

**ESTUDIO DE CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRITICOS DE LA LÍNEA DE  
PRODUCCIÓN PLANTA 1 DE PROPILCO S.A. Y LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN  
COMPUESTOS 3 DE AJOVER S.A.**

**OMAR ANDRÉS BURGOS SEQUEDA  
ALVARO LUIS LOBELO DIAZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2009**

**ESTUDIO DE CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRITICOS DE LA LÍNEA DE  
PRODUCCIÓN PLANTA 1 DE PROPILCO S.A. Y LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN  
COMPUESTOS 3 DE AJOVER S.A.**

**OMAR ANDRÉS BURGOS SEQUEDA  
ALVARO LUIS LOBELO DIAZ**

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

**DIRECTOR: FERNANDO VILLARREAL  
INGENIERO MECÁNICO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2009**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

La empresa Propilco S.A., por todo el apoyo y la información suministrada para el desarrollo de esta monografía.

La empresa Ajoever S.A., por todo el apoyo y la información suministrada para el desarrollo de esta monografía.

Al Ingeniero Fernando Villarreal, Superintendente de Mantenimiento de Propilco S.A., por sus recomendaciones y tiempo dedicado a este proyecto.

A Carlos Ramón González, Ingeniero Mecánico y Coordinador de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Al cuerpo de docentes de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento, por los conocimientos transmitidos.

A todos los compañeros de la especialización por permitirnos crecer como personas y aprender de sus experiencias tan valiosas.

A nuestro compañero Alex Cervantes q.e.p.d.

## CONTENIDO

	<b>PAG.</b>
<b>INTRODUCCION</b>	1
<b>1. CONCEPTOS TEORICOS</b>	2
1.1 MODELO DE CRITICIDAD DE FACTORES PONDERADOS BASADO EN EL CONCEPTO DEL RIESGO	2
1.2 DISTRIBUCIÓN WEIBULL	4
1.2.1 Función de Confiabilidad $R(t)$	6
1.2.2 Función de Densidad de Probabilidad de Fallas $f(t)$	7
1.2.3 Función de Tasa de Falla $\lambda(t)$	7
1.2.4 Parámetros de vida útil y de reparaciones en Weibull	8
1.3 DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS DE CMD: CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD	9
1.3.1 Concepto de Confiabilidad	9
1.3.2 Concepto de Mantenibilidad	11
1.3.3 Concepto de Disponibilidad	14
1.3.4 Relación entre confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad	18
1.3.5 Método i-kaésimo o Estimador No Sesgado	20
1.4 TEORIA DE MANTENIMIENTO	21
1.4.1 Mantenimiento Correctivo	21
1.4.2 Mantenimiento Planificado	22
1.4.3 Integración Producción-Mantenimiento	24
<b>2. DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS DEL ESTUDIO</b>	29
2.1 LINEA DE PRODUCCIÓN PLANTA 1 DE PROPILCO	29
2.1.1 Descripción del proceso de producción	29
2.1.2 Equipos que componen el proceso	33
2.2 LINEA DE PRODUCCIÓN COMPUESTOS 3 DE AJOVER	34
2.2.1 Descripción del proceso de producción	34
2.2.2 Equipos que componen el proceso	36

<b>3. ESTUDIO DE CRITICIDAD</b>	38
3.1 ESTUDIO DE CRITICIDAD LINEA DE PRODUCCIÓN PLANTA 1 DE PROPILCO	39
3.2 ESTUDIO DE CRITICIDAD LINEA DE PRODUCCIÓN COMPUESTOS 3 AJOVER	42
<b>4. ESTUDIO DE CONFIABILIDAD</b>	44
4.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	44
4.1.1 Datos históricos línea de producción planta 1 de Propilco	44
4.1.2 Datos históricos línea de producción compuestos 3 Ajoover	47
4.2 CALCULOS CON DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL	50
4.2.1 Cálculos línea de producción planta 1 de Propilco	50
4.2.2 Cálculos línea de producción compuestos 3 Ajoover	51
4.3 CALCULO DE INDICADORES CMD	52
4.3.1 indicadores CMD línea de producción planta 1 de Propilco	52
4.3.2 Indicadores CMD línea de producción compuestos 3 Ajoover	52
<b>5. ESTRATEGÍAS PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD</b>	53
5.1 ESTRATEGÍAS PARA LA LINEA DE PRODUCCIÓN PLANTA 1 DE PROPILCO	53
5.2 ESTRATEGÍAS PARA LA LINEA DE PRODUCCIÓN COMPUESTOS 3 AJOVER	55
<b>CONCLUSIONES</b>	60
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	62
<b>ANEXOS</b>	63

## LISTA DE FIGURAS

	<b>PAG.</b>
Figura 1. Matriz de criticidad jerarquizada	4
Figura 2. Función de confiabilidad para la distribución Weibull	6
Figura 3. Función de densidad de probabilidad de fallas para la distribución Weibull	7
Figura 4. Función de tasa de fallas para la distribución Weibull	8
Figura 5. Perfil de funcionalidad	12
Figura 6. Duración incierta del tiempo de recuperación	14
Figura 7. Relación entre las características de CMD	18
Figura 8. Relación matemática entre CMD	20
Figura 9. Diagrama de Flujo del proceso de fabricación de Polipropileno	30
Figura 10. Diagrama de Entradas y Salidas Planta 1	33
Figura 11. Esquema de una Extrusora	35
Figura 12. Diagrama de Entradas y Salidas Compuestos 3	36

## LISTA DE TABLAS

	PAG.
	3
Tabla 1. Factores ponderados para evaluar la criticidad	5
Tabla 2. Parámetro de forma Weibull asociado a la curva de la bañera.	6
Tabla 3. Parámetro de forma Weibull.	39
Tabla 4. Listado de equipos Propilco.	40
Tabla 5. Cálculo de criticidad Propilco.	41
Tabla 6. Clasificación de criticidad de los equipos de Propilco.	42
Tabla 7. Clasificación de criticidad de los equipos de Ajovert.	43
Tabla 8. Cálculo de criticidad Ajovert.	43
Tabla 9. Listado de equipos críticos Ajovert	44
Tabla 10. Datos históricos Reactor 1 C-4001	44
Tabla 11. Datos históricos Compresor K-4303	45
Tabla 12. Datos históricos Reactor 2 C-4301	45
Tabla 13. Datos históricos Tanque C-5009	45
Tabla 14. Datos históricos M-7004	46
Tabla 15. Datos históricos Cutter M7007	46
Tabla 16. Datos históricos Mixer M-7001	46
Tabla 17. Datos históricos Empacadora planta 1	47
Tabla 18. Datos históricos Compresor K-4003	48
Tabla 19. Datos históricos de la tolva de PVC No. 2	48
Tabla 20. Datos históricos de la tolva de líquidos menores No. 2	48
Tabla 21. Datos históricos del mezclador y enfriador No. 2	49
Tabla 22. Datos históricos del tornillo de transporte no. 3	49
Tabla 23. Datos históricos del motor forzado No. 3	49
Tabla 24. Datos históricos de la extrusora No. 3	

Tabla 25. Datos históricos de la cortadora de pellet No. 3	49
Tabla 26. Valores Correctivos Propilco	50
Tabla 27. Valores Correctivos Ajovert	51
Tabla 28. Valores Planeados Ajovert	51
Tabla 29. Disponibilidad Inherente De Propilco	52
Tabla 30. Disponibilidades Inherente Y Alcanzada De Ajovert	52
Tabla 31. Ubicación en la curva de Davies para equipos de Propilco	53
Tabla 32. Ubicación en la curva de Davies para equipos de Ajovert	55

## ANEXOS

	<b>PAG.</b>
ANEXO A. Estimación de parámetros de confiabilidad y mantenibilidad de Propilco S.A.	65
ANEXO B. Estimación de parámetros de confiabilidad y mantenibilidad de Ajover S.A.	70
ANEXO C. Graficas de confiabilidad y mantenibilidad de los equipos críticos de Propilco S.A.	89
ANEXO D. Graficas de confiabilidad y mantenibilidad de los equipos críticos de Ajover S.A.	94

## RESUMEN

### TITULO:

ESTUDIO DE CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRITICOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PLANTA 1 DE PROPILCO S.A. Y LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN COMPUESTOS 3 DE AJOVER S.A.\*

### AUTORES:

OMAR ANDRES BURGOS, ALVARO LUIS LOBELO DIAZ\*\*

### PALABRAS CLAVES:

Criticidad, Distribución Weibull, Mantenibilidad, Confiabilidad, Disponibilidad, Indicadores, Propilco, Ajoover.

### DESCRIPCION

Esta monografía desarrolla un modelo integral para identificar cuales son los equipos críticos de una planta de producción con el objetivo de realizar la estimación y análisis de los parámetros de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de estos equipos, y recomendar unas estrategias adecuadas de mantenimiento que se vean reflejadas en el aumento de la producción y disminución de los costos de reparación convirtiendo a mantenimiento en un departamento que genera valor a la empresa. Como caso de estudio se toma una planta petroquímica (Propilco S.A.) y una planta manufacturera (Ajoover S.A.) para abarcar dos sectores fundamentales de la industria, sin embargo esta metodología puede ser aplicada a cualquier empresa del sector industrial y de servicios que quieran mejorar el mantenimiento.

Inicialmente se desarrollan los conceptos teóricos de criticidad, distribución de Weibull, indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, método i-kaésimo y teorías de mantenimiento (correctivo, preventivo, TPM y RCM) para luego ser aplicados a los casos de estudio. Para cada caso se realiza una descripción del proceso de producción identificando las variables físico-químicas y los equipos que componen cada planta; estos se tienen en cuenta para llevar a cabo el estudio de criticidad; de esta forma se reduce el número de equipos que se toman para el estudio de confiabilidad. El siguiente paso consiste en recopilar los datos de tiempos entre fallas y tiempos de reparación de los equipos críticos, entregados por el departamento de mantenimiento de cada empresa, con estos se calculan los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad a través del método i-kaésimo, la distribución Weibull y la formula del tipo de disponibilidad deseada. Los indicadores calculados permiten analizar el comportamiento de cada equipo crítico teniendo en cuenta su ubicación en la curva de Davies, por lo que finalmente se proponen estrategias de mantenimiento para mejorar la confiabilidad.

---

\* Monograph

\*\* School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Fernando Villarreal Posada

## SUMMARY

### TITLE:

STUDY OF RELIABILITY OF THE CRITICAL EQUIPMENTS OF THE PRODUCTION LINE PLANT 1 FROM PROPILCO S.A. AND THE PRODUCTION LINE COMPOUND 3 FROM AJOVER S.A.\*

### AUTHORS:

OMAR ANDRES BURGOS, ALVARO LUIS LOBELO DIAZ\*\*

### KEY WORDS:

CRITICALITY, WEIBULL DISTRIBUTION, MAINTAINABILITY, RELIABILITY, AVAILABILITY, RAM INDICATORS, PROPILCO, AJOVER.

### DESCRIPTION

This monograph develops an integral model to identify the critical equipments of a production plant with the purpose of to do an estimation and analyze the indicators of Reliability, Maintainability and Availability of these equipments, to establish recommendations or good strategies of maintenance that result in the increase of production and decrease of repair costs, so the maintenance department becomes an important value for the company. As case of study are taken a petrochemistry plant (Propilco S.A.) and a manufacture plant (Ajoever S.A.) to cover two fundamental sectors of the industry, however this methodology can be used in any kind of industry and services companies that have the intention of improve their maintenance.

First of all are developed the theoretical concepts of criticality, Weibull distribution, indicators of reliability, availability and maintainability, method i-kaesimo and theories of maintenance (corrective, preventive, TPM and RCM) in order then to be applied to the cases of study. For each case, a description of the process of production is carried out for identifying the physical-chemistry variables and the equipments that compose each plant. These are taken into account to carry out the criticality study; in this way is reduced the number of equipments that are taken for the study of reliability. The following step consist on gather the data of times between failure and times to repair of the critical equipments, delivered by the maintenance department of each company, with these are calculated the indicators of reliability, availability and maintainability through method i-kaesimo, Weibull distribution and the formula of the type of availability desired. The indicators calculated permit to analyze the behavior of each critical equipment keeping in mind their location in the curve of Davies, for which finally are proposed maintenance strategies for improve the reliability.

