta$  es un útil de diagnóstico del tipo de fallo cuando el equipo en estudio es una caja negra.

#### Gráficos de $R(t)$ y $Z(t)$ o $\lambda(t)$

Los siguientes gráficos muestran el polimorfismo de la ley de Weibull bajo influencia del parámetro de forma  $\beta$ ,  $\eta$  y  $\eta$ .

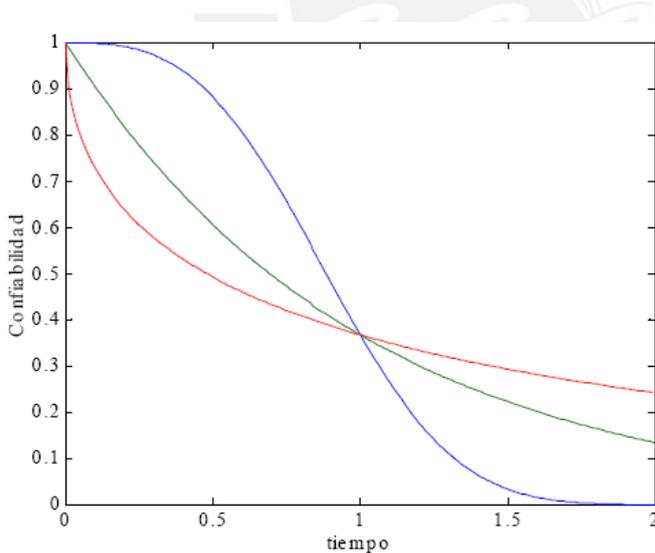


Gráfico 17

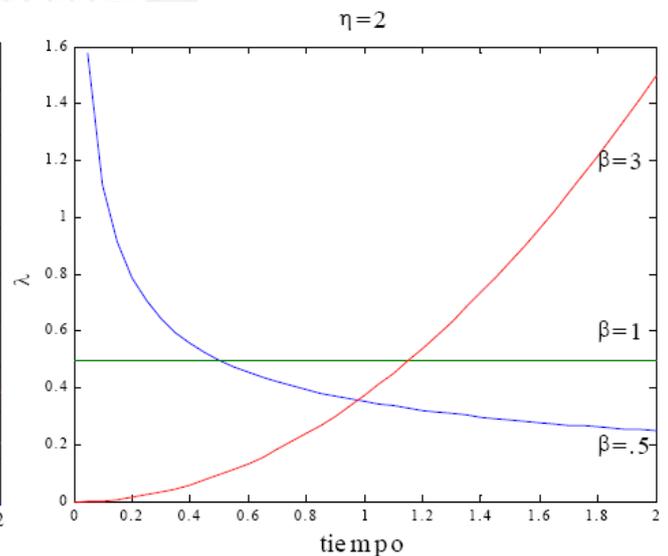


Gráfico 18

Gráfico 17. Confiabilidad con  $\beta= 0.5, 1, 3 \eta=0$  y  $\eta=1$

Gráfico 18. Tasa de fallas según Weibull,  $\beta=0.5, 1, 3 \eta=0$  y  $\eta=2$

#### Expresiones matemáticas

Sea la variable aleatoria continua  $t$ , distribuida de acuerdo con la ley de Weibull:

**a) Densidad de probabilidad  $f(t)$**

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} e^{-\left[ \frac{t-\gamma}{\eta} \right]^\beta} \text{ siendo } t \geq \gamma \quad (2.23)$$

Donde:

$\beta$ : Parámetro de forma  $\beta > 0$  (identifica el ciclo de vida de la máquina)

$\eta$ : Parámetro de escala  $\eta > 0$ , es una constante, es el periodo de operación durante el cual al menos el 63.2% de los equipos se espera que falle

$\gamma$ : Parámetro de posición  $-\infty < \gamma < \infty$

**b) Función de repartición**

$$F(t) = 1 - e^{-\left[ \frac{t-\gamma}{\eta} \right]^\beta} \quad (2.24)$$

La confiabilidad correspondiente es por lo tanto  $R(t) = 1 - F(t)$

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

Observación para  $\gamma = 0$  y  $\beta = 1$ , se vuelve a encontrar la distribución exponencial, caso particular de la ley de Weibull.

En este caso,

$$\lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF} \quad (2.26)$$

**c) Tasa instantánea de fallo**

$$\lambda = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2.27)$$

Siendo:

$$t \geq \gamma$$

$$\beta > 0$$

$$\eta > 0$$

**Mecanismos de fallos particulares:**

$\gamma = 0$ : el mecanismo no tiene duración de fiabilidad intrínseca, y:

Si  $\beta < 1$ , la tasa de fallos disminuye con la edad sin llegar a cero, por lo que podemos suponer que nos encontramos en la juventud del componente con un margen de seguridad bajo, dando lugar a fallos por tensión de rotura

Si  $\beta = 1$ , la tasa de fallos se mantiene constante siempre, lo que nos indica una característica de fallos aleatoria o pseudos-aleatoria. En este caso nos encontramos que la distribución de Weibull es igual a la exponencial.

Si  $\beta > 1$ , la tasa de fallo incrementa con la edad de forma continua lo que indica que los desgastes empiezan en el momento en que el mecanismo se pone en servicio.

$1,5 < \beta < 2,5$       fenómeno de fatiga.

$3 < \beta < 4$       fenómeno de desgaste, de corrosión (iniciado en el tiempo  $t = t_0$ ), de sobrepasar un umbral (campo de deformación plástica).

$\beta = 3,44$        $f(t)$  es simétrica, la distribución es "normal".

Este es el modelo a emplear ya que no se posee un fecha límite o de garantía que determine la duración del sistema.

$t_0 > 0$ : el mecanismo es intrínsecamente fiable desde el momento en que fue puesto en servicio hasta que  $t = t_0$ , y además:

Si  $\beta < 1$  hay fatiga u otro tipo de desgaste en el que la tasa de fallo disminuye con el tiempo después de un súbito incremento hasta  $t_0$ ; valores de  $\beta$  bajos (aproximadamente 0.5) pueden asociarse con ciclos de fatigas bajos y los valores de  $\beta$  más elevados (aproximadamente 0.8) con ciclos mas altos.

Si  $\beta > 1$  hay una erosión o desgaste similar en la que la constante de duración de carga disminuye continuamente con el incremento de la carga.

$t_0 < 0$ : indica que el mecanismo fue utilizado o tuvo fallos antes de iniciar la toma de datos, de otro modo:

Si  $\beta < 1$  podría tratarse de una fallo de juventud antes de su puesta en servicio, como resultado de un margen de seguridad bajo.

Si  $\beta > 1$  se trata de un desgaste por una disminución constante de la resistencia iniciado antes de su puesta en servicio, por ejemplo debido a una vida propia limitada que ha finalizado o era inadecuada. [PASCUAL, 2002].

#### d) Tiempo medio entre fallos (MTBF):

Es el tiempo entre fallos o vida media y se calcula con ayuda mediante la aplicación de una tabla, que nos da los valores de Gamma y lo relaciona de la siguiente manera:

$$E(t) = MTBF = \eta \Gamma(1+1/\beta) \quad (2.28)$$

La tabla de fiabilidad se muestra a continuación:

$\beta$	$m/\gamma = \Gamma(1+1/\beta)$	$\sigma/\gamma$	$\beta$	$m/\gamma = \Gamma(1+1/\beta)$	$\sigma/\gamma$
0	$\infty$	$\infty$	2,0	0,8862	0,463
0,1	101	$\sqrt{201 - (101)^2}$	2,1	0,8857	0,44
0,2	120	1901	2,2	0,8856	0,42
0,3	9,2605	47	2,3	0,8859	0,41
0,4	3,3234	10,43	2,4	0,8865	0,39
0,5	2,0000	4,472	2,5	0,8873	0,38
0,6	1,5046	2,645	2,6	0,8882	0,37
0,7	1,2658	1,851	2,7	0,8898	0,36
0,8	1,1330	1,428	2,8	0,8905	0,34
0,9	1,0522	1,171	2,9	0,8917	0,33
1,0	1,0000	1,000	3,0	0,8938	0,32
1,1	0,9649	0,878	3,1	0,8943	0,315
1,2	0,9407	0,785	3,2	0,8957	0,31
1,3	0,9235	0,716	3,3	0,8970	0,30
1,4	0,9114	0,659	3,4	0,8984	0,29
1,5	0,9028	0,613	3,5	0,8998	0,28
1,6	0,8966	0,594	3,6	0,9011	0,27
1,7	0,8922	0,530	3,8	0,9038	0,26
1,8	0,8893	0,512	4,0	0,9064	0,25
1,9	0,8874	0,488			

Cuadro 2. Tabla de fiabilidad

### 2.3.3 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE VIDA DE EQUIPOS MEDIANTE EL METODO GRÁFICO.

Este método nos permite determinar los parámetros de Weibull, es decir  $\gamma$ ,  $\beta$  y  $\eta$ .

Posee las siguientes características que se muestra en el siguiente gráfico llamado Ábaco de Kao:

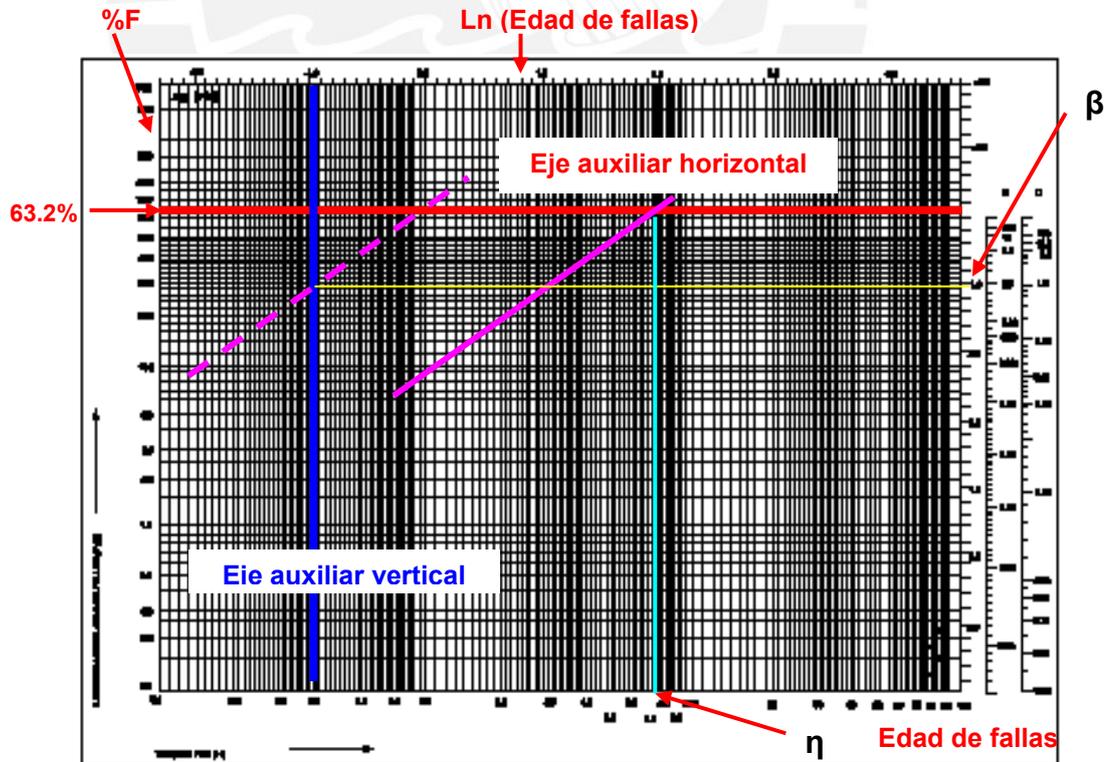


Gráfico 19. Ábaco de Kao

La edad de fallas puede estar expresada en horas, ciclos, revoluciones, psi, etc.



**Preparación de los datos:** los datos para los estudios de fiabilidad provienen, muy a menudo de los históricos de fallos, y a veces de los resultados de ensayos.

En todos los casos se calculan los TBF y se clasifican por orden creciente. En un histórico, el TBF es el intervalo de tiempo transcurrido entre dos averías, que se localizan por su fecha. Para un ensayo, el TBF es el tiempo registrado antes de alcanzar el umbral de degradación.

El número de TBF registrados es  $n$ , tamaño de la muestra.

- Si  $N > 50$ , se reagruparán los TBF por clases.

En este caso, la frecuencia acumulada es expresada:

$$F(i) = \frac{i}{N} = \frac{\sum ni}{N} \quad (2.29)$$

Es muy cercana a la función repartición  $F(t)$  de la ley de Weibull.

- Si  $50 > N > 20$ , se dará un rango  $i$  a cada fallo (se dirá el  $i$ -ésimo fallo)

Entonces se utilizará la fórmula de aproximación de los rangos medianos:

$$F(i) = \frac{i}{N+1} \quad (2.30)$$

$i$  = número de orden de falla

$N$  = Tamaño de la muestra

- Si  $20 > N$ , se aplicará la fórmula de aproximación de los rangos medianos:

$$F(i) = \frac{i-0,3}{N+0,4} \quad (2.31)$$

Observación: en caso de que el tamaño de la muestra sea muy grande, una estimación empírica de la confiabilidad proporciona resultados suficientes y no es necesario el empleo de la ley de Weibull [TORRES, 2005].

## CAPITULO 3

### APLICACIÓN DEL MCC A MOTORES A GAS DE DOS TIEMPOS EN POZOS DE ALTA PRODUCCIÓN

#### 3.1 DEFINICIÓN DEL CONTEXTO OPERACIONAL

En esta parte se definirá el contexto operacional de los “Motores de combustión interna de dos tiempos que funcionan en pozos de alta producción”.

##### 3.1.1 PROPÓSITO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

El equipo tiene como propósito la activación de unidades de bombeo para la extracción del crudo, para esto se hace uso de las reservas gasíferas del lote para la alimentación de combustible; transformando la energía térmica en energía mecánica.

##### 3.1.2 SISTEMA DE MOTORES A GAS DE DOS TIEMPOS

Los motores de combustión interna de dos tiempos a estudiar son de la marca AJAX y están constituidos por los siguientes sistemas:

- Sistema de refrigeración.
- Sistema de fuerza.
- Sistema de tracción.
- Sistema de combustible.
- Sistema de arranque.
- Sistema de lubricación.
- Sistema eléctrico.

##### 3.1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Generación de potencia mecánica para ser transmitida a unidades de bombeo con la finalidad de extraer crudo del subsuelo.

##### 3.1.4 EQUIPOS PRINCIPALES

El sistema está formado por radiador y ventilador de enfriamiento, motor de combustión a gas, separador de gas, embrague de fricción de accionamiento por palanca [PAZ ,2006].

##### 3.1.5 DIAGRAMA ENTRADA - PROCESO - SALIDA

###### ENTRADAS

- Combustible
- Aceite lubricante
- Refrigerante
- Energía eléctrica.

**PROCESO:**

Transformación de energía térmica en energía mecánica.

**SALIDAS:**

Potencia mecánica necesaria para el desplazamiento de unidades de bombeo.



Gráfico 21. Caja Negra

### 3.2 ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS DE FALLAS, Y CRITICIDAD DE LOS MOTORES DE DOS TIEMPOS.

#### 3.2.1 DEFINICIONES INICIALES

**Fallos Funcionales:** es la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

**Modos de fallos:** es la posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto nos permite comprender exactamente identificar cuál es la causa origen de cada fallo.

**Efectos de fallos:** es la magnitud del efecto y da la importancia de cada fallo, y por tanto qué nivel de mantenimiento preventivo (si lo hubiera) sería necesario.

**Consecuencias de los fallos:**

El MCC clasifica la consecuencia de los fallos en cuatro grupos:

1. **Consecuencia de los fallos evidentes:** los fallos que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a la organización a otros fallos con consecuencias serías, a menudo catastróficas.
2. **Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente:** un fallo tiene consecuencias sobre la seguridad si su ocurrencia genera condiciones que pueden propiciar lesiones o incluso la muerte de personas. Tiene consecuencias sobre el ambiente si infringe las normativas municipales, regionales o nacionales relacionadas con el medio ambiente.
3. **Consecuencias operacionales:** un fallo tiene consecuencias operacionales si afecta a la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o

costes industriales que adicionen al coste directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero y lo que cuesten sugiere cuánto se puede destinar en tratar de prevenirlas.

4. **Consecuencias no operacionales:** los fallos evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es la reparación.

### 3.2.2 ELABORACIÓN DEL AMEF

Previamente a la realización del AMEF, elaboramos los criterios de análisis para la obtención del Número de Prioridad de Riesgo.

Considerando:

$$\text{NPR} = \text{GxOxD}$$

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Ínfima, imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
1 falla en mas de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Detección (dificultad de detección)	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Cuadro 3. Puntajes del AMEF

Las características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo):

<b>NPR &gt; 200</b>	<b>Inaceptable (I).</b>
<b>200 &gt; NPR &gt; 125</b>	<b>Reducción deseable (R).</b>
<b>125 &gt; NPR</b>	<b>Aceptable (A).</b>



En los cuadros a continuación se expone el desarrollo del AMEF:

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX				Equipo de diseño:	Pag n° 1 de 7	N° AMFE: 1				
Sistema: Encendido				Martín Da Costa Burga	Fecha 10/01//2006	Condiciones existentes				
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas Potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR	
Bujía	Genera la chispa de encendido del motor	Golpeteo del motor	Alta vibración del motor	Suciedad	correctivo/inspección visual	6	4	4	96	
				Exesivo entrehierro	correctivo/inspección visual	6	3	4	72	
		No hay chispa	Falla en el arranque	Desgaste	mtto. Preventivo	9	7	5	315	
			Ruido	Detonaciones	Suciedad	correctivo	7	4	3	84
			Oscilaciones	Parada de motor	Exesivo entrehierro	inspección visual	9	2	5	90
			Disminución de rpm	Pérdida de potencia	Contaminación con grasa	inspección visual	8	2	3	48
Magneto	Genera la corriente que se suministra a la bujía	No hay chispa	motor no arranca	corto circuito	inspección visual	9	6	5	270	
		Masa hace tierra	motor no arranca	Cable suelto	inspección visual	9	4	7	252	
		Golpeteo del motor	Parada de motor	magneto con suciedad	inspección visual	9	4	4	144	
Bobina	Envía corriente a la bujía	No hay chispa	motor no arranca	cable roto	correctivo	9	4	5	180	
			motor no arranca	Pérdida de carga	mtto. Preventivo	9	5	5	225	
Cable de bujía	Envía chispa a bujía	Circuito abierto	Falla en el arranque	cable corroído/sulfatado	correctivo	9	4	3	108	
				Cable suelto	mtto. Preventivo	9	3	3	81	
		Golpeteo del motor	Alta vibración del motor	Cable a tierra	inspección visual	6	3	4	72	
				Cable suelto	correctivo	6	3	4	72	
			Ruido	Detonaciones	Cable suelto	correctivo	7	2	3	42
			Cable a tierra	correctivo	7	2	3	42		
Cableado eléctrico	Conexión eléctrica del motor	Circuito abierto	Falla en el arranque	cable corroído/sulfatado	mtto. Preventivo	7	7	3	147	
				Ruido	Detonaciones	cable suelto	inspección visual	7	3	3
			No hay chispa	motor no arranca	cable corroído/sulfatado	correctivo	9	7	5	315

Cuadro 4. Resultados del AMEF

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX				Equipo de diseño:	Pag n° 2 de 7	N° AMFE: 1			
Sistema: Arranque				Martín Da Costa Burga	Fecha 10/01//2006	Condiciones existentes			
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas Potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR
Cremallera	Rompe la inercia de la volante para arrancar	Rotura de dientes	motor no arranca	Desgaste de dientes	inspección visual	8	2	2	32
		Vibración	motor no arranca	Desgaste de dientes	inspección visual	8	2	2	32
Bendix	Transmite movimiento a la cremallera para el arranque	No hay corriente	motor no arranca	Batería desgastada	inspección visual	8	2	2	32
			motor no arranca	Cable de batería roto	correctivo	8	2	2	32
		Rotura de dientes	motor no arranca	Desgaste de dientes	correctivo	8	2	2	32
		Vibración	motor no arranca	Desgaste de dientes	correctivo	8	2	2	32
		Rotura de horquilla	motor no arranca	Desgaste de horquilla	correctivo	8	2	2	32
Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX				Equipo de diseño:	Pag n° 3 de 7	N° AMFE: 1			
Sistema: Refrigeración				Martín Da Costa Burga	Fecha 10/01//2006	Condiciones existentes			
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas Potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR
Tuberías	Traslada el flujo de refrigerante	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	sobre/sub dimensionado	mtto. Preventivo	9	6	5	270
		Rotura de tubería	Sobrecalentamiento	corrosión	inspección visual	9	4	2	72
Ventilador	enfria el refrigerante en el radiador	No hay flujo de aire	Sobrecalentamiento	desgaste de rodamiento	inspección visual	9	4	5	180
		Apas rotas	Sobrecalentamiento	fatiga por desgaste de material	correctivo	9	2	1	18
Refrigerante	Líquido que enfria el motor	contaminación	Sobrecalentamiento	mezcla inapropiada	inspección visual	9	3	9	243
		contaminación	Sobrecalentamiento	refrigerante fuera de especificación	correctivo	9	3	9	243
Faja de ventilador	Transmite el movimiento al ventilador	Ruido	deslizamiento	desgaste de faja	mtto. Preventivo	4	7	5	140
		No hay flujo de aire	Sobrecalentamiento	rotura de faja	correctivo	9	7	1	63
		Bajo flujo de aire	Sobrecalentamiento	mala selección	inspección visual	9	7	4	252
Conexiones de refrigeración	Interconecta las piezas del sistema	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	Mal ajuste	inspección visual	9	6	4	216
			Sobrecalentamiento	Corrosión	inspección visual	9	7	4	252
Radiador	Enfria el refrigerante del sistema	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	picadura en el panel por agente externo	Correctivo	9	8	6	432
			Sobrecalentamiento	tapa de radiador rota	correctivo	9	7	5	315
		Taponamiento	Sobrecalentamiento	corrosión	inspección visual	9	5	6	270
Polea de ventilador	Mueve al ventilador	Ruido	Alta Vibración	pernos flojos	correctivo	6	2	3	36
				desgaste de rodamiento	correctivo	6	2	3	36

