

ELABORACIÓN DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA  
UNA  
MÁQUINA EMPACADORA VERTICAL ET - 02

ALEJANDRO TORO LONDOÑO

UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2009

ELABORACIÓN DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA  
UNA  
MÁQUINA EMPACADORA VERTICAL ET - 02

ALEJANDRO TORO LONDOÑO

Propuesta de proyecto de Grado para optar al  
Título de Ingeniero Mecánico

Asesor:  
Carlos Mario Tamayo D.  
Ingeniero Mecánico.

UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2009

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Medellín, Mayo de 2009

A mi familia por su incondicional apoyo.

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

A mi asesor Carlos Mario Tamayo D, por su acompañamiento constante durante el desarrollo de este proyecto.

A la empresa TME Ltda donde se realizó este trabajo, por su colaboración.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. ANTECEDENTES	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. OBJETIVOS	16
4. MANUAL DE MANTENIMIENTO PARA LA EMPRESA TME LTDA	17
4.1. OBJETIVO 1	17
4.2. INTRODUCCIÓN	17
4.3. DESARROLLO	17
4.3.1. ¿Qué ventajas tiene el mantenimiento?	17
4.3.2. Manuales de mantenimiento	18
4.3.3. Justificación	19
4.3.3.1. ¿Para qué contar con un programa de mantenimiento preventivo?	19
4.3.3.2. Necesidades de la empresa.	20
4.4. CONCLUSIONES	21
5. PROGRAMA VALRAMOR 4 COMO HERRAMINETA DE ANÁLISIS	22
5.1. OBJETIVO 2.	22
5.2. INTRODUCCIÓN	22
5.3. DESARROLLO	23
5.3.1. Definición de disponibilidad	23
5.3.2. Definición de confiabilidad	24

5.3.2.1. Definición de confiabilidad Sistemas y Componentes.	24
5.3.3. Definición de mantenibilidad	25
5.3.4. Tiempos usados en la estimación de los indicadores	25
5.3.5. Distribuciones	27
5.3.5.1. Distribución normal	27
5.3.5.2. Distribución log-normal	29
5.3.5.3. Distribución exponencial	30
5.3.5.4. Distribución Weibull	31
5.3.5.5. Manejo del programa Valramor 4	32
5.4. CONCLUSIONES	35
6. LISTAS DE REPUESTOS	37
6.1. OBJETIVO 3	37
6.2. INTRODUCCIÓN	37
6.3. DESARROLLO	38
6.3.1. Sistema sellado horizontal	38
6.3.2. Sistema sellado vertical	39
6.3.3. Sistema eje principal	41
6.3.4. Soporte de rollo	42
6.3.5. Sistema de arrastre	43
6.4. CONCLUSIONES	44
7. RUTINAS Y ESPECIFICACIONES DE MANTENIMIENTO	45
7.1. OBJETIVO 4	45
7.2. INTRODUCCIÓN	45

7.3. DESARROLLO	45
7.3.1. Mantenimiento preventivo	45
7.3.2. Frecuencia y tareas de mantenimiento	46
7.3.2.1. Sistema de arrastre	46
7.3.2.2. Sistema sellado horizontal y vertical	47
7.3.2.3. Soporte de rollo	48
7.4. CONCLUSIONES	49
8. DESARROLLO DEL MANUAL	50
8.1. OBJETIVO 5	50
8.2. INTRODUCCIÓN	50
8.3. DESARROLLO	50
8.4. CONCLUSIONES	50

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Relación de los indicadores CMD	25
Figura 2. Función de confiabilidad para la distribución normal	28
Figura 3. Función de confiabilidad para la distribución exponencial	30
Figura 4. Función de confiabilidad para la distribución de Weibull	31
Figura 5. Parámetro beta de la distribución de Weibull asociado a la curva de la bañera	32
Figura 6. Grafica de los distintos valores del parámetro beta de la distribución de Weibull	32
Figura 7. Pantalla de entrada valramor4	33
Figura 8. Interface de salida confiabilidad	34
Figura 9. Interface de salida mantenibilidad	35
Figura 10. Sistema de sellado horizontal	38
Figura 11. Lista de partes sellado horizontal	39
Figura 12. Sistema de sellado vertical	39
Figura 13. Lista de partes sellado vertical	40
Figura 14. Sistema eje principal	41
Figura 15. Lista de partes eje principal	41
Figura 16. Sistema soporte de rollo	42
Figura 17. Lista de partes soporte de rollo	43
Figura 18. Sistema de arrastre	43
Figura 19. Lista de partes sistema de arrastre	44



## LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Función de confiabilidad para la distribución normal	28
Ecuación 2. Función densidad de la distribución log-normal	29
Ecuación 3. Función de confiabilidad de la distribución log-normal	29
Ecuación 4. Función de la tasa de fallas de la distribución log-normal	29
Ecuación 5. Función de confiabilidad para la distribución exponencial	30
Ecuación 6. Función de la confiabilidad para la distribución de Weibull	31

## ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Manual de mantenimiento máquina empacadora ET-02	59

## INTRODUCCIÓN

La industria del empaque requiere constante intervención del personal de servicio técnico de la empresa, en algunos casos atiende ajustes o mantenimiento que los operarios de la máquina pueden realizar si se tiene la información adecuada. Desde este punto de vista se puede percibir la importancia del manual de mantenimiento.

El proyecto a desarrollar consiste en hacer un Manual de Mantenimiento para una máquina empacadora vertical semiautomática, ya que la empresa que las produce no cuenta con este soporte técnico.

Los requerimientos del mercado nacional e internacional obligan a que las máquinas que se producen sean cada vez más estandarizadas, de tal modo que sus repuestos cuenten con referencias y datos de mantenimiento.

La empresa que produce este tipo de máquinas se llama T.M.E Ltda., está ubicada en la ciudad de Medellín, en la Carrera 48 # 52 sur – 177 tel. 4443336. Además de máquinas empacadoras verticales, tiene horizontales y de pedal.

## 1. ANTECEDENTES

A partir de 1960, la necesidad de empaquetar café en bolsas de celofán conduce a la fabricación de la primera máquina empaquetadora automática de café, logrando ágilmente aplicar con éxito su tecnología al empaque de diversos productos, originando importantes exportaciones a Centro, Sudamérica y África, donde se requieren equipos de bajo costo, fácil manejo y excelente calidad. (COLOMBIAPACK@1998)

A medida que la ciudad crece, la necesidad de empaquetar productos de consumo masivo aumenta también; así pues se crea en Medellín T.M.E empresa dedicada al mercado del empaque; la demanda de productos hace que este tipo de máquinas, cada vez más se automaticen e involucren tecnología para lograr que la calidad del empaque y el producto se conserve en el tiempo. (TME@2008)

## 2. JUSTIFICACION

El proyecto se justifica en las exigencias del mercado nacional e internacional, en el que las empresas usan modelos de mantenimiento actual como lo es el preventivo; así pues las máquinas que se compran deben tener especificaciones técnicas, que faciliten la incorporación en el mantenimiento utilizado en las demás máquinas de la empresa.

El manual sirve como modelo de referencia para desarrollar en un futuro los manuales de mantenimiento de las demás referencias que se producen. Esta empresa permite realizar un estudio exhaustivo de los elementos de máquina utilizados en la producción de estas empacadoras.

La teoría de mantenimiento desarrollada a lo largo de la carrera, se aplica en el diseño y elaboración de este Manual, ya que contiene información técnica de los elementos de máquina usados para la fabricación, así como directrices para pedir repuestos y realizar mantenimiento preventivo a estos.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo General

Elaborar un manual de mantenimiento preventivo para la empacadora vertical ET- 02.

#### 3.2. Objetivos ESPECÍFICOS

3.2.1 Objetivo 1. Presentar y justificar el proyecto, de acuerdo a las necesidades que tiene la empresa y las máquinas empacadoras que allí se producen. Nivel uno - conocimiento.

3.2.2 Objetivo 2. Sugerir un método para el cálculo de los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad en la máquina empacadora ET-02 Nivel dos - comprender.

3.2.3 Objetivo 3. Desarrollar listas con los repuestos que pueden ser pedidos al fabricante, con sus respectivos planos. Nivel tres - aplicar.

3.2.4 Objetivo 4. Crear rutinas de mantenimiento, que proporcionen a la máquina un buen funcionamiento en el tiempo.- Nivel tres - aplicar.

3.2.5 Objetivo 5. Validar los resultados obtenidos con base en la experiencia que tiene la empresa debido a las intervenciones y/o garantías realizadas. Nivel cuatro – Analizar.

## 4. MANUAL DE MANTENIMIENTO PARA LA EMPRESA TME LTDA

### 4.1. OBJETIVO 1

Presentar y justificar el proyecto, de acuerdo a las necesidades que tiene la empresa y las máquinas empacadoras que allí se producen. Nivel uno - conocimiento.

### 4.2. INTRODUCCIÓN

El proyecto es elaborar un manual de mantenimiento preventivo y despiece de la máquina empacadora vertical ET – 02; fabricada por la empresa TME Ltda.