---

\* Monograph

\*\* School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization.  
Director: Fernando Villarreal Posada

## INTRODUCCION

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

En las empresas en las que laboramos actualmente, Propilco S.A. y Ajoever S.A., encontramos una gran oportunidad de estudio en el campo de la ingeniería de confiabilidad, debido a que en la organización del mantenimiento de estas compañías, el tema de la confiabilidad es muy incipiente, por lo tanto es de gran interés desarrollar temas y manejar información que este relacionada con esta rama del mantenimiento, para agregar valor al proceso de mejoramiento continuo de estas compañías.

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

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

# **ESTUDIO DE CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRITICOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PLANTA 1 DE PROPILCO S.A. Y LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN COMPUESTOS 3 DE AJOVER S.A.**

## **1. COCEPTOS TEORICOS**

### **1.1 MODELO DE CRITICIDAD DE FACTORES PONDERADOS BASADO EN EL CONCEPTO DEL RIESGO**

El modelo de criticidad de factores ponderados es un método semicuantitativo basado en el concepto del riesgo, el cual equivale a frecuencia de fallas por las consecuencias de fallas. Fue desarrollado por un grupo de consultoría inglesa denominado: The Woodhouse Partnership Limited<sup>2</sup>. La expresión que se utiliza para jerarquizar los sistemas es la siguiente:

$$\text{Criticidad Total (I)} = \text{Frecuencia de Fallas} \times \text{Consecuencias de Fallas}$$

Donde

$$\text{Frecuencia de Fallas} = \text{Rango de Fallas en un Tiempo Determinado (fallas/año)}$$

Y

$$\text{Consecuencias de Fallas} = ((\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costos de Mtto.} + \text{Impacto Seguridad, Ambiente e Higiene}) (\$, \$US)$$

---

<sup>2</sup> WOODHOUSE, Jhon. Criticality Analysis Revisited. Newbury, 1994.

Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados por la expresión del riesgo se presentan en la tabla 1 a continuación:

Tabla 1. Factores ponderados para evaluar la criticidad

$$\text{Criticidad Total} = \text{Frecuencia de fallas} \times \text{Consecuencia}$$

$$\text{Consecuencia} = ((\text{Impacto Operacional} \times \text{Flexibilidad}) + \text{Costo Mito.} + \text{Impacto SAH})$$

<b>Frecuencia de Fallas:</b>		<b>Costo de Mito.:</b>	
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	Mayor o igual a 20000 \$	2
Promedio 1 -2 fallas/año	3	Inferior a 20000 \$	1
Buena 0.5 -1 fallas/año	2		
Excelente menos de 0.5 falla/año	1		
<b>Impacto Operacional:</b>		<b>Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH):</b>	
Pérdida de todo el despacho	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Parada del sistema o sub sistema y tiene repercusión en otros sistemas.	7	Afecta el ambiente /instalaciones	7
Impacta en niveles de inventario o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	Provoca daños menores (ambiente - seguridad)	3
		No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1
<b>Flexibilidad Operacional:</b>			
No existe opción de producción y no hay función de repuesto.	4		
Hay opción de repuesto compartido/almacen	2		
Función de repuesto disponible	1		

Estos factores se evalúan en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente). Una vez que se evalúan en consenso cada uno de los factores presentados en la tabla anterior, se introducen en la fórmula de Criticidad Total (I) y se obtiene el valor global de criticidad. El máximo valor de criticidad que se puede obtener a partir de los factores ponderados evaluados es 200. Para obtener el nivel de criticidad de cada sistema se toman los valores totales individuales de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencias, y se ubican en la matriz de criticidad, el valor de frecuencia en el eje Y y el valor de consecuencias en el eje X.

De acuerdo al grado de criticidad se clasifican como sigue:

- Área de sistemas No Críticos (NC)
- Área de sistemas de Media Criticidad (MC)
- Área de sistemas Críticos (C)

A continuación se presenta la matriz de criticidad jerarquizada de acuerdo con las áreas de clasificación en la figura 1:

Figura 1. Matriz de criticidad jerarquizada

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

## 1.2 DISTRIBUCIÓN WEIBULL

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

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

- Parámetro de posición ( $\gamma$ ): el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula (Forcadas, 1983, 42). Es considerado el

tiempo de vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución<sup>3</sup>.

- Parámetro de escala o característica de vida ( $\eta$ ): su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema. Cuando  $\eta = 0$  y  $\beta = 1$ , representa la vida útil (Forcadas, 1983, 42).
- Parámetro de forma ( $\beta$ ): refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución.

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

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

En la tabla 2 se muestra un resumen de los períodos de la curva de la bañera, asociados al parámetro  $\beta$  de la distribución Weibull<sup>4</sup>:

Tabla 2. Parámetro de forma Weibull asociado a la curva de la bañera.

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

<sup>3</sup> Referencia Bibliográfica: MORA, Alberto. Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicio. Ed. AMG. Medellín. 2006, 99

<sup>4</sup> Referencia Bibliográfica: Díaz, 1992, 21

En la tabla 3 se puede observar las características del parámetro de forma de Weibull ( $\beta$ )<sup>5</sup>:

Tabla 3. Parámetro de forma Weibull.

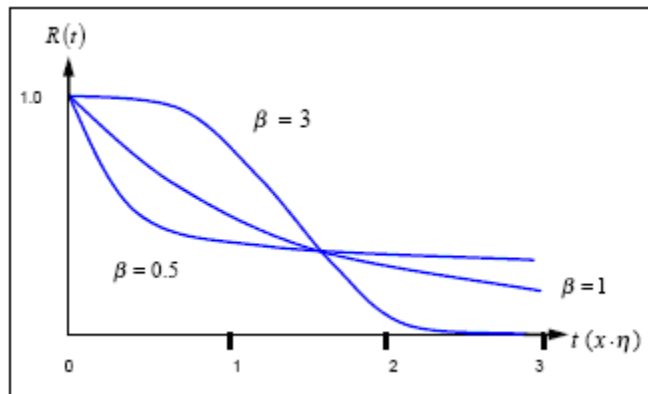
Valor ( $\beta$ )	Característica
$0 < \beta < 1$	Tasa de falla decreciente
$\beta = 1$	Distribución Exponencial
$1 < \beta < 2$	Tasa de Falla creciente, cóncava
$\beta = 2$	Distribución Rayleigh
$\beta > 2$	Tasa de Falla creciente, convexa
$3 \leq \beta \leq 4$	Tasa de Falla creciente se aproxima a la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

A continuación se presentan las principales características de ésta distribución.

1.2.1 Función de Confiabilidad  $R(t)$ . La siguiente es la ecuación de la función de confiabilidad para la distribución Weibull y su gráfica<sup>6</sup> en la figura 2:

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

Figura 2. Función de confiabilidad para la distribución Weibull



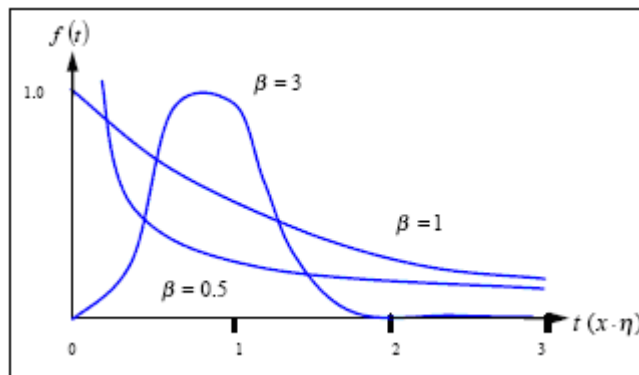
<sup>5</sup> Referencia Bibliográfica: Ebeling, 1997, 64

<sup>6</sup> Referencia Bibliográfica: O'Connor, 1989, 45

1.2.2 Función de Densidad de Probabilidad de Fallas  $f(t)$ . También se le conoce como Falla instantánea en el tiempo  $t$ . La siguiente es la ecuación de la función de densidad de probabilidad de fallas para la distribución Weibull y su gráfica<sup>7</sup> en la figura 3:

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

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



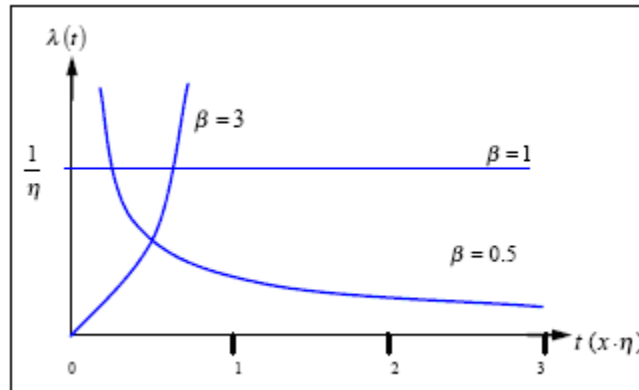
1.2.3 Función de Tasa de Falla  $\lambda(t)$ . La tasa de falla expresa la cantidad de averías o reparaciones por unidad de tiempo que ocurren en el tiempo en que se estudia un elemento. La siguiente es la ecuación de la función de tasa de fallas para la distribución Weibull y su gráfica<sup>8</sup> en la figura 4:

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

<sup>7</sup> Referencia Bibliográfica: O'Connor, 1989, 45

<sup>8</sup> Referencia Bibliográfica: O'Connor, 1989, 45

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



1.2.4 Parámetros de vida útil y de reparaciones en Weibull. La vida útil o Tiempo Medio entre Fallas MTBF se puede estimar a partir de:

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

Donde MTBF Tiempo Medio entre Fallas (Rojas, 1975, 26), R(t) es la función de confiabilidad y F(t) es la función de no confiabilidad.

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

Donde Eta  $\eta$  parámetro de escala y  $\beta$  es el de forma, con función Gamma para la estimación.

El Tiempo Medio de Reparación MTTR se estima como sigue:

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

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

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

Donde Eta  $\eta$  parámetro de escala y  $\beta$  es el de forma, con función Gamma para la estimación.

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

### 1.3 DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS DE CMD: CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD

1.3.1 Concepto de Confiabilidad. La probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las que fue diseñado, durante el período de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación dadas se define como confiabilidad (Rojas, 1975, 1) (Díaz, 1992, 6) (Blanchard y otros, 1995, 13) (Ebeling, 1997, 5) (Nachlas, 1995, 18) (Ramakumar, 1993, 3) (Sotskov, 1972, 17) (Leemis, 1995, 2) (O'Connor, 1989, 4) (Kececioglu, 1995, 24) (Kelly y otro, 1998, 3) (Dounce, 1998, 136) (Kopetz, 1979, 3) (Nakajima y otros, 1991, 53) (Valdés y otro, 1998, 6) (Rey, 1996, 158) (Smith, 1986, 1) (Arenas y otro, 1999, 7) (Valencia y otro, 1983, 94) (Calabro, 1962, 1) (Halpern, 1978, 7) (Navarro y otros, 1997, 14) (Forcadas, 1983, 37) (Modarres, 1993, 2) (García, 1996, 189) (Barlow y otros, 1965, 5) (Sanín y otros, 1972, 2) (Bazovsky, 1961, 11) (Lewis, 1987, 1) (Hecht, 1997, 2) (Barringer Internet, 1996) (Hosseini Internet, 1999).

La confiabilidad puede ser cuantificada de varias maneras utilizando conceptos probabilísticos, debido a que no se puede saber con certeza cuando ocurrirán las fallas del equipo (Rojas, 1975, 1) (O'Connor, 1989, 4).