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX				Equipo de diseño:	Pag n° 4 de 7	N° AMFE: 1				
Sistema: Lubricación				Martín Da Costa Burga	Fecha 10/01//2006	Condiciones existentes				
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas Potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR	
Caja lubricadora	Conduce el aceite en el motor	No hay bombeo de aceite	Parada de motor	Fuga de aceite	mtto. Preventivo	9	6	5	270	
				desgaste de válvula check	correctivo	9	6	5	270	
				obstrucción del filtro	correctivo	9	6	5	270	
				Bombin taponeado	correctivo	9	6	5	270	
				válvula check del cilindro taponeada	mtto. Mayor	9	6	5	270	
				desgaste de sello eje	mtto. Preventivo	9	7	5		
				desgaste de sello caja	mtto. Preventivo	9	7	5	315	
Falla del carter	Almacena aceite y lubrica el cigñal	Fuga de aceite	Sobrecalentamiento	tapón de carter roto	inspección visual	10	3	2	60	
				carter roto	inspección visual	10	3	2	60	
Conductos de aceite	Deriva el aceite a las piezas del motor	Taponamiento	Sobrecalentamiento	obstrucción de conductos	mtto. Mayor	9	3	8	216	
Nivel de aceite	Controla la cantida necesaria de aceite en el motor	Obstrucción del nivel	Parada de motor	Aceite contaminado	inspección visual	9	3	6	162	
				Error de montaje	inspección visual	6	5	5	150	
				descalibración	mtto. Preventivo	6	5	5	150	
Anillos de lubricación	Lubrican el cilindro del motor	Humo azul	Sobrecalentamiento	desgaste	mtto. Preventivo	9	8	5	360	

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX				Equipo de diseño:	Pag nº 5 de 7	N° AMFE: 1				
Sistema: Fuerza				Martín Da Costa Burga	Fecha 10/01//2006					
				Condiciones existentes						
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas Potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR	
Cigüeñal	Trasmite la potencia al eje	Desbalanceo	Alta vibración	Falla de montaje	mtto. Mayor	9	1	8	72	
				falla de mantenimiento	mtto. Mayor	9	1	8	72	
		Detonaciones	Deformación	mal sincronismo	inspección visual	10	4	6	240	
			Pérdida de potencia	mal sincronismo	inspección visual	9	4	6	216	
Pistón	Pieza que efectua el moviemto alternativo que transmite la potencia	Motor no comprime	Motor no arranca	Desgaste de pistón	mtto. Preventivo	8	6	3	144	
			Falla al arrancar	Desgaste de pistón	inspección visual	8	6	3	144	
			Parada de motor	Desgaste de pistón	inspección visual	9	6	3	162	
		Baja compresión	Pérdida de potencia	Desgaste de pistón	inspección visual	8	6	3	144	
Anillos de compresión	Mantienen la presión y lubrican el piston	Baja compresión	Pérdida de potencia	desgaste de anillos	mtto. Preventivo	8	6	3	144	
		Motor no comprime	Motor no arranca	desgaste de anillos	inspección visual	8	6	3	144	
			Falla al arrancar	desgaste de anillos	inspección visual	8	6	3	144	
Rodamiento de cigüeñal	Permite el giro del cigüeñal en la bancada	Ruido	Sobrecalentamiento	desgaste	mtto. Mayor	9	2	4	72	
			Sobrecalentamiento	mala lubricación	mtto. Mayor	9	3	4	108	
		rotura	deformación de eje	rotura de rodamiento	mtto. Mayor	9	1	8	72	
Metales de biela	Permiten el giro relativo de la biela en el cigüeñal	Ruido	sobrecalentamiento	Desgaste de metales	mtto. Mayor	9	2	4	72	
		Fricción	sobrecalentamiento	Desgaste de metales	mtto. Mayor	9	2	6	108	
		Fundición de metal	Paro inesperado	falla de lubricación	inspección visual	10	2	8	160	
Biela	Trasmite la potencia al cigüeñal	Detonación	Deformación	mal sincronismo	mtto. Mayor	10	2	6	120	
			Altas vibraciones	mal sincronismo	mtto. Mayor	6	2	6	72	
		Fricción	sobrecalentamiento	Desgaste	mtto. Mayor	9	3	6	162	
Camisa	Lugar donde se produce la combustión	Baja compresión	Parada de motor	Desgaste	mtto. Mayor	9	6	3	162	
			Sobrecalentamiento	Rotura	mtto. Mayor	9	4	3	108	
Culata	Recubre el volumen donde se produce la combustión	Baja compresión	Pérdida de potencia	Desgaste de camisa	mtto. Preventivo	8	5	3	120	
			Parada de motor	Desgaste de camisa	inspección visual	9	5	3	135	
			Parada de motor	Deformación de culata	mtto. Preventivo	9	5	3	135	
			Sobrecalentamiento	Deformación de culata	inspección visual	9	5	3	135	
			Sobrecalentamiento	rotura de culata	correctivo	9	5	3	135	
Cruceta	Transmite el desplazamiento del piston al cigüeñal	Ruido	Sobrecalentamiento	mala lubricación	mtto. Mayor	9	3	5	135	
			Sobrecalentamiento	Suciedad	mtto. Mayor	9	3	5	135	
			Parada de motor	Rotura de perno	mtto. Mayor	9	3	5	135	
			Rayaduras en camisa	Limallas en el aceite	mtto. Mayor	6	3	5	90	

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX				Equipo de diseño:	Pag nº 6 de 7	N° AMFE: 1				
Sistema: Embrague				Martín Da Costa Burga	Fecha 10/01//2006	Condiciones existentes				
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas Potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR	
Rodaje Piloto	Permite el giro del eje del embragüe apoyado en el motor	Ruido	No hay tracción	Desgaste esperado	mtto. Preventivo	8	6	3	144	
			Pérdida de tracción	mala operación	inspección visual	7	6	3	126	
			Sobrecalentamiento	mala lubricación	inspección visual	9	6	3	162	
			Deformación de eje	Rotura	correctivo	9	6	3	162	
Fibras	pastilla que transmiten movimiento por fricción	Ruido	Pérdida de tracción	desgaste	mtto. Preventivo	7	6	5	210	
			Rotura	No hay tracción	mala operación	correctivo	7	7	2	98
			Trabamiento	Sobrecalentamiento	rotura	correctivo	6	5	5	150
			Deslizamiento	No hay tracción	fibras engrasadas	correctivo	7	4	5	140
Yugo y collarín	Engancha las fibras a la cremallera del embrague	Ruido	Vibración	mal ajuste	inspección visual	5	3	5	75	
				rotura	correctivo	5	3	5	75	
			No hay tracción	rotura	correctivo	7	3	5	105	
Palanca de	Palanca de enganche	Rotura de palanca	No hay tracción	desgaste de material	inspección visual	7	1	1	7	
Rodamiento de eje de embragüe	Permite el giro del eje el embrague apoyado en el embrague mismo	Ruido	No hay tracción	desgaste	inspección visual	7	2	3	42	
				Deformación de eje	rotura	correctivo	8	2	3	48
				Sobrecalentamiento	mala lubricación	inspección visual	6	2	3	36

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX				Equipo de diseño:	Pag n° 7 de 7	N° AMFE: 1				
Sistema: Combustible				Martín Da Costa Burga	Fecha 10/01//2006	Condiciones existentes				
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas Potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR	
Manifold de admisión	Permite el ingreso del gas al cilindro	fuga de combustible	motor no arranca	válvula rota	correctivo	9	3	5	135	
			Paro inesperado	Mal mantenimiento	correctivo	9	3	5	135	
Separador de gas	Separa al combustible gaseoso del líquido	restricción de gas combustible húmedo	motor no arranca	tanque lleno de líquido	inspección visual	9	3	5	135	
			detonación	falla en la purga	correctivo	5	4	6	120	
			pérdida de potencia	falla en la purga	correctivo	6	4	6	144	
Válvula reguladora	Regula la presión de ingreso al manifold del motor	alta presión de gas mezcla rica Restricción de gas	detonación	descalibración	correctivo	6	3	6	108	
			detonación	descalibración	inspección visual	6	2	8	96	
			motor no arranca	válvula cerrada	correctivo	9	3	5	135	
			pérdida de potencia	mala selección	correctivo	6	3	5	90	
			paro inesperado	descalibración	correctivo	9	3	5	135	
Gobernador	Controla la velocidad de giro del motor	Restricción de gas baja velocidad sobrevelocidad	motor no arranca	descalibración	inspección visual	9	3	5	135	
			Parada de motor	descalibración	correctivo	9	3	3	81	
			paro inesperado	descalibración	correctivo	9	5	3	135	
Tubería de gas	Alimenta de gas al sistema	fuga de combustible Restricción de gas	Motor no arranca	tubería rota	correctivo	9	3	5	135	
			Motor no arranca	tubería taponeada	correctivo	9	3	3	81	
Filtro de aire	purifica el aire de admisión	Restricción de aire	motor no arranca	filtro taponeado	mtto. Preventivo	9	3	6	162	
			Golpeteo en el motor	filtro taponeado	inspección visual	7	3	6	126	
			Combustión incompleta	filtro taponeado	inspección visual	5	3	6	90	
			Pérdida de potencia	filtro taponeado	inspección visual	8	3	6	144	
			alto consumo de aceite	filtro taponeado	correctivo	6	3	6	108	
Válvula de alimentación	Permite el ingreso del gas al sistema	Restricción de gas	motor parado	válvula cerrada	correctivo	9	3	3	81	

### 3.2.3 ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

#### ANÁLISIS DE CRITICIDAD:

En esta etapa jerarquizaremos las partes principales que compone a un motor de dos tiempos, con la finalidad de optimizar su funcionamiento mediante la mejora de su mantenimiento.

Los criterios empleados serán:

Frecuencia de fallas.

Impacto operacional.

Flexibilidad operacional.

Coste de mantenimiento.

Impacto en seguridad, ambiente e higiene.

Los criterios empleados para la obtención de la criticidad total del sistema, se muestran en el siguiente cuadro:

Frecuencia de fallas	
Elevado mayor a 40 fallas/año	4
Promedio 20-40 fallas/año	3
Buena 10-20 fallas/año	2
Excelente menos de 10 fallas/año	1

Impacto Operacional	
Parada total del equipo	10
Parada parcial del equipo y repercute a otro equipo o subsistema	7-9
Impacta a niveles de producción o calidad	5-6
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1

Flexibilidad Operacional	
No existe opción igual o equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1

Costo de mantenimiento	
Mayor o igual a US\$ 400 (incluye repuestos)	2
Inferior a US\$ 400 (incluye repuestos)	1

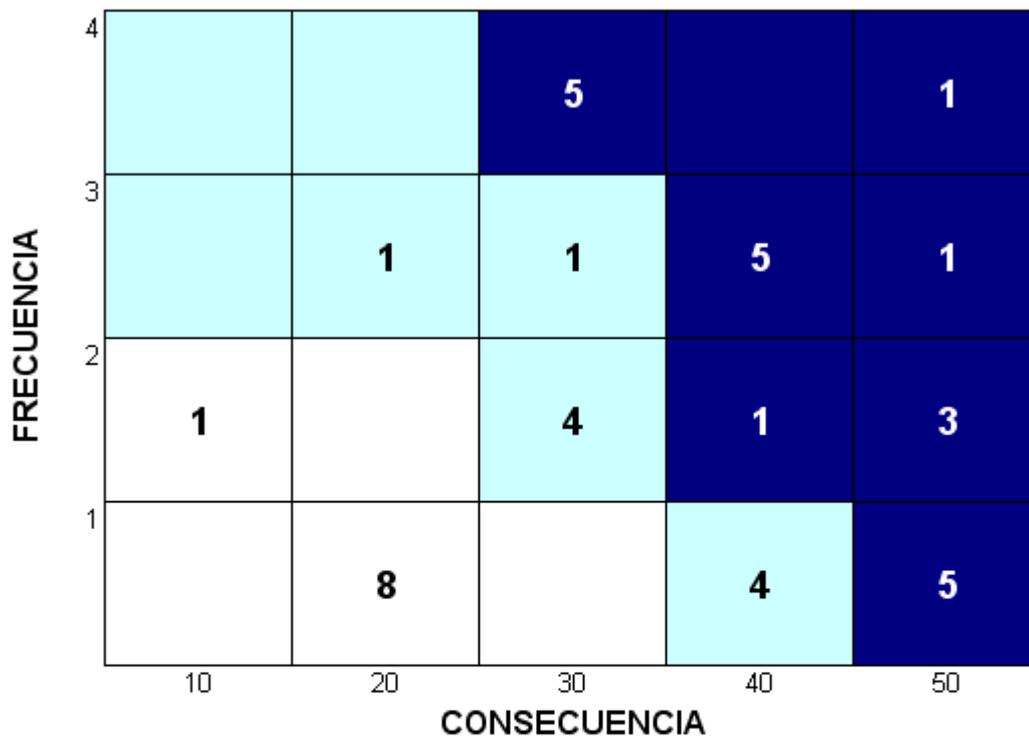
  

Impacto a Seguridad Ambiente e Higiene	
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor e incidente menor	4-5
Cuasiaccidente o incidente menor	2-3
Desvío	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Cuadro 5. Criterios de criticidad

Luego de aplicar la ecuación de riesgo y agrupando los resultados se observan en la matriz de criticidad, como se muestra a continuación:

**MATRIZ DE CRITICIDAD**



**LEYENDA:**

- C: CRÍTICO
- SC: SEMICRÍTICO
- NC: NO CRÍTICO

Valor máximo 200

Gráfico 22. Matriz de criticidad

**CRITICIDAD TOTAL**= Frecuencia de falla x Consecuencia

**Frecuencia** = Número de fallas en un tiempo determinado.

**Consecuencia** = (Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional) + Costo Mtto.+Impacto SAH

Subsistema	Frecuencia	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos de Mtto.	Impacto SHA	Consecuencia	Total	Jerarquización
Radiador	4	10	4	1	2	43	172	C
Bujía	3	10	4	1	0	41	123	C
Magneto	3	10	4	1	0	41	123	C
Bobina	3	10	4	1	0	41	123	C
Cable de bujía	3	10	4	1	0	41	123	C
Cableado eléctrico	3	10	4	1	0	41	123	C
Nivel de aceite	3	10	4	1	0	41	123	C
Anillos de compresión	4	7	3	1	5	27	108	C
Rodaje Piloto	4	8	3	1	2	27	108	C
Fibras	4	8	3	1	2	27	108	C
Manifold de admisión	2	10	4	1	2	43	86	C
Faja de ventilador	4	6	3	1	2	21	84	C
Anillos de lubricación	4	6	3	1	2	21	84	C
Separador de gas	2	10	4	1	0	41	82	C
Válvula reguladora	2	8	4	1	0	33	66	C
Tubería de gas	2	10	4	1	0	41	82	C
Gobernador	3	6	4	1	0	25	75	SC
Camisa	2	7	3	1	8	30	60	SC
Caja lubricadora	2	8	3	1	1	26	52	SC
Cigüeñal	1	10	4	2	8	50	50	C
Metales de biela	1	10	4	2	8	50	50	C
Biela	1	10	4	2	8	50	50	C
Culata	2	6	3	1	6	25	50	SC
Pistón	1	10	4	1	6	47	47	C
Rodamiento de cigüeñal	1	10	4	1	4	45	45	C
Tuberías	3	6	2	1	1	14	42	SC
Rodamiento de eje de embrague	2	6	3	1	2	21	42	SC
Válvula de alimentación	1	9	4	1	0	37	37	SC
Filtro de aire	1	8	4	1	0	33	33	SC
Conductos de aceite	1	10	3	1	0	31	31	SC
Cruceta	1	6	3	2	6	26	26	SC
Falla del carter	1	7	2	1	5	20	20	NC
Ventilador	1	6	2	1	2	15	15	NC
Yugo y collarín	1	6	2	1	2	15	15	NC
Palanca de encroche	1	6	2	1	2	15	15	NC
Refrigerante	1	6	2	1	1	14	14	NC
Polea de ventilador	1	6	2	1	0	13	13	NC
Conexiones de refrigeración	2	1	2	1	1	4	8	NC
Cremallera	1	2	2	2	0	6	6	NC
Bendix	1	2	2	2	0	6	6	NC

Cuadro 6. Resultados del análisis de criticidad

### 3.3 EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIDA ÚTIL DE LOS MOTORES A GAS DE DOS TIEMPOS.

Inicialmente para poder efectuar nuestro análisis debemos definir el modelo a utilizarse. Para este caso es el modelo de Weibull, ya que las características que posee nos permitirán describir el tipo de comportamiento de cada uno de los equipos a estudiar.

Uno de los métodos mas comunes y más práctico a emplear es el Método Gráfico; para lo cual se emplea el papel de Weibull.

#### 3.3.1 DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES CARACTERÍSTICOS DE LA VIDA ÚTIL DE LOS MOTORES DE DOS TIEMPOS.

Para el desarrollo de este punto tomaremos como ejemplo la determinación de los factores de vida útil de uno de los motores de combustión interna.

Fecha de puesta en marcha del equipo: **29 de Septiembre de 2004**

TAG Equipo	FECHA	TIEMPO ENTRE FALLAS	OIL	WATER
M 1737	09/10/2004	10	2.26	20.26
M 1737	19/03/2005	161	0.71	6.41
M 1737	29/03/2005	10	3.21	28.86
M 1737	27/05/2005	59	0.79	4.63
M 1737	13/06/2005	17	5.43	32.03
M 1737	20/08/2005	68	0.73	5.36
M 1737	26/09/2005	37	1.22	8.95

Cuadro 7. Datos de vida del equipo

A partir de estas consideraciones reordenamos el sistema y al ser  $N < 20$  empleamos la aproximación por rangos medios, como se muestra en el Capítulo II (Fórmula 2.31).

A continuación el siguiente cuadro muestra el sistema ordenado.

N	TIEMPO ENTRE FALLAS ORDENADO	%F
1	10	10.91%
2	17	26.58%
3	37	42.18%
4	59	57.82%
5	68	73.45%
6	161	89.09%

Cuadro 8. Ordenamiento de información

Graficando en el papel de Weibull:

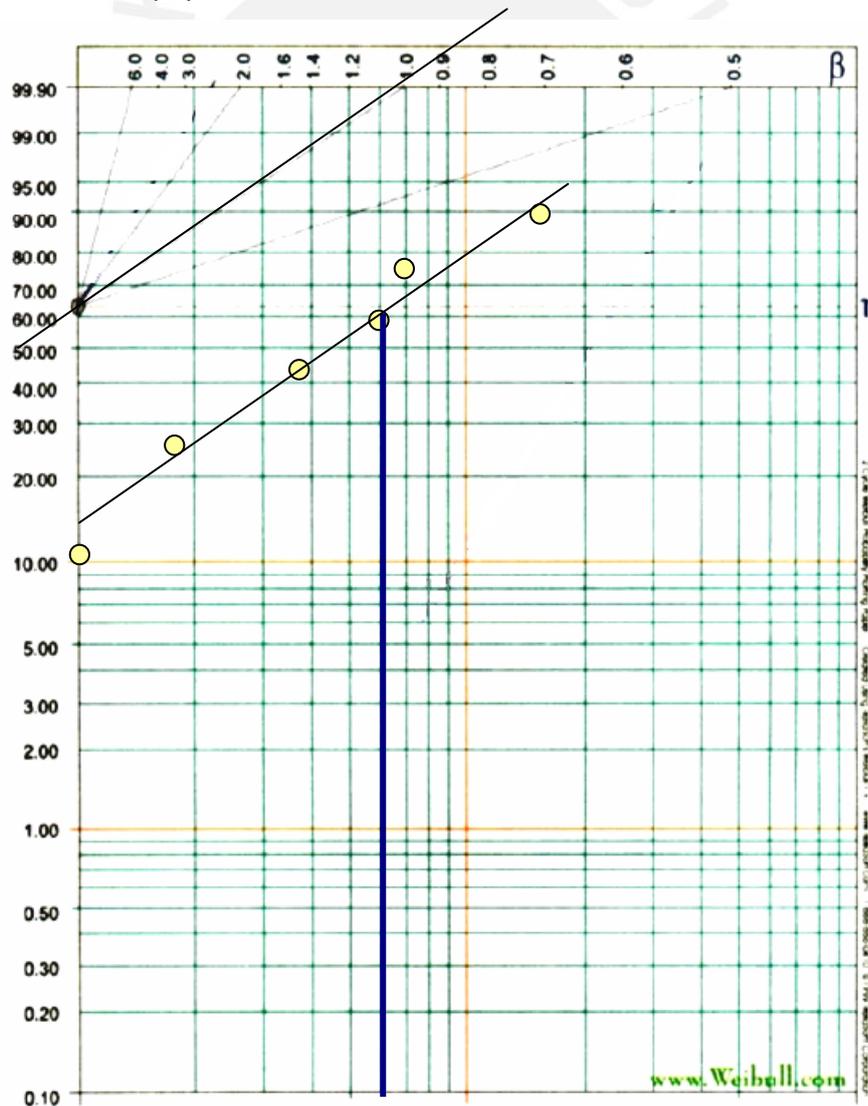


Gráfico 23. Papel de Weibull del motor M1737

Resultados:

Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$	Desviación $\sigma$ (días)	MTBF (días)	R(427)	F(250)	F(500)
1.0	62	0.9859	62	0.018%	99.458%	99.996%

Cuadro 9. Cuadro de parámetros de vida

Donde se puede observar que el equipo se encuentra dentro de su vida útil al ser el factor  $\beta$  muy cercano a 1.

Así mismo podemos detectar mediante el MTBF que el promedio de fallas están siendo menor que el tiempo de mantenimiento preventivo que se lleva en la empresa.