TME Ltda es una empresa 100% Colombiana, creada pensando en solucionar los problemas y/o requerimientos de empaque en el mercado nacional e internacional.

Ofrece equipos de alta tecnología y fácil funcionamiento, con la incorporación de los últimos adelantos tecnológicos, tanto en el campo mecánico como en el electrónico; Pensando en la pequeña, mediana empresa y gran empresa, TME Ltda. Cuenta con diseños de máquinas que van desde selladoras manuales, hasta empacadoras completamente automáticas.

### 4.3. DESARROLLO

#### 4.3.1. ¿Qué ventajas tiene el mantenimiento?

Entre las principales ventajas del mantenimiento, podemos mencionar las siguientes:

- Mejor conservación de los equipos.

- Aumento de la calidad y de la productividad.
- Disminución de paralizaciones imprevistas.
- Disminución de reparaciones.
- Reducción de horas extras de trabajo.
- Reducción de costos.

MITECNOLOGICO@2008

#### 4.3.2. Manuales de Mantenimiento

Los manuales son procedimientos de trabajo que se preparan para ayudar al personal de mantenimiento. Se elaboran teniendo en cuenta los catálogos de los equipos suministrados por el fabricante y la experiencia de los técnicos.

Se propone elaborar un manual con lo siguiente:

- Rutinas de mantenimiento para el equipo.

La fase inicial en la elaboración del manual es determinar quién es su beneficiario inicial y para quien puede ser útil más adelante. (MANTENMEDIDA@2003)

El beneficiario es el cliente, ya que gracias al manual de mantenimiento se pueden manejar estándares de calidad en los procesos post-venta, además de generar confiabilidad en la operación de las máquinas, debido que allí se encontrarán tareas en pro del bienestar de la máquina, basándose en la filosofía del mantenimiento preventivo.

Al dar una mirada global de los mercados mundiales y, con el estado actual de innovación tecnológica, la finalidad del manual es ofrecer una descripción actualizada, concisa y clara de las actividades contenidas en cada proceso. Pero a

causa de esto, jamás podremos considerarlo como concluido y completo, ya que debe evolucionar con la organización. (MITECNOLOGICO@2008)

La disposición final de este manual esta manos del encargado de mantenimiento de la empresa que adquiere la máquina así como la empresa productora.

#### 4.3.3. Justificación

##### 4.3.3.1. ¿Para qué contar con un programa de mantenimiento preventivo?

Nunca faltará quien pregunte: ¿para qué implantar un programa de mantenimiento preventivo si como estamos nos hallamos bien?

La respuesta más sencilla es que si no puede demostrarse que la compañía obtendrá un sensible ahorro con el mantenimiento preventivo, no habrá por que adoptarlo. (MANTENMEDIDA@2003)

El objetivo principal para poner en práctica el mantenimiento preventivo es bajar los costos, pera esta economía puede asumir distintas formas:

- Menor tiempo perdido como resultado de menos paros de maquinaria por descomposturas.
- Mejor conservación y duración de las cosas, por no haber necesidad de reponer equipo antes de tiempo.
- Menor costo por concepto de horas extraordinarias de trabajo y una utilización más económica de los trabajadores de mantenimiento, como resultado de laborar con un programa preestablecido, en lugar de hacerlo inopinadamente para componer desarreglos.
- Menos reparaciones en gran escala pues son prevenidas mediante reparaciones oportunas y de rutina.

- Menos ocurrencia de productos rechazados, repetidos y desperdicios como producto de una mejor condición general del equipo.
- Identificación del equipo que origina gastos de mantenimiento exagerados, pudiéndole así señalar la necesidad de un trabajo de mantenimiento correctivo para el mismo, un mejor adiestramiento del operador, o bien, el reemplazo de máquinas anticuadas. Mejores condiciones de seguridad. (NEWBROUGH, E.T, 1974, 413)

Las empresas generadoras de bienes y/o servicios que utilizan instalaciones, edificios, máquinas, equipos, herramientas, utensilios, etc. Para lograr su objetivo social necesitan que estos activos se mantengan en un estado de funcionamiento, mantenibilidad y disponibilidad adecuados a sus necesidades, al procurar que su vida útil sea la máxima posible al mínimo costo. (MORA, 2008, 306)

La empresa en particular está en un proceso de acreditación en el sector industrial, aunque su gran experiencia la hace competitiva en el mercado, día tras día llegan máquinas al país con nuevas tecnologías, lo cual hace que se exijan un poco más para poder competir con esta era; una de las acciones que los pone a competir en el mercado es la implementación del mantenimiento preventivo en sus máquinas, lo cual garantiza un seguimiento por parte de la empresa que produce y la que compra.

#### 4.3.3.2. Necesidades de la empresa.

El ser una empresa competitiva en el mercado hace que los estándares de calidad cada vez sean más altos, debido a esta situación la empresa T.M.E Ltda. Ve la necesidad de sumarse a la era del mantenimiento preventivo, lo que proporciona a su maquinaria un estatus alto frente a los competidores nacionales.

Dentro de las necesidades de la empresa están:

- Listas de repuestos con las cuales los poseedores de las máquinas solicitaran al fabricante.
- Planos de las piezas en 3D, que permitan realizar cambios y análisis a los elementos de la máquina.
- Rutinas de mantenimiento que dinamicen el proceso en la máquina y la empresa.
- Rutinas de mantenimiento que den confiabilidad a la máquina.
- Procesos que alarguen la vida de los equipos.

#### 4.4. CONCLUSIONES

El mantenimiento preventivo en la actualidad se ve como la forma de crear y adoptar estrategias para mantener las máquinas en perfecto estado con el fin de evitar su deterioro y garantizar un ambiente adecuado de trabajo; así como también garantizar la homogeneidad en la producción y los productos.

Las empresas dedicadas a la producción de bienes y/o servicios presentan choques entre los encargados de mantenimiento y producción debido a la disponibilidad necesaria para cumplir con los plazos de producción, el mantenimiento preventivo ayuda notablemente con la resolución de los conflictos debido a que se conoce con anticipación los problemas de la máquina y así se pueden tomar medidas con anticipación y planeación entre las partes.

El desconocimiento de la nueva era del mantenimiento hace que las empresas dispongan de recursos cada vez mas altos para resolver los problemas de mantenimiento en la planta, es claro que la única manera de prevenir los fallos y alargar la vida de los equipos es implementando rutinas sencillas de mantenimiento preventivo.

## 5. PROGRAMA VALRAMOR 4 COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS

### 5.1. OBJETIVO 2

Sugerir un método para el cálculo de los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad en la máquina empacadora ET-02 - Nivel dos - comprender.

### 5.2. INTRODUCCION

El conocer los elementos que intervienen en el proceso de sellado y empaque de la máquina ET-02, así como su operación, disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad ayuda a detectar y resolver problemas que por su frecuencia y recurrencia retrasan las labores de producción en la empresa.

El estudio de la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de esta máquina es importante debido a que proporciona bases teóricas y técnicas de cálculo que posicionan la empresa a nivel nacional e internacional,

CMD son tres indicadores utilizados como soporte en la gestión de mantenimiento, la confiabilidad es una propiedad que habla de la capacidad operativa del equipo sin presentar fallas, la mantenibilidad es una característica dependiente del diseño y que en última instancia refleja la facilidad con la que el equipo es retornado a la condición de funcionamiento, finalmente la disponibilidad relaciona tanto la confiabilidad como la mantenibilidad y es mediante este atributo que definen en muchas ocasiones las estrategias de operación. (OROZCO, 2001,153).

Debido a que en la empresa nunca se han tomado datos que proporcionen la información necesaria para calcular disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad

de la máquina; el estudio se centra en proporcionar una herramienta para que el usuario comience con la medición de estos indicadores.

### 5.3. DESARROLLO

Lo que se propone es un programa evaluador CMD (VALRAMOR 4)<sup>1</sup>, este utiliza métodos de estimación y diferentes distribuciones así como pruebas de bondad de ajuste, buscando cuál de ellas se acomoda mejor a los datos, con el fin de obtener un resultado más preciso del indicador

La aplicación del programa sugiere entender los conceptos de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad para realizar una buena estimación, así como mencionar las distribuciones y la manera de recolectar los datos para la estimación.

A continuación se ofrece como herramienta de estudio y conceptualización del mantenimiento preventivo el programa Valramor 4 con el cual una organización del sector productivo puede avanzar en la cuantificación de los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.