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

- Probabilidad. Es la expresión que representa una fracción o un porcentaje que significa el número de veces que ocurre un evento, dividido por el número total de intentos. Por ejemplo, la probabilidad de que un equipo se desempeñe eficazmente durante 80 horas es 0.75 (o 75%), indica que el

equipo funcionará satisfactoriamente 75 veces de 100 ensayos por al menos 80 horas (Blanchard y otros, 1995, 14).

- Desempeño satisfactorio. Es el segundo elemento en la definición de confiabilidad, indica que criterios específicos deben ser establecidos para describir lo que es considerado como una operación satisfactoria. Una combinación de factores cualitativos y cuantitativos definen las funciones que el sistema debe lograr, usualmente presentados en el contexto como especificaciones del sistema (Blanchard y otros, 1995, 14). El desempeño satisfactorio de un equipo implica conocer cuándo éste falla y ya no se está desempeñando satisfactoriamente.
- Período de tiempo. Debe ser plenamente identificado, por ejemplo el intervalo de tiempo puede estar basado en el calendario, en las horas de operación, en ciclos o incluso en otras medidas como kilómetros recorridos, como es el caso de las llantas de un automóvil (Ebeling, 1997, 5). La confiabilidad debe ser medida basándose en pruebas o ensayos a través del tiempo y bajo condiciones de operación muy similares en las cuales el equipo va a funcionar en la realidad (Rojas, 1975, 1).
- Condiciones de operación dadas. Son en las que se espera que el equipo funcione, constituyen el cuarto elemento significativo de la definición básica de confiabilidad. Estas condiciones incluyen factores como ubicación geográfica donde se espera que el equipo opere, el medio ambiente, vibraciones, transporte, almacenamiento, empaque, etc.

Los factores anteriores no sólo se analizan en el momento de operación del equipo, sino también en condiciones en que el sistema está almacenado o está siendo transportado de un lugar a otro. La experiencia indica que el empaque, el almacenamiento y el transporte son algunas veces más críticos para la confiabilidad, que las condiciones mismas experimentadas durante su operación (Blanchard y otros, 1995, 14).

La confiabilidad es una medida que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un elemento y ayuda en el momento de seleccionar un equipo entre varias alternativas (Knezevic, 1996, 27) (Calabro, 1962, 2).

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

La no confiabilidad provoca pérdidas de tiempo, altos costos, mayor número de repuestos y riesgos para la vida de las personas. Entre muchas de las causas de no confiabilidad se pueden resaltar las siguientes (Rojas, 1975, 7):

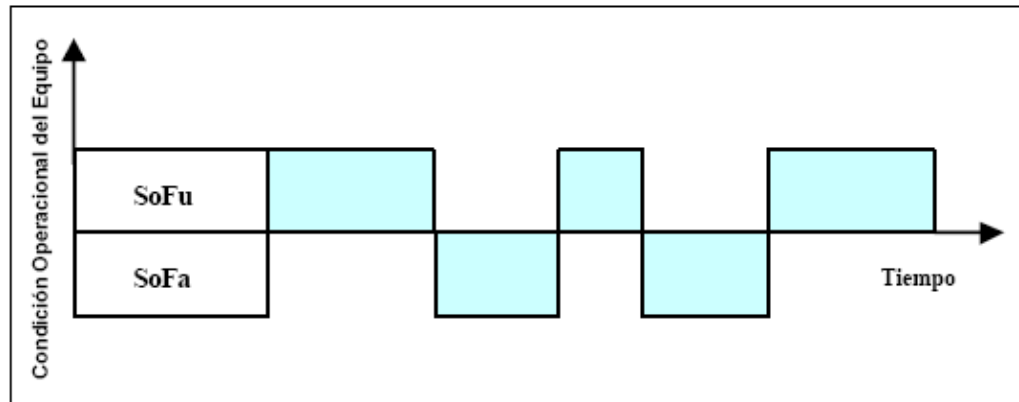
- La complejidad creciente de los equipos.
- La automatización y complejidad de los procesos.
- La complejidad de las organizaciones y de las comunicaciones internas.
- La dinámica del desarrollo tecnológico.
- Las restricciones presupuestarias.
- Los errores humanos.
- Las fallas aleatorias.
- La falta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

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

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

Un equipo recuperable durante su vida operacional hasta el día de su falla fluctúa entre SoFu y SoFa. Los estados del equipo durante su proceso de uso se llama perfil de funcionalidad, normalmente se usa el tiempo de calendario como unidad de tiempo operativo en la representación del perfil<sup>9</sup>, ver figura 5.

Figura 5. Perfil de funcionalidad



La mantenibilidad de un equipo es la probabilidad de que un dispositivo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir su misión en un tiempo dado, luego de la aparición de una falla y cuando el mantenimiento es realizado en un determinado período de tiempo, al nivel deseado de confianza, con el personal especificado, las habilidades necesarias, el equipo indicado, los datos técnicos, manuales de operación y mantenimiento, el departamento de soporte de mantenimiento y bajo las condiciones ambientales especificadas (Knezevic, 1996, 47) (Kapur y otros, 1977, 25) (Kececioglu, 1995, 30) (Rey, 1996, 160) (Arsenault, 1980, 24) (Blanchard y otros, 1995, 1) (Díaz, 1992, 6) (Dounce, 1998, 135) (Ireson, 1966, 1-8) (Ebeling, 1997, 6) (Avila, 1992, 23) (Smith, 1986, 7) (Valencia y otro, 1983, 97) (Kopetz, 1979, 3) (Calabro, 1962, 103) (Halpern, 1978, 9) (García, 1996, 191) (Kelly y otro, 1998, 3).

<sup>9</sup> Referencia Bibliográfica: Knezevic, 1996, 21

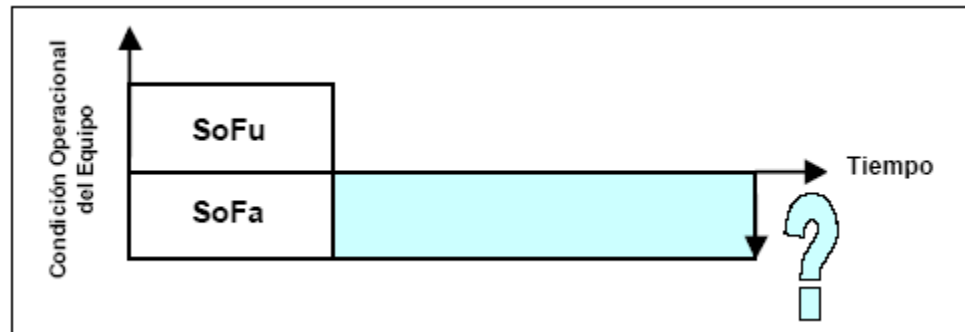
La mantenibilidad puede expresarse en términos de factores de mantenimiento, tiempo empleado y costos. Más específicamente la mantenibilidad puede ser definida como (Knezevic, 1996, 48) (Blanchard y otros, 1995, 2):

- Una característica inherente de un equipo o el diseño de un producto. Hace referencia a la facilidad, precisión, seguridad y economía en el desempeño de las acciones de mantenimiento. Un equipo podría ser diseñado de tal manera que pueda ser mantenido sin grandes inversiones de tiempo, al menor costo, con un mínimo impacto ambiental y con el mínimo gasto de recursos.
- La habilidad de un equipo de ser mantenido, donde el mantenimiento constituye una serie de acciones necesarias para recuperar o conservar un equipo en el estado SoFu. Mantenibilidad es un parámetro de diseño y el mantenimiento es requerido como una consecuencia del diseño (Moore Internet, 2001) (Maintainability Internet, 1998).
- Una característica de diseño e instalación la cual es expresada como la probabilidad de que un equipo sea recuperado o conservado en las condiciones especificadas, en un período de tiempo dado, cuando el mantenimiento es realizado acorde con los procedimientos y recursos preestablecidos.
- Una característica de diseño e instalación la cual es expresada como la probabilidad que el mantenimiento no requerirá más tiempo del período dado, cuando el equipo es operado acorde con los procedimientos preescritos por el personal con las habilidades adecuadas.
- Una característica de diseño e instalación la cual es expresada como la probabilidad que el costo de mantenimiento para un equipo no excederá la cantidad de dinero especificada en un período de tiempo, cuando el equipo es operado y mantenido acorde con los procedimientos preescritos.

La mantenibilidad es una característica que depende del diseño, históricamente se han ignorado los aspectos de la recuperación de los equipos porque los

diseñadores se preocupan más por la funcionalidad de éstos. ¿Cuánto durará la tarea de mantenimiento?, es una pregunta que está directamente relacionada con la parte inferior del perfil de funcionalidad como se muestra en la figura 6<sup>10</sup>.

Figura 6. Duración incierta del tiempo de recuperación



La ingeniería de mantenibilidad se crea cuando los diseñadores y fabricantes comprenden la carencia de medidas técnicas y disciplinas científicas en el mantenimiento. Por esto es una disciplina científica que estudia la complejidad, los factores y los recursos relacionados con las actividades que debe realizar el usuario para mantener la mantenibilidad de un producto y que elabora métodos para su cuantificación, evaluación y mejora (1993, 292).

La reducción de los costos de mantenimiento durante su uso también son influenciados por la mantenibilidad, proporciona una herramienta a los ingenieros para la descripción cuantitativa de la capacidad inherente de su producto de ser recuperado para el servicio, mediante la realización y tareas del mantenimiento (1996, 47).

1.3.3 Concepto de Disponibilidad. La probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total

<sup>10</sup> Referencia Bibliográfica: Knezevic, 1996, 47

considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo y tiempo logístico se define como disponibilidad (Ramakumar, 1993, 8) (Blanchard y otros, 1995, 20) (Nachlas, 1995, 154) (O'Connor, 1989, 133) (Smith, 1986, 156) (Leemis, 1995, 148) (Kececioglu, 1995, 24) (Díaz, 1992, 5) (Knezevic, 1996, 27) (Ebeling, 1997, 254) (Nelly y otro, 1998, 3) (Ireson, 1996, 1-7) (Kapur y otro, 1977, 225) (Rey, 1996, 161) (Halpern, 1978, 348) (Navarro y otros, 1997, 28) (Avila , 1992, 22) (Valencia y otro, 1983, 100) (Olwell, 2001, 1) (Bolaños, 1987, 37) (Modarres, 1993, 5) (Ordoñez, 1992, 11) (Reliability Glossary Internet, 2001) (Availability Internet, 1998).

La disponibilidad es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un equipo. La mayoría de los usuarios aseguran que necesitan la disponibilidad de un equipo tanto como la seguridad. Hay varios métodos para lograrlo, uno es construir un equipo que cuando falle sea fácil de recuperar, y el segundo es construir los equipos confiables, y por lo tanto, demasiado costosos que nadie los compraría (Knezevic, 1996, 27).

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

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

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

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

Los MUT solo consideran los tiempos en que el equipo funciona correctamente, como a su vez los MDT contemplan todo lo que genere no disponibilidad, los tiempos de paradas previstas o planeadas por mantenimiento deben descontarse del tiempo en que el equipo puede operar.

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

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

- Disponibilidad Alcanzada  $A_A$ . Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo las

condiciones de operación especificadas y en un entorno ideal de soporte logístico, sin considerar ningún retraso logístico o administrativo pero involucrando en sus cálculos los tiempos imputables a las actividades planeadas de mantenimiento.