### 3.4 DIAGRAMA DE DECISIONES

Después de replantearse el análisis de las partes críticas del sistema, se elaborará el árbol lógico de decisiones de mantenimiento respectivas según el RCM:

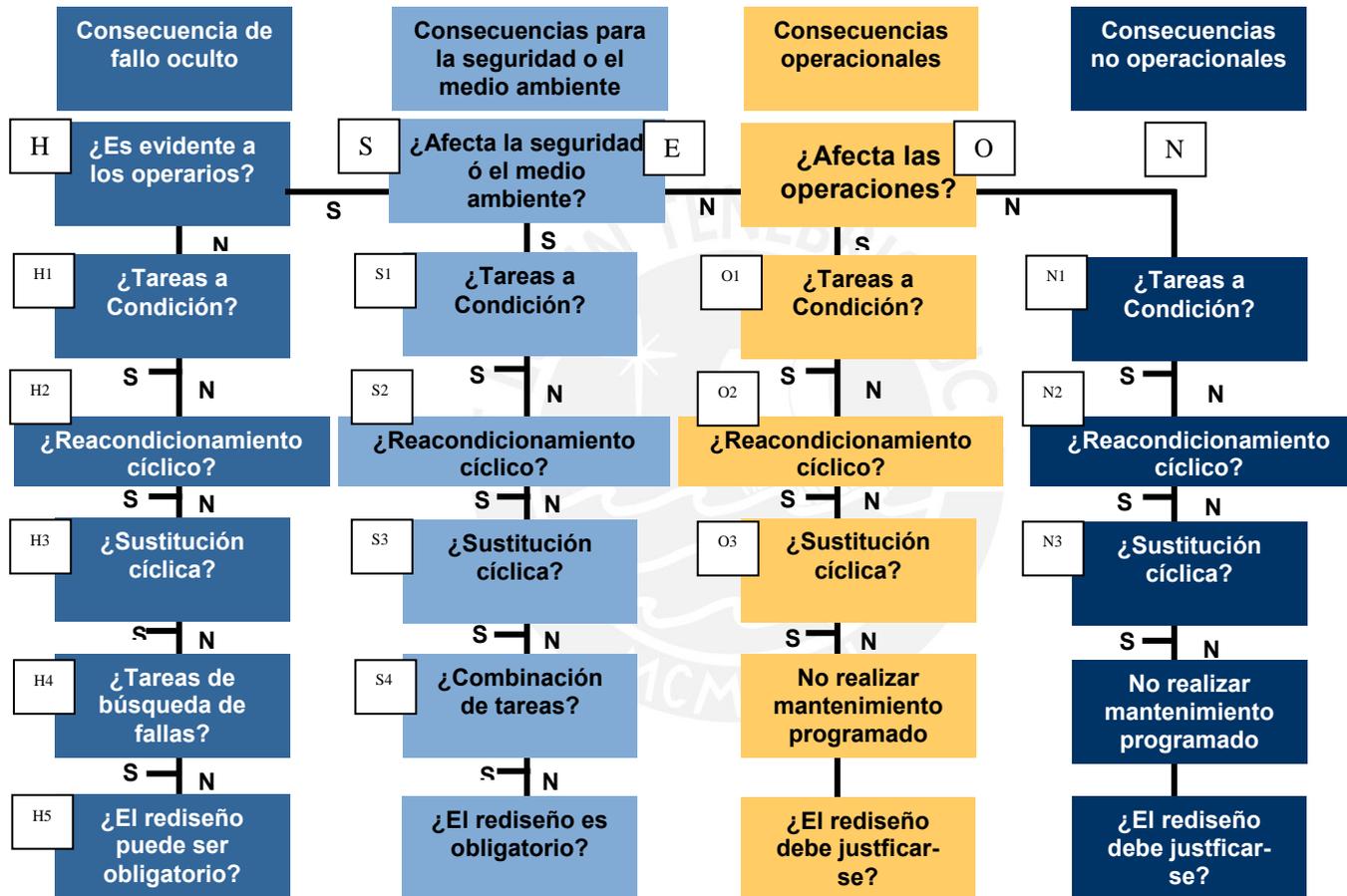


Gráfico 24. Árbol lógico de decisiones de las actividades de mantenimiento

### 3.4.1 LA HOJA DE INFORMACIÓN

Previamente al desarrollo de la hoja de decisiones estratificamos la referencia de información para poder establecer las tareas propuestas mediante las hojas de información. Estas Hojas de Información se obtienen del desdoblamiento de las causas y modos de falla obtenidos en el AMEF.

A continuación se muestra el desarrollo de la Hoja de Información del sistema de encendido:

<b>Nombre del equipo:</b> Motor de combustión interna marca AJAX					
<b>Sistema:</b> Encendido					
<b>Pieza</b>		<b>Función que desempeña (F)</b>		<b>Modo de fallo funcional (FF)</b>	<b>Causas Potenciales de fallo (FM)</b>
Bujía	1	Genera la chispa de encendido del motor	A	Golpeteo del motor	1 Suciedad
				2 Exesivo entrehierro	
			B	No hay chispa	1 Desgaste
			C	Ruido	1 Suciedad
			D	Oscilaciones	1 Exesivo entrehierro
E	Disminución de rpm	1 Contaminación con grasa			
Magneto	2	Genera la corriente que se suministra a la bujía	A	No hay chispa	1 corto circuito
			B	Masa hace tierra	1 Cable suelto
			C	Golpeteo del motor	1 magneto con suciedad
Bobina	3	Envía corriente a la bujía	A	No hay chispa	1 cable roto
				2 Pérdida de carga	
Cable de bujía	4	Envía chispa a bujía	A	Circuito abierto	1 cable corroído/sulfatado
					2 Cable suelto
			B	Golpeteo del motor	1 Cable a tierra
					2 Cable suelto
			C	Ruido	1 Cable suelto
					2 Cable a tierra
Cableado eléctrico	5	Conexión eléctrica del motor	A	Circuito abierto	1 cable corroído/sulfatado
					B
			C	No hay chispa	1 cable corroído/sulfatado

Cuadro 10. Hoja de información

Ejemplo de estratificación:

Componente: Bujía.

La función (F) que desempeña se define como 1, está asociado a la falla funcional (FF) golpeteo del motor la cual se define como A, y finalmente el modo o causa de falla (FM) Suciedad se define como 1. Como resultado el código obtenido de la estratificación del modo de fallo “suciedad” asociado al a la falla funcional “golpeteo del motor” al respecto de la función “Genera la chispa de encendido del motor” del componente “bujía” es el 1A1.

### 3.4.2 HOJA DE DECISIÓN

Es en esta etapa del análisis en la cual finalmente se integran las consecuencias y las tareas, y es en esta etapa en la que podremos responder a las últimas 3 preguntas de la metodología del RCM:

- **Qué importa si falla?**
- **Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?**
- **Que debe hacerse en caso de no encontrar una tarea proactivamente apropiada?**

En la imagen inferior (**Gráfico 25**) se muestra la hoja de decisiones el cual es uno de los documentos centrales utilizados en la metodología.

HOJA DE DECISIONES		Sistema: Subsistema:										Facilitador: Auditor				Fecha: Fecha:		Hoja Nº 1 de:
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a falta de				Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por		
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4						

Gráfico 25. Hoja de decisión de RCM

El uso de la hoja de decisiones permite asentar respuestas a las preguntas formuladas en el árbol de decisiones, y en función de dichas respuestas registrar:

- Que mantenimiento de rutina se va a efectuar, la frecuencia y el responsable de la ejecución; es en este punto en que empleando los datos de vida de los equipos al hallar sus factores característicos de la vida útil.

- Que fallas son tan serias que justifican el rediseño; estas tareas serán derivadas al personal de Ingeniería de Mantenimiento para su aprobación, ejecución y control.
- Decidir en la aplicación del Run-to fail (correr a la falla).

La hoja de decisión está dividida en 16 columnas. Las primeras tres columnas F, FF, y FM identifican el modo de falla que se analizan en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias de las Hojas de información y las Hojas de decisión. Los encabezamientos de las siguientes diez columnas se refieren a las preguntas del árbol de decisiones (**ver gráfico 24**), de manera que:

- Las columnas tituladas H, S, E, O y N son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de los modos de falla, colocando S o N (Sí o No según aplique)
- Las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, que tipo de tarea.
- Si se hace necesario responder a cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas H4, H5 y S4 son las que permiten registrar esas respuestas, colocando S o N (Sí o No según aplique)
- Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia en la que debe hacerse, y quién ha sido seleccionado para realizarla.
- La columna de tarea propuesta también se utiliza para colocar actividades de “rediseño”, o si se decidió que el modo de fallo sea tratado Run-to fail [MOUBRAY, 2004].

El desarrollo de las Hojas de Información y de las Hoja de Decisiones será presentado en el capítulo 4 como parte de los resultados obtenidos.

Ejemplo del desarrollo de la Hoja de Decisiones en función de la Hoja de Información presentado del cuadro 9 a continuación:

HOJA DE DECISIONES			Sistema: Encendido										Facilitador: Martín Da Costa Burga			Fecha: 10/01/2006	Hoja N° 1
			Subsistema:										Auditor			Fecha:	de: 6
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3								
							O1	O2	O3	H4	H5	S4					
<b>BUJIA</b>																	
1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Limpia bujía	12 s	MEC		
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de bujía, cambiar de ser necesario	12 s	MEC		
1	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
1	C	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
1	D	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
1	E	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
<b>MAGNETO</b>																	
2	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea abajo suficiente				
2	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de cables y contactos del magneto	12 s	MEC		
2	C	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado de magneto	12 s	MEC		
<b>BOBINA</b>																	
3	A	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de cables y contactos de bobina	12 s	MEC		
3	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de bobina	12 s	MEC		
<b>CABLE DE BUJIA</b>																	
4	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado de cable de bujía	12 s	MEC		
4	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
4	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
4	B	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
4	C	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
4	C	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
<b>CABLEADO ELECTRICO</b>																	
5	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado de cables electricos	12 s	MEC		
5	B	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
5	C	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				

Cuadro 11. Elaboración de la hoja de decisiones

## CAPITULO 4

## PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

## 4.1 RESULTADOS DEL AMEF.

A continuación se muestran los resultados de la clasificación obtenidas a través del AMEF

n	Item	Modo de fallo	Efectos de fallo	Causas de fallo	NPR	NIVEL
1	Radiador	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	picadura en el panel	432	C
2	Anillos de lubricación	Humo azul	Sobrecalentamiento	desgaste	360	C
3	Bujía	No hay chispa	Falla en el arranque	Falla de mantenimiento	315	C
4	Cableado eléctrico	No hay chispa	motor no arranca	Cable roto	315	C
5	Radiador	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	tapa de radiador rota	315	C
6	Caja lubricadora	No hay bombeo de aceite	Parada de motor	desgaste de sello eje	315	C
7	Caja lubricadora	No hay bombeo de aceite	Parada de motor	desgaste de sello caja	315	C
8	Magneto	No hay chispa	motor no arranca	corto circuito	270	C
9	Tuberías	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	dimensión inadecuada	270	C
10	Radiador	Taponamiento	Sobrecalentamiento	corrosión	270	C
11	Caja lubricadora	No hay bombeo de aceite	Parada de motor	no hay aceite en el lubricador	270	C
12	Caja lubricadora	No hay bombeo de aceite	Parada de motor	desgaste de válvula check	270	C
13	Caja lubricadora	No hay bombeo de aceite	Parada de motor	obstrucción del filtro	270	C
14	Caja lubricadora	No hay bombeo de aceite	Parada de motor	Bombin taponeado	270	C
15	Caja lubricadora	No hay bombeo de aceite	Parada de motor	válvula check del cilindro taponeada	270	C
16	Magneto	Masa hace tierra	motor no arranca	Cable suelto	252	C
17	Faja de ventilador	Bajo flujo de aire	Sobrecalentamiento	mala selección	252	C
18	Conexiones de refrigeración	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	Corrosión	252	C
19	Refrigerante	contaminación	Sobrecalentamiento	mezcla inpropia	243	C
20	Refrigerante	contaminación	Sobrecalentamiento	refrigerante fuera de especificación	243	C
21	Cigüeñal	Detonaciones	Deformación	mal sincronismo	240	C
22	Bobina	No hay chispa	motor no arranca	Pérdida de carga	225	C
23	Conexiones de refrigeración	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	Mal ajuste	216	C
24	Conductos de aceite	Taponamiento	Sobrecalentamiento	obstrucción de conductos	216	C
25	Cigüeñal	Detonaciones	Pérdida de potencia	mal sincronismo	216	C
26	Fibras	Ruido	Pérdida de tracción	desgaste	210	C

Cuadro 12. Resultados de clasificación del AMEF

n	Item	Modo de fallo	Efectos de fallo	Causas de fallo	NPR	NIVEL
27	Bobina	No hay chispa	motor no arranca	cable roto	180	SC
28	Ventilador	No hay flujo de aire	Sobrecalentamiento	desgaste de rodamiento	180	SC
29	Nivel de aceite	Obstrucción del nivel	Parada de motor	Aceite contaminado	162	SC
30	Pistón	Motor no comprime	Parada de motor	Desgaste de pistón	162	SC
31	Biela	Fricción	sobrecalentamiento	Desgaste	162	SC
32	Camisa	Baja compresión	Parada de motor	Desgaste	162	SC
33	Rodaje Piloto	Ruido	Sobrecalentamiento	mala lubricación	162	SC
34	Rodaje Piloto	Ruido	Deformación de eje	Rotura	162	SC
35	Filtro de aire	Restricción de aire	motor no arranca	filtro taponeado	162	SC
36	Metales de biela	Fundición de metal	Paro inesperado	falla de lubricación	160	SC
37	Nivel de aceite	Descalibración	Sobrecalentamiento	Error de montaje	150	SC
38	Nivel de aceite	Descalibración	Sobrecalentamiento	Mal mantenimiento	150	SC
39	Fibras	Trabamiento	Sobrecalentamiento	rotura	150	SC
40	Cableado eléctrico	Circuito abierto	Falla en el arranque	cable roto	147	SC
41	Magneto	Golpeteo del motor	Parada de motor	magneto con suciedad	144	SC
42	Pistón	Motor no comprime	Motor no arranca	Desgaste de pistón	144	SC
43	Pistón	Motor no comprime	Falla al arrancar	Desgaste de pistón	144	SC
44	Pistón	Baja compresión	Pérdida de potencia	Desgaste de pistón	144	SC
45	Anillos de compresión	Baja compresión	Pérdida de potencia	desgaste de anillos	144	SC
46	Anillos de compresión	Motor no comprime	Motor no arranca	desgaste de anillos	144	SC
47	Anillos de compresión	Motor no comprime	Falla al arrancar	desgaste de anillos	144	SC
48	Rodaje Piloto	Ruido	No hay tracción	Desgaste esperado	144	SC
49	Separador de gas	combustible húmedo	pérdida de potencia	falla en la purga	144	SC
50	Filtro de aire	Restricción de aire	Pérdida de potencia	filtro taponeado	144	SC
51	Faja de ventilador	Ruido	deslizamiento	desgaste de faja	140	SC
52	Fibras	Deslizamiento	No hay tracción	fibras engrasadas	140	SC

n	Item	Modo de fallo	Efectos de fallo	Causas de fallo	NPR	NIVEL
53	Culata	Baja compresión	Parada de motor	Desgaste de camisa	135	SC
54	Culata	Baja compresión	Parada de motor	Deformación de culata	135	SC
55	Culata	Baja compresión	Sobrecalentamiento	Deformación de culata	135	SC
56	Culata	Baja compresión	Sobrecalentamiento	rotura de culata	135	SC
57	Cruceta	Ruido	Sobrecalentamiento	mala lubricación	135	SC
58	Cruceta	Ruido	Sobrecalentamiento	Suciedad	135	SC
59	Cruceta	Ruido	Parada de motor	Rotura de perno	135	SC
60	Manifold de admisión	fuga de combustible	motor no arranca	válvula rota	135	SC
61	Manifold de admisión	fuga de combustible	Paro inesperado	Mal mantenimiento	135	SC
62	Separador de gas	restricción de gas	motor no arranca	tanque lleno de líquido	135	SC
63	Válvula reguladora	Restricción de gas	motor no arranca	válvula cerrada	135	SC
64	Válvula reguladora	Restricción de gas	paro inesperado	descalibración	135	SC
65	Gobernador	Restricción de gas	motor no arranca	descalibración	135	SC
66	Gobernador	sobrevelocidad	paro inesperado	descalibración	135	SC
67	Tubería de gas	fuga de combustible	Motor no arranca	tubería rota	135	SC
68	Rodaje Piloto	Ruido	Pérdida de tracción	mala operación	126	SC
69	Filtro de aire	Restricción de aire	Golpeteo en el motor	filtro taponeado	126	SC
70	Biela	Detonación	Deformación	mal sincronismo	120	NC
71	Culata	Baja compresión	Pérdida de potencia	Desgaste de camisa	120	NC
72	Separador de gas	combustible húmedo	detonación	falla en la purga	120	NC
73	Cable de bujía	Circuito abierto	Falla en el arranque	cable roto	108	NC
74	Rodamiento de cigüeñal	Ruido	Sobrecalentamiento	mala lubricación	108	NC
75	Metales de biela	Fricción	sobrecalentamiento	Desgaste de metales	108	NC
76	Camisa	Baja compresión	Sobrecalentamiento	Rotura	108	NC
77	Válvula reguladora	alta presión de gas	detonación	descalibración	108	NC
78	Filtro de aire	Restricción de aire	alto consumo de aceite	filtro taponeado	108	NC
79	Yugo y collarín	Ruido	No hay tracción	rotura	105	NC

n	Item	Modo de fallo	Efectos de fallo	Causas de fallo	NPR	NIVEL
80	Fibras	Rotura	No hay tracción	mala operación	98	NC
81	Bujía	Golpeteo del motor	Alta vibración del motor	Suciedad	96	NC
82	Válvula reguladora	mezcla rica	detonación	descalibración	96	NC
83	Bujía	Oscilaciones	Parada de motor	Exesivo entrehierro	90	NC
84	Cruceta	Ruido	Rayaduras en camisa	Limallas en el aceite	90	NC
85	Válvula reguladora	Restricción de gas	pérdida de potencia	mala selección	90	NC
86	Filtro de aire	Restricción de aire	Combustión incompleta	filtro taponeado	90	NC
87	Bujía	Ruido	Detonaciones	Suciedad	84	NC
88	Cable de bujía	Circuito abierto	Falla en el arranque	Cable suelto	81	NC
89	Gobernador	baja velocidad	Parada de motor	descalibración	81	NC
90	Tubería de gas	Restricción de gas	Motor no arranca	tubería taponeada	81	NC
91	Válvula de alimentación	Restricción de gas	motor parado	válvula cerrada	81	NC
92	Yugo y collarín	Ruido	Vibración	mal ajuste	75	NC
93	Yugo y collarín	Ruido	Vibración	rotura	75	NC
94	Bujía	Golpeteo del motor	Alta vibración del motor	Exesivo entrehierro	72	NC
95	Cable de bujía	Golpeteo del motor	Alta vibración del motor	Cable a tierra	72	NC
96	Cable de bujía	Golpeteo del motor	Alta vibración del motor	Cable suelto	72	NC
97	Tuberías	Rotura de tubería	Sobrecalentamiento	corrosión	72	NC
98	Cigüeñal	Desbalanceo	Alta vibración	Falla de montaje	72	NC
99	Cigüeñal	Desbalanceo	Alta vibración	falla de mantenimiento	72	NC
100	Rodamiento de cigüeñal	Ruido	Sobrecalentamiento	desgaste	72	NC
101	Rodamiento de cigüeñal	rotura	deformación de eje	rotura de rodamiento	72	NC
102	Metales de biela	Ruido	sobrecalentamiento	Desgaste de metales	72	NC
103	Biela	Detonación	Altas vibraciones	mal sincronismo	72	NC
104	Cableado eléctrico	Ruido	Detonaciones	cable suelto	63	NC
105	Faja de ventilador	No hay flujo de aire	Sobrecalentamiento	rotura de faja	63	NC
106	Falla del carter	Fuga de aceite	Sobrecalentamiento	tapón de carter roto	60	NC

n	Item	Modo de fallo	Efectos de fallo	Causas de fallo	NPR	NIVEL
107	Falla del carter	Fuga de aceite	Sobrecalentamiento	carter roto	60	NC
108	Bujía	Disminución de rpm	Pérdida de potencia	Bujías engrasadas	48	NC
109	Rodamiento de eje de embrague	Ruido	Deformación de eje	rotura	48	NC
110	Cable de bujía	Ruido	Detonaciones	Cable suelto	42	NC
111	Cable de bujía	Ruido	Detonaciones	Cable a tierra	42	NC
112	Rodamiento de eje de embrague	Ruido	No hay tracción	desgaste	42	NC
113	Polea de ventilador	Ruido	Alta Vibración	pernos flojos	36	NC
114	Polea de ventilador	Ruido	Alta Vibración	desgaste de rodamiento	36	NC
115	Rodamiento de eje de embrague	Ruido	Sobrecalentamiento	mala lubricación	36	NC
116	Cremallera	Rotura de dientes	motor no arranca	Desgaste de dientes	32	NC
117	Cremallera	Vibración	motor no arranca	Desgaste de dientes	32	NC
118	Bendix	No hay corriente	motor no arranca	Batería mala	32	NC
119	Bendix	No hay corriente	motor no arranca	Cable de batería roto	32	NC
120	Bendix	Rotura de dientes	motor no arranca	Desgaste de dientes	32	NC
121	Bendix	Vibración	motor no arranca	Desgaste de dientes	32	NC
122	Bendix	Rotura de horquilla	motor no arranca	Desgaste de horquilla	32	NC
123	Ventilador	Apas rotas	Sobrecalentamiento	rotura de aspas	18	NC
124	Palanca de encroche	Rotura de palanca	No hay tracción	desgaste de material	7	NC

#### 4.2 RESULTADO DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE COMPONENTES.

Como resultado del análisis de criticidad se determinaron las partes (componentes) más críticas de los motores estudiados.