#### 5.3.1. Definición de disponibilidad

Es la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación cuando se usa bajo condiciones estables donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de

---

<sup>1</sup> VALRAMOR 4. es desarrollado por los ingenieros mecánicos de la Universidad EAFIT Luís Alberto Mora y Juan Santiago Vallejo, con el fin de determinar los principales indicadores de CMD a partir de los cuales se pueden realizar pronósticos, planear tácticas y acciones de mantenimiento futuras.

operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo, tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico.(RAMAKUMAR,1996,482) (BLANCHARD Y OTROS,1994,219) (NACHLAS,1995,217) (LEEMIS,1995,319) (DIAZ,1992,5) (KNEZEVIC,1996,317) (KELLY Y OTRO,1998,300) (REY,1996,161) (MODARRES,1993,5)

### 5.3.2. Definición de Confiabilidad

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es ciento por ciento 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aun aceptable

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de esta. La calidad puede ser definida cualitativamente como la cantidad de satisfacción de los requerimientos de los usuarios de un producto.

La confiabilidad interesa por cuánto tiempo el producto continúa en funcionamiento después de entrar en operación. Una baja calidad del producto implica una disminución de su confiabilidad, de la misma manera que la calidad alta implica una confiabilidad elevada.

(BAZOVSKY, 2004,297).

#### 5.3.2.1. Definición de confiabilidad Sistemas y Componentes.

La confiabilidad de un sistema y sus componentes es de suma importancia si queremos conocer la confiabilidad de los activos. Los datos suministrados por los indicadores de confiabilidad debe darnos la distribución de fallos para una o más combinaciones de esfuerzos y ambientes.(AMENDOLA@2003)

### 5.3.3. Definición de mantenibilidad

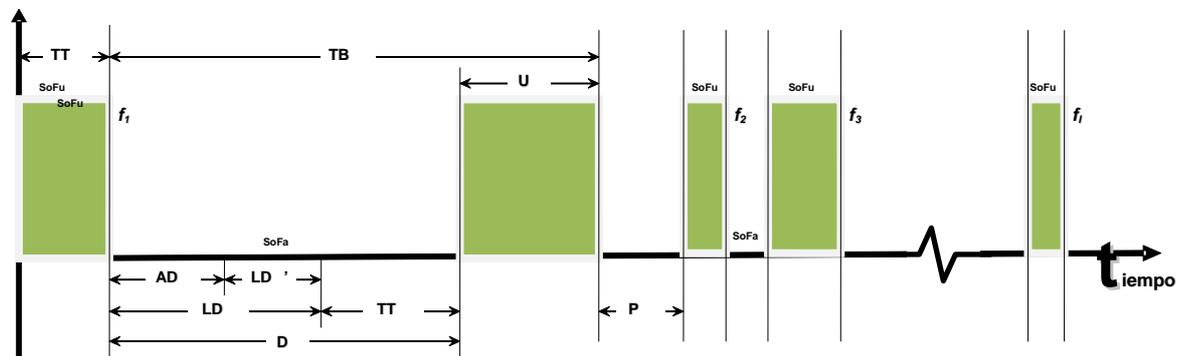
Mide las actividades de reparaciones y tareas proactivas que realizan el área de mantenimiento sobre los equipos, sus medidas básicas son el volumen de reparaciones (o tareas planeadas) y los tiempos efectivos de realización y sus demoras; en el caso de la mantenibilidad la evaluación se asocia a los grupos de personas que hacen los mantenimientos o las reparaciones.

El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento.

La mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.(AMENDOLA@2003)

#### 5.3.4. Tiempos usados en la estimación de los indicadores.

Figura 1. Relación de los indicadores CMD



(DÍAZ, 1992, 109)

TTF = *Time to failure* = Tiempo hasta fallar (se usa en equipos que sólo fallan una vez, no reparables).

$f_i$  = falla  $i$  – e sima

$m$  = Numero de fallas ocurridas en el tiempo que se revisa, desde  $f_1$  hasta  $f_i$

TTR = *Time to repair* = Tiempo que demora la reparación neta, sin incluir demoras ni tiempos logísticos, ni tiempos invertidos en suministros de repuestos o recursos humanos.

MTTR = *Mean time to repair* = Tiempo medio de reparación =  $\frac{\sum TTR}{m}$

TBF = *Time between failures* = Tiempo entre fallas.

MTBF = *Mean time between failures* = Tiempo medio entre fallas =  $\frac{\sum TBF}{m}$

UT = *Up time* = Tiempo útil en el que equipo funciona correctamente.

MUT = *Mean up time* = Tiempo medio de funcionamiento entre fallas =  $\frac{\sum UT}{m}$

DT = *Down time* = Tiempo no operative.

MDT = *Mean down time* = Tiempo medio de indisponibilidad entre fallas =  $\frac{\sum DT}{m}$

ADT = *Administrative delay time* = Retrasos administrativos exógenos a la actividad propia de reparaciones diferentes al tiempo activo neto de la reparación. Ejemplos de éstos son: suministro de personal especializado, entrenamiento de recursos humanos requeridos para esa reparación, revisión de manuales de mantenimiento u operación, localización de herramientas, cumplimiento de procesos y/o procedimientos internos, entre otros.

LDT' = *Logistics delay time* = Retrasos logísticos: la obtención de insumos para la reparación, en los procesos de mantenimiento o de producción, en los tiempos de suministros, entre otros, como por ejemplo el tiempo requerido para transporte de repuestos, o el tiempo que hay que esperar a que se construya un repuesto especial por parte de los fabricantes, etc.

$LDT = ADT + LDT'$  = *Logistic down time* = Tiempo total logístico que demora la acción propia de reparación o mantenimiento. Son todos los tiempos exógenos al equipo que retrasan el tiempo activo.

$MLDT = Mean logistics down time$  = Tiempo medio de tiempos logísticos

$PM = Planned maintenances$  = Mantenimientos planeados, pueden ser preventivos o predictivos.

La modelación de la disponibilidad se puede realizar mediante diversas técnicas, desde unas muy simples que se basan en indicadores puntuales e instantáneos que se calculan independiente de la estimación de probabilidades y de sus leyes que modelan el CMD, hasta otras más complejas donde sí se tienen en cuenta las distribuciones que simulan el comportamiento de la confiabilidad y de la mantenibilidad. Al igual existen diferentes disponibilidades de distintos autores y de diferentes instituciones mundiales que tratan el mantenimiento, en el caso particular se usan las cinco que son: genérica, inherente, alcanzada, operacional y operacional generalizada (MORA, 2006, 306).

### 5.3.5. Distribuciones

#### 5.3.5.1. Distribución normal

La distribución normal es continua y se da con frecuencia cuando la vida de los componentes se ve afectada, desde un inicio, por el desgaste y describe bien fenómenos de envejecimiento de equipos, modelos de fatiga y fenómenos naturales. En ésta distribución los fallos tienden a mostrarse de una forma simétrica alrededor de la vida media (DÍAZ, 1992, 20) (GARCÍA, 1996, 190) (MODARRES, 1993, 79) (RAMAKUMAR, 1993, 95) (EBELING, 1997, 69) (O'CONNOR, 1985, 34) (GNEDENKO Y OTRO, 1995, 16) (LEWIS, 1987, 55).

Ecuación 1. Función de confiabilidad para la distribución normal

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$$

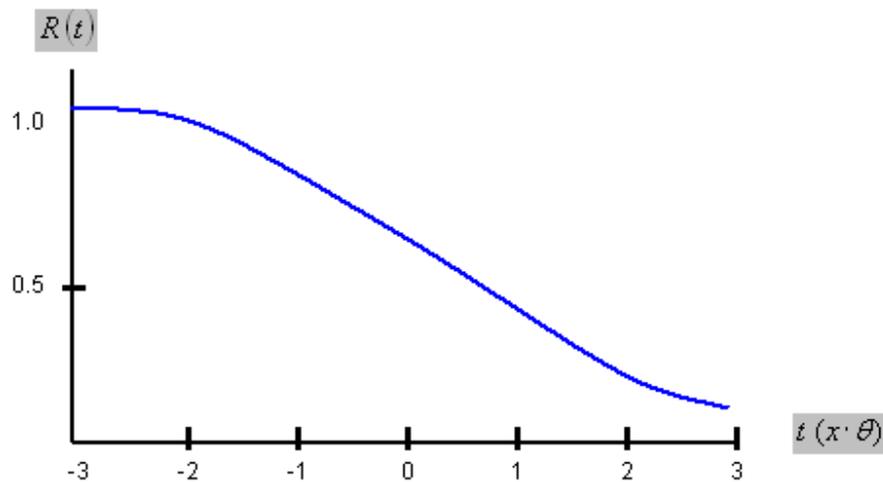
O'CONNOR, 1985, 44.

Donde:

$\mu$ : Media

$\sigma$ : Desviación estándar

Figura 2. Función de confiabilidad para la distribución normal



O'CONNOR, 1985, 44.

#### 5.3.5.2. Distribución log-normal

La distribución log-normal es una adaptación especial de la distribución normal formada por los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$ , que implica el uso del logaritmo dentro de la variable aleatoria; es una función que presenta un alto grado de adaptabilidad a los datos, pero que en general es poco utilizada para modelar tiempos de falla (116).

Los valores de  $\mu$  y  $\sigma$  no son la media y la desviación estándar de la variable aleatoria, sino de su logaritmo. Los tiempos de reparación de componentes se ajustan de buena manera a este modelo de distribución (RAMAKUMAR, 1993, 97).