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

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

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

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

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

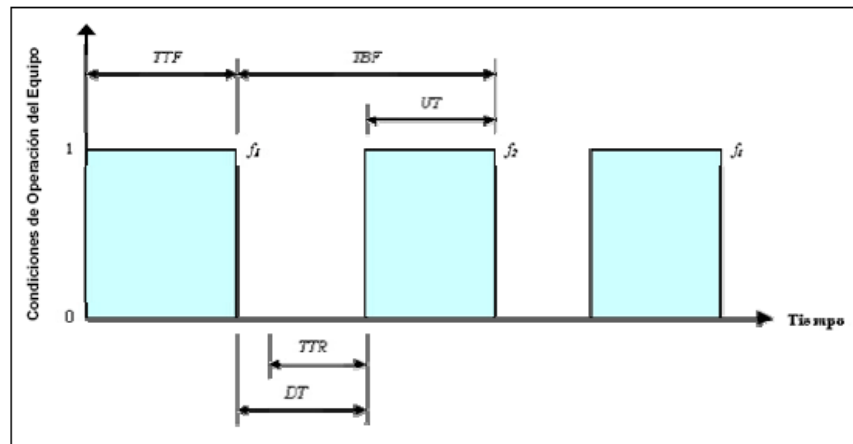
- Disponibilidad Operacional Generalizada  $A_{GO}$ . Es útil para explicar los lapsos de tiempo en que los equipos están disponibles y no producen (Aven, 1999).

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

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

1.3.4 Relación entre confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. La relación entre CMD se puede observar en la figura 7<sup>11</sup>.

Figura 7. Relación entre las características de CMD



<sup>11</sup> Referencia Bibliográfica: Díaz , 1992,8

Donde:

1 = Condición operacional del equipo.

0 = Condición no operacional del equipo.

$F_i$  = Falla  $i$ -ésima.

TTF = Time to Fail, tiempo hasta fallar (usado en equipos no reparables, que sólo fallan una vez).

TBF = Time between failures o tiempo entre fallas.

UT = Up time o tiempo operativo entre fallas.

DT = Down time o tiempo no operativo entre fallas.

TTR = Time to repair o tiempo necesario para reparar.

De aquí se derivan los siguientes parámetros para un número de fallas =  $m$ .

$$\text{MTBF} = \text{Mean time between failures, tiempo medio entre fallas} = \frac{\sum TBF}{m}$$

$$\text{MUT} = \text{Mean up time, tiempo medio de funcionamiento entre fallas} = \frac{\sum UT}{m}$$

$$\text{MDT} = \text{Mean down time, tiempo medio de indisponibilidad entre fallas} = \frac{\sum DT}{m}$$

$$\text{MTTR} = \text{Mean time to repair, tiempo medio de reparación} = \frac{\sum TTR}{m}$$

Si consideramos  $t$  lo suficientemente grande, la relación matemática entre CMD se puede expresar de la siguiente manera:

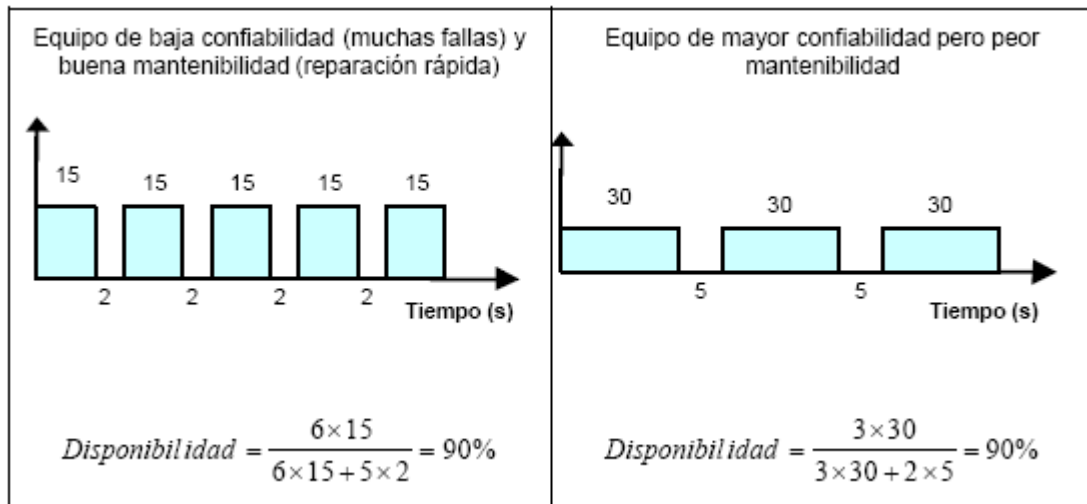
$$\text{DISPONIBILIDAD} = \frac{\sum UT}{\sum UT + \sum DT} = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

La expresión anterior muestra que la disponibilidad es una función de la confiabilidad y la mantenibilidad. Si asumimos MTTR tiende a MDT y MTBF es mucho mayor que MTTR, la fórmula anterior puede aproximarse a:

$$DISPONIBILIDAD = \frac{MTBF}{MTBF + MTR}$$

Obsérvese que puede obtenerse la misma disponibilidad con diversas combinaciones de confiabilidad y mantenibilidad<sup>12</sup>, ver Figura 8.

Figura 8. Relación matemática entre CMD



1.3.5 Método i-kaésimo o Estimador No Sesgado. Consiste en un método para estimación y cálculo de la no confiabilidad y de la mantenibilidad. Para dicha estimación es necesario obtener los porcentajes acumulados para cada tiempo de Falla  $F(t)$  y para cada ítem de reparación  $M(t)$ . Para estimar la función de no confiabilidad se utiliza el estimador:

$$F(t_i) = 1 - R(t_i) = \frac{j}{N + 1}$$

Donde N es el número total de datos, j es el número consecutivo del dato que se evalúa, cuando la muestra es muy grande o tiende a infinito se puede usar:

<sup>12</sup> Referencia Bibliográfica: Díaz, 1992, 10

$$F(t) = \frac{j}{N}$$

#### 1.4 TEORIA DE MANTENIMIENTO

Para el desarrollo de la monografía es importante tener presente cuales son las teorías o filosofías básicas que se han desarrollado a través de los años con respecto al mantenimiento. Es importante reconocer y diferenciar cada una, para que en el último capítulo de este documento se puedan plantear las estrategias adecuadas frente a los resultados obtenidos del estudio de confiabilidad de los equipos seleccionados.

1.4.1. Mantenimiento Correctivo. El mantenimiento correctivo consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo. Las personas encargadas de avisar la ocurrencia de las fallas son los propios operarios de las máquinas o equipos y corresponde al personal de mantenimiento las reparaciones de éstas. Exige, para su eficacia, una buena y rápida planificación de la intervención (recursos humanos asignados, herramientas, repuestos, elementos de transporte, etc.), la reparación propiamente dicha es rápida y sencilla, así como su control y puesta en marcha (Rey, 1996, 52).

El principal inconveniente que presenta este tipo de mantenimiento, es que el usuario detecta la falla cuando está utilizando el equipo ya sea al ponerlo en marcha o durante su utilización. En la mayoría de los casos el operario no dará aviso de la avería, hasta que ésta le impida seguir utilizando el equipo. Además, si se tiene en cuenta que las personas encargadas de manejar los equipos no son expertas en fallas, pasarán por alto, ruidos y anomalías que pueden significar una falla incipiente. Llevar el equipo a estos límites de funcionamiento, puede agravar el fallo inicial o generar otros de mayor importancia (Navarro, 1997, 31).

Existen dos tipos de acción originadas en el mantenimiento correctivo de acuerdo con la complejidad, el objetivo y alcance de la intervención que se haga sobre el

equipo: el desvare consiste en aplicar una reparación inmediata al equipo para devolverlo a la condición de trabajo u operación, pero no necesariamente en condiciones óptimas. Se aplica en un momento que la necesidad del servicio impide detener la producción; la reparación definitiva es la acción que permite volver el equipo a las condiciones normales de trabajo (Ramos, Internet, 1998).

Los inconvenientes del mantenimiento correctivo son mayores que sus ventajas pero no se puede prescindir de él en ningún momento, pues siempre habrá fallos que se escapen de cualquier predicción y será necesario repararlos inmediatamente.

1.4.2 Mantenimiento Planificado. El mantenimiento planificado engloba el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. Se introduce el concepto de mantenimiento preventivo (PM)<sup>13</sup> a finales de los años cincuenta, debido a la creciente automatización de los procesos productivos y de allí se extiende hacia el mantenimiento productivo, cuyo concepto hacía referencia a que el objetivo del mantenimiento no era únicamente reparar los equipos sino también planificar y mejorar la productividad, ejecutando acciones de mejora en los mismos; pero debido al alto costo del PM fue reemplazado por el mantenimiento predictivo (PdM)<sup>14</sup> (Rey, 1996, 15).

- Mantenimiento Preventivo. La función principal del PM es conocer el estado actual de los equipos mediante los registros de control llevados a cada uno de ellos y en coordinación con el departamento de programación realizar el mantenimiento correctivo en el momento más oportuno. Consiste entonces en una serie de actuaciones sistemáticas en las que desmontan las máquinas y se observan para reparar o sustituir los elementos sometidos a desgaste (Rey, 1996, 14). Sus principales ventajas frente a otros tipos de mantenimiento son: evitar averías mayores como consecuencia de pequeños fallos; preparar las herramientas y repuestos; aprovechar, para

---

<sup>13</sup> Siempre que mencionemos el mantenimiento preventivo lo haremos con la sigla PM.

<sup>14</sup> Siempre que mencionemos el mantenimiento predictivo lo haremos con la sigla PdM

realizar las reparaciones, el momento más oportuno, tanto para producción como para mantenimiento; distribuir el trabajo de mantenimiento optimizando la cuadrilla de reparación y disminuir la frecuencia de los paros y aprovechar éstos para realizar varias reparaciones diferentes al mismo tiempo (Navarro y otros, 1997,32-34).

Para la implementación de este tipo de mantenimiento es necesario crear un plan de seguimiento para cada equipo y su realización implica un costo adicional, sin embargo las anomalías que se detectan antes de que se conviertan en averías, justifican plenamente su implementación. Para esto, es necesario un programa de entrenamiento que involucre al personal encargado del manejo de los equipos y la puesta en marcha de estos, entrenamiento lo más rápido posible con el fin de darle continuidad al programa (Idhammar, Internet, 1999).

Los métodos más usuales que utiliza el PM para el conocimiento del estado de los equipos son: inspecciones visuales, medición de temperaturas, medición de vibraciones, control de fisuras y control de la corrosión.

- **Mantenimiento Predictivo.** El PdM basa sus principios en el conocimiento permanente del estado y la operatividad de los equipos, mediante la medición de diferentes variables. El control que se tenga de estas variables determina la utilización del PdM.

La importancia principal radica en la velocidad de detección de la avería, mientras que en otros casos sólo es posible establecer una frecuencia. A su vez, el predictivo incorpora algunas variables que aumentan la información del estado de los equipos. La cantidad de información que proporciona este tipo de mantenimiento, sumado a la rapidez con que se mida la información, supera ampliamente cualquier PM (Navarro y otros, 1997, 35).

Su principal inconveniente es de tipo económico. Para cada máquina es necesaria la instalación de equipos de medición de parámetros que puedan

ser: presión, pérdidas de carga, caudales, consumos energéticos, caídas de temperatura, ruidos, vibraciones, agrietamientos, etc.

Las principales herramientas que utiliza este mantenimiento son: análisis de vibraciones, ferrografía, termografía y ensayos no destructivos, entre otros.

1.4.3 Integración Producción-Mantenimiento. Empieza en 1971 en el Japón, con el surgimiento del TPM, desarrollándose desde esa fecha hasta nuestros días el RCM, mantenimiento combinado TPM y RCM, paso del mantenimiento reactivo al orientado hacia resultados, mantenimiento orientado al cliente, mantenimiento integral logístico y PaM (Rey, 1996, 15)<sup>15</sup>.

- Mantenimiento Productivo Total (TPM). El origen del término TPM se ha discutido en diversos escenarios. Mientras algunos afirman que fue iniciado por los fabricantes americanos hace más de cuarenta años, otros lo asocian al plan que se usaba en la planta Nippodenso, una manufacturera de partes eléctricas automotrices de Japón a fines de los 60's. Seiichi Nakajima un alto funcionario del Instituto Japonés de Mantenimiento de la Planta, recibe el crédito de haber definido los conceptos de TPM y de ver por su implementación en cientos de plantas en Japón (Roberts, Internet, 1999).