##### PARTES CRÍTICAS

1	Radiador	172	C
2	Bujía	164	C
3	Magneto	123	C
4	Bobina	123	C
5	Cable de bujía	123	C
6	Cableado eléctrico	123	C
7	Nivel de aceite	123	C
8	Anillos de compresión	108	C
9	Rodaje Piloto	108	C
10	Fibras	108	C
11	Manifold de admisión	86	C
12	Faja de ventilador	84	C
13	Anillos de lubricación	84	C
14	Separador de gas	82	C
15	Válvula reguladora	66	C
16	Tubería de gas	82	C
17	Cigüeñal	50	C
18	Metales de biela	50	C
19	Biela	50	C
20	Pistón	47	C
21	Rodamiento de cigüeñal	45	C

##### PARTES SEMICRÍTICOS

1	Gobernador	75	SC
2	Camisa	60	SC
3	Caja lubricadora	52	SC
4	Culata	50	SC
5	Tuberías	42	SC
6	Rodamiento de eje de embrague	42	SC
7	Válvula de alimentación	37	SC
8	Filtro de aire	33	SC
9	Conductos de aceite	31	SC
10	Cruceta	26	SC

##### PARTES NO CRÍTICOS

1	Carter de aceite	20	NC
2	Ventilador	15	NC
3	Yugo y collarín	15	NC
4	Palanca de encroche	15	NC
5	Refrigerante	14	NC
6	Polea de ventilador	13	NC
7	Conexiones	8	NC
8	Cremallera	6	NC
9	Bendix	6	NC

Cuadro 13. Resumen de criticidad de componentes

### 4.3 RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO GRÁFICO A LOS MOTORES TIPOA.

A continuación en la siguiente tabla se presenta el cuadro con los resultados de análisis de vida de equipos obtenidos a través del método gráfico:

n	MOTOR	Periodo de estudio	$\beta < 1$	$\beta = 1$	$\beta > 1$	Etapa de vida
1	M 1737	427		1.0		Vida útil
2	M 0539	117			2.20	Desgaste
3	M 0543	448		1.0		Vida útil
4	M 1155	573	0.90			Infancia
5	M 0313	923			1.40	Desgaste
6	M 1733	322		1.0		Vida útil
7	M 0364	421	0.60			Infancia
8	M 0336	210		1.0		Vida útil
9	M 0117	398			1.25	Desgaste
10	M 0544	875	0.74			Infancia
11	M 0523	617	0.80			Infancia
12	M 0503	433		1.0		Vida útil
13	M 0325	414	0.80			Infancia
14	M 1127	316	0.65			Infancia
15	M 0554	875	0.80			Infancia
16	M 0534	610	0.84			Infancia
17	M 1681	446			1.50	Desgaste

Cuadro 14. Cuadro de parámetros de vida

Al mismo tiempo determinamos el Tiempo medio entre fallas (MTBF) y los datos de confiabilidad al 30/11/2005.

n	MOTOR	Fecha Inicial	$\beta$	$\eta$	MTBF(días)	R(t)	F(t)
1	M 1737	29/09/2004	1.00	62.0	62	0.111%	99.889%
2	M 0539	05/08/2005	2.20	27.0	24	0.007%	99.993%
3	M 0543	08/09/2004	1.00	23.0	23	0.000%	100.0%
4	M 1155	06/05/2004	0.90	27.0	28	0.000%	100.0%
5	M 0313	22/05/2003	1.40	64.0	58	0.000%	100.0%
6	M 1733	12/01/2005	1.00	39.0	39	0.026%	99.974%
7	M 0364	05/10/2004	0.60	68.0	102	2.436%	97.564%
8	M 0336	04/05/2005	1.00	9.5	95	0.000%	100.0%
9	M 0117	28/10/2004	1.25	48.0	45	0.003%	99.997%
10	M 0544	09/07/2003	0.74	89.0	108	0.069%	99.931%
11	M 0523	23/03/2004	0.80	70.0	79	0.077%	99.923%
12	M 0503	23/09/2004	1.00	33.0	33	0.000%	100.0%
13	M 0325	12/10/2004	0.80	42.0	48	0.004%	99.996%
14	M 1127	18/01/2005	0.65	43.0	75	0.842%	99.158%
15	M 0554	09/07/2003	0.80	64.0	73	0.002%	100.0%
16	M 0534	30/03/2004	0.84	80.0	88	0.149%	99.851%
17	M 1681	10/09/2004	1.50	42.0	38	0.000%	100.0%

Cuadro 15. Resultados del análisis de vida útil

#### 4.4 HOJAS DE INFORMACIÓN:

A continuación se muestra el desarrollo de las hojas de información correspondientes al motor M1737

<b>Nombre del equipo:</b> Motor de combustión interna marca AJAX					
<b>Sistema:</b> Encendido					
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial		Causas Potenciales de fallo	
Bujía	1 Genera la chispa de encendido del motor	A	Golpeteo del motor	1	Suciedad
				2	Exesivo entrehierro
		B	No hay chispa	1	Desgaste
		C	Ruido	1	Suciedad
		D	Oscilaciones	1	Exesivo entrehierro
Magneto	2 Genera la corriente que se suministra a la bujía	E	Disminución de rpm	1	Contaminación con grasa
		A	No hay chispa	1	corto circuito
		B	Masa hace tierra	1	Cable suelto
Bobina	3 Envía corriente a la bujía	C	Golpeteo del motor	1	magneto con suciedad
		A	No hay chispa	1	cable roto
Cable de bujía	4 Envía chispa a bujía			2	Pérdida de carga
		A	Circuito abierto	1	cable corroído/sulfatado
				2	Cable suelto
		B	Golpeteo del motor	1	Cable a tierra
				2	Cable suelto
		C	Ruido	1	Cable suelto
Cableado eléctrico	5 Conexión eléctrica del motor			2	Cable a tierra
		A	Circuito abierto	1	cable corroído/sulfatado
		B	Ruido	1	cable suelto
		C	No hay chispa	1	cable corroído/sulfatado

<b>Nombre del equipo:</b> Motor de combustión interna marca AJAX					
<b>Sistema:</b> Arranque					
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial		Causas Potenciales de fallo	
Cremallera	6 Rompe la inercia de la volante para arrancar	A	Rotura de dientes	1	Desgaste de dientes
		B	Vibración	1	Desgaste de dientes
Bendix	7 Transmite movimiento a la cremallera para el arranque	A	No hay corriente	1	Batería desgastada
		B	Rotura de dientes	2	Cable de batería roto
		C	Vibración	1	Desgaste de dientes
		D	Rotura de horquilla	1	Desgaste de horquilla

<b>Nombre del equipo:</b> Motor de combustión interna marca AJAX					
<b>Sistema:</b> Refrigeración					
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial		Causas Potenciales de fallo	
Tuberías	8 Traslada el flujo de refrigerante	A	Fuga de refrigerante	1	sobre/sub dimensionado
		B	Rotura de tubería	1	corrosión
Ventilador	9 enfria el refrigerante en el radiador	A	No hay flujo de aire	1	desgaste de rodamiento
		B	Apas rotas	1	fatiga por desgaste de material
Refrigerante	10 Líquido que enfria el motor	A	contaminación	1	mezcla inpropia
		B	contaminación	1	refrigerante fuera de especificación
Faja de ventilador	11 Transmite el movimiento al ventilador	A	Ruido	1	desgaste de faja
		B	No hay flujo de aire	1	rotura de faja
		C	Bajo flujo de aire	1	mala selección
Conexiones de refrigeración	12 Interconecta las piezas del sistema		Fuga de refrigerante	1	Mal ajuste
		A		1	Corrosión
Radiador	13 Enfria el refrigerante del sistema	A	Fuga de refrigerante	1	picadura en el panel por agente externo
				2	tapa de radiador rota
Polea de ventilador	14 Mueve al ventilador	B	Taponamiento	1	corrosión
		A	Ruido	1	pernos flojos
				2	desgaste de rodamiento

Cuadro 16. Hoja de Información

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX							
Sistema: Lubricación							
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial	Causas Potenciales de fallo				
Caja lubricadora	15 Conduce el aceite en el motor	A No hay bombeo de aceite	1	Fuga de aceite			
			2	desgaste de válvula check			
			3	obstrucción del filtro			
			4	Bombin taponeado			
			5	válvula check del cilindro taponeada			
			6	desgaste de sello eje			
			7	desgaste de sello caja			
Falla del carter	16 Almacena aceite y lubrica el cigüeñal	A Fuga de aceite	1	tapón de carter roto			
			2	carter roto			
Conductos de aceite	17 Deriva el aceite a las piezas del motor	A Taponamiento	1	obstrucción de conductos			
Nivel de aceite	18 Controla la cantidad necesaria de aceite en el motor	A Obstrucción del nivel	1	Aceite contaminado			
			B Descalibración	1	Error de montaje		
				2	descalibración		
Anillos de lubricación	19 Lubrican el cilindro del motor	A Humo azul	1	desgaste			

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX						
Sistema: Fuerza						
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial	Causas Potenciales de fallo			
Cigüeñal	20 Transmite la potencia al eje	A Desbalanceo	1	Falla de montaje		
			2	falla de mantenimiento		
		B Detonaciones	1	mal sincronismo		
2	mal sincronismo					
Pistón	21 Pieza que efectúa el movimiento alternativo que transmite la potencia	A Motor no arranca	1	Desgaste de pistón		
			1	Desgaste de pistón		
		B Baja compresión	1	Desgaste de pistón		
			1	Desgaste de pistón		
Anillos de compresión	22 Mantienen la presión y lubrican el pistón	A Baja compresión	1	desgaste de anillos		
			1	desgaste de anillos		
		B Motor no comprime	2	desgaste de anillos		
Rodamiento de cigüeñal	23 Permite el giro del cigüeñal en la bancada	A Ruido	1	desgaste		
			2	mala lubricación		
		B rotura	1	rotura de rodamiento		
Metales de biela	24 Permiten el giro relativo de la biela en el cigüeñal	A Ruido	1	Desgaste de metales		
			1	Desgaste de metales		
		C Fundición de metal	1	falla de lubricación		
Biela	25 Transmite la potencia al cigüeñal	A Detonación	1	mal sincronismo		
			2	mal sincronismo		
		B Fricción	1	Desgaste		
Camisa	26 Lugar donde se produce la combustión	A Baja compresión	1	Desgaste		
			2	Rotura		
Culata	27 Recubre el volumen donde se produce la combustión	A Baja compresión	1	Desgaste de camisa		
			2	Desgaste de camisa		
			3	Deformación de culata		
			4	Deformación de culata		
			5	rotura de culata		
Cruceca	28 Transmite el desplazamiento del pistón al cigüeñal	A Ruido	1	mala lubricación		
			2	Suciedad		
			3	Rotura de perno		
			4	Limallas en el aceite		

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX						
Sistema: Embrague						
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial	Causas Potenciales de fallo			
Rodaje Piloto	29	Permite el giro del eje del embragüe apoyado en el motor	A	Ruido	1	Desgaste esperado
					2	mala operación
					3	mala lubricación
					4	Rotura
Fibras	30	pastilla que transmiten movimiento por fricción	A	Ruido	1	desgaste
					B	Rotura
					C	Trabamiento
					D	Deslizamiento
Yugo y collarín	31	Engancha las fibras a la cremallera del embrague	A	Ruido	1	mal ajuste
					2	rotura
					3	rotura
Palanca de encroche	32	Palanca de enganche	A	Rotura de palanca	1	desgaste de material
Rodamiento de eje de embragüe	33	Permite el giro del eje el embrague apoyado en el embrague mismo	A	Ruido	1	desgaste
					2	rotura
					3	mala lubricación

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX						
Sistema: Combustible						
Pieza	Función que desempeña	Modo de fallo Potencial	Causas Potenciales de fallo			
Manifold de admisión	34	Permite el ingreso del gas al cilindro	A	fuga de combustible	1	válvula rota
					2	Mal mantenimiento
Separador de gas	35	Separa al combustible gaseoso del líquido	A	restricción de gas combustible húmedo	1	tanque lleno de líquido
					B	falla en la purga
Válvula reguladora	36	Regula la presión de ingreso al manifold del motor	A	alta presión de gas	1	descalibración
					B	mezcla rica
					Restricción de gas	1
Gobernador	37	Controla la velocidad de giro del motor	C	Restricción de gas	2	mala selección
					3	descalibración
					A	Restricción de gas
Tubería de gas	38	Alimenta de gas al sistema	B	fuga de combustible	1	descalibración
					B	baja velocidad
					C	sobrevelocidad
Filtro de aire	39	purifica el aire de admisión	A	Restricción de gas	1	descalibración
					A	fuga de combustible
Válvula de alimentación	40	Permite el ingreso del gas al sistema	A	Restricción de gas	1	tubería taponeada
					A	Restricción de aire
Válvula de alimentación	40	Permite el ingreso del gas al sistema	A	Restricción de gas	1	válvula cerrada
					A	Restricción de gas

#### 4.5 RESULTADO DE LA ELABORACIÓN DE LA HOJA DE DECISIONES.

Como resultado del diagrama y hoja de decisiones se obtuvo el plan de mantenimiento para cada uno de los motores estudiados.

A continuación se muestra las hojas de decisiones obtenidas para el motor M 1737.

HOJA DE DECISIONES			Sistema: Encendido Subsistema:							Facilitador: Martín Da Costa Burga Auditor				Fecha: 10/01/2006 Fecha:		Hoja N° 1 de: 7	
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a falta de				Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4					
<b>BUJIA</b>																	
1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Limpiar bujía	8 s	MEC		
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de bujía, cambiar de ser necesario	8 s	MEC		
1	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
1	C	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
1	D	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
1	E	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
<b>MAGNETO</b>																	
2	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea abajo suficiente				
2	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de cables y contactos del magneto	8 s	MEC		
2	C	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado de magneto	8 s	MEC		
<b>BOBINA</b>																	
3	A	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de cables y contactos de bobina	8 s	MEC		
3	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de bobina	8 s	MEC		
<b>CABLE DE BUJIA</b>																	
4	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado de cable de bujía	8 s	MEC		
4	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
4	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
4	B	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
4	C	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
4	C	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
<b>CABLEADO ELECTRICO</b>																	
5	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar estado de cables electricos	8 s	MEC		
5	B	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
5	C	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				

HOJA DE DECISIONES			Sistema: Arranque										Facilitador: Martín Da Costa Burga			Fecha: 10/01/2006	Hoja Nº 2				
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1			H2			H3			Acción a falta de			Auditor	Fecha:	de: 7
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4	Tarea Propuesta			Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por				
N1			N2			N3															
<b>CREMALLERA</b>																					
6	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar estado de los dientes de la cremallera			8 s	MEC				
6	B	2	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Tarea arriba suficiente								
<b>BENDIX</b>																					
7	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar carga de batería			4 s	MEC				
7	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de cable de batería			4 s	MEC				
7	B	2	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar estado de los dientes de bendix			4 s	MEC				
7	C	3	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Tarea arriba suficiente								
7	D	4	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar estado de horquilla, manipulando la palanca del embrague			4 s	MEC				

HOJA DE DECISIONES			Sistema: Refrigeración										Facilitador: Martín Da Costa Burga			Fecha: 10/01/2006		Hoja N° 3
			Subsistema:										Auditor			Fecha:		de: 7
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por			
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4						
							O1	O2	O3									
							N1	N2	N3									
<b>TUBERIAS</b>																		
8	A	1	S	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Verificar correcto dimensionamiento de tuberias		ING			
8	B	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado de tuberías	2 s	OP			
<b>VENTILADOR</b>																		
9	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado de rodamientos del ventilador, cambiar de ser necesario	8 s	MEC			
9	B	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	verificar estado de aspas de ventilador	8 s	MEC			
<b>REFRIGERANTE</b>																		
10	A	1	N	N	N	S	N	N	N	S	N	N	Emplear agua tratada, mejorar la calida de la mezcla del refrigerante		ING			
10	B	1	N	N	N	S	N	N	N	S	N	N	Tarea arriba suficiente					
<b>FAJA DE VENTILADOR</b>																		
11	A	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Cambio sistemático	24 s	MEC			
11	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente					
11	C	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente					
<b>CONEXIONES DE REFRIGERACION</b>																		
12	A	1	N	N	N	S	S	N	N	S	N	N	Capacitar al personal para el correcto ajuste de las conexiones de refrigeración del motor		ING			
													Verificar el estado de las conexiones de refrigeracion del motor	2 s	OP			
12	A	2	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Tarea arriba suficiente					
<b>RADIADOR</b>																		
13	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar presencia de fugas en el radiador	2 s	OP			
13	A	2	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado de tapa de radiador (verificar existencia de tapa)	2 s	OP			
13	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de radiador	8 s	MEC			
<b>POLEA DE VENTILADOR</b>																		
14	A	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Ajustar pernos de polea del ventilador	8 s	MEC			
14	A	2	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar estado de rodamientos, cambiar de ser necesario	8 s	MEC			

HOJA DE DECISIONES			Sistema: Lubricación										Facilitador: Martín Da Costa Burga			Fecha: 10/01/2006	Hoja N° 4
			Subsistema:										Auditor			Fecha:	de: 7
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4					
							N1	N2	N3								
<b>CAJA LUBRICADORA</b>																	
15	A	1	S	N	S	S	S	N	N	N	S	N	Verificar fugas de aceite en la caja lubricadora	2 s	OP		
15	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de valvula check de la caja lubricadora	24s	MEC		
15	A	3	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar estado de filtro de caja lubricadora	24 s	MEC		
15	A	4	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar estado de bombín, cambiar de ser necesario	8 s	MEC		
15	A	5	N	N	S	N	N	S	N	N	N	N	Verificar estado de valvula check del cilindro (caja lubricadora)	24 s	MEC		
15	A	6	S	N	S	S	S	N	N	N	N	N	Verificar fugas de aceite en sello de eje	2 s	OP		
15	A	7	S	N	S	S	S	N	N	N	N	N	Verificar fugas de aceite en reten de la caja	2 s	OP		
<b>CARTER</b>																	
16	A	1	S	N	S	S	S	N	N	N	N	N	Inspeccionar fuga de aceite en el carter	2 s	OP		
16	A	2	S	N	S	S	S	N	N	N	N	N	Inspeccionar fuga de aceite en el carter				
<b>CONDUCTOS DE ACEITE</b>																	
17	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	S	N	Verificar pérdida de presión de aceite	1 s	OP		
<b>NIVEL DE ACEITE</b>																	
18	A	1	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Realizar analisis predictivo de aceite	24 s	PRE		
18	B	1	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Capacitar al personal en el correcto montaje del nivel		ING		
18	B	2	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	Verificar el estado del nivel de aceite	24 s	MEC		
<b>ANILLOS DE LUBRICACIÓN</b>																	
19	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar las emanaciones y la contaminación del tubo de escape	2 s	OP		
													Verificar desgaste de los anillos de lubricación	24 s	MEC		

HOJA DE DECISIONES			Sistema: Fuerza Subsistema:										Facilitador: Martín Da Costa Burga Auditor			Fecha: 10/01/2006 Fecha:		Hoja N° 5 de: 7
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a falta de				Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por		
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4						
<b>CIGÜEÑAL</b>																		
20	A	1	N	N	N	S	N	N	N	N	S	N	Capacitar continuamente al personal en el correcto procedimiento de montaje de cigüeñal.		ING			
20	A	2	N	N	N	S	N	N	N	N	S	N	Idem					
20	B	1	N	N	N	S	N	N	S	S	N	N	Idem					
20	B	2	N	N	N	S	N	N	S	S	N	N	Idem					
<b>PISTON</b>																		
21	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar desgaste del piston	8 s	MEC			
21	B	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Idem					
21	C	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Idem					
21	D	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Idem					
<b>ANILLOS DE COMPRESION</b>																		
22	A	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Verificar desgaste de anillos de compresion	8 s	MEC			
22	B	1	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Idem					
22	B	2	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	Idem					
<b>RODAMIENTO DE CIGÜEÑAL</b>																		
23	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado del rodamiento del cigüeñal	8 s	MEC			
23	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Mejorar procedimiento de lubricacion		ING			
23	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar ruidos extraños en el cigüeñal	1s	OP			
<b>METALES DE BIELA</b>																		
24	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite suficiente					
24	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite suficiente					
24	C	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite suficiente					
<b>BIELA</b>																		
25	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de alimentación de gas		ING			
25	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de alimentación de gas suficiente					
25	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite suficiente					
<b>CAMISA</b>																		
26	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite suficiente					
26	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar perdida de presión en el motor	2 s	OP			
<b>CULATA</b>																		
27	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite suficiente					
27	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite suficiente					
27	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar perdida de presión en el motor suficiente					
27	A	4	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar perdida de presión en el motor suficiente					
27	A	5	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite suficiente					
<b>CRUCETA</b>																		
28	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite suficiente					
28	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite suficiente					
28	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite suficiente					
28	A	4	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Análisis de aceite suficiente					

HOJA DE DECISIONES			Sistema: Embrague										Facilitador: Martín Da Costa Burga			Fecha: 10/01/2006		Hoja N° 6
			Subsistema:										Auditor			Fecha:		de: 7
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por			
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4						
							O1	O2	O3									
<b>RODAJE PILOTO</b>																		
29	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de rodaje piloto	8 s	MEC			
29	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar ruido en rodaje piloto	2 s	OP			
29	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar ruido en rodaje piloto suficiente					
29	A	4	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de rodaje piloto suficiente					
<b>FIBRAS</b>																		
30	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Cambiar fibras de embrague	8 s	MEC			
30	B	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar ruido en las fibras del embrague	2 s	OP			
30	C	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar ruido en las fibras del embrague suficiente					
30	D	4	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Cambiar fibras suficiente					
<b>YUGO Y COLLARIN</b>																		
31	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Trabajar a correctivo					
31	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Trabajar a correctivo					
31	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Trabajar a correctivo					
<b>PALANCA DE ENCROCHE</b>																		
32	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	No genera ganancia ni pérdida					
<b>RODAMIENTO DE EMBRAGUE</b>																		
33	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar ruido en rodamiento de embrague	2 s	OP			
33	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar ruidos con estetoscopio en el embrague	4 s	MEC			
33	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente					

HOJA DE DECISIONES			Sistema: Combustible										Facilitador: Martín Da Costa Burga			Fecha: 10/01/2006	Hoja N° 7
			Subsistema:										Auditor			Fecha:	de: 7
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta			Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4					
							N1	N2	N3								
<b>MANIFOLD DE ADMISIÓN</b>																	
34	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de la válvula del manifold de admisión	8 s	MEC		
34	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
<b>SEPARADOR DE GAS</b>																	
35	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Purgar tanque separador de gas	8 s	MEC		
35	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de válvula de purga	8 s	MEC		
35	B	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
<b>VLAVULA REGULADORA</b>																	
36	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Calibrar válvula reguladora	8 s	INS		
36	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
36	C	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
36	C	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
36	C	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
<b>GOBERNADOR</b>																	
37	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar y regular gobernador	8 s	MEC		
37	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
37	C	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
<b>TUBERIA DE GAS</b>																	
38	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar fuga de gas en tubería	2 s	OP		
38	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente				
<b>FILTRO DE AIRE</b>																	
39	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Cambiar filtro de aire	8 s	MEC		
<b>VLAVULA DE ALIMENTACIÓN</b>																	
40	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de válvula de alimentación	8 s	MEC		

Cuadro 17. Desarrollo de Hoja de decisiones del motor M1737

A continuación se muestra el plan de mantenimiento y actividades obtenidas como resultado del la hoja de decisiones en el motor M1737

PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES A GAS							
TAREA	FREC.	QUIEN	En Operación	CANT.	HH		
<b>Sistema: Lubricación</b>							
Verificar estado de valvula check de la caja lubricadora	24 s	MEC	n	2	2		
Verificar estado de filtro de caja lubricadora	24 s	MEC	n				
Verificar estado de valvula check del cilindro (caja lubricadora)	24 s	MEC	n				
Verificar el estado del nivel de aceite	24 s	MEC	s				
Verificar desgaste de los anillos de lubricación	24 s	MEC	n				
<b>Sistema: Encendido</b>							
Limpiar bujía	8 s	MEC	n	2	6		
Verificar estado de bujía, cambiar de ser necesario	8 s	MEC	n				
Verificar estado de cables y contactos del magneto	8 s	MEC	n				
Verificar estado de magneto	8 s	MEC	n				
Verificar estado de cables y contactos de bobina	8 s	MEC	s				
Verificar estado de bobina	8 s	MEC	s				
Verificar estado de cable de bujía	8 s	MEC	s				
Verificar estado de cables electricos	8 s	MEC	s				
<b>Sistema: Arranque</b>							
Verificar estado de los dientes de la cremallera	8 s	MEC	n				
<b>Sistema: Refrigeración</b>							
Verificar estado de radiador	8 s	MEC	s				
Verificar estado de aspas de ventilador	8 s	MEC	n				
Ajustar pernos de polea del ventilador	8 s	MEC	n				
Verificar estado de desgaste de las fajas	8 s	MEC	n				
Verificar estado de rodamientos del ventilador, cambiar de ser necesario	8 s	MEC	n				
<b>Sistema: Lubricación</b>							
Verificar estado de bombín, cambiar de ser necesario	8 s	MEC	n				
<b>Sistema: Motor</b>							
Verificar desgaste del piston	8 s	MEC	n				
Verificar desgaste de anillos de compresion	8 s	MEC	n				
Verificar estado del rodamiento del cigüeñal	8 s	MEC	n				
<b>Sistema: Combustible</b>							
Verificar estado de la válvula del manifold de admisión	8 s	MEC	n				
Purgar tanque separador de gas	8 s	MEC	n				
Verificar estado de válvula de purga	8 s	MEC	n				
Verificar y regular gobernador	8 s	MEC	n				
Cambiar filtro de aire	8 s	MEC	n				
Verificar estado de válvula de alimentación	8 s	MEC	n				
<b>Sistema: Embrague</b>							
Cambiar fibras de embrague	8 s	MEC	n				
Verificar estado de rodaje piloto	8 s	MEC	n				

<b>Sistema: Embrague</b>				1	1
Verificar ruidos con estetoscopio en el embrague	4 s	MEC	s		
Verificar estado de horquilla, manipulando la palanca del em	4 s	MEC	s		
<b>Sistema: Encendido</b>					
Verificar carga de batería	4 s	MEC	s		
Verificar estado de cable de batería	4 s	MEC	s		
Verificar estado de los dientes de bendix	4 s	MEC	s		
<b>Sistema: Combustible</b>					
Calibrar válvula reguladora	8 s	INS	n	1	1
<b>Servicio Predictivo</b>					
Realizar analisis predictivo de aceite	24 s	PRE	s	1	0.5

OPORTUNIDADES DE MEJORA	
Verificar correcto dimensionamiento de tuberías	ING
Emplear agua tratada, mejorar la calida de la mezcla del refrigerante	ING
Capacitar al personal para el correcto ajuste de las conexiones de refrigeración del motor	ING
Capacitar al personal en el correcto montaje del nivel	ING
Capacitar continuamente al personal en el correcto procedimiento de montaje de cigñal.	ING
Mejorar procedimiento de lubricacion	ING
Verificar estado de alimentación de gas	ING

PLAN DE MANTENIMIENTO AUTONOMO		
Verificar estado de tuberías	2 s	OP
Verificar el estado de las conexiones de refrigeracion del motor	2 s	OP
Verificar presencia de fugas en el radiador	2 s	OP
Verificar estado de tapa de radiador (verificar existencia de tapa)	2 s	OP
Verificar fugas de aceite en la caja lubricadora	2 s	OP
Verificar fugas de aceite en sello de eje	2 s	OP
Verificar fugas de aceite en reten de la caja	2 s	OP
Inspeccionar fuga de aceite en el carter	2 s	OP
Verificar pérdida de presión de aceite	2 s	OP
Verificar las emanaciones y la contaminación del tubo de escape	2 s	OP
Verificar ruidos extraños en el cigüeñal	1s	OP
Verificar perdida de presión en el motor	2 s	OP
Verificar ruido en rodaje piloto	2 s	OP
Verificar ruido en las fibras del embrague	2 s	OP
Veriicar ruido en rodamiento de embrague	2 s	OP
Verificar fuga de gas en tubería	2 s	OP

Cuadro 18. Plan de mantenimiento obtenido del motor M1737

Leyenda:

MEC: Mecánico.  
OP: Operador.  
PRE: Predictivo.  
INS: Instrumentista.  
ING: Ingeniería.



## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

Después de la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad a los motores gas de dos tiempos que funcionan en pozos de alta producción, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- 5.1.1 De acuerdo al AMEF y la clasificación obtenida a través del NPR (Número de Prioridad de Riesgo), de los 124 modos de falla analizados, se obtuvo lo siguiente:
- 26 fallas inaceptables (21.0%).
  - 43 fallas de reducción deseable (34.7%).
  - 55 fallas aceptables (44.3%).

- 5.1.2 Durante el análisis de criticidad de las 40 partes se obtuvo lo siguiente:
- 21 partes críticas (52.5%).
  - 10 partes semicríticas (25.0%).
  - 9 partes no críticas (22.5%).

El 52.5% de partes del equipo son críticos, por tanto debemos tener un mayor control de acuerdo al estado de conservación de los mismos así como el stock de repuestos necesarios.

- 5.1.3 De los 17 equipos estudiados 8 de ellos presentan un  $\beta < 1$ , por tanto el equipo se presenta dentro de su etapa infantil de fallas nos, describe un problema de diseño, asentamiento o en el montaje del motor en la unidad de bombeo. Así mismo se presentan 5 equipos que se encuentra dentro del periodo de vida útil ( $0.98 \leq \beta \leq 1$ ) por tanto las fallas a presentarse serán del tipo aleatoria y solamente con la aplicación de un correcto monitoreo y mantenimiento preventivo serán las herramientas efectivas para optimizar e incrementar la operación del equipo en esta etapa de trabajo que presenta, garantizando así la disponibilidad de los mismos así como su confiabilidad.
- En el intervalo final, con 4 equipos hemos obtenido un valor de  $\beta > 1$ , encontrándose en su etapa de desgaste, esto se debe a que los equipo a los que se les realizó mantenimiento mayor ya presenta problemas estructurales

debido a la antigüedad, problemas por el uso de repuestos de fabricación local; los cuales no presentan las mismas condiciones mecánicas que los originales.

- 5.1.4 Mediante la determinación del Tiempo medio entre Falla (MTBF) nos permitió determinar la frecuencia óptima de intervención de cada uno de los motores analizados a través del método gráfico; esta etapa es de mucha importancia dado que influye directamente en la hoja de decisiones y en el establecimiento de las tareas de mantenimiento preventivo de cada uno de los motores.
- 5.1.5 Teniendo en cuenta que el periodo de realización de mantenimiento mayor de los motores es de 3 años (1080 días); de los 4 equipos que se encuentran en su etapa de desgaste, 3 de ellos han llegado a este estado de manera prematura, ya que su periodo de operación no ha superado los 500 días (un periodo menor de año y medio).

## 5.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo a las conclusiones obtenidas podemos emitir las siguientes recomendaciones:

- 5.2.1 Mediante la aplicación de RCM se establece como prioridad la eliminación de las fallas inaceptables (las cuales nos pone en riesgo la continuidad de la operación); así mismo esta metodología propone la estrategia para lograr controlar las fallas de reducción deseable mediante un plan de mantenimiento preventivo efectivo y otras herramientas de predicción o monitoreo. Reformular la recomendación que en si es el “plan de mantenimiento”.
- 5.2.2 Establecer la adquisición de los repuestos en cantidad y tiempo óptimos de los componentes críticos; efectuando un estudio de stocks mínimos y máximos considerando de la criticidad de los repuestos y de la reposición automática de los mismos. Como por ejemplo de acuerdo a los niveles de consumo de los filtros de aire se puede de establecer la cantidad mensual de adquisición de estos componentes y el correcto nivel de stock que nos permita manejar un correcto mantenimiento sin pérdida de producción.
- 5.2.3 Establecer el análisis de presupuestos de mantenimiento en función de las características de los planes obtenidos, en función de los costos de recambio

de partes, y reacondicionamiento debido a la nueva frecuencia de mantenimiento y la criticidad de los componentes. Podemos establecer de esta manera el control histórico del movimiento de consumibles y repuestos de acuerdo al plan de mantenimiento aplicado a los motores y establecerlos como parte de nuestros costos fijos para el presupuesto matricial de mantenimiento.

- 5.2.4 Evaluar y supervisar los procedimientos de mantenimiento mayor de los motores en el taller; así como analizar las características de inspección (estado de desgaste de cilindro, cigüeñal, anillos, etc.), para evitar las fallas que desencadenen un estado prematuro de desgaste de la vida útil de los motores, realizar un procedimiento de control de calidad o de mejora de procesos de mantenimiento pudiéndose lograr mediante control estadístico. Esto se puede hacer mediante el desarrollo de planillas de control de tolerancias y ajustes para cada uno de los sistemas reparables; al mismo tiempo poder llevar el control de cambio de piezas generando la base de datos para determinar mas adelante los periodos óptimos de recambio de partes.
- 5.2.5 Implementar los nuevos planes de mantenimiento preventivo, y predictivo en base a los resultados obtenidos en el presente MCC. Por ejemplo podemos establecer el control vibracional de los rodamientos del embrague y otro punto establecer es la toma de muestras para análisis de aceite.
- 5.2.6 Establecer un plan de recambio de motores en mal estado y antigüedad al haber superado su vida útil, de esta manera podremos definir mediante el estudio del impacto de las fallas en estos motores tanto a nivel de gasto de mantenimiento como por el downtime generado; esto se puede establecer mediante una metodología como el LCC (Life cycle cost).

## BIBLIOGRAFIA

AMÉNDOLA, Luis José. *Modelos Mixtos de Confiabilidad*. DATASTREAM. España: Valencia. 2002. Disponible en Web: <http://www.datastream.net/English/Default.aspx>

ARROW Engine Company. *ARROW Manufactured Replacements parts for AJAX engines*. Trimas Company. USA: Tulsa, OK. 2005. Disponible en Web: <http://www.arrowengine.com/Literature/Ajax.php>

LUFKIN Oilfield Products Group. *General Catalogue*. LUFKIN. USA: Texas. 2004. Disponible en Web: <http://www.lufkintrailer.net/oilfield/information.php>

MONTGOMERY, Douglas; RUNGER, George. *Probabilidad y Estadística aplicadas a la ingeniería*. 2ª edición. Limusa Wiley. Grupo Noriega Editores. México D.F. 2002

MOUBRAY, John. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. RCM II*. Traducción por Ellman Suerios y Asociados. Buenos Aires, Argentina – Madrid, España. Edición en español. USA: Lillington, North Carolina. 2004

OLIVEIRA, Ricardo. *Glosario Técnico: Manutenção e Engenharia Industrial*. PUC Minas Gerais. DATASTREAM. Brasil. 2003. Disponible en Web: <http://www.datastream.net/English/Default.aspx>

PASCUAL, Rodrigo. *Curso Mantenimiento de Maquinaria, ME57A*. Universidad de Chile, Dpto. Ingeniería Mecánica. Chile: Santiago. 2002.  
*Apunte Gestión Moderna del Mantenimiento*. Versión 2.0. Disponible en Web: [http://grupos.emagister.com/documento/manual\\_del\\_ingeniero\\_de\\_mantenimiento/1044-40586](http://grupos.emagister.com/documento/manual_del_ingeniero_de_mantenimiento/1044-40586)

PATRAKHALTSEV, Nicolai. *Toxicidad de los Motores de Combustión Interna*. Lira, Guillermo (rev.); Lastra, Luis (trad.); Becerra Elizabeth (ed.). Instituto de Motores de Combustión Interna. UNI. Perú: Lima. 1993.

PAZ, Arias. *Arias Paz Manual de Automóviles 56ª edición*. Dossat Cie de Inversiones Editoriales. España: Madrid. 2006.

REYES, Luis; OCAMPO, José. *Ingeniería de Mantenimiento. Teoría y Problemas Resueltos*. Primera edición. Salvador Editores. Perú: Lima. 1996.

TAVARES, Lourival. *Administración Moderna del Mantenimiento*. DATASTREAM. Brasil. 2000. Disponible en Web: <http://www.datastream.net/English/Default.aspx>

TORRES, Leandro Daniel. *Mantenimiento Implementación y Gestión*. Segunda edición. Universitas. Argentina: Córdoba. 2005.

RELIASOFT. *Probability Plotting Paper for Weibull [en línea]*. ReliaSoft Corporation. Copyright © 1992 – 2009. Disponible en Web:  
[http://www.reliasoft.com/pubs/paper\\_weibull.pdf](http://www.reliasoft.com/pubs/paper_weibull.pdf)



## ANEXOS

### 1. GLOSARIO DE TERMINOS

**DIFERIDA:** o downtime; es la pérdida de producción debido a factores ajenos a la operación normal de un equipo o sistema.

**MCC:** Mantenimiento centrado en confiabilidad.

**ACR:** Análisis de causa raíz.

**FTA:** (Fault tree analysis), análisis de árboles de fallas.

**MTTF:** Es el tiempo medio que transcurre para que se produzca una falla funcional.

**TTF:** Es el tiempo que transcurre para que ocurra una falla funcional.

**MTBF:** Es el tiempo medio entre fallas.

**TBF:** Es el tiempo que transcurre entre dos fallas consecutivas.

**TOP:** Tiempo de operación.

**FALLA FUNCIONAL:** Estado en el cual el activo físico o sistema es incapaz de cumplir, a un nivel de funcionamiento que sea aceptable para su propietario o usuario, con una función específica.

**MODO DE FALLA:** Un evento singular que causa una falla funcional.

**CONTEXTO OPERACIONAL:** Conjunto de circunstancias en las que se espera que opere un activo o sistema.

**CONFIABILIDAD:** Es la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

**MANTENABILIDAD:** Facilidad de un ítem en ser mantenido o recolocado en condiciones de ejecutar sus funciones requeridas.

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO:** Es el que mantenimiento que se realiza en base a fechas calendarias en que se programa un activo para su mantenimiento, claro las fechas se determinan de tal manera que según las condiciones de operación permitan que el equipo no alcance el deterioro tal que falle; y de esta manera prevenir antes de que se presente la falla.

**MANTENIMIENTO CORRECTIVO:** Es el mantenimiento que se ejecuta a un activo después de ocurrida la falla del mismo, por lo que se debe de corregir todos los componentes fallidos en el evento.

**MANTENIMIENTO PREDICTIVO:** Es aquel mantenimiento nos permitirá hacer una predicción del activo en cuestión, por medio de las técnicas cuales quiera utilizar llámese (análisis de vibraciones, mediciones eléctricas voltaje, amperaje, resistencia, ultrasonidos, medición de espesores, termografías, etc) y que puedan ser aplicadas.

**TPM:** Mantenimiento Productivo Total surgió en Japón gracias a los esfuerzos del Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) como un sistema destinado a lograr la eliminación de las seis grandes pérdidas de los equipos, a los efectos de poder hacer factible la producción “Just in Time”, la cual tiene cómo objetivos primordiales la eliminación sistemática de desperdicios.

**JUST IN TIME:** Justo a Tiempo, es un sistema de organización de producción de las fábricas de origen japonés que permiten incrementar la productividad.

**WEIBULL:** Ernst Hjalmar Waloddi Weibull ( \* 18 de junio de 1887-Annecy, 12 de octubre de 1979) fue un ingeniero y matemático sueco. Es reconocido por su trabajo en el área de la fatiga de materiales y en la estadística por sus estudios sobre la distribución de Weibull [OLIVEIRA, 2003].



## 2. DATOS PARA ANÁLISIS DE WEIBULL

A continuación se presentan las tablas de datos para la elaboración de los gráficos de Weibull:

**29/09/2004**

**MOX POZO AA 2061 ROTULO M 1737**

0.995357143

AA 2061	09/10/2004	09:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 2061	19/03/2005	3:00	Causa CAMBIO DE CORREA (MOT. MEC.)
AA 2061	29/03/2005	13:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 2061	27/05/2005	2:00	Causa CAMBIO DE CORREA (MOT. MEC.)
AA 2061	13/06/2005	13:50	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 2061	20/08/2005	2:15	Causa ANCLAJE DE MOTOR
AA 2061	26/09/2005	4:00	Causa VALVULA REGULADORA

**05/08/2005**

**MOX POZO AA 5689 ROTULO M 0539**

0.986118234

AA 5689	13/08/2005	18.45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 5689	31/08/2005	07:14	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 5689	08/10/2005	6:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 5689	12/11/2005	1:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 5689	25/11/2005	6:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR

**08/09/2004**

**MOX POZO AA 7331 ROTULO M 0543**

0.987379362

AA 7331	03/10/2004	11:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	12/10/2004	12:00	Causa GAS COMBUSTIBLE
AA 7331	26/10/2004	09:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	03/11/2004	2:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	08/11/2004	1:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	22/11/2004	12:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	28/11/2004	12:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	20/01/2005	6:30	Causa EMBRAGUE
AA 7331	02/05/2005	4:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	17/05/2005	13:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	20/05/2005	1:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	18/07/2005	2:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	04/10/2005	2:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	10/10/2005	6:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	19/10/2005	3:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	23/10/2005	6:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	04/11/2005	15:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	18/11/2005	15:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
AA 7331	21/11/2005	2:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR

06/05/2004

MOX POZO EA 5619 ROTULO M 1155

0.994117946

EA 5619	08/05/2004	02:25	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	10/05/2004	06:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	17/05/2004	11:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	15/06/2004	2:00	Causa GOBERNADOR MALO
EA 5619	31/08/2004	6:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	16/09/2004	4	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	28/10/2004	4:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	08/11/2004	3:43	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	06/12/2004	1:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	30/12/2004	08:15	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	11/02/2005	4:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	02/03/2005	08:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	05/03/2005	2:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	07/03/2005	2:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	19/03/2005	1:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	07/07/2005	2:15	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	10/07/2005	1:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	28/07/2005	4:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	06/11/2005	4:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5619	09/11/2005	2:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR

22/05/2003

MOX POZO EA 5630 ROTULO M 0313

0.996565547

EA 5630	27/06/2003	14:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5630	25/08/2003	25:23:00	Causa EMPACADURA CAMARA
EA 5630	03/09/2003	1:30	Causa CAMBIO POLEA-CUBO (MOT. MEC.)
EA 5630	08/10/2003	0:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5630	09/01/2004	2:00	Causa EMBRAGUE
EA 5630	30/03/2004	1:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5630	14/07/2004	2:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5630	28/07/2004	05:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5630	06/08/2004	1:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5630	05/11/2004	2:25	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5630	08/01/2005	3:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5630	22/03/2005	1:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5630	01/06/2005	3:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5630	28/09/2005	9:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5630	07/10/2005	2:15	Causa EMBRAGUE

12/01/2005

MOX POZO EA 5859 ROTULO M 1733

0.993366977

EA 5859	26/01/2005	1:00	Causa EMBRAGUE
EA 5859	28/01/2005	1:20	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5859	12/02/2005	10:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5859	23/04/2005	0:45	Causa GOBERNADOR MALO
EA 5859	04/06/2005	3:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5859	30/06/2005	4:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5859	13/07/2005	4:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5859	16/08/2005	3:45	Causa EMBRAGUE
EA 5859	28/09/2005	15:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 5859	11/11/2005	5:25	Causa EMBRAGUE

**05/10/2004****MOX POZO EA 6127 ROTULO M 0364**

0.997797902

EA 6127	15/12/2004	0:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 6127	09/01/2005	06:15	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 6127	15/01/2005	2:30	Causa BUJIAS
EA 6127	18/01/2005	5:00	Causa EMBRAGUE
EA 6127	20/03/2005	3:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 6127	21/09/2005	3:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR

**04/05/2005****MOX POZO EA 6259 ROTULO M 0336**

0.992672619

EA 6259	16/05/2005	10:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 6259	30/05/2005	5:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 6259	12/06/2005	2:00	Causa RADIADOR
EA 6259	13/06/2005	1:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 6259	23/06/2005	1:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 6259	30/06/2005	8:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 6259	05/07/2005	6:25	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 6259	07/07/2005	1:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR

**28/10/2004****MOX POZO EA 7028 ROTULO M 0117**

0.995320352

EA 7028	30/10/2004	2:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7028	21/01/2005	07:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7028	22/03/2005	0:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7028	08/07/2005	03:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7028	21/07/2005	1:15	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7028	30/08/2005	8:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7028	09/09/2005	4:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7028	04/10/2005	17:00	Causa CAMBIO DE CORREA (MOT. MEC.)
EA 7028	19/10/2005	0:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR

**09/07/2003****MOX POZO EA 7077 ROTULO M 0544**

0.996576667

EA 7077	15/07/2003	4:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7077	17/07/2003	2:25	Causa RADIADOR
EA 7077	01/01/2004	1:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7077	27/04/2004	13:10	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7077	07/05/2004	15:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7077	20/05/2004	6:25	Causa EMBRAGUE
EA 7077	05/05/2005	12:36	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7077	09/06/2005	7:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7077	31/08/2005	04:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7077	11/10/2005	4:00	Causa BUJIAS
EA 7077	09/11/2005	1:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR

**23/03/2004****MOX POZO EA 7117 ROTULO M 0523**

0.996482589

EA 7117	25/03/2004	08:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7117	05/04/2004	06:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7117	14/06/2004	07:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7117	03/09/2004	3:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7117	01/05/2005	04:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7117	01/06/2005	1:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7117	03/06/2005	10:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7117	26/07/2005	9:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7117	03/09/2005	1:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7117	17/11/2005	2:25	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR



23/09/2004

MOX POZO EA 7138 ROTULO M 0503

0.995280286

EA 7138	06/11/2004	1:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7138	01/01/2005	1:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7138	14/04/2005	1:25	Causa CAJA LUBRICADORA
EA 7139	09/05/2005	03:45	Causa RADIADOR
EA 7140	25/05/2005	08:15	Causa RADIADOR
EA 7138	28/05/2005	2:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7138	31/05/2005	6:15	Causa ANCLAJE DE MOTOR
EA 7138	21/06/2005	8:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7138	05/07/2005	2:00	Causa EMBRAGUE
EA 7138	15/08/2005	8:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7138	02/10/2005	2:15	Causa ANCLAJE DE MOTOR
EA 7138	15/10/2005	4:30	Causa RADIADOR