Ecuación 2. Función de densidad de la distribución log-normal

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

RAMAKUMAR, 1993, 96

Donde:

$\sigma$  : Desviación estándar de los logaritmos naturales de la distribución.

$\mu$  : Media de los logaritmos naturales de la distribución.

Ecuación 3. Función de confiabilidad de la distribución log-normal

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt$$

RAMAKUMAR, 1993, 96

Ecuación 4. Función de tasa de fallas de la distribución log-normal

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

RAMAKUMAR, 1993, 117

### 5.3.5.3. Distribución exponencial

La distribución exponencial describe la situación donde la función de tasa de falla es constante. Es la más común entre las distribuciones de fallas, su importancia radica en el hecho de que casi todos los componentes tienen, durante su período de operación normal, una intensidad de falla constante. Esta distribución es la

única de todas que presenta una intensidad constante de fallas (ROJAS, 1975, 46) (O'CONNOR, 1985, 37) (MODARRES, 1993, 75) (BAZOVSKY, 2004, 76).

Ecuación 5. Función de confiabilidad para la distribución exponencial

$$R(t) = \exp(-\lambda * t)$$

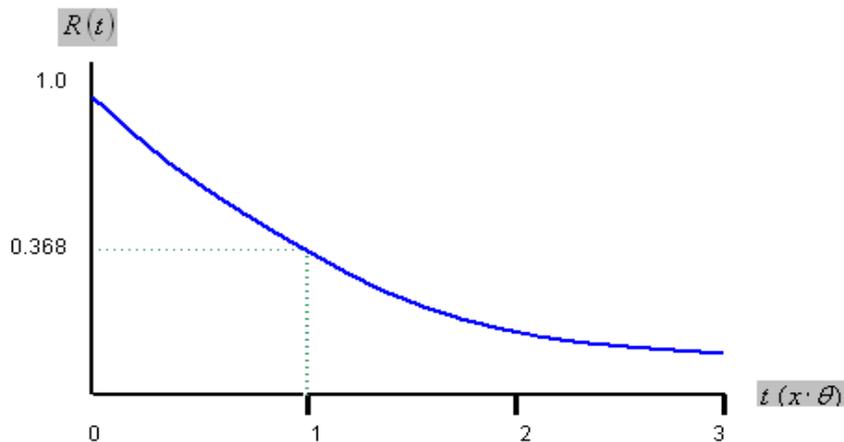
O'CONNOR, 1985,44.

Donde:

$\theta$  : MTBF

$\theta$  :  $\lambda^{-1}$

Figura 3. Función de confiabilidad para la distribución exponencial



#### 5.3.5.4. Distribución de Weibull

La distribución de Weibull es una expresión semi-empírica muy útil, desarrollada por el matemático sueco Waloddi Weibull en el año 1951, aplicada en su estudio de resistencia a la fatiga del acero, cuando trataba de encontrar una distribución

que describiera la expresión de confiabilidad en rodamientos de bolas (KELLY Y OTROS, 1998, 24) (DÍAZ, 1992, 21) (O'CONNOR, 1985, 39).

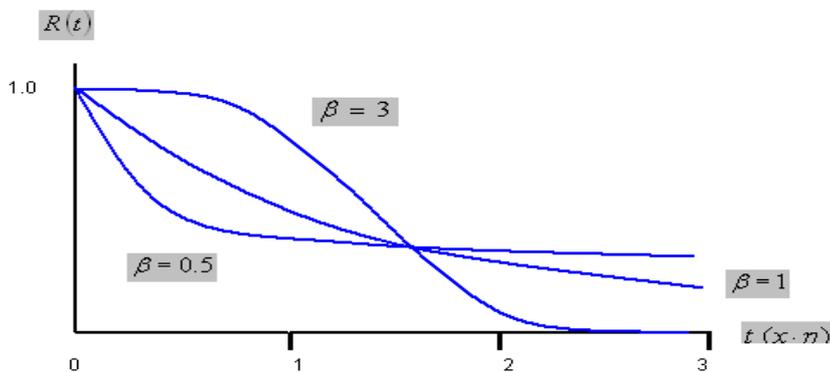
La vida de los componentes utiliza frecuentemente esta distribución, ya que posee una serie de ventajas sobre los demás<sup>2</sup>. También se ha usado para representar la vida de servicio de tubos y otros equipos electrónicos (CÉSPEDES Y TORO, 2001, 54).

Ecuación 6. Función de confiabilidad para la distribución de Weibull

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

O'CONNOR, 1985, 45.

Figura 4. Función de confiabilidad para la distribución de Weibull



O'CONNOR, 1985, 45.

El parámetro  $\beta^3$  permite a la distribución de Weibull tomar diversas formas; los valores menores a 1 son característicos de los equipos en períodos de mortalidad infantil (tasa de falla decreciente); los valores cercanos a uno, de equipos en períodos de vida útil (tasa de falla constante y aleatoria); y los valores mayores a

<sup>2</sup> Ventajas como técnicas gráficas sencillas para su aplicación práctica y que es la única función de probabilidad que puede utilizarse para representar cualquier tipo de tasa de falla (EBELING, 1997, 58) (KELLY Y OTRO, 1998, 24).

<sup>3</sup> Parámetro de forma

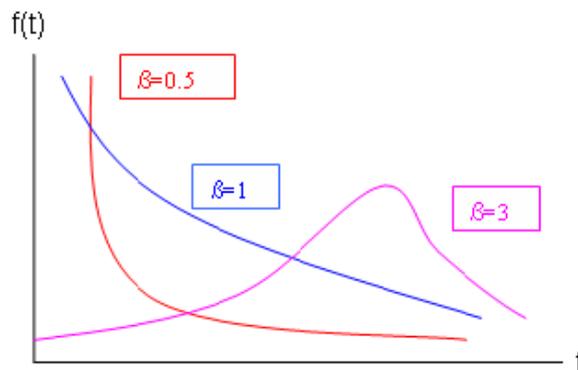
1, de equipos en períodos de desgaste<sup>4</sup> (tasa de falla creciente) (DÍAZ, 1992, 21) (GARCÍA, 1996, 190) (CÉSPEDES Y TORO, 2001, 55).

Figura 5. Parámetro  $\beta$  de la distribución de Weibull asociado a la curva de la bañera

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

DÍAZ, 1992, 21

Figura 6. Gráfica de los distintos valores del parámetro  $\beta$  de la distribución de Weibull



DÍAZ, 1992, 22

#### 5.3.5.5. Manejo del programa VALRAMOR 4

Figura 7. Pantalla de entrada Valramor4

<sup>4</sup> A mayor  $\beta$ , mayor desgaste. Ésta característica puede ser usada para construir fórmulas de valorización de equipos; aplicando el valor del equipo (estimado según cualquier modelo), el factor  $1/\beta$  (Díaz, 1992, 21).



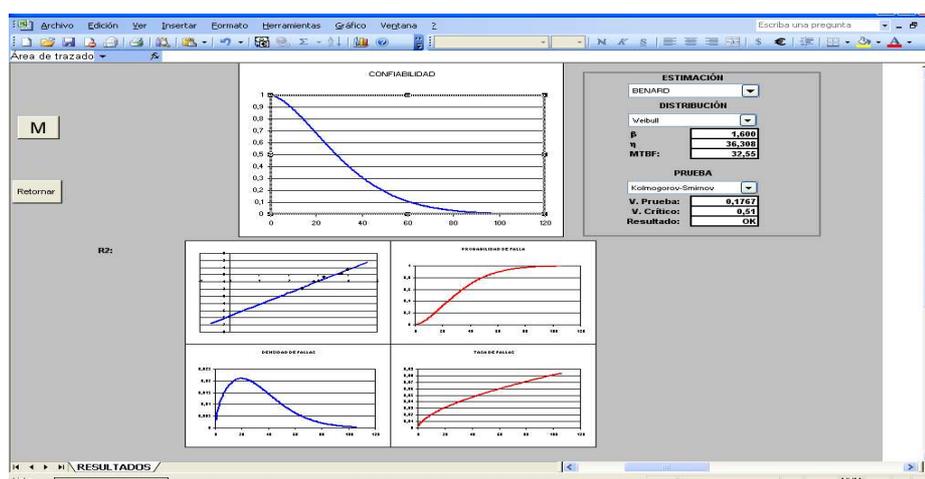
Los métodos de estimación utilizados para nuestra validación son Bernard, de igual manera, las pruebas de bondad de ajuste que se utilizan para verificar la exactitud de la prueba son Kolmogorov-Smirnov y chi cuadrado.

La estimación de los valores de los indicadores se ejecuta automáticamente al seleccionar los íconos de confiabilidad o mantenibilidad que presenta el programa, el cual, a su vez, calcula los parámetros asociados a Beta, Landa, etc. a partir de la distribución seleccionada.

Los indicadores dependen del tipo de dato que se ingresan en el sistema, debido a que el programa no los diferencia automáticamente, simplemente ejecuta unas funciones estadísticas.