TPM le da un nuevo enfoque al mantenimiento como una parte necesaria y vital dentro de la empresa. Se hace a un lado el antiguo concepto de que ésta es una actividad improductiva y se otorgan los tiempos requeridos para mantener el equipo que ahora se considera como una parte del proceso de manufactura. No se considera ya una rutina a ser efectuada sólo cuando el tiempo o el flujo de material lo permitan.

La meta es reducir los paros de emergencia, por lo que los servicios de mantenimiento inesperados se reducirán al mínimo. Una vez que un buen

---

<sup>15</sup> Toda empresa productiva a lo largo de su desarrollo industrial se ha visto en la obligación de evolucionar si pretende mantenerse a la vanguardia, pasando así por estas etapas en la producción industrial.

programa de TPM toma lugar, los beneficios comienzan a fluir hacia toda la organización. Es el momento en que toda la gente comienza a apoyar el sistema. Los participantes se sienten animados y se acostumbran a compartir sus ideas, confiados en la nueva actitud de disposición a escuchar de todo el equipo de trabajo (Mora, Internet, 1999-a).

Para iniciar la aplicación de los conceptos de TPM en actividades de mantenimiento de una planta, es necesario que los trabajadores se enteren de que la gerencia del más alto nivel tiene un serio compromiso con el programa. El primer paso en este esfuerzo es designar o contratar un coordinador de TPM. Será la labor de ese coordinador vender<sup>16</sup> los conceptos y bondades del TPM a la fuerza laboral con base en un programa educativo.

TPM le da al operario el conocimiento y la confianza para manejar sus propias máquinas. Los operarios se encargan directamente de pequeños problemas antes que éstos se conviertan en grandes inconvenientes, en lugar de esperar la falla y llamar a mantenimiento (JTG, Internet, 1997).

Una vez que el coordinador está seguro de que toda la fuerza laboral ha asimilado el programa de TPM y que entiende su filosofía e implicaciones, se forman los primeros equipos de acción. Los equipos de acción tienen la responsabilidad de determinar las discrepancias u oportunidades de mejoramiento, la forma más adecuada de corregirlas o implementarlas e iniciar el proceso de corrección o de mejoramiento.

A los equipos de trabajo se les anima a iniciar atacando discrepancias y mejoras menores y a llevar un registro de sus avances. A medida que alcanzan logros, se les da reconocimiento de parte de la Gerencia. A fin de que crezca la confianza y el prestigio del proceso, se le da la mayor publicidad que sea posible a sus alcances.

---

<sup>16</sup> La palabra vender que se utiliza en el texto, no se refiere al término en su significado textual, sino al hecho de crear la aceptación de este tipo de mantenimiento.

A medida que la gente se va familiarizando con TPM, los retos se van haciendo mayores ya que se emprenden proyectos de más importancia (Roberts, Internet, 1999). TPM construye una relación íntima entre el mantenimiento y productividad, mostrando como el buen cuidado y mantenimiento del equipo producirá una productividad más alta. TPM no sólo es una estrategia, es una nueva filosofía de mejoramiento continuo y trabajo en equipo que crea un sentido de propiedad en el operador(es) de cada máquina así como en su supervisor y las personas de mantenimiento involucradas.

Todos los participantes asumen un compromiso real. TPM es a mantenimiento como calidad total es a producción (Mora, Internet, 1999-b). TPM es una metodología en continuo mejoramiento.

- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). La principal tarea en una gestión de mantenimiento es incrementar la disponibilidad de los equipos a bajos costos, empezando con la ejecución de actividades que aseguren que dichos activos funcionen de forma confiable y eficiente en su contexto operacional. El RCM, ayuda a cumplir esa tarea de forma óptima, pues ésta permite en términos generales, distribuir más efectivamente los recursos destinados a la gestión de mantenimiento (Parra, 1999, 1).

El RCM es una filosofía de gestión de mantenimiento que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes en un contexto operacional. Ésta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de los activos de un determinado contexto operacional, realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario, el cual desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible, que se adapte a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón costo-beneficio (Jones, 1995, 1).

El RCM fue desarrollado en un principio por la industria de la aviación en conjunto con la NASA y la Boeing a principios de los años sesenta. El éxito del RCM en el campo de la aviación, ha hecho que sectores como la generación de energía y la industria petrolera, entre otras, se interesen en implementar esta filosofía adecuándola a sus necesidades de operación (Mora, 1999, 1-14).

El objetivo de RCM es determinar el estado crítico de los equipos en cualquier proceso y, basados en esta información, diseñar una acostumbrada estrategia de mantenimiento preventivo/predictivo para las organizaciones. Éste es un esfuerzo para optimizar el uso de los recursos de mantenimiento (Latino R., Internet, 1999-a).

Un aspecto clave en la filosofía del RCM es reconocer que el mantenimiento asegura que un activo, continúe cumpliendo con su misión de forma eficiente en el contexto operacional cuando el valor del estándar de funcionamiento deseado sea igual o se encuentre dentro de los límites, del estándar de ejecución asociado a su capacidad inherente, de diseño o a su confiabilidad inherente, de diseño.

Los pasos requeridos para implementar el RCM son: adecuación de la organización para el estudio, selección y definición del sistema, análisis de las fallas funcionales, selección del elemento identificado como crítico, selección de las tareas de mantenimiento, tratamiento de los elementos no relevantes, revisión y actualización de la metodología RCM, análisis, conclusiones y recomendaciones (Mora, 1999, 1-15).

- Mantenimiento Combinado TPM y RCM. Para mejorar las opciones de conservar la maquinaria y sus funciones, las fábricas modernas han utilizado la combinación de ambas modalidades de mantenimiento. El TPM garantiza ganancias en la productividad mientras que el RCM se centra en el aseguramiento de la máxima confiabilidad de los equipos y no en reparaciones rápidas y no sistémicas. Mezclar estas dos tendencias de mantenimiento es una excelente idea, pues esto evita crisis y fallas casi en

su totalidad; se incrementa la capacidad de producción, se desarrolla el trabajo en equipo, minimiza los costos y se mejoran constantemente los procesos en la planta.

La relación clave entre TPM y RCM se fundamenta en que sus principios de organización y confiabilidad se combinan garantizando una excelente gestión de mantenimiento (Moore R., Internet, 1997).

Estas dos tendencias de mantenimiento se convierten en dos excelentes herramientas para la solución de problemas, pero usualmente se cree que usadas al mismo tiempo, crean conflictos al interior de la organización, situación ésta que no es correcta (Geraghty, 1996, 231)<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> A este autor lo referencia el Dr. Luis Alberto Mora G. en su tesis doctoral “Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento en empresas usuarias o generadoras de tecnologías Avanzadas”, 1999.

## **2. DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS DEL ESTUDIO**

### **2.1 LINEA DE PRODUCCIÓN PLANTA 1 DE PROPILCO**

Propilco S.A. esta ubicada en la zona industrial de Mamonal km 8, en Cartagena. En esta funciona la Vicepresidencia de Operaciones. También cuenta con una sede administrativa en Bogotá donde se encuentra la Presidencia, Vicepresidencia Financiera, Vicepresidencia Administrativa, Vicepresidencia de Ventas y el área de Aplicaciones y Desarrollos.

La planta inició operaciones en Julio de 1990 produciendo 120.000 toneladas métricas por año de resinas de propileno.

El producto final es vendido tanto en el mercado nacional como internacional donde se exporta a más de 20 países. Los clientes son todas aquellas industrias que transforman la resina de polipropileno en bienes intermedios y finales que sirven para distintos usos industriales y domésticos.

Actualmente Propilco S.A. produce tres tipos de resina para diferentes aplicaciones:

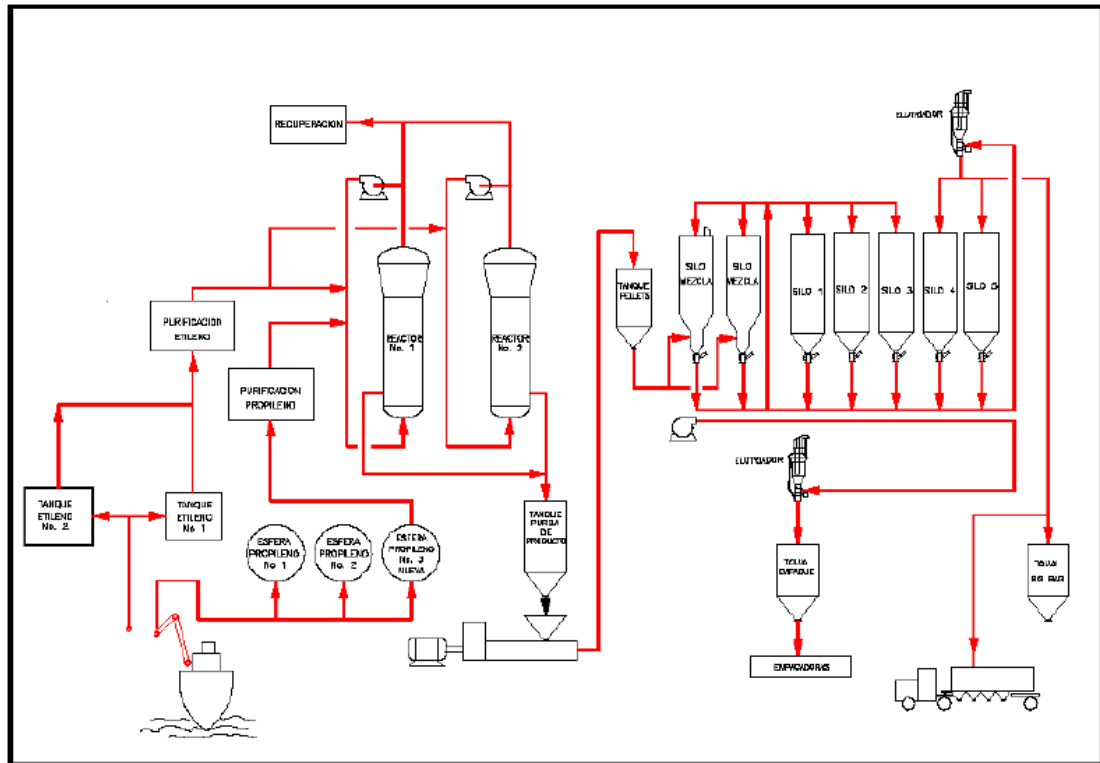
- Homopolímeros, caracterizados por su gran rigidez.
- Copolímero Random, distinguido por sus propiedades ópticas y de sellamiento.
- Copolímero de Impacto, con excelente relación rigidez – resistencia al impacto.

#### **2.1.1 Descripción general del proceso de producción**

El proceso de fabricación de la resina de Polipropileno es similar tanto en la Planta 1 (Tecnología UNIPOL) como en Planta 2 (Tecnología NOVOLEN). La única diferencia importante es que en la tecnología UNIPOL la agitación en el reactor es mediante un compresor que mantiene el lecho fluidizado, mientras que en la de NOVOLEN se utiliza un agitador para ese propósito.

En la figura 9 se muestra el proceso de fabricación de Polipropileno teniendo en cuenta las áreas que lo componen.

Figura 9. Diagrama de Flujo del proceso de fabricación de Polipropileno



- Área de almacenamiento de Monómeros (Propileno y Etileno). En la producción de Homopolímeros se emplea únicamente Propileno, el cual es un hidrocarburo que llega a la planta en estado líquido y a temperatura de  $-44^{\circ}\text{C}$ . Este hidrocarburo arriba en buques y se bombea desde el muelle hasta la planta para ser almacenado en tres esferas aisladas convenientemente para conservarlo líquido a temperaturas criogénicas. En la producción de Copolímeros Random y Copolímeros de Impacto, además de Propileno se emplea el Etileno. Este hidrocarburo, al igual que el Propileno, llega a la planta en buques, en estado líquido a  $-106^{\circ}\text{C}$  y se almacena en dos (2) tanques cilíndricos con una capacidad total de 3.000

TM, debidamente aislados para conservarlo líquido a temperaturas criogénicas.