12/10/2004

MOX POZO EA 7139 ROTULO M 0325

0.99307971

EA 7139	15/10/2004	3:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7139	30/11/2004	2:00	Causa EMBRAGUE
EA 7139	25/12/2004	13:05	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7139	19/03/2005	7:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7139	05/05/2005	1:25	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7139	07/05/2005	2:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7139	10/05/2005	7.15	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7139	07/06/2005	05:30	Causa GOBERNADOR MALO
EA 7139	25/07/2005	7:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7139	31/07/2005	4:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7139	31/08/2005	2:00	Causa RADIADOR
EA 7139	02/09/2005	1:45	Causa RADIADOR
EA 7139	21/10/2005	0:30	Causa CAJA LUBRICADORA
EA 7139	21/11/2005	11:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR

18/01/2005

MOX POZO EA 7141 ROTULO M 1127

0.992088608

EA 7141	22/01/2005	13:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7141	28/01/2005	0:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7141	01/08/2005	8:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7141	03/08/2005	8:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7141	22/08/2005	8:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7141	03/09/2005	06:00	Causa RADIADOR
EA 7141	25/09/2005	16:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR

09/07/2003

MOX POZO EA 7156 ROTULO M 0554

0.999416667

EA 7156	01/01/2004	0:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7156	17/02/2004	3:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7156	23/04/2004	1:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7156	21/05/2004	2:00	Causa CAMBIO DE CORREA (MOT. MEC.)
EA 7156	03/11/2004	0:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7156	21/12/2004	0:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7156	24/12/2004	1:30	Causa EMBRAGUE
EA 7156	12/04/2005	2:00	Causa RADIADOR

30/03/2004

MOX POZO EA 7309D ROTULO M 0534

0.997627688

EA 7309D	26/07/2004	1:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7309D	11/01/2005	2:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7309D	26/03/2005	2:30	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7309D	27/07/2005	06:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7309D	07/08/2005	2:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7309D	02/10/2005	5:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
EA 7309D	13/10/2005	15:33	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR

10/09/2004

MOX POZO PT 13 ROTULO M 1681

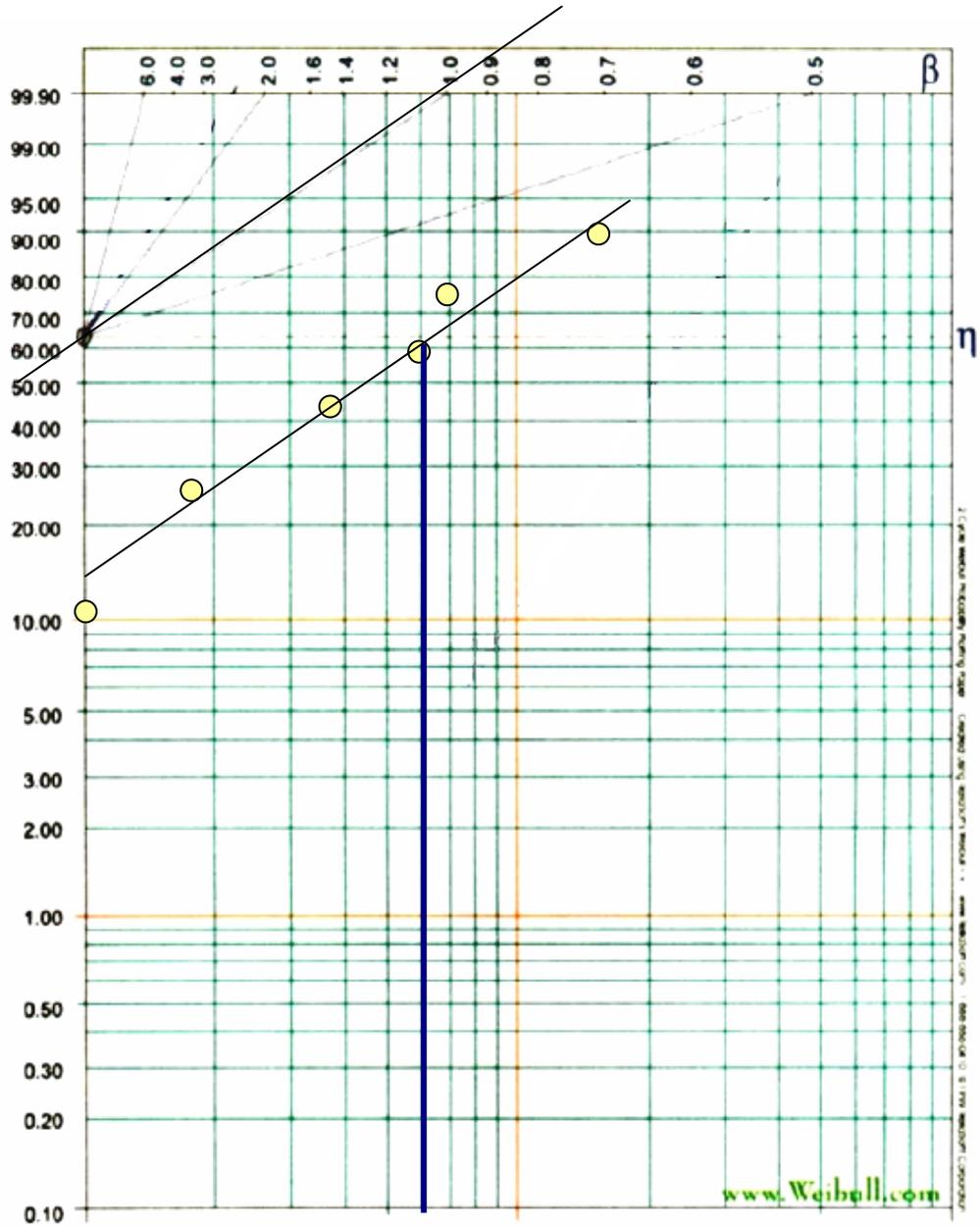
0.994403961

PT 13	05/11/2004	8:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
PT 13	07/12/2004	10:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
PT 13	24/12/2004	1:00	Causa RADIADOR
PT 13	03/02/2005	8:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
PT 13	12/02/2005	14:15	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
PT 13	17/04/2005	10:45	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
PT 13	27/04/2005	6:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR
PT 13	26/05/2005	2:00	Causa GAS COMBUSTIBLE
PT 13	16/07/2005	5:33	Causa GAS COMBUSTIBLE
PT 13	19/09/2005	8:00	Causa VARIOS DESP. MEC. MOTOR

Cuadro 1. Datos de fechas de fallas de motores de combustión interna

3. PARAMETROS DE FORMA MEDIANTE EL USO DE LA HOJA DE WEIBULL

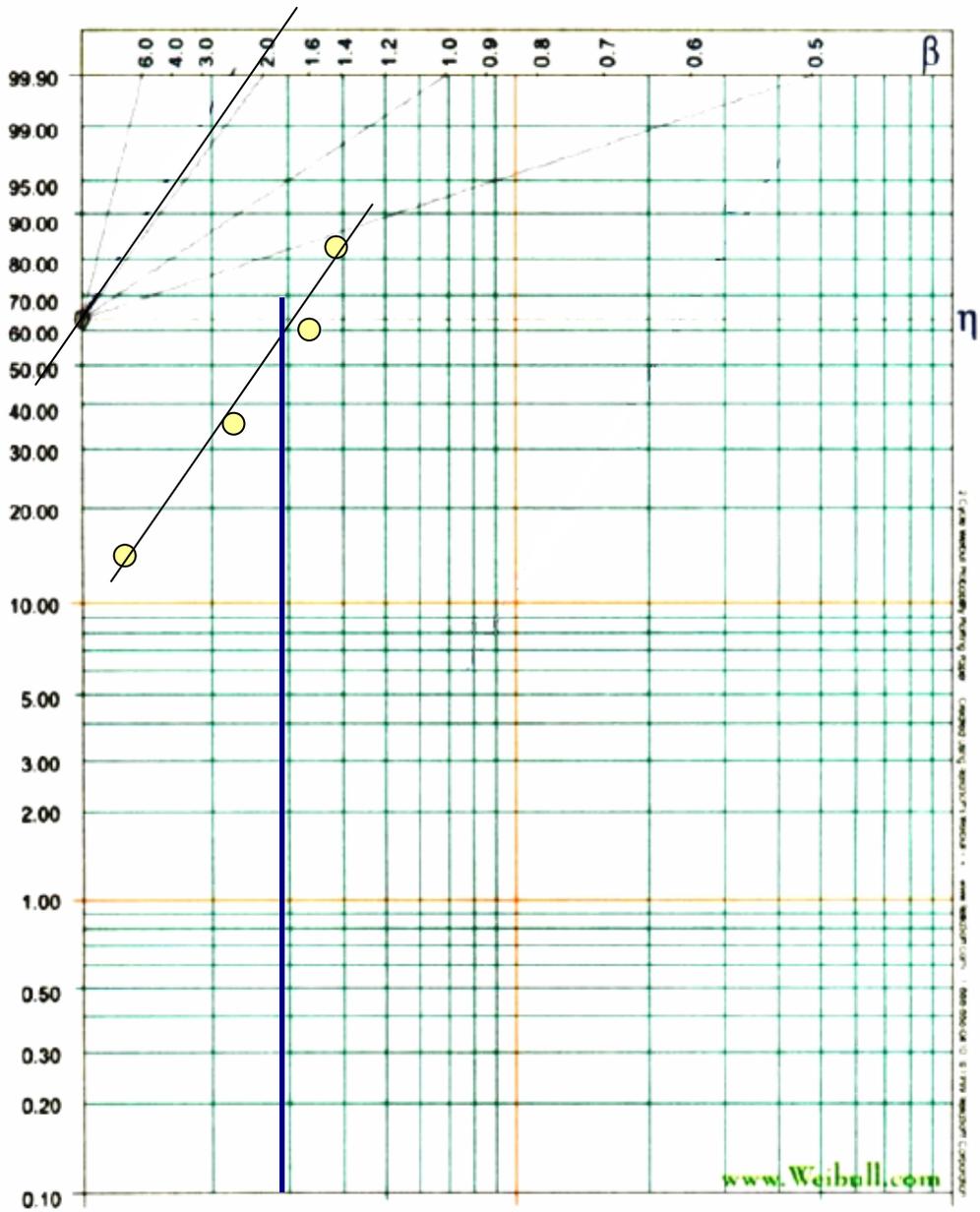
MOX AA 2061 M1737



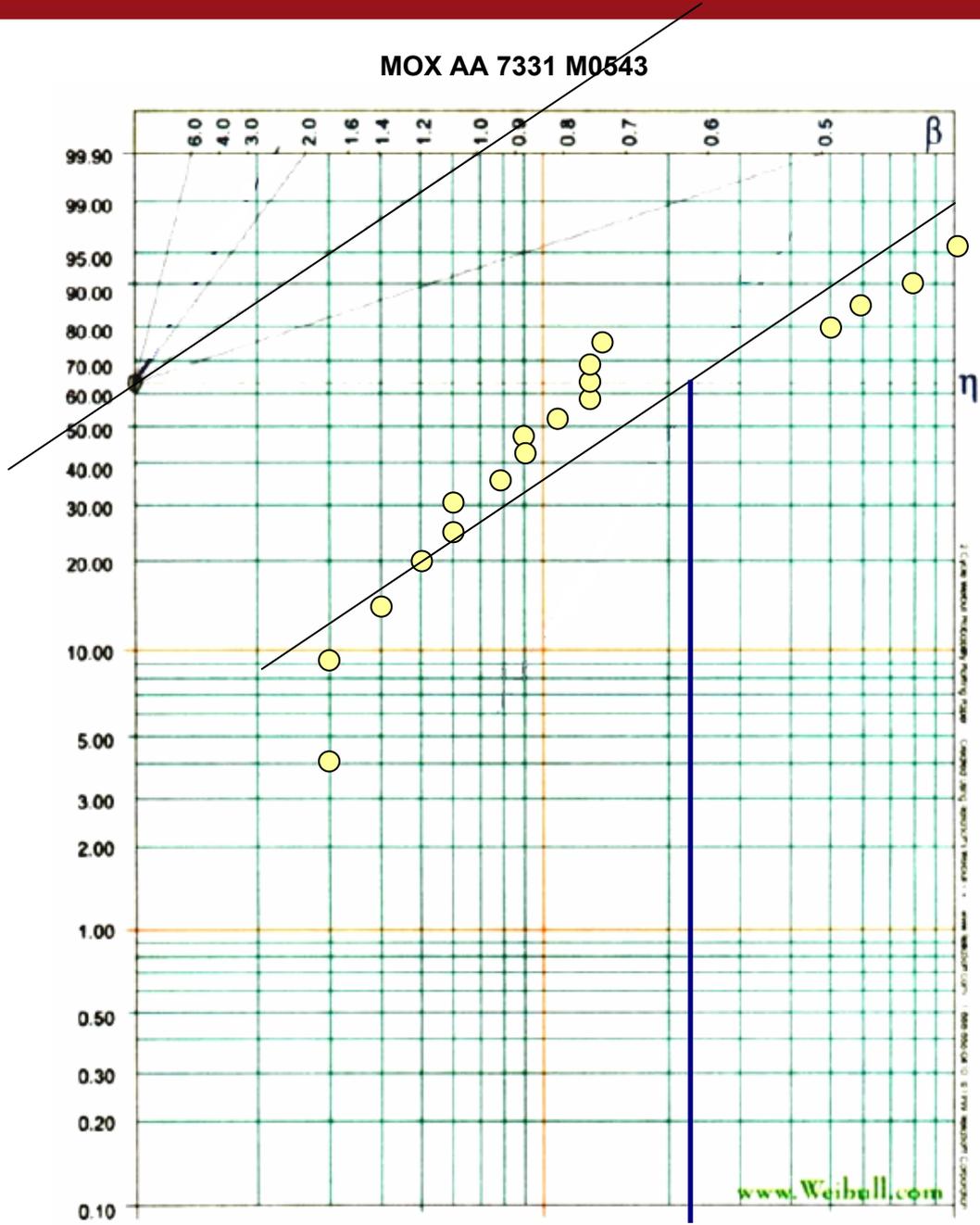
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
1	62

Gráfico 1. Hoja de Weibull

MOX AA 5689 M0539

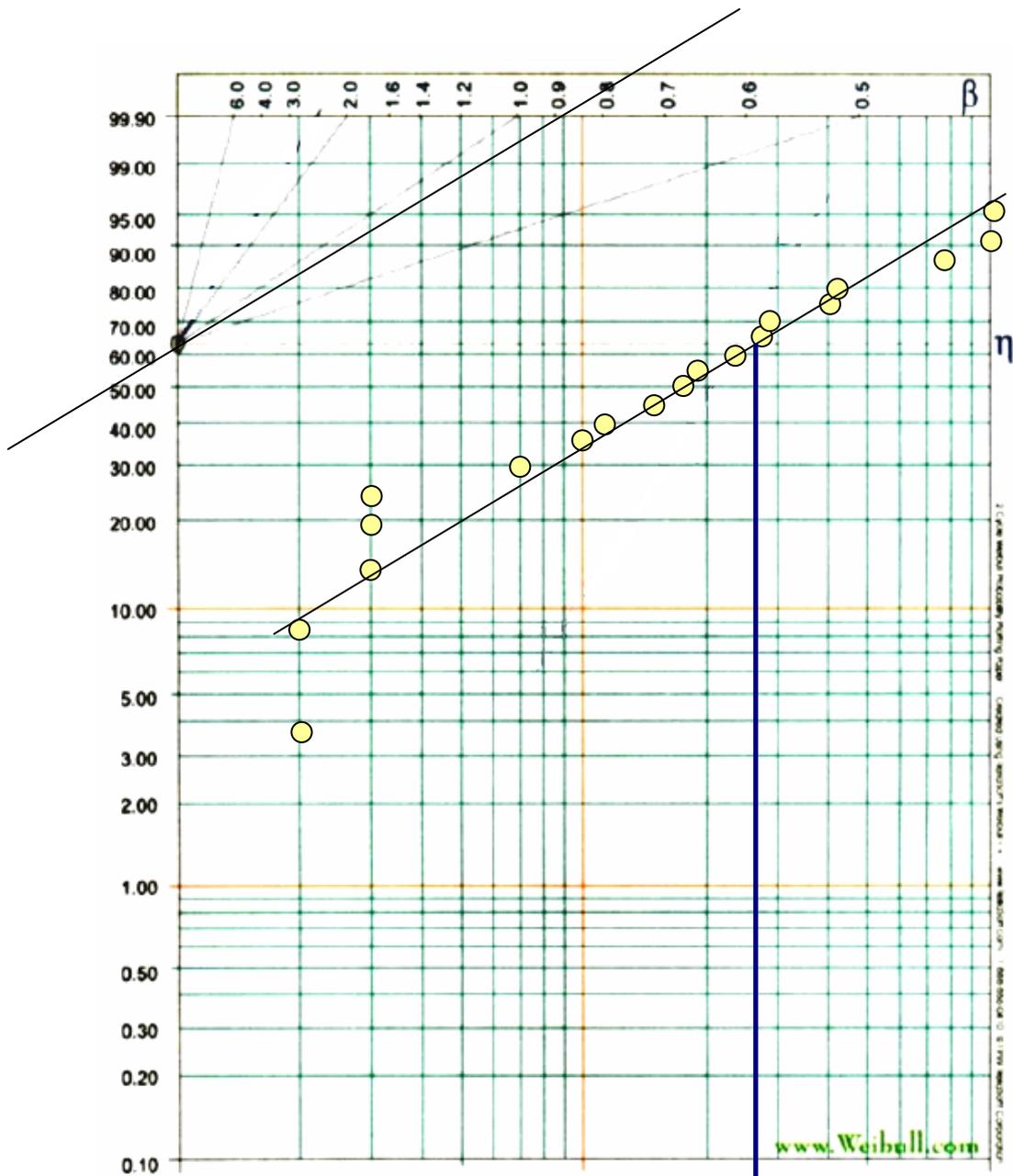


Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
2.2	27



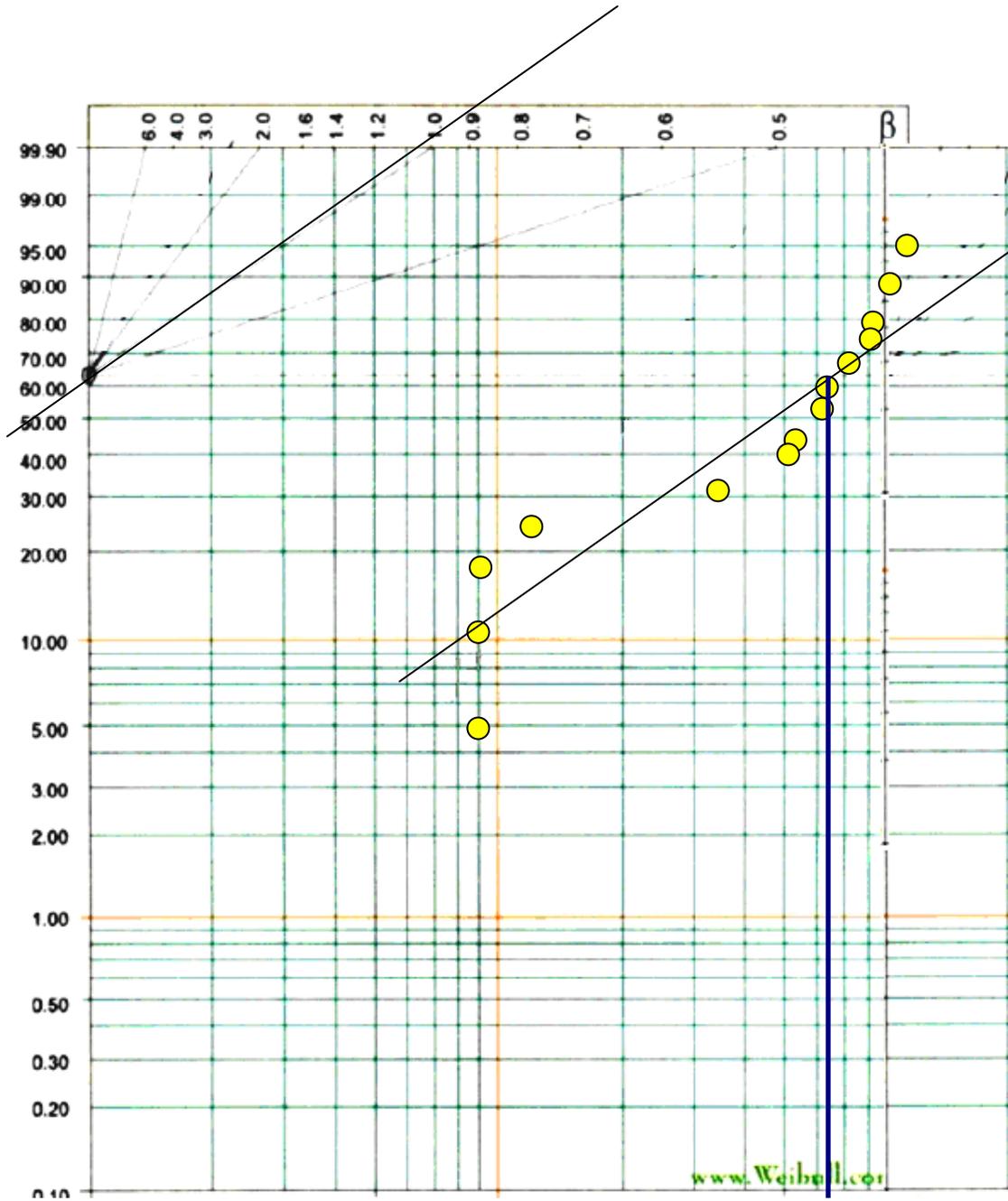
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
1	23