El módulo de confiabilidad contiene la curva de confiabilidad, la densidad de falla, probabilidad de falla y la tasa de fallas. Se visualiza a su vez en la casilla de resultado si la prueba se ajusta correctamente a los datos, indicando OK o NO OK.

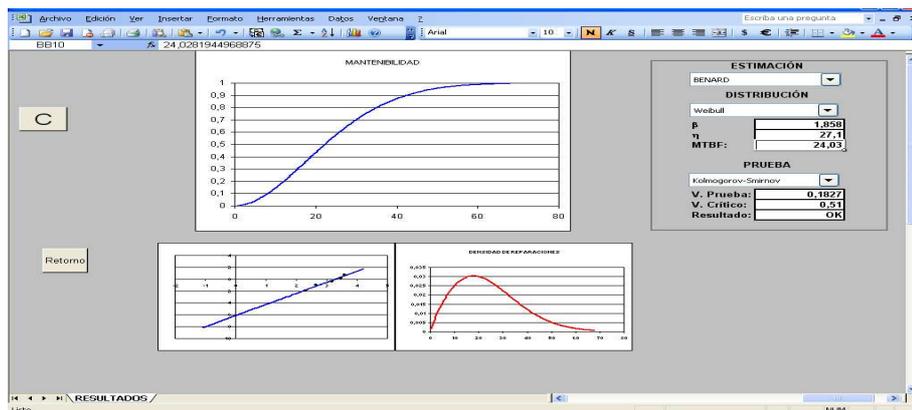
Figura 8. Interface de Salida Confiabilidad



Programa "Valramor 4"

El módulo de mantenibilidad contiene la curva de mantenibilidad y densidad de reparaciones correspondiente a los datos ingresados. De igual forma indica en la casilla de resultado si la prueba se ajusta correctamente a los datos mostrando OK o NO OK.

Figura 9. Interface de salida mantenibilidad.



Programa “Valramor 4”

PEREZ Y SERNA, 2006, 155

#### 5.4. CONCLUSIONES

El cálculo de la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad para la empacadora ET-02, no se puede realizar debido a que apenas se están proponiendo estos indicadores en la empresa, en tanto los datos necesarios para soportar los cálculos no existen. Por tal motivo cobra importancia la presentación de herramientas para que la empresa comience con este proceso.

La única manera de calcular disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad a un equipo es recolectar concienzudamente los datos referentes a las fallas y sus tiempos de intervención.

Los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, no son más que herramientas para que la empresa se mida continuamente y pueda mejorar cada día sus procesos.

Las gráficas obtenidas del programa Valramor4 permiten interpretar el comportamiento de cada uno de los sistemas de la máquina en relación a los tiempos entre mantenimientos planeados y no planeados.

La implementación de un programa evaluador CMD bajo lenguaje de programación es una herramienta potente para el análisis de la información con respecto al estado de los equipos, debido a la rapidez con la que se procesan los datos y la manera como los muestra para su fácil interpretación.

## 6. LISTAS DE REPUESTOS

### 6.1. OBJETIVO 3

Desarrollar listas con los repuestos que pueden ser pedidos al fabricante, con sus respectivos planos. Nivel tres - aplicar.

### 6.2. INTRODUCCIÓN

El cliente o dueño de la máquina debe conocer el nombre y la ubicación de cada una de las piezas que intervienen en el proceso de sellado; debido a que estos equipos son automáticos es necesario calibrar al inicio de la jornada. En ese momento es cuando el operario y/o mecánico pueden reportar anomalías en los componentes de la misma, ya que se conocen los mecanismos, las piezas y su referencia.

Las listas de repuestos que se realizan, se relacionan directamente con los planos de la máquina existentes en la empresa; la tarea que se realiza es llevar estos planos 2D a 3D, estos quedan a disposición de la empresa ya que contienen datos confidenciales del proceso de manufactura de la máquina empacadora ET-02. Para efectos del proyecto se muestra solamente el esquema de los sistemas numerado con su respectiva referencia.

Es preciso mencionar que no todos los sistemas y repuestos de la máquina aparecen plasmados y referenciados, ya que la empresa es la que determina cuáles hacen o no parte de este manual.

### 6.3. DESARROLLO

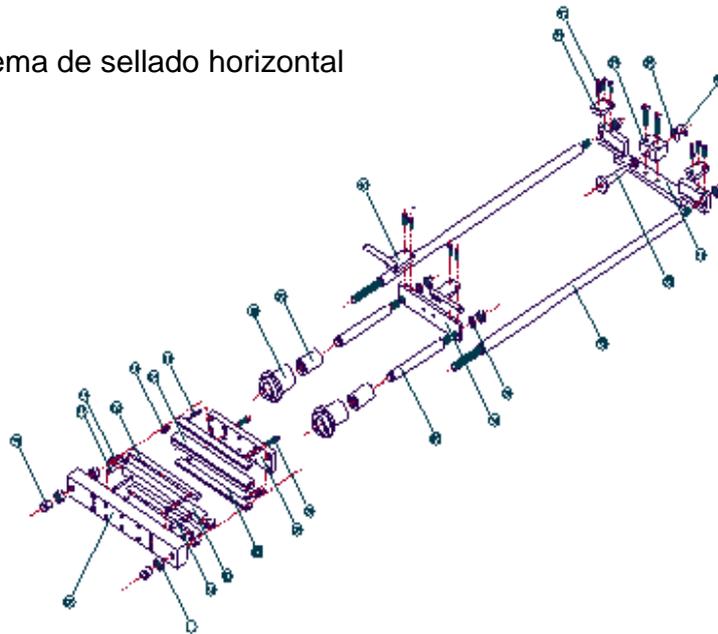
Las listas de repuestos se organizan de acuerdo con los sistemas principales de la máquina, los cuales son:

- Sistema de sellado horizontal.
- Sistema de sellado vertical.
- Sistema eje vertical.
- Sistema soporte de rollo
- Sistema de arrastre

#### 6.3.1. Sistema de sellado horizontal

El sistema y su tabla de partes son:

Figura 10. Sistema de sellado horizontal



En la figura 10 se observa una vista en explosión donde se muestran los componentes del sistema de sellado horizontal de la máquina empacadora ET-02.

A continuación proporciona la tabla con las partes que conforman este sistema.

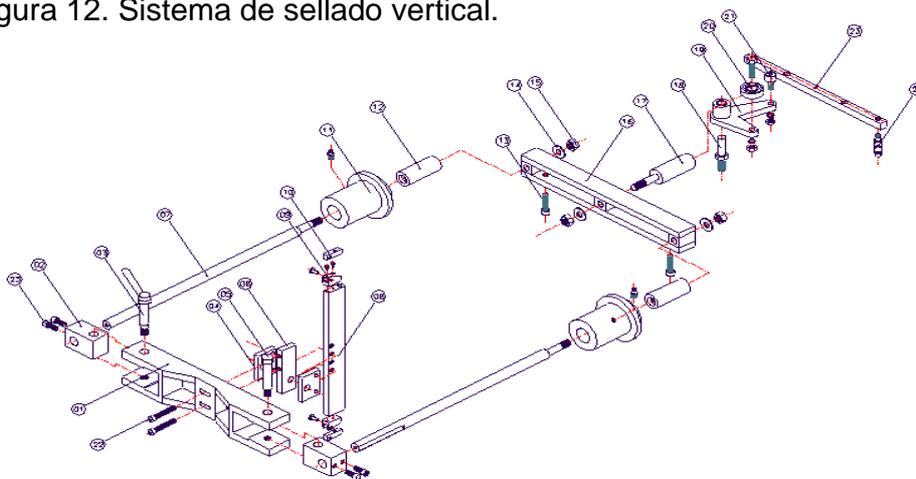
Figura 11. Lista de partes sellado horizontal

28	ARANDELA PLANA DE 3/4"	
27	TUERCA HEXAGONA DE 3/4"-NF	
26	TORNILLO SOCKET DE 3/8"	
25	SOPORTE.	B 462
24	TOPE (NYLON).	B 461-A
23	TOPE (1020).	B 461
22	EMBOLO.	B 460
21	SOPORTE RESORTE.	B 410
20	BUJE COMPLEMENTO GUIAS INTERIORES.	B 407
19	TUERCA.	B 405-B
18	BLOQUE TENSOR.	B 139-C
17	SOPORTE PARA RESORTE.	B 067
16	PLACA BARRAS EXTERIORES	B 457
15	BARRA SOPORTE DELANTERO.	B 458
14	PLACA BARRAS INTERIORES.	B 456
13	SOPORTE BLOQUE TENSOR.	B 422
12	AGUJA GUIA HALADOR TRASERO.	B 417
11	AGUJA GUIA HALADOR DELANTERO.	B 416
10	SOPORTE RESORTE.	B 414
09	GUIAS BARRAS INTERIORES.	B 409
08	COMPLEMENTO GUIAS INTERIORES.	B 408
07	BUJE COMPLEMENTO GUIAS INTERIORES.	B 407-B
06	BARRA SOPORTE TRASERO.	B 406-A
05	SOPORTE SELLADOR CALIENTE (IMPULSO).	B 404A
04	SELLADOR CALIENTE.	B 403-B
03	CORTADOR FRIO.	B 402-B
02	HALADOR DELANTERO.	B 401A
01	SOPORTE CORTADOR.	B 400-A2
No.	NOMBRE	REF.