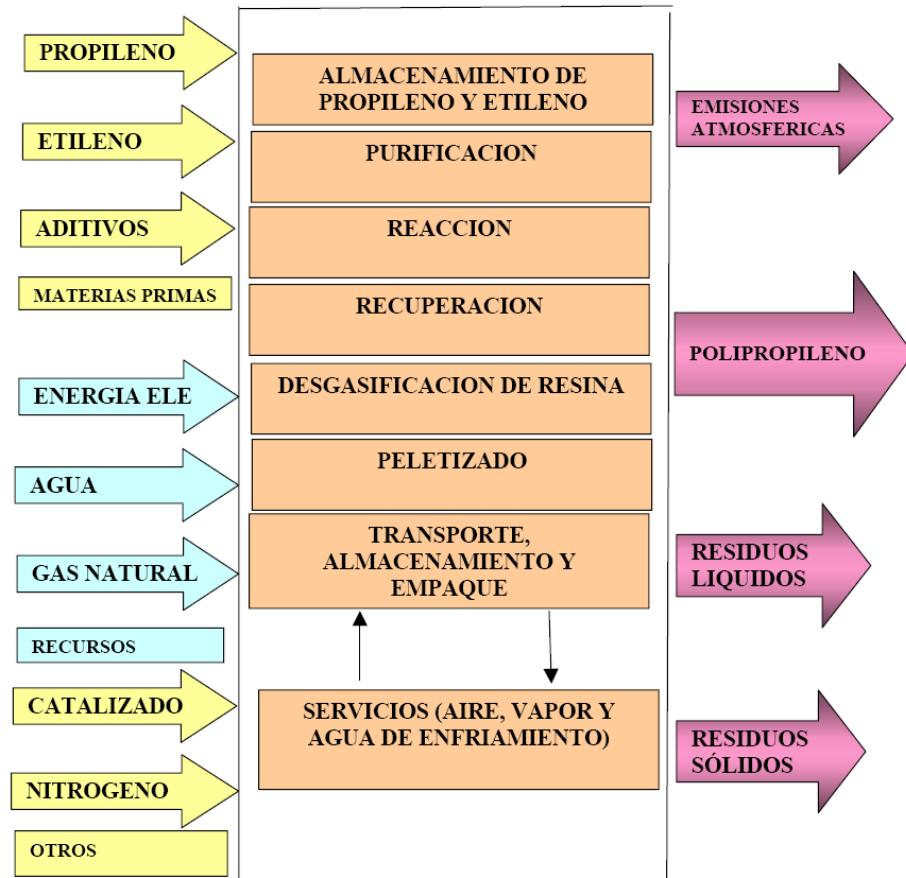
- Área de Purificación de Materias Primas. Las materias primas que participan en la reacción de polimerización normalmente contienen impurezas tales como agua, oxígeno, alcoholes, monóxido de carbono, etc. Estas impurezas son nocivas para el catalizador que se emplea en la reacción y por ende son retiradas usando un tren de purificación especialmente diseñado para este fin. En el proceso de purificación se emplean básicamente operaciones de destilación y absorción.
- Producción de Homopolímeros y Copolímeros Random. La reacción se efectúa en fase gaseosa en un reactor de lecho fluidizado al cual se le alimentan continuamente los reactantes y un catalizador especialmente desarrollado para la producción de polipropileno. El sistema de reacción tiene un reactor, un compresor y un enfriador, y tiene una capacidad aproximada de 500 m<sup>3</sup>. El compresor mantiene en circulación continua los gases, succionando gases calientes del tope del reactor forzándolos a pasar a través de un enfriador para retornarlos por el fondo del reactor. El polipropileno sólido formado se descarga continuamente hacia el área de desgasificación.
- Producción de Copolímero de Impacto. En la fabricación de éstos productos intervienen dos sistemas de reacción instalados en serie (Ver Figura 9). El sistema de reacción N°2, al igual que el sistema de reacción N°1, está compuesto de un reactor, un compresor y un enfriador. En el reactor N°1 se produce Homopolímero a partir del Propileno y el catalizador. El polipropileno formado se descarga continuamente al reactor N°2 donde la reacción prosigue con una mezcla de Propileno y Etileno. El Copolímero así formado se descarga hacia el área de desgasificación.
- Área de Desgasificación y Peletizado. El polipropileno descargado del sistema de reacción N°1 llega al tanque receptor de producto acompañado de gases ricos en monómero, los gases se ventean hacia el sistema de

recuperación y la resina pasa al tanque de purga de producto. En este tanque se purga con Nitrógeno los pocos hidrocarburos que aún contiene el polipropileno. La mezcla nitrógeno-hidrocarburos se ventea hacia la tea, para su disposición final. La resina libre de hidrocarburos pasa al mezclador continuo donde se funde y mezcla con aditivos para luego ser peletizada. Finalmente, el polipropileno peletizado se envía al área de almacenamiento. Es importante aclarar que los aditivos son compuestos químicos que brindan al polipropileno características especiales de resistencia físico-químicas y se adicionan de acuerdo a la aplicación final a la cual se destine el producto.

- Área de Recuperación. Los gases venteados en el tanque receptor de productos son ricos en monómeros y es necesario recuperarlos a fin de hacer más eficiente el proceso. Mediante compresión, enfriamiento y destilación, el Propileno venteado se pasa de la fase gaseosa a la líquida y se recircula a los reactores. Cuando se usa Etileno, éste se recircula hacia el sistema de reacción en estado gaseoso.
- Área de Almacenamiento y Empaque. El polipropileno peletizado se almacena en silos y previa certificación en laboratorio de calidad del producto, éste se despacha a los clientes en alguna de las siguientes modalidades:
  - Al granel en carro tolva o en containers,
  - En super-saco (Big-Bags) de 830 Kg, 1100 Kg y 1250 Kg.
  - En bolsas de 25 Kg.
- Área de Servicios Generales. Se encarga de suministrar a todas las áreas de la planta servicios tales como:
  - Aire comprimido: El cual se usa para operar las válvulas automáticas.
  - Vapor: Usado como fluido de calentamiento en intercambiadores.
  - Agua de Torres: Se utiliza como fluido refrigerante.

En la figura 10 se muestra el diagrama de entradas y salidas del proceso.

Figura 10. Diagrama de Entradas y Salidas Planta 1



### 2.1.2 Equipos que componen el proceso de producción

Los principales equipos que componen el proceso de producción son los siguientes:

- Reactor de 140.000 TM/año, 600 #, 4.5 m  $\Phi$ X 38.0 m Long.
- Compresor Centrífugo Allis Chalmers 600#, 1800 RPM,
- Bomba Durco, modelo Mark III, 1200 RPM, 800 GPM.
- Torre de enfriamiento de tiro inducido, 3300 GPM.
- Caldera Acuotubular, 20.000 Lbs/Hr, 650 PSI.
- Secadores de Propileno (C<sub>3</sub>) de 24 TM/Hr

- Esferas de almacenamiento, 7000 TM, 30 PSI, -45°F
- Extrusora de 18 TM/Hr, 4.500 HP.
- Empacadoras de bolsas de 25 Kgs, Capacidad 24 TM/ Hr.

## 2.2 LINEA DE PRODUCCIÓN COMPUESTOS 3 DE AJOVER

Ajover S.A. esta ubicada en la zona industrial de Mamonal km 11, en Cartagena. En esta funciona la Vicepresidencia de Operaciones. Adicionalmente cuenta con una planta en Bogotá y otra en Madrid, Cundinamarca, en la primera se encuentra la sede administrativa y una planta de inyección de plásticos; y en la segunda funcionan varios procesos de producción de plásticos por diferentes métodos. La línea de producción de compuestos 3 se encuentra en la planta de Cartagena e inició operaciones en Octubre de 2004. Sin embargo, Ajover Cartagena tiene más de 18 años de funcionamiento en la ciudad, inició operaciones con la planta de poliestireno Dexton, luego se construyó la planta Ambar de película de PVC, también se instaló una planta de rotomoldeo para fabricación de tanques, en 1999 entra en operación la planta de Vasos de espuma, más adelante la planta de Laminas de poliestireno, en 2006 se traslada la planta de fabricación de Tejas de Bogotá a Cartagena, y finalmente en 2007 entra en operación la planta de película Shrink PE. La línea de producción Compuestos 3 hace parte del proceso de producción de Película de PVC.

### 2.2.1 Descripción general del proceso de producción

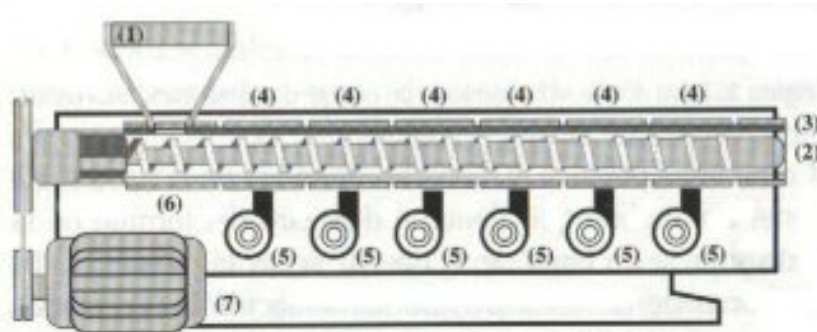
El proceso de producción de la línea Compuestos 3 de Ajover S.A. tiene como fin producir pellet de PVC que se utiliza como materia prima para la fabricación de película Stretch de PVC. El proceso se inicia con la recepción de PVC en polvo, el cual es transportado a la empresa por medio de carretolvas; estos son descargados mediante un sistema de blower de presión positiva que lleva el PVC hacia los silos correspondientes de almacenamiento.

El PVC que se consume en el proceso se carga por medio de un sistema de blower de presión negativa (vacío) hacia la tolva de PVC del mezclador, en este se llevan a cabo batches donde se mezcla el PVC con otros sólidos y líquidos menores. Cuando termina el tiempo de mezclado el producto pasa a un enfriador con el objetivo de bajar la temperatura de 80 °C a 20 °C aproximadamente y luego se descarga en una tolva por gravedad la cual esta conectada a la extrusora por medio de un tornillo sin fin de transporte.

La extrusora-peletizadora (ver figura 11) se encarga de recibir la mezcla y plastificarla a través de un barril con resistencias que calientan las zonas a una temperatura aproximada de 160 °C y dos tornillos sin fin que transportan el producto hasta la cabeza peletizadora y cortadora, de esta forma se obtiene el pellet que es transportado por un blower de baja presión hacia los vibradores que se encargan de enfriarlo antes de ser almacenado en sacos big bag.