MOX EA 5619 M1155



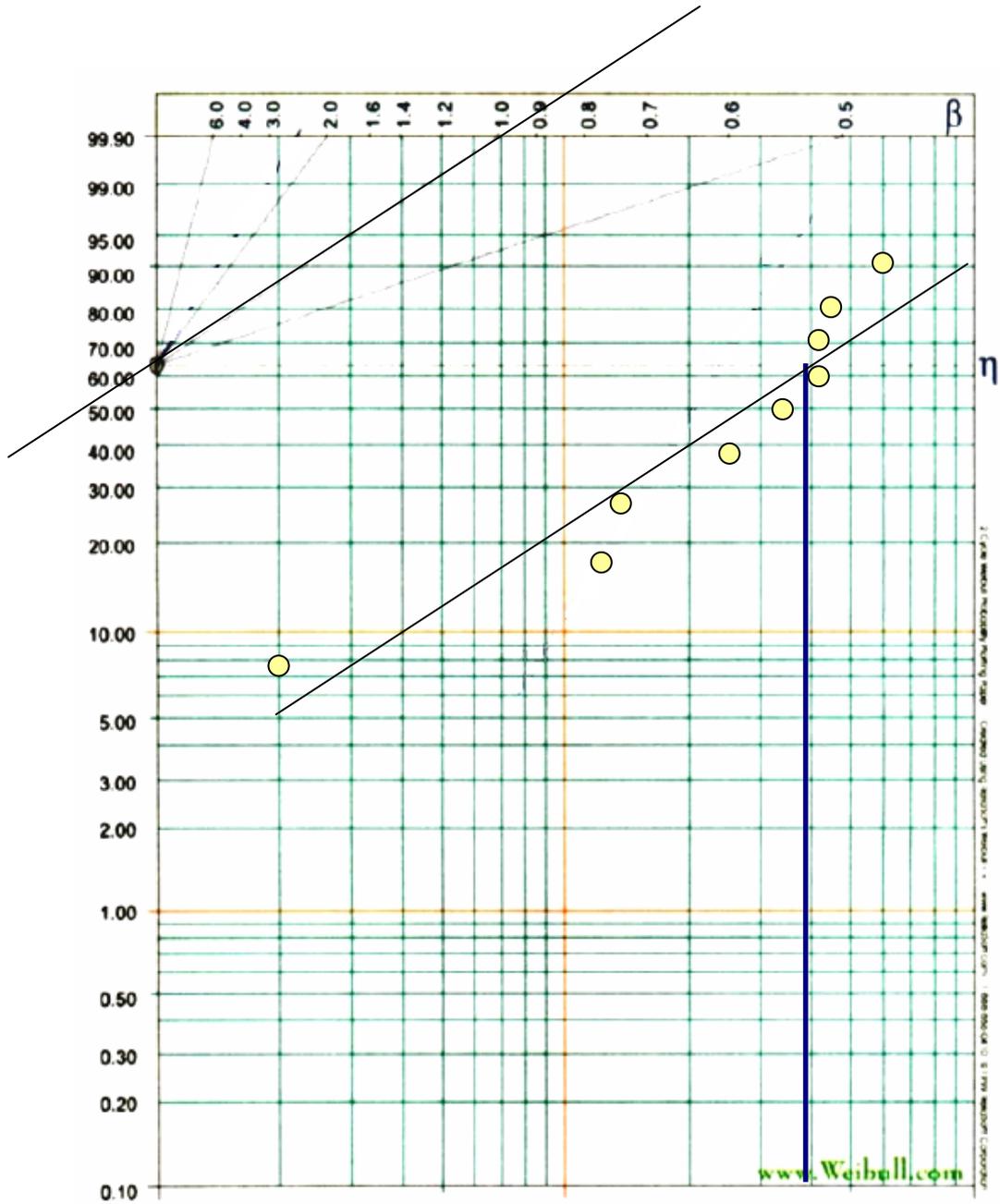
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
0.9	27

MOX EA 5630 M0313



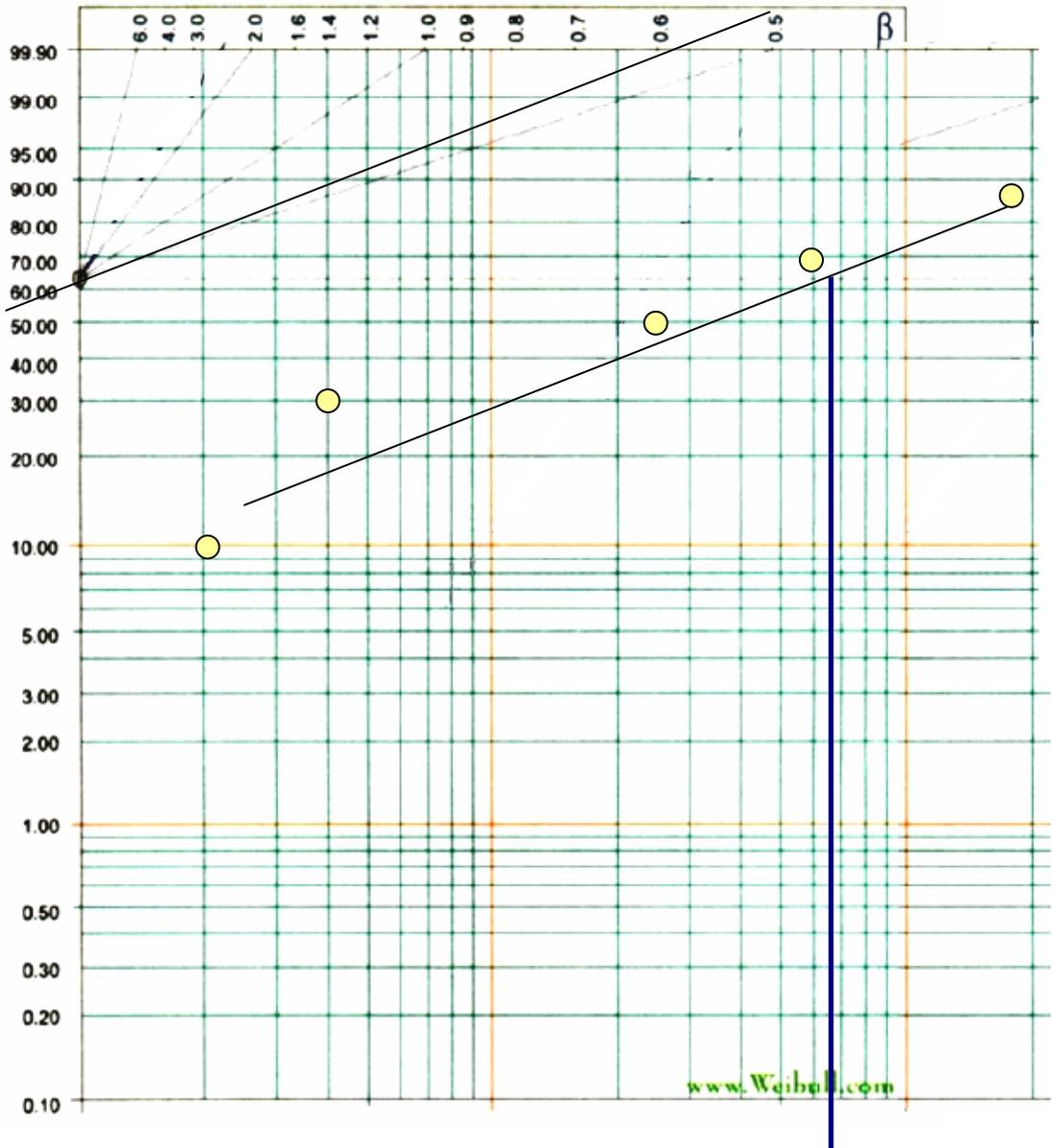
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
1.4	64

MOX EA 5859 M1733



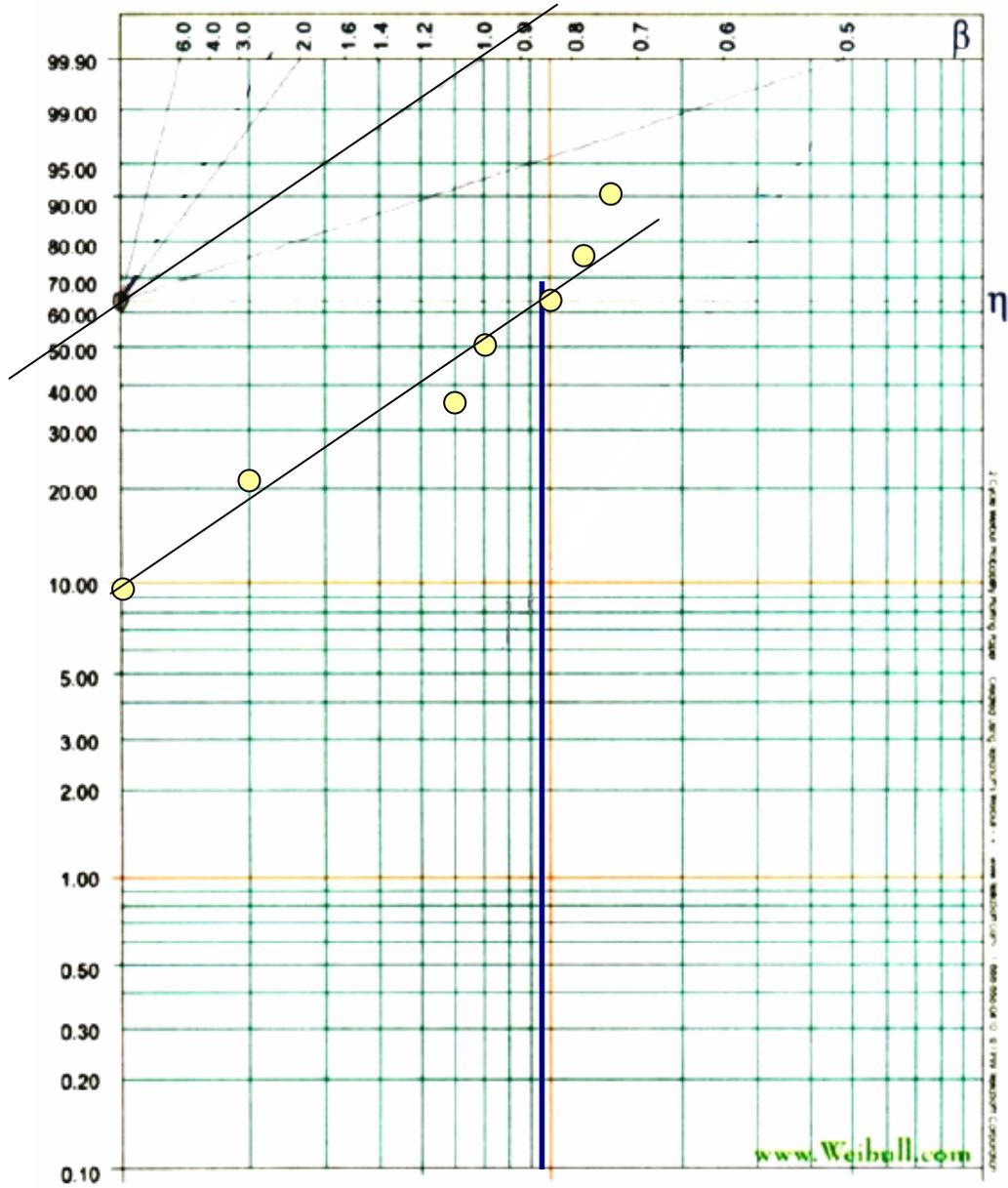
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
1	39

MOX EA 6127 M0364



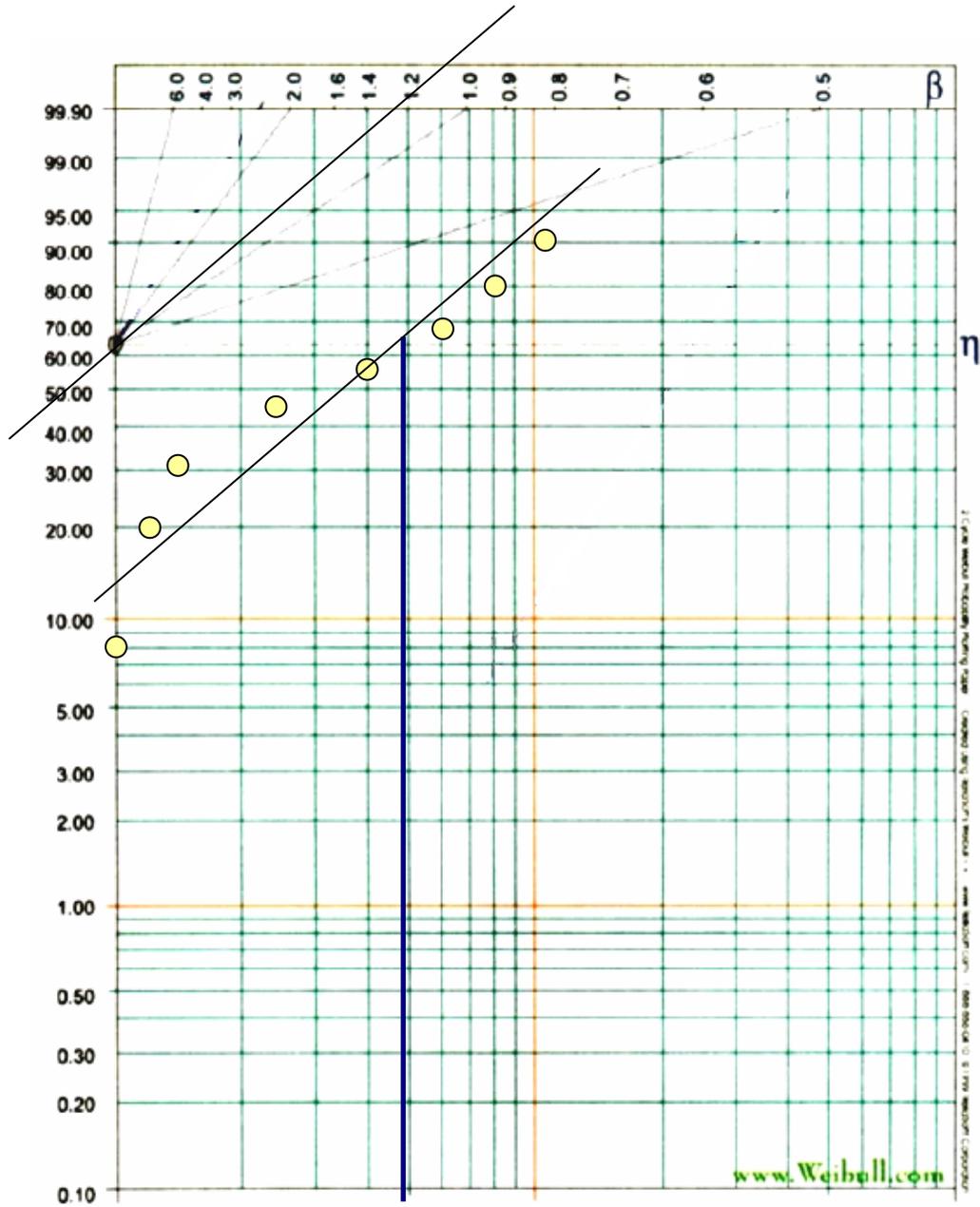
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
0.6	68

MOX EA 6259 M0336



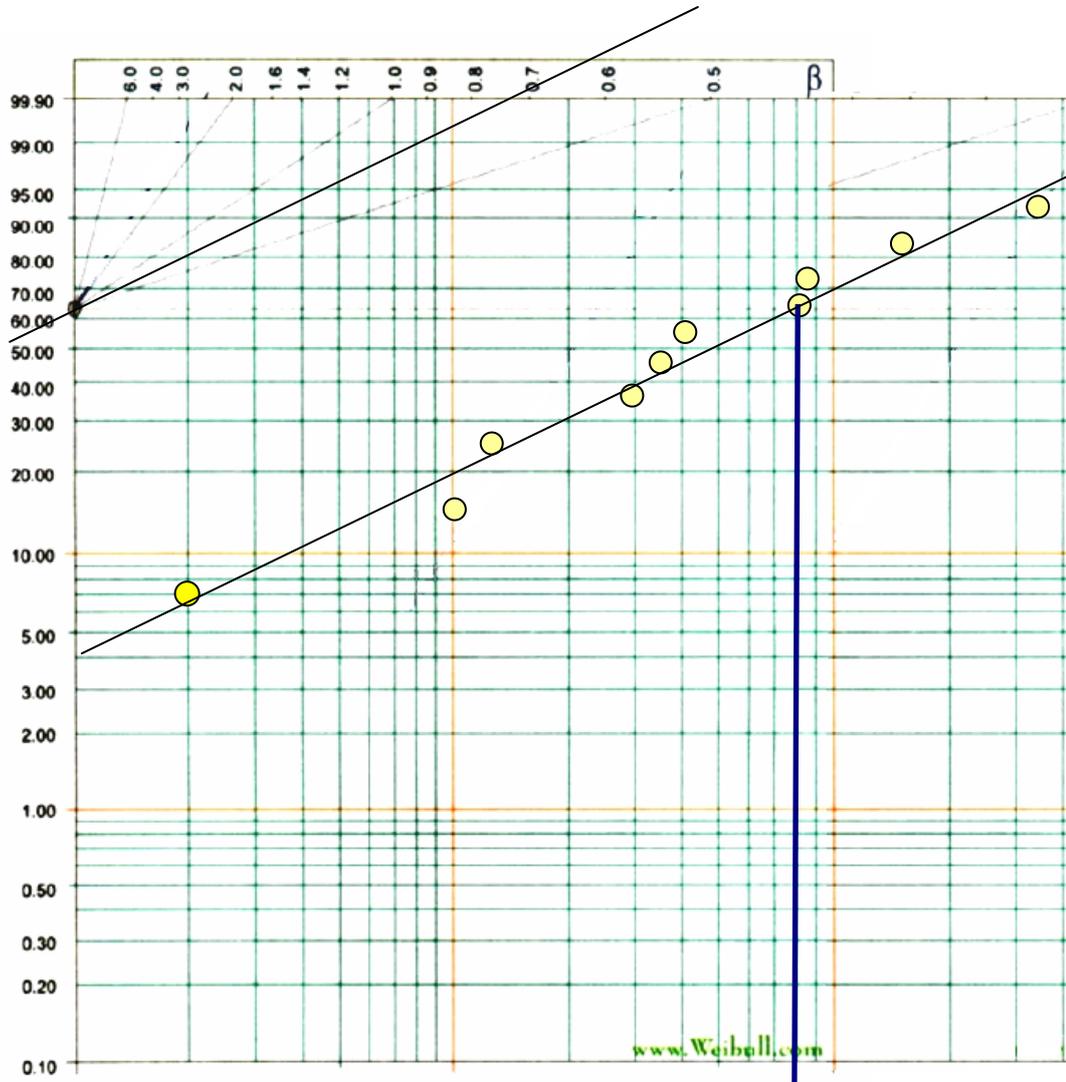
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
1	9.5

MOX EA 7028 M0117



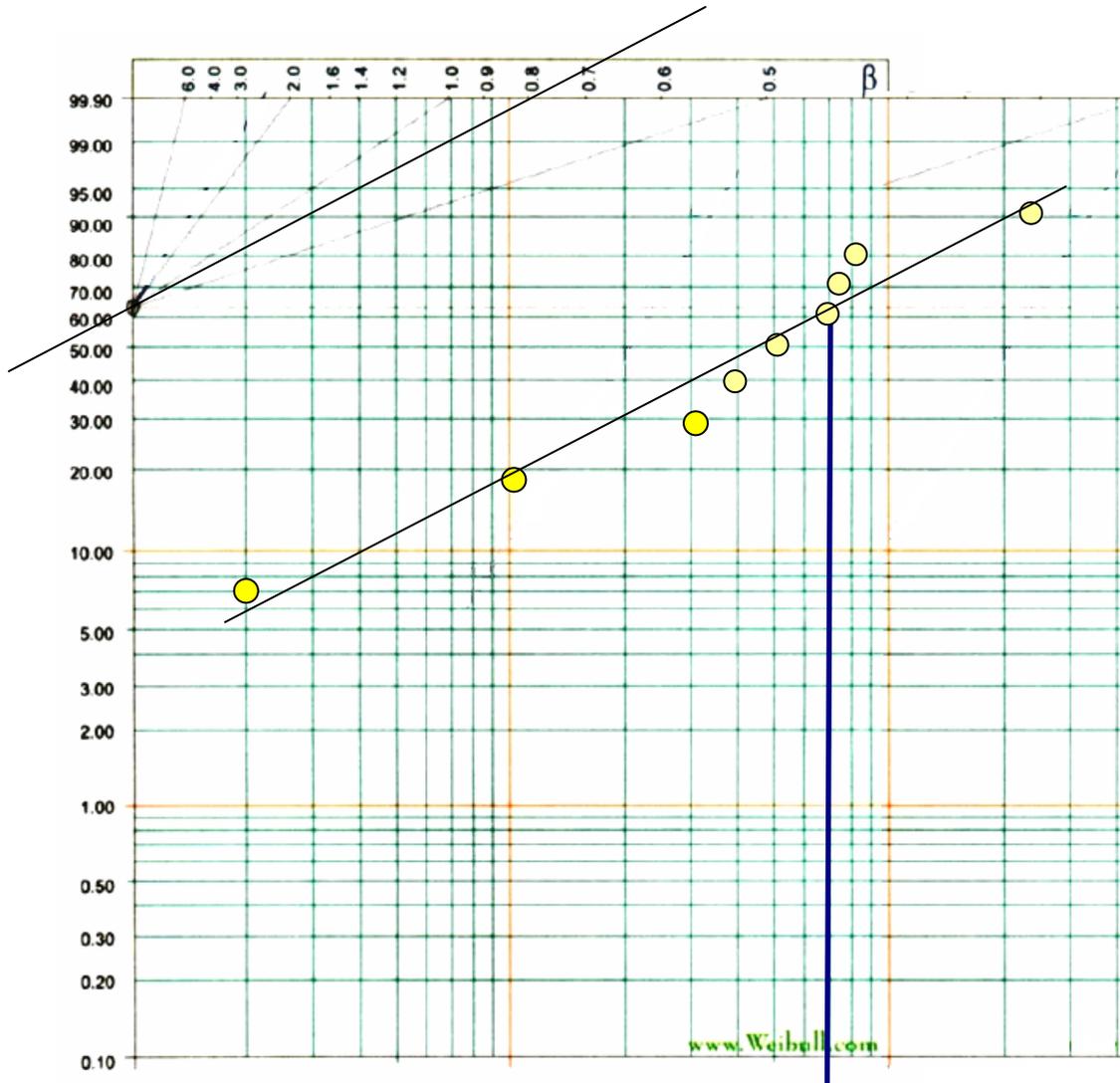
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
1.25	48