### 6.3.2. Sistema de sellado vertical.

El sistema y su tabla de partes son:

Figura 12. Sistema de sellado vertical.



En la figura 12 se observa una vista en explosión donde se muestran los componentes del sistema de sellado vertical de la máquina empacadora ET-02.

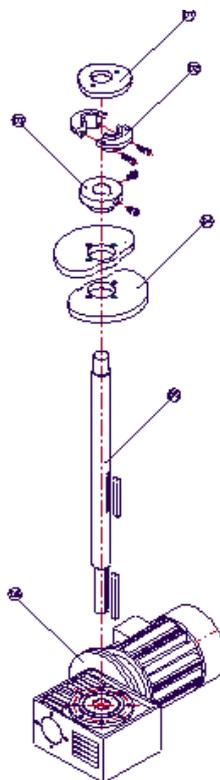
A continuación proporciona la tabla con las partes que conforman este sistema.

Figura 13. Lista de partes sistema de sellado vertical.

25	B067	PUNTAL PARA RESORTE	2
24	E419	SOPORTE APERTURA SELLADOR V.	1
23	TS5/16	TORNILLO SOCKET 5/16 x 1/2	4
22	TS5/16	TORNILLO SOCKET 5/16 x 1.1/2	2
21	CR12	CAN-ROLL	1
20	6300	RODAMIENTO 6300	1
19	E410A	ALETA SOPORTE SEGUIDOR	1
18	E411	PIVOTE ALETA SOP. SEGUIDOR	1
17	E409A	PISADOR SELLADOR VERTICAL	1
16	E408A	SOP. BARRA GUIA INTERIOR	1
15	TH1/2"	TUERCA HEXAGONA DE 1/2"	3
14	AP1/2"	ARANDELA PLANA DE 1/2"	3
13	TS3/8"	TORNILLO SOCKET 3/8" x 1.1/2"	2
12	E407B	BUJE SOPORTE BARRAS S.V.	2
11	E407	SOPORTE BARRAS S.V.	2
10	B139F	BLOQUE TENSOR	2
09	B492	SOPORTE BLOQUE	2
08	E403A	SELLADOR VERTICAL	1
07	E406	BARRA GUIA SELLADOR V.	2
06	E405A	BASE PLATINAS	1
05	E602	PIVOTE FIJO SELLADOR V.	1
04	E404	PLATINA SUJECION SELLADOR V.	2
03	E601	PIVOTE MOVIL SELLADOR V.	1
02	E401	CUBO FIJACION PASADORES	2
01	E600A	SOPORTE SELLADOR VERTICAL	1
No.	REF.	NOMBRE	CANT

### 6.3.3. Sistema eje principal

Figura 14. Sistema eje principal



En la figura 14 se observa una vista en explosión donde se muestran los componentes del sistema de sellado vertical de la máquina empacadora ET-02.

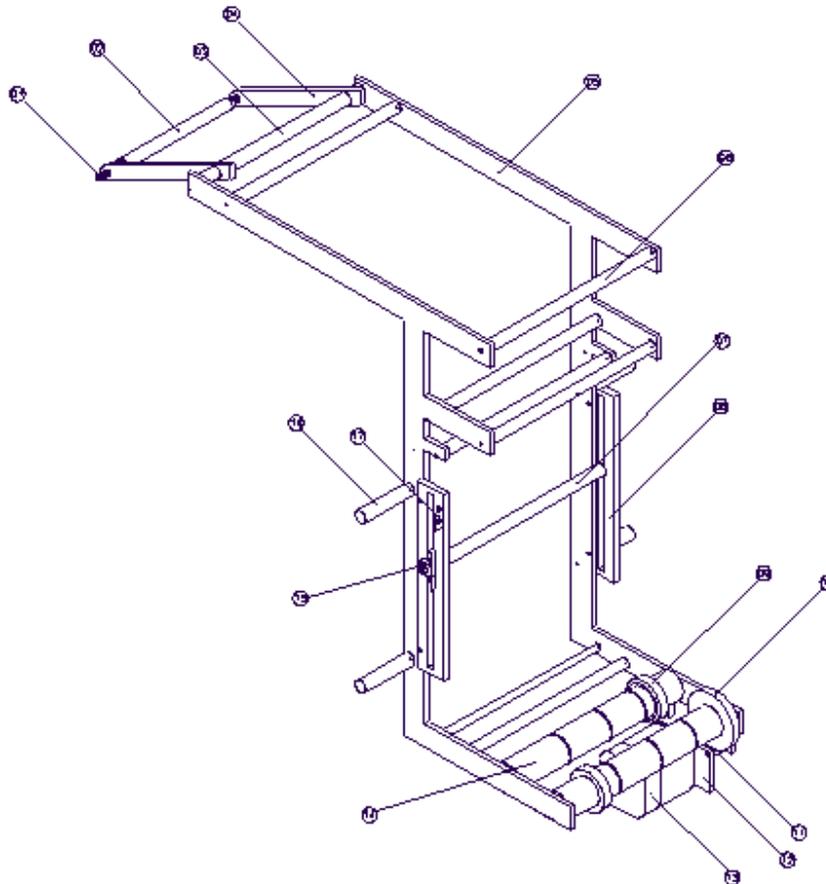
A continuación proporciona la tabla con las partes que conforman este sistema.

Figura 15. Lista de partes sistema eje principal

07			
06	MRM075	MOTOR REDUCTOR REL 1-30	1
05	A1000A	EJE PRINCIPAL	1
04	B413	LEVA SELLADOR HORIZONTAL	1
03	B426A	BRIDA LEVA	1
02	E071	SOPORTE LEVA SELLADOR VERT.	1
01	E085A	LEVA SELLADOR VERTICAL	1
No.	REF.	NOMBRE	CANT

#### 6.3.4. Soporte de rollo

Figura 16. Soporte de rollo



En la figura 16 se observa una vista en explosión donde se muestran los componentes del soporte de rollo de la máquina empacadora ET-02.

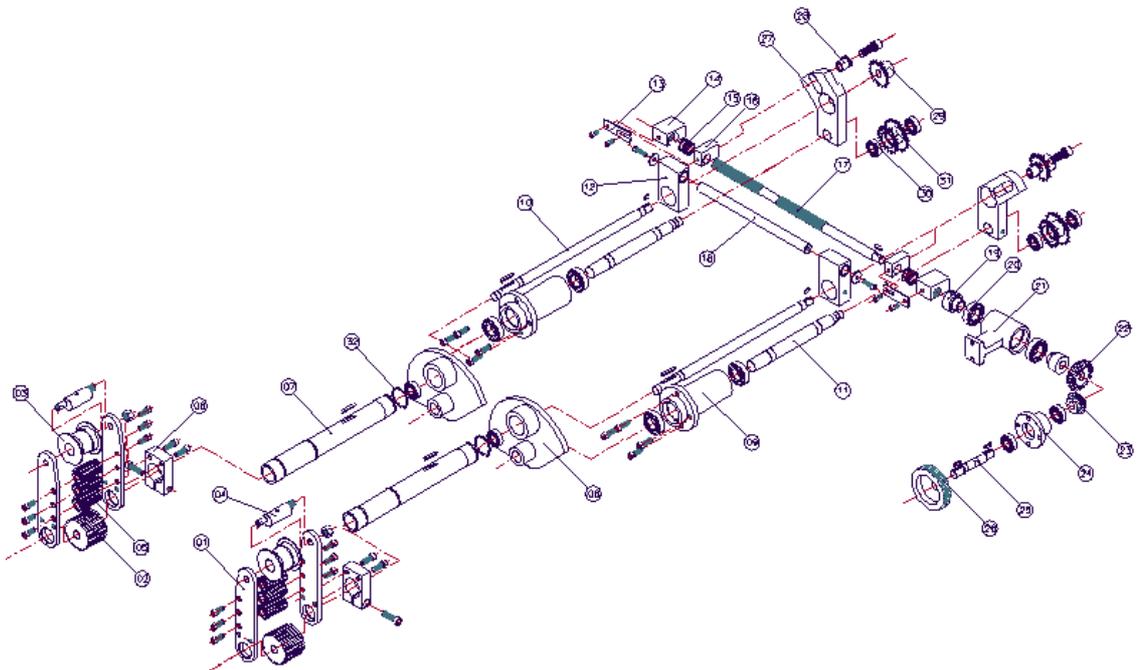
A continuación proporciona la tabla con las partes que conforman este sistema

Figura 17. Lista de partes soporte de rollo

17	L090	SOPORTE SENSOR	1
16	H924	BARRA SOPORTE ALETAS	4
15	L062	SOPORTE ACCIONAMIENTO SENSOR	1
14	H918A	TUBO SOPORTE ROLLO	2
13	M106	MOTOREDUCTOR 106 RPM	1
12	L059	BASE MOTOR	1
11	H604	SEPARADOR	2
10	H608B	TAMBOR DE ARRASTRE	1
09	H601	CONO SOPORTE ROLLO	2
08	L023	GUIA TUBO BASCULANTE	2
07	H914A	TUBO RODANTE BASCULANTE	1
06	H912A	TUBO RODANTE	6
05	H911A	ALETA SOPORTE ROLLO	2
04	H006D	ALETA SOPORTE RODILLO	2
03	H910A	SEPARADOR ALETAS	1
02	H913A	TUBO RODANTE DELANTERO	1
01	H431	TORNILLO PIVOTE	2
Nº.	REF.	NOMBRE	CANT

### 6.3.5. Sistema de arrastre

Figura 18. Sistema de arrastre



En la figura 18 se observa una vista en explosión donde se muestran los componentes del sistema de arrastre de la máquina empacadora ET-02.

A continuación proporciona la tabla con las partes que conforman este sistema

Figura 19. Lista de partes sistema de arrastre

33			
32	PIN	PIN EXTERIOR (A-41)	2
31	F415C	PIÑON RECEPTOR	2
30	R00	RODAMIENTO 6003	6
29	F416C	PIÑON MOTOR BANDAS (35B24)	2
28	F430	BUJE PIVOTE	2
27	F405A	BIELA APERTURA BANDAS	2
26	F429	VOLANTE	1
25	F411	EJE PIÑON CONDUCTOR	1
24	F412	SOPORTE EJE PIÑON CONDUCTOR	1
23	F409	PIÑON CONDUCTOR	1
22	F408	PIÑON CONDUCTIDO	1
21	F410	SOPORTE TORNILLO TENSOR	1
20	R00	RODAMIENTO 6005	6
19	F418	FIJADOR TORNILLO TENSOR	2
18	F417	BARRA GUIA BANDAS	1
17	F407	TORNILLO TENSOR BANDAS	1
16	F474	TOPE RESORTE	2
15	F476	RESORTE AJUSTE BANDAS	2
14	F406B	TUERCA REGULADORA DE BANDAS	2
13	F475	ESLABON	2
12	F404	GUIA BANDAS	2
11	F413B	EJE SOPORTE BANDAS	2
10	F400A	EJE MOTOR BANDAS	2
09	F414	SOPORTE BANDAS	2
08	F401	SOPORTE BASCULANTE BANDAS	2
07	F403	TUBO DEL EJE PARA BANDAS	2
06	F402	CUBO FIJACION BANDAS	2
05	F026	RODILLO PISADOR CON BUJES	6
04	F028	EJE EXCENTRICO RODILLO TENSOR	2
03	F029	RODILLO TENSOR	2
02	F014	RODILLO MOTOR	2
01	F025	SOPORTE LATERAL RODILLOS	4
No.	REF.	NOMBRE	CANT

#### 6.4. CONCLUSIONES

Las listas de partes plasmadas en este manual constituyen una herramienta, con la cual el usuario tiene la posibilidad de realizar adquisición de repuestos bien sea para soporte futuro y/o para remplazo inmediato.

Los sistemas presentes en este manual contienen información suficiente que garantiza la fácil consecución de repuestos, debido a que se tomaron los sistemas con la mayor cantidad de elementos y con el mayor funcionamiento en el proceso de sellado en la máquina empacadora ET-02.

## 7. RUTINAS Y ESPECIFICACIONES DE MANTENIMIENTO

### 7.1. OBJETIVO 4

Crear rutinas de mantenimiento, que proporcionen a la máquina un buen funcionamiento en el tiempo.- Nivel tres - aplicar.

### 7.2. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento que se le realiza a la máquina, garantiza la precisión en el sellado de la bolsa, aspecto determinante en la preservación y comercialización de los productos empacados.

La máquina empacadora ET-02 permite a los encargados de mantenimiento realizar tareas de mantenimiento preventivo y correctivo fácilmente, este manual proporciona tareas específicas de mantenimiento preventivo.

El conocer la configuración de las piezas en la máquina garantiza la comprensión y agilidad en el desarrollo del mantenimiento preventivo, así pues se busca que día a día los encargados la conozcan y mantengan en pro de un buen funcionamiento.

### 7.3. DESARROLLO

#### 7.3.1. Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos, con el fin de detectar condiciones o estados inadecuados de esos

elementos, que pueden ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones (Patton,1995,15-37)

Para garantizar el correcto funcionamiento de la máquina es necesario tener en cuenta los tres aspectos necesarios para el buen sellado, de ahí parte todo el reconocimiento del sistema, estos son:

1. Buena presión
2. Asentamiento uniforme del sellador y los pisadores
3. Temperatura adecuada para el plástico que se utiliza

Partiendo de estas tres premisas se puede comenzar con las instrucciones de mantenimiento preventivo.

### 7.3.2. Frecuencia y tareas de mantenimiento

La implementación del mantenimiento preventivo lleva consigo la creación de unas frecuencias de intervención para la máquina, estas se miden en horas, y días dependiendo del elemento que se vaya a mantener, así:

#### 7.3.2.1. Sistema de arrastre

Las tareas necesarias para mantener el sistema son:

- Cambiar bandas cuando la altura del caucho este gastadas en un 75%.

Figura 20. Bandas de arrastre



Estas duran aproximadamente 4 meses, si la máquina opera 8 horas al día.

- Cambiar el teflón del formador donde se apoyan las bandas cada 8 días si la máquina trabaja 8 horas diarias.
- Desengrasar y lubricar las cadenas del sistema de arrastre cada mes.
- Verificar semanalmente fugas de aceite en el reductor de arrastre, debido a que es auto lubricado, no necesita cambio de lubricante.

#### 7.3.2.2. Sistema sellado horizontal y vertical

Las tareas necesarias para mantener el sistema son:

- Inspeccionar cada mes el estado de los seguidores de la leva, la duración promedio de estos es de 2 años.

- Lubricar las levas, el proceso para la lubricación es el siguiente:
  1. Apagar la máquina
  2. Desengrasar completamente la leva, sin bajarla del eje.
  3. Revisar el estado de la superficie, en busca de fracturas.
  4. Aplicar grasa a la superficie de contacto, garantizando una distribución uniforme del lubricante, sin exceder, ya que el exceso lo que provoca es acumulación de polvo y producto.
  
- Cambiar los resortes de apertura del carro horizontal cada 2 años, para garantizar la presión en el sello.
  
- Verificar cada 6 meses el desgaste en los bujes de las barras horizontales, el proceso para la verificación es el siguiente:
  1. Apagar la máquina
  2. Tomar con las dos manos el soporte
  3. Moverlo hacia arriba y abajo dos o tres veces, mirando qué tan holgado es el movimiento. Si dicho movimiento del soporte supera los 2mm en desplazamiento, es necesario embujar nuevamente el conjunto de guías horizontales.
  
- Los resortes de los pisadores de bolsa se deben cambiar cada 6 meses, este es el tiempo en el que pierden tensión.
- Realizar la lubricación de las guías del sello horizontal y sello vertical cada 8 días, para garantizar el menor desgaste en los bujes.

#### 7.3.2.3. Soporte de rollo

Las tareas necesarias para mantener el sistema son:

- Verificar que todos los rodillos por los que circula el plástico estén suaves y completamente limpios, estos deben girar libremente.

#### 7.4. CONCLUSIONES

Las tareas de mantenimiento preventivo por más simples que parezcan, ayudan a minimizar el impacto a la hora de ocurrir un evento en la máquina.

Las rutinas de mantenimiento que se plantean son fáciles de realizar en tiempos cortos, esto con el fin de optimizar el tiempo en el mantenimiento.

Debido a la tecnología que maneja la máquina, las rutinas de mantenimiento se realizan en forma cómoda y rápida.

## 8. DESARROLLO DEL MANUAL

### 8.1. OBJETIVO 5

Validar los resultados obtenidos con base en la experiencia que tiene la empresa debido a las intervenciones y/o garantías realizadas. Nivel cuatro – Analizar.

### 8.2. INTRODUCCIÓN

Con el pasar del tiempo, las empresas ven la necesidad de incorporarse a las nuevas tendencias del mantenimiento, así pues el mantenimiento preventivo se abre camino en la industria colombiana.

Los manuales de este tipo colaboran en estas tareas gracias a la disposición grafica de los sistemas que conforman la máquina.

La construcción del manual se realiza con ayuda de la persona encargada de gestionar las labores de mantenimiento en la empresa para garantizar procedimientos acordes con la dinámica de la empresa.

### 8.3. DESARROLLO

Este objetivo se construye recopilando la información obtenida en todo este trabajo, y se ve su desarrollo en los anexos de este.

### 8.4. CONCLUSIONES

Este tipo de manuales representa un aporte directo al crecimiento de la empresa debido a que en este se encuentran procedimientos que garantizan la durabilidad de la máquina y los procesos en el tiempo.

La manera de presentar el manual se realiza para generar en el lector la seguridad de conocer los sistemas operacionales de la máquina.

Por más simples que parezcan las tareas del mantenimiento preventivo, estas ayudan a mantener el equipo en buenas condiciones de operación.

## BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA CLÁSICA

NAVARRO ELOLA, Luis; PASTOR TEJEDOR, Ana C y LACABRERA, Jaime M. Gestión Integral de Mantenimiento. 1 Ed. Barcelona (España): Editorial MARCOMBO, S.A.1997. 120 p. ISBN: 84-267-1121-9

MORA GUTIÉRREZ, Luis Alberto. Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios. Enfoque Sistémico Kantiano. 1 Ed. Noviembre de 2008. 306 p. ISBN 958-33-8218-3

PATTON JOSEPH, D Jr. Preventive Maintenance. The international Society for Measurement and Control Instrument Society of America 2 Ed. USA 1995.ISBN 1-55617-533-7

VALLEJO JARAMILLO, Juan Santiago. Desarrollo, validación, contraste y pronostico del cálculo CMD. Medellín, 2004, 153 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Area de mantenimiento

OROZCO MONTOYA, Jaime Andrés. Programa evaluador de confiabilidad, mantenibilidad y diponibilidad para una empresa textil del valle de aburrá. Medellín, 2004, 153 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Area de mantenimiento

WIREMAN, Terry. Developing Performance Indicators for Managing Maintenance. New York, USA. Industrial Press. 1998. 195p ISBN: 0831130806

NAVARRO ELOLA, Luis. Gestión Integral de Mantenimiento. Barcelona, España. Marcombo S.A. 1997. 112p ISBN: 8426711219.

O'CONNOR, Patrick D. T. Practical Reliability Engineering. New York, NY, USA. John Wiley & Sons. 1985. 398p. ISBN: 0471905518.

RAMAKUMAR, R., Engineering Reliability: Fundamentals and Applications. NJ, USA: Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1993. 482p. ISBN: 0132767597

REY Sacristán, Francisco. Hacia la Excelencia en Mantenimiento, Madrid, España: Editorial TGP Hoshin, S.L. 1996. 165p. ISBN: 8495428180

ROJAS, Jaime. Introducción a la Confiabilidad. Bogotá. Colombia. Universidad de los Andes. 1975. 214p.

BAZOVSKY, Igor. Reliability Theory and Practice. USA: Dover Publications Incorporated, 2004. 297p ISBN: 0486438678

BLANCHARD, Benjamín S., VERMA, Dinesh., PETERSON, Elmer. Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management: Series Nuevas dimensiones en Ingeniería. USA: Edit. Wiley Interscience. Wiley, John & Sons, Incorporated, 1994. ISBN: 0486438678

CESPEDES ZAPATA, Lucas, y MEJIA ISAZA, Santiago. Implementación de un sistema de indicadores para la gestión de mantenimiento de una empresa textilera. Medellín, 2005, 194 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

PEREZ URREA, Juan Camilo, y SERNA RESTREPO, Manuel Felipe. Implementación del programa evaluador cmd (valramor 4) en el sistema de información de mantenimiento cais de la empresa textil fabricato tejicondor. Medellín, 2006, 62 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

DÍAZ MATALOBOS, Ángel. Confiabilidad en mantenimiento, Caracas, Venezuela: Ediciones IESA, 1992. 109p. ISBN 9802710682

DOUNCE, E. La Productividad del Mantenimiento Industrial, México D.F, México: CECSA. 1998. 165p. ISBN: 9682610893

EBELING, Charles E. An introduction to reliability and maintainability engineering. New York, NY, USA. McGraw-Hill. 1997. 486p ISBN: 0070188521.

FORCADAS, Jorge. Confiabilidad en los Sistemas. En: Revista SAI. No.4 Vol.1. 1983. ISBN: 01205862

GARCÍA, Luís. La disponibilidad como objetivo. En: Ingeniería Química. No.3-20. Enero 1996. p 190

GNEDENKO, Boris y USHAKOV, Igor. Probabilistic Reliability Engineering. New York, NY, USA. John Wiley & Sons. 1995. 518p ISBN: 0471305022

JARAMILLO ÁLVAREZ, Juan Felipe, y GONZÁLEZ CALLE, Germán Esteban. Implementación de un sistema CMD en la máquina formadora de Cristalería Peldar S.A. Medellín, 2004, 107 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

KELLY, Anthony. y HARRIS, M. J. Gestión del mantenimiento industrial. Madrid, España: Editorial Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar. Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo. 1998. ISBN: 84-923506-0-1. Traducido de Management Industrial Maintenance Soft. – Edit. Butterworth-Heinemann – USA: 1983. ISBN: 040801377X

KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenibilidad, Madrid, España: Isdefe. 1996. 137p. ISBN: 0412802702

LEEMIS, Lawrence M. RELIABILITY: Probabilistic Models and Statistical Methods. Englewood Cliffs Prentice-Hall, NJ, USA. 1995. 319p ISBN: 0137215171.

LEWIS, Elmer E., Introduction to Reliability Engineering. Editorial John Wiley & Sons, Inc. 1995. ISBN: 0471018333

MODARRES, Mohammed, What every engineer should know about reliability and risk analysis. Editorial Marcel Dekker. New York, USA: 1993. ISBN: 082478958X

NACHLAS, Joel A. Fiabilidad. Madrid, España. Isdefe. 1995. 217p ISBN: 978-84-89338-07-4

#### BIBLIOGRAFÍA EN INTERNET

MANTENMEDIDA@2003. OEA Oficina de Ciencia y Tecnología - MANUAL GESTIÓN DE MANTENIMIENTO A LA MEDIDA, Capítulo 5 El Manual de Mantenimiento. Washington D.C., USA. [en línea] [citado en: 24 de enero 2009]. Disponible en:

[http://www.science.oas.org/OEA\\_GTZ/LIBROS/Manten\\_medida/ch5\\_ma.htm](http://www.science.oas.org/OEA_GTZ/LIBROS/Manten_medida/ch5_ma.htm)

COLOMBIAPACK@1998. Productora andina de maquinaria Ltda. [en línea] [citado en: 24 de enero 2009]. Disponible en:

<http://www.colombiapack.com/kafesuav.htm>

MITECNOLOGICO@2008. Curricular y programas desarrollados de todas las carreras para los Institutos Tecnológicos. [en línea] [citado en: 24 de marzo 2009]. Disponible en:

<http://www.mitecnologico.com>

TME@2008. Tecnología en maquinaria de empaque. [en línea] [citado en: 27 de enero 2009]. Disponible en:

<http://www.tme.com.co/home.html>

AMENDOLA@2003. Luis Amendola, Ph.D. [en línea] [citado en: 29 de enero 2009]. Disponible en:

[http:// www.klaron.net](http://www.klaron.net)

#### BIBLIOGRAFÍA NO CITADA

OTALVARO RESTREPO, Juan Esteban. Mejoramiento de la eficiencia global de máquinas empacadoras verticales. Medellín, 2005, 109 p. Trabajo de grado (Ingeniero de Producción). Universidad Eafit.

MORA, Luís Alberto; TORO, Juan Carlos y CÉSPEDES, Pedro Alejandro. Gestión de Mantenimiento de Quinta Generación, II Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica, II COMBI, Ecuador, Julio 23 al 26,2001.

CESPEDES GUTIERREZ, Pedro Alejandro, y TORO OSORIO, Juan Carlos. Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento. Medellín, 2001, 134 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

BILLINTON, Roy y ALLAN, Ronald. Reliability Evaluation of Engineering Systems, London, Great Britain, Pitman Advanced Publishing Program, 1983, 123p ISBN: 058298890X,

BAJARIA, H.J, Integration of Reliability, Maintainability and Quality Parameters in Design, Warrendale, PA, USA, Society of Automotives Engineers, Inc. 1983, 158p ISBN: 0962922307

ICONTEC, Guía técnica Colombiana, seguridad de funcionamiento y calidad de servicio. Mantenimiento. Terminología. ICS: 03080100104003

#### EN INTERNET

AUBRILAM@2008. Aubrilam Naturellement. [en línea] [citado en: 20 de enero 2009]. Disponible en:

[http://www.aubrilam.fr/pdf/docs/Manuel\\_maintenance\\_ES.pdf](http://www.aubrilam.fr/pdf/docs/Manuel_maintenance_ES.pdf)

CEPIS@2008. Implementación del mantenimiento preventivo en los sistemas de abastecimiento de agua. [en línea] [citado en: 20 de enero 2009]. Disponible en:

<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap10.pdf>

FINICOMPRESSORS@2008. Manual uso y mantenimiento compresor pulsar 265 - 285. [en línea] [citado en: 20 de enero 2009]. Disponible en:

<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap10.pdf>