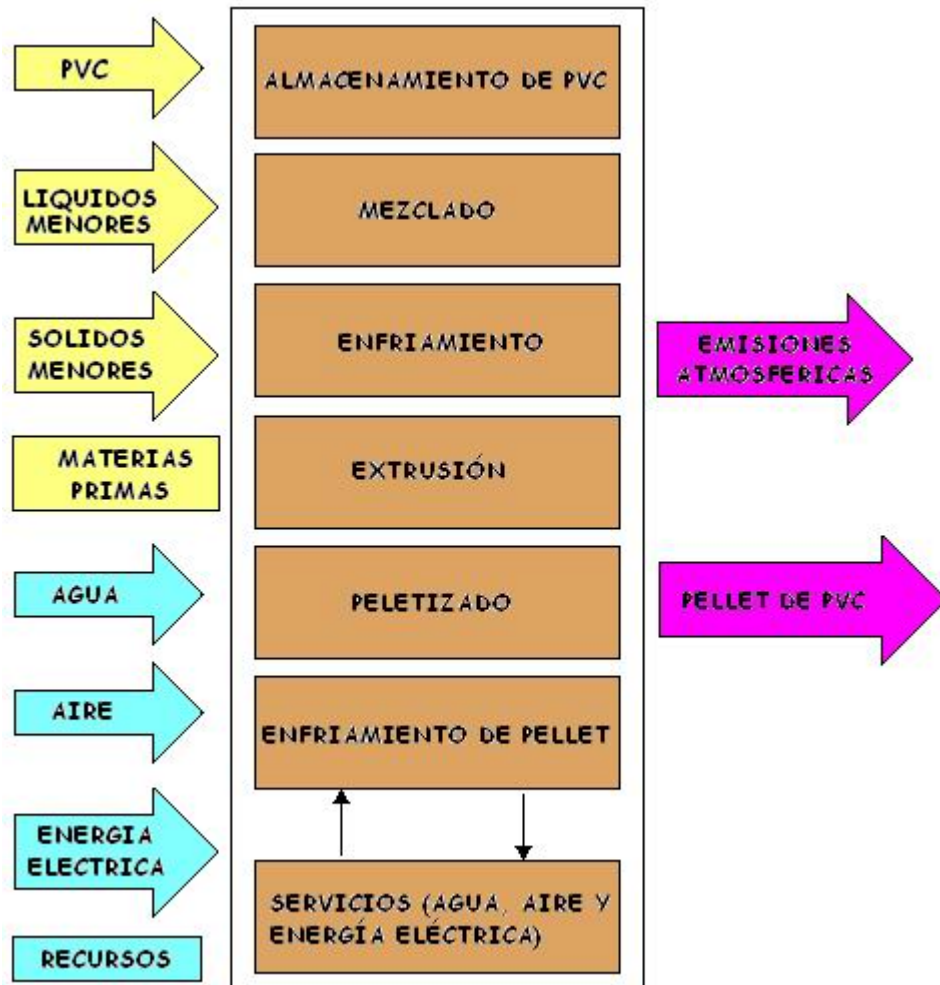
Finalmente, estos sacos se llevan a la zona de alimentación de las extrusoras de película de PVC y se inicia el siguiente proceso de producción.

Figura 11. Esquema de una Extrusora



En la figura 12 se muestra el diagrama de entradas y salidas del proceso.

Figura 12. Diagrama de Entradas y Salidas Compuestos 3



### 2.2.2 Equipos que componen el proceso de producción

Los principales equipos que componen el proceso de producción son los siguientes:

- Blower de Descarga de Carrotolva de 40 HP
- Blower de vacío de 20 HP
- Mezclador
- Enfriador
- Tolva con tornillo Flexicon de transporte

- Motor forzado de alimentación de la extrusora de 5 HP
- Extrusora
- Cortadora
- Blower de baja presión de 30 HP
- Vibradores

### 3. ESTUDIO DE CRITICIDAD

Para realizar los cálculos de criticidad de las Plantas en estudio, se utilizó el modelo de criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo, el cual fue descrito en el capítulo 1.1.

Este modelo se escogió debido a que tiene presente dos conceptos fundamentales en una planta industrial, como son la Seguridad Ambiental y la Seguridad de las Personas, por lo tanto es fundamental identificar cuales son los equipos cuyas fallas pueden ocasionar consecuencias de accidentalidad, fatalidad de personas o daños al medio ambiente, con el fin de clasificarlos como equipos críticos que requieren de mayor atención por los riesgos que tienen asociados en la operación y mantenimiento.

Otro aspecto importante en el cálculo de criticidad es el Impacto Operacional que se origina por la parada de un equipo, ya sea por interrupción parcial, total, o pérdida de toda la producción debido a la falla o down time. La variable de Impacto Operacional tiene bastante peso a la hora de realizar el cálculo de criticidad. Otras variables que se tienen en cuenta para el cálculo son Frecuencia de Fallas, Flexibilidad Operacional y Costos de Mantenimiento.

Para hacer el estudio, es importante definir inicialmente que es un equipo: “Un equipo es un conjunto de máquinas que se usan para un fin determinado, las cuales reciben cierta forma de energía, la transforman y la restituyen en otra forma de energía más adecuada o producen un efecto ya previsto, además los equipos son necesarios para el servicio o explotación de un negocio”. La definición de equipo no incluye los terrenos, los edificios, ni ninguna otra clase de inmuebles, pero si comprende la maquinaria y otros bienes muebles, aún cuando estén inmovilizados como tanques o reactores que producen un cambio en un proceso químico o físico.

### 3.1 ESTUDIO DE CRITICIDAD LINEA DE PRODUCCIÓN PLANTA 1 DE PROPILCO

El estudio de criticidad de Planta 1 de Propilco comprende los equipos que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Listado de equipos Propilco

ITEM	DESCRIPCION	TAG	UBICACIÓN
1	Esfera C-0200	C-0200	AREA 20
2	Esfera C-0218	C-0201	AREA 20
3	Esfera C-0220	C-0202	AREA 20
4	Bomba G-0216	G-0216	AREA 20
5	Bomba G-0209	G-0209	AREA 20
6	Bomba G-0219	G-0219	AREA 20
7	Tanque C-0201	C-0201	AREA 20
8	Tanque E-0206	E-0206	AREA 20
9	Tanque E-0207	E-0207	AREA 20
10	Tanque C-0202	C-0202	AREA 20
11	Tanque E-0208	E-0208	AREA 20
12	Tanque E-0208A	E-0208A	AREA 20
13	Tanque E-0208B	E-0208B	AREA 20
14	Tanque E-0207	E-0222	AREA 20
15	REACTOR 1 C-4001	C-4001	REACCION
16	Compresor K-4003	K-4003	REACCION
17	Bomba de enfriamiento Reactor 1	G-4004	REACCION
18	Intercambiador de calor COOLER	E-4002	REACCION
19	Reactor 2	C-4301	REACCION
20	Compresor K-4303	K-4303	REACCION
21	Bomba de enfriamiento Reactor 2	G-4304	REACCION
22	Intercambiador de calor COOLER	E-4303	REACCION
23	Bomba TORRE ENFRIAMIENTO	G-0401	Torre Enfriamiento
24	Bomba TORRE ENFRIAMIENTO	G-0402	Torre Enfriamiento
25	Bomba TORRE ENFRIAMIENTO	G-0403	Torre Enfriamiento
26	Bomba TORRE ENFRIAMIENTO	G-0404	Torre Enfriamiento
27	Bomba TORRE ENFRIAMIENTO	G-0405	Torre Enfriamiento
28	Caldera		CALDERAS
29	Tanque C-5009	C-5009	PELETIZADO
30	Tanque E-5024	E-5024	PELETIZADO
31	Tanque S-5017	S-5017	PELETIZADO
32	Extruder MOTOR AUX	M-7107	
33	Extruder	M-7101	PELETIZADO
34	Mixer M-7001	M-7001	PELETIZADO
35	Cutter M7007	M-7007	PELETIZADO
36	Melt Pump Motor	M-7004	PELETIZADO
37	Tanque C-7018A	C-7018A	PELETIZADO
38	Tanque C-7118	C-7118	PELETIZADO
39	Silo 1 D-0371	D-0371	SILOS
40	Silo 2 D-0372	D-0372	SILOS
41	Silo 3 D-0373	D-0373	SILOS
42	Silo 4 D-0374	D-0374	SILOS
43	Silo 5 D-0375	D-0375	SILOS
44	Silo 6 D-03126	D-03126	SILOS
45	Silo 7 D-03127	D-03127	SILOS
46	Silo 8 D-03128	D-03128	SILOS
47	Silo 9 D-03129	D-03129	SILOS
48	Empacadora planta 1		EMPAQUE
49	Bagging Machines		EMPAQUE

El cálculo de criticidad se realizó según la tabla 5:

Tabla 5. Cálculo de criticidad Propilco

CALCULO DE CRTICIDAD MEDIANTE FACTORES PONDERADOS										
ITEM	EQUIPO	TAG	Frecuencia Falla	Impacto operacional	Flexibilidad	Costos de mantenimiento	Impacto en seguridad hambiental	Consecuencia Fallas	CRITICIDAD TOTAL	Clasificacion Criticidad
1	Esfera C-0200	C-0200	1	4	1	1	8	13	13	NO CRITICO
2	Esfera C-0218	C-0201	1	4	1	1	8	13	13	NO CRITICO
3	Esfera C-0220	C-0202	1	4	1	1	8	13	13	NO CRITICO
4	Bomba G-0216	G-0216	2	4	1	1	7	12	24	NO CRITICO
5	Bomba G-0209	G-0209	2	4	1	1	7	12	24	NO CRITICO
6	Bomba G-0219	G-0219	4	4	1	1	7	12	48	Medio Critico
7	Tanque C-0201	C-0201	1	4	1	1	7	12	12	NO CRITICO
8	Intercambiador E-0206	E-0206	1	4	1	1	7	12	12	NO CRITICO
9	Intercambiador E-0207	E-0207	1	4	1	1	7	12	12	NO CRITICO
10	Tanque C-0202	C-0202	1	4	1	1	7	12	12	NO CRITICO
11	Intercambiador E-0208	E-0208	1	4	1	1	7	12	12	NO CRITICO
12	Intercambiador E-0208A	E-0208A	1	4	1	1	7	12	12	NO CRITICO
13	Intercambiador E-0208B	E-0208B	1	4	1	1	7	12	12	NO CRITICO
14	Intercambiador E-0207	E-0222	1	4	1	1	7	12	12	NO CRITICO
15	REACTOR 1 C-4001	C-4001	1	10	1	2	8	20	20	NO CRITICO
16	Compresor K-4003	K-4003	2	10	1	2	1	13	26	NO CRITICO
17	Bomba de enfriamiento Reactor 1	G-4004	1	7	1	1	8	16	16	NO CRITICO
18	Intercambiador de calor COOLER	E-4002	1	10	1	1	8	19	19	NO CRITICO
19	Reactor 2	C-4301	1	10	1	2	8	20	20	NO CRITICO
20	Compresor K-4303	K-4303	1	10	1	2	8	20	20	NO CRITICO
21	Bomba de enfriamiento Reactor 2	G-4304	1	7	1	1	1	9	9	NO CRITICO
22	Intercambiador de calor COOLER	E-4303	1	10	1	1	8	19	19	NO CRITICO
23	Bomba TORRE ENFRIAMIENTO	G-0401	2	1	1	1	7	9	18	NO CRITICO
24	Bomba TORRE ENFRIAMIENTO	G-0402	2	1	1	1	7	9	18	NO CRITICO
25	Bomba TORRE ENFRIAMIENTO	G-0403	2	1	1	1	7	9	18	NO CRITICO
26	Bomba TORRE ENFRIAMIENTO	G-0404	2	1	1	1	7	9	18	NO CRITICO
27	Bomba TORRE ENFRIAMIENTO	G-0405	2	1	1	1	7	9	18	NO CRITICO
28	Caldera		1	1	1	1	7	9	9	NO CRITICO
29	Tanque C-5009	C-5009	1	1	1	1	3	5	5	NO CRITICO
30	Tanque E-5024	E-5024	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
31	Tanque S-5017	S-5017	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
32	Extruder MOTOR AUX	Y-7107	1	1	1	1	3	5	5	NO CRITICO
33	Extruder	Y-7101	1	1	1	1	3	5	5	NO CRITICO
34	Mixer Y-7001M	Y-7001	1	1	1	2	3	6	6	NO CRITICO
35	Cutter Y-7007M	Y-7007	1	1	1	2	3	6	6	NO CRITICO
36	Melt Pump Motor	Y-7004	1	1	1	2	3	6	6	NO CRITICO
37	Tanque C-7018A	C-7018A	1	1	1	1	3	5	5	NO CRITICO
38	Tanque C-7118	C-7118	1	1	1	1	3	5	5	NO CRITICO
39	Silo 1 D-0371	D-0371	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
40	Silo 2 D-0372	D-0372	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
41	Silo 3 D-0373	D-0373	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO

42	Silo 4 D-0374	D-0374	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
43	Silo 5 D-0375	D-0375	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
44	Silo 6 D-03126	D-03126	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
45	Silo 7 D-03127	D-03127	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
46	Silo 8 D-03128	D-03128	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
47	Silo 9 D-03129	D-03129	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
48	Empacadora planta 1		4	7	1	1	3	11	44	Medio Critico
49	Bagging Machines		4	1	1	1	1	3	12	NO CRITICO

Los equipos que están marcados con una franja roja corresponden a los más críticos del proceso, los medianamente críticos son los que están resaltados en amarillo, y los que están en verde corresponden a los equipos que no afectan considerablemente el funcionamiento de la planta, es decir, equipos no críticos.

Para el cálculo de los indicadores CMD se tendrán en cuenta solo los equipos que resultaron críticos, sin embargo para efecto de análisis y considerando la importancia dentro del proceso de producción, se tomaran algunos equipos que resultaron medianamente críticos y no críticos para complementar el estudio, los equipos seleccionados son los que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de criticidad de los equipos de Propilco

ITEM	EQUIPO	TAG	Clasificación Criticidad
1	Reactor 1 C-4001	C-4001	No Crítico
2	Compresor K-4003	K-4003	No Crítico
3	Intercambiador de calor Cooler	E-4002	No Crítico
4	Reactor 2	C-4301	No Crítico
5	Compresor K-4303	K-4303	No Crítico
6	Intercambiador de calor Cooler	E-4303	No Crítico
7	Tanque C-5009 (paletizado)	C-5009	No Crítico
8	Extruder Motor Auxiliar	M-7107	No Crítico
9	Extruder	M-7101	No Crítico
10	Mixer M-7001	M-7001	No Crítico
11	Cutter M7007	M-7007	No Crítico
12	Melt Pump Motor	M-7004	No Crítico
13	Empacadora planta 1		Medio Crítico

### 3.2 ESTUDIO DE CRITICIDAD LINEA DE PRODUCCIÓN COMPUESTOS 3 AJOVER

El estudio de criticidad de Compuestos 3 de Ajoover comprende los equipos que se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Listado de equipos Ajoover

ITEM	DESCRIPCION	TAG	UBICACIÓN
1	Blower de descarga Carrotolva	BR-101	Cuarto Blowers Compuestos
2	Blower de vacio para llenado de PVC	BR-102	Cuarto Blowers Compuestos
3	Silo No. 1 de PVC	S-101	Silos
4	Tolva de llenado de PVC No. 2	T-201	Tercer piso Compuestos
5	Tolva de molido de PVC No. 2	T-202	Tercer piso Compuestos
6	Tanque de DOA	TA-101	Tanques
7	Tanque de Soya	TA-102	Tanques
8	Bomba de transporte de DOA	BA-101	Tanques
9	Bomba de transporte de Soya	BA-102	Tanques
10	Tolva de líquidos menores No. 2	T-203	Tercer piso Compuestos
11	Bomba de líquidos menores No. 2	BA-201	Líquidos menores
12	Molino de Scrap No. 2	M-201	Molinos
13	Mezclador y Enfriador No. 2	MEZ-201	Segundo piso compuestos
14	Tolva de compuesto No. 3	T-301	Primer piso compuestos
15	Tornillo de transporte No. 3	TOR-301	Primer piso compuestos
16	Tolva de alimentación extrusora No. 3	T-302	Extrusoras
17	Motor forzado No. 3	FOR-301	Extrusoras
18	Extrusora No. 3	EXT-301	Extrusoras
19	Cortadora de Pellet No. 3	COR-301	Extrusoras
20	Blower de transporte de pellet No. 3	BR-301	Extrusoras
21	Vibrador No. 1 de compuestos 3	V-301	Enfriamiento
22	Vibrador No. 2 de compuestos 3	V-302	Enfriamiento
23	Bascula de pesaje de big bags compuestos 3	BAS-301	Empaque

El cálculo de criticidad se realizó según la tabla 8:

Tabla 8. Calculo de criticidad Ajovert

CALCULO DE CRTICIDAD MEDIANTE FACTORES PONDERADOS										
ITEM	EQUIPO	TAG	Frecuencia Falla	Impacto operacional	Flexibilidad	Costos de mantenimiento	Impacto en seguridad ambiental	Consecuencia Fallas	CRITICIDAD TOTAL	Clasificacion Criticidad
1	Blower de descarga Carrotolva	BR-101	2	7	1	1	3	11	22	NO CRITICO
2	Blower de vacío para llenado de PVC	BR-102	1	7	4	1	3	32	32	Medio Critico
3	Silo No. 1 de PVC	S-101	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
4	Tolva de llenado de PVC	T-201	3	7	4	1	1	30	90	Medio Critico
5	Tolva de molido de PVC	T-202	1	4	4	1	1	18	18	NO CRITICO
6	Tanque de DOA	TA-101	1	4	1	1	7	12	12	NO CRITICO
7	Tanque de Soya	TA-102	1	4	1	1	7	12	12	NO CRITICO
8	Bomba de transporte de DOA	BA-101	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
9	Bomba de transporte de Soya	BA-102	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
10	Tolva de líquidos menores No. 2	T-203	3	7	4	1	7	36	108	CRITICO
11	Bomba de líquidos menores No. 2	BA-201	1	1	1	1	1	3	3	NO CRITICO
12	Molino de Scrap No. 2	M-201	2	4	1	1	1	6	12	NO CRITICO
13	Mezclador No. 2	MEZ-201	3	7	4	1	3	32	96	CRITICO
14	Enfriador No. 2	ENF-201	2	7	4	1	3	32	64	CRITICO
15	Tolva de compuesto No. 3	T-301	1	4	1	1	5	10	10	NO CRITICO
16	Tornillo de transporte No. 3	TOR-301	4	7	4	1	3	32	128	CRITICO
17	Tolva de alimentación extrusora No. 3	T-302	1	7	4	1	1	30	30	NO CRITICO
18	Motor forzado No. 3	FOR-301	2	7	4	1	3	32	64	CRITICO
19	Extrusora No. 3	EXT-301	4	10	4	2	5	47	188	CRITICO
20	Cortadora de Pellet No. 3	COR-301	2	7	4	1	3	32	64	CRITICO
21	Blower de transporte de pellet No. 3	BR-301	1	7	4	1	1	30	30	NO CRITICO
22	Vibrador No. 1 de compuestos 3	V-301	1	4	2	1	7	16	16	NO CRITICO
23	Vibrador No. 2 de compuestos 3	V-302	1	4	2	1	7	16	16	NO CRITICO
24	Bascula de pesaje de big bags compuestos 3	BAS-301	1	4	2	1	1	10	10	NO CRITICO

LOS EQUIPOS QUE SE LE VAN A PLICAR LOS INDICADORES CMD SON LOS QUE ESTAN EN AMARILLO Y EN ROJO, CORRESPONDIENTE A LOS EQUIPOS MEDIANAMENTE CRITICOS Y CRITICOS

Para el cálculo de los indicadores CMD se tendrán en cuenta solo los equipos que resultaron críticos, sin embargo para efecto de análisis y considerando la importancia dentro del proceso de producción, se tomaran algunos equipos que resultaron medianamente críticos para complementar el estudio, los equipos seleccionados son los que se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Clasificación de criticidad de los equipos de Ajovert

ITEM	EQUIPO	TAG	Clasificación Criticidad
1	Blower de vacío para llenado de PVC	BR-102	Medio Critico
2	Tolva de llenado de PVC No. 2	T-201	Medio Critico
3	Tolva de líquidos menores No. 2	T-203	CRITICO
4	Mezclador y Enfriador No. 2	MEZ-201	CRITICO
5	Tornillo de transporte No. 3	TOR-301	CRITICO
6	Motor forzado No. 3	FOR-301	CRITICO
7	Extrusora No. 3	EXT-301	CRITICO
8	Cortadora de Pellet No. 3	COR-301	CRITICO

## 4. ESTUDIO DE CONFIABILIDAD

### 4.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El estudio de confiabilidad requiere de datos históricos del comportamiento de los equipos como son los tiempos entre fallas (TBF<sup>18</sup>) y los tiempos de reparación (TTR<sup>19</sup>), estos datos se obtienen a partir de la información suministrada por producción y son indispensables para calcular los tiempos medios entre fallas (MTBF<sup>20</sup>) y los tiempos medios de reparación (MTTR<sup>21</sup>), y luego hallar las respectivas disponibilidades de cada equipo. Los datos suministrados se observan a continuación.

#### 4.1.1 Datos históricos línea de producción planta 1 de Propilco

Los datos que a continuación se presenta en las tablas 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 fueron suministrados por el departamento de producción de Propilco, esta información corresponde al año 2007:

Tabla 10. Datos históricos Reactor 1 C-4001

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	454	
2	Día 18 de Enero del 2007 a las 22:00 horas	Día 18 de Enero del 2007 a las 23:00 horas	864	1
3	Día 23 de Febrero del 2007 a las 23:00 horas	Día 24 de Febrero del 2007 a las 06:00 horas	807	7
4	Día 31 de Marzo del 2007 a las 21:00 horas	Día 31 de Marzo del 2007 a las 23:00 horas	392	2
5	Día 17 de Abril del 2007 a las 05:00 horas	Día 18 de Abril del 2007 a las 18:00 horas	490	67
6	Día 9 de Mayo del 2007 a las 04:00 horas	Día 9 de Mayo del 2007 a las 12:00 horas	Ahora	32

Tabla 11. Datos históricos Compresor K-4303

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	3287	
2	Día 17 de Mayo del 2007 a las 23:00 horas	Día 01 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	1584	1
3			Ahora	

<sup>18</sup> TBF: Time Between Failure

<sup>19</sup> TTR: Time To Repair

<sup>20</sup> MTBF: Mean Time Between Failure

<sup>21</sup> MTTR: Mean Time To Repair

Tabla 12. Datos históricos Reactor 2 C-4301

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	3287	
2	Día 17 de Mayo del 2007 a las 23:00 horas	Día 01 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	1584	1
3			Ahora	

Tabla 13. Datos históricos Tanque C-5009

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	748	
2	Día 17 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	Día 18 de Enero del 2007 a las 03:00 horas	69	27
3	Día 23 de Enero del 2007 a las 00:00 horas	Día 23 de Enero del 2007 a las 01:00 horas	71	1
4	Día 26 de Enero del 2007 a las 00:00 horas	Día 26 de Enero del 2007 a las 06:00 horas	278	6
5	Día 05 de Febrero del 2007 a las 18:00 horas	Día 05 de Febrero del 2007 a las 22:00 horas	1087	4
6	Día 24 de Marzo del 2007 a las 05:00 horas	Día 24 de Marzo del 2007 a las 14:00 horas	15	9
7	Día 25 de Marzo del 2007 a las 05:00 horas	Día 25 de Marzo del 2007 a las 14:00 horas	15	9
8	Día 27 de Marzo del 2007 a las 08:00 horas	Día 27 de Marzo del 2007 a las 17:00 horas	770	9
9	Día 29 de Abril del 2007 a las 19:00 horas	Día 30 de Abril del 2007 a las 02:00 horas	405	7
10	Día 16 de Mayo del 2007 a las 23:00 horas	Día 17 de Mayo del 2007 a las 22:00 horas	65	23
11	Día 20 de Mayo del 2007 a las 15:00 horas	Día 20 de Mayo del 2007 a las 22:00 horas	181	7
12	Día 24 de Mayo del 2007 a las 11:00 horas	Día 24 de Mayo del 2007 a las 22:00 horas	113	11
13	Día 30 de Mayo del 2007 a las 15:00 horas	Día 30 de Mayo del 2007 a las 22:00 horas	17	7
14	Día 31 de Mayo del 2007 a las 22:00 horas	Día 02 de Junio del 2007 a las 22:00 horas	Ahora	41

Tabla 14. Datos históricos M-7004

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	72	
2	Día 03 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	Día 03 de Enero del 2007 a las 1:00 horas	47	1
3	Día 05 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	Día 05 de Enero del 2007 a las 1:00 horas	71	1
4	Día 08 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	Día 08 de Enero del