MOX EA 7077 M0544



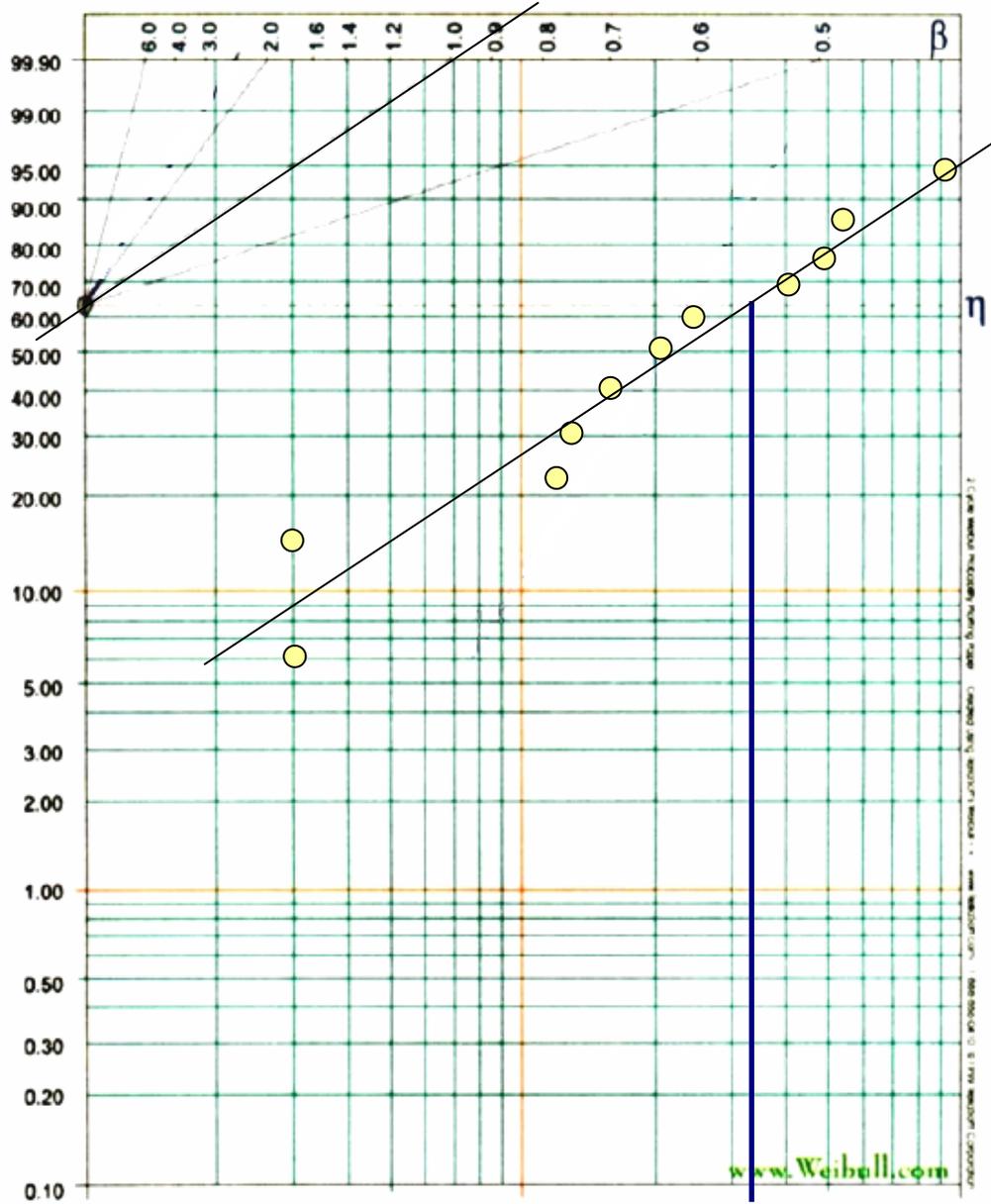
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
0.74	89

MOX EA 7117 M0523



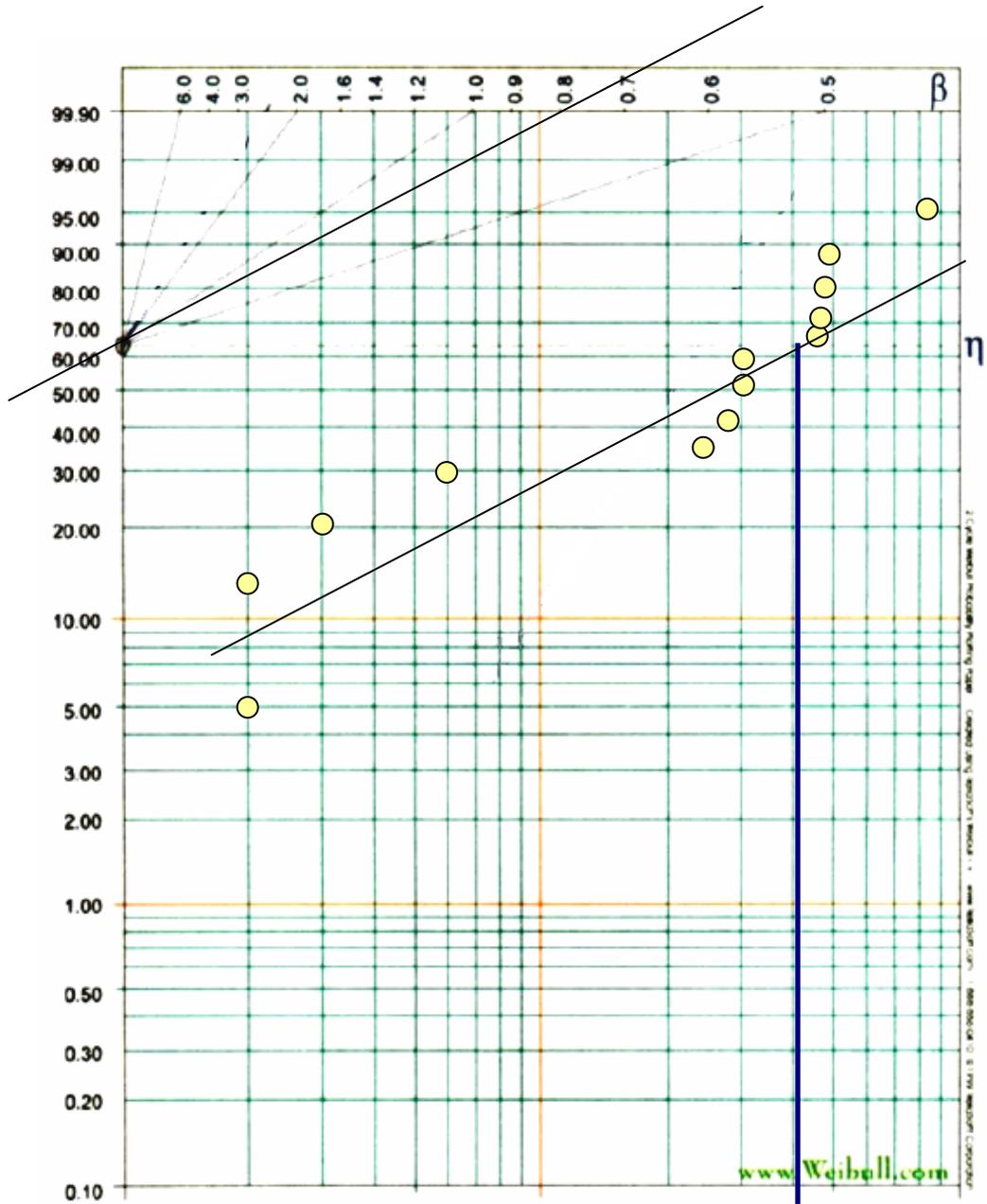
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
0.8	70

MOX EA 7138 M0503



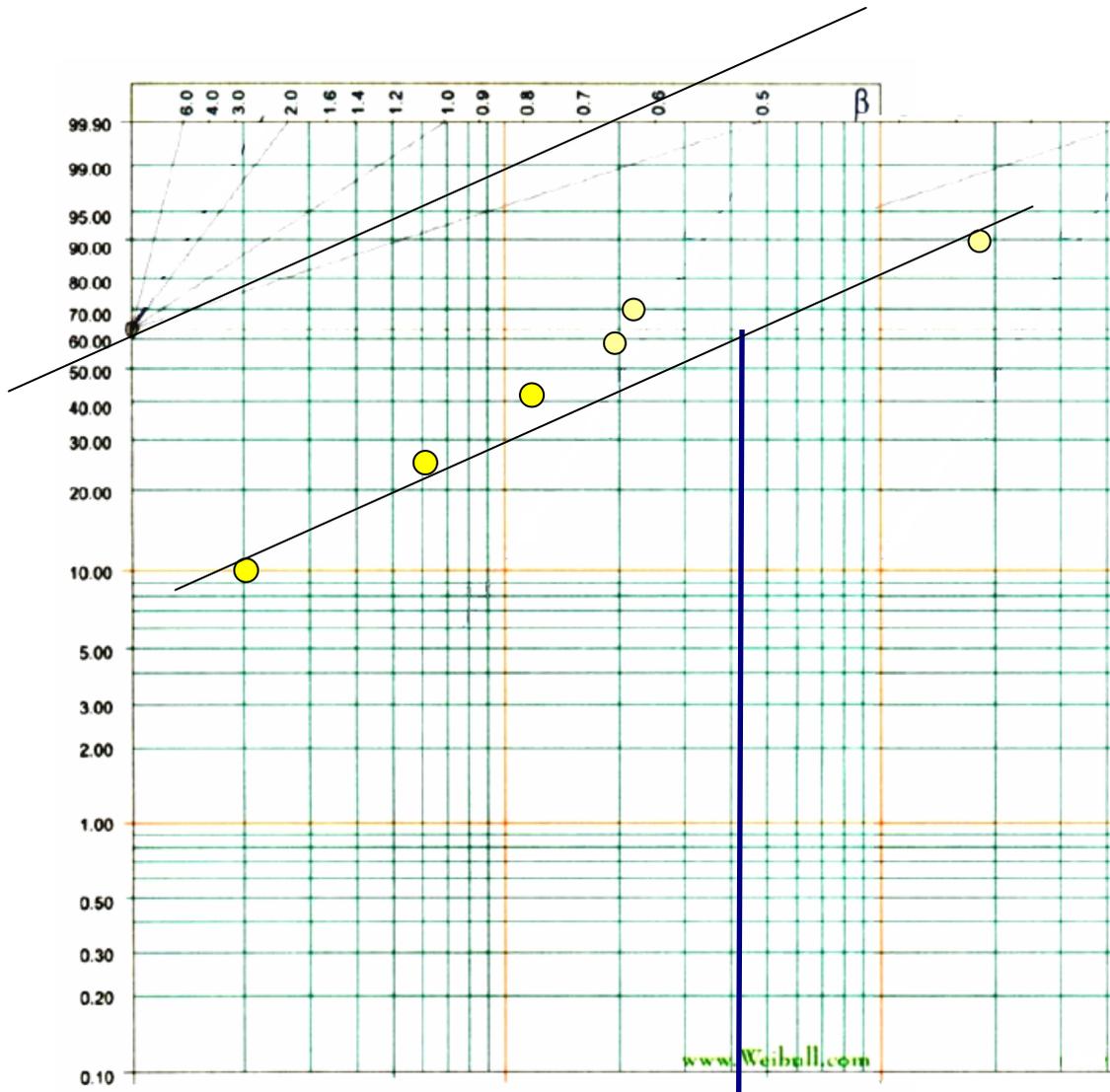
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
1	33

MOX EA 7139 M0325



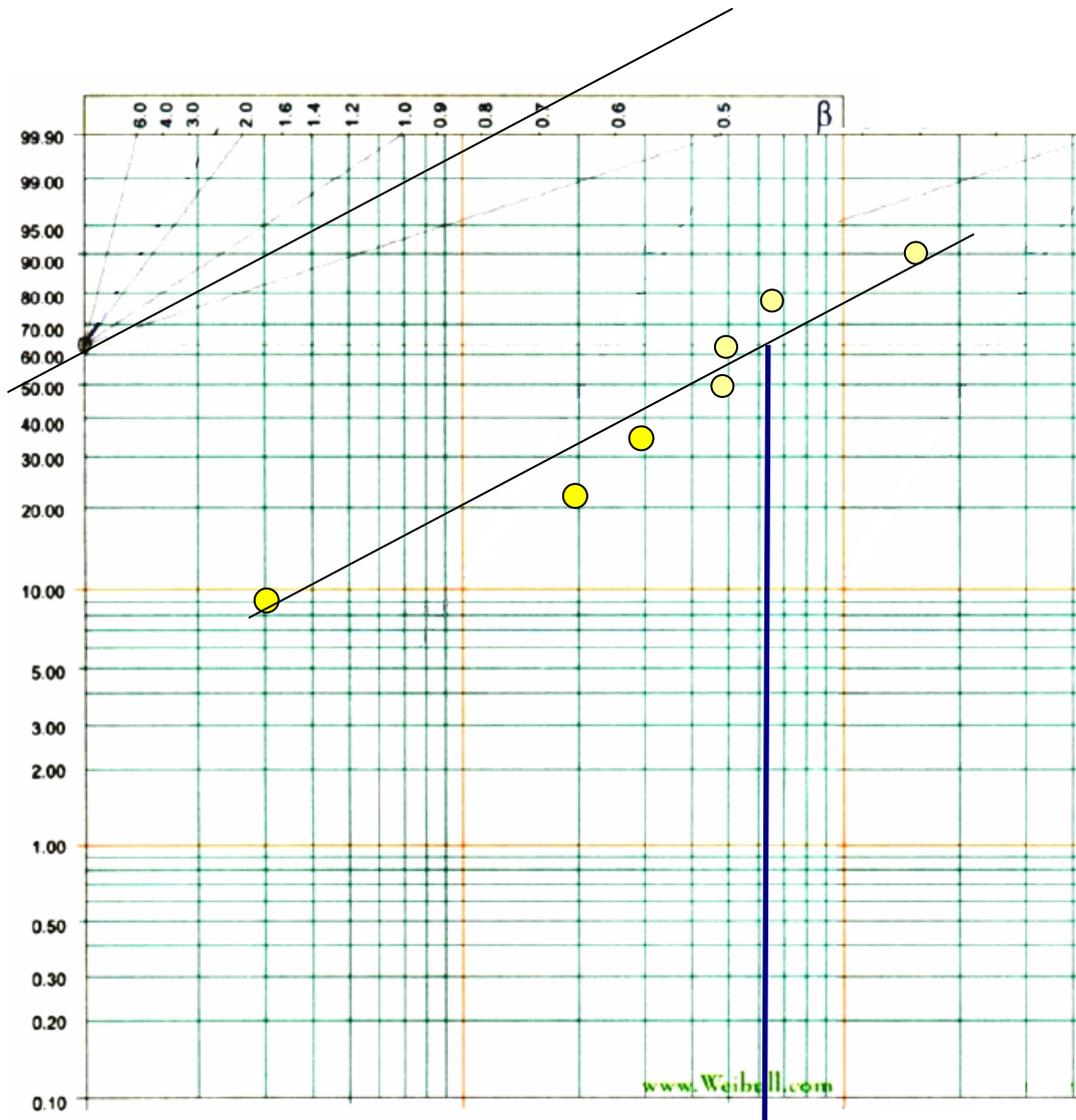
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
0.8	42

MOX EA 7141 M1127



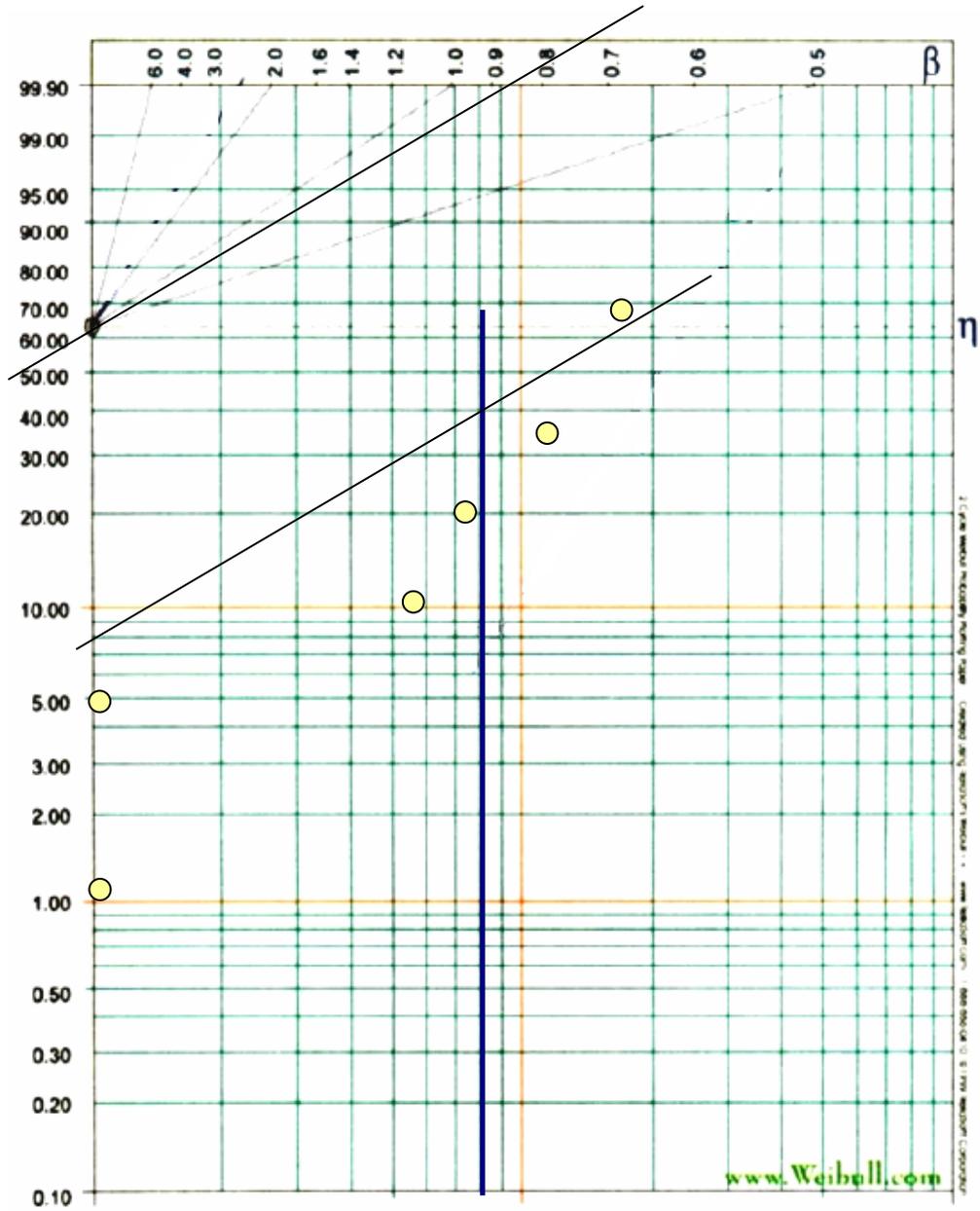
Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
0.65	43

MOX EA 7156 M0554

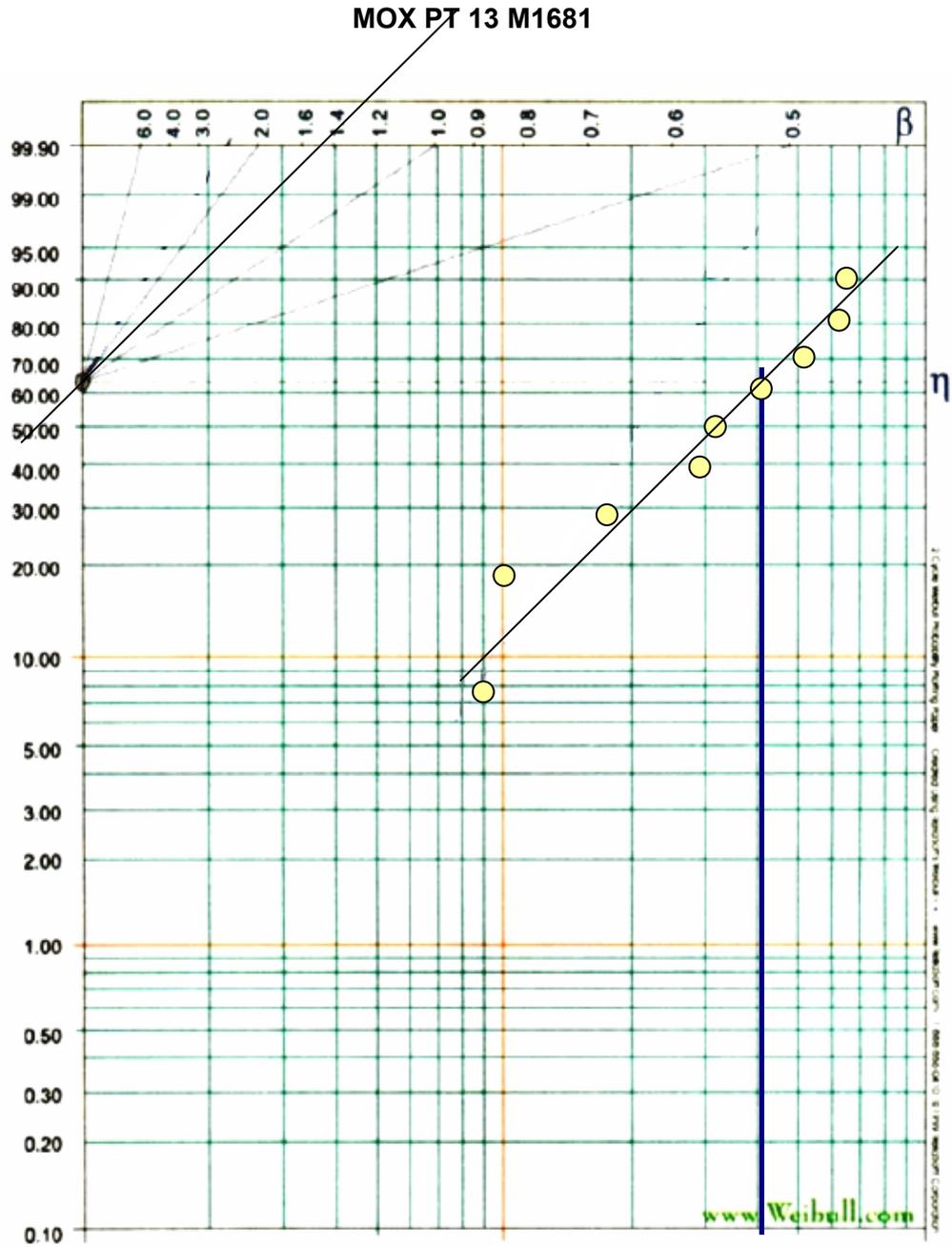


Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
0.8	64

MOX EA 7309D M0534



Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
0.86	80



Parámetro de forma $\beta$	Parámetro de escala $\eta$
1.5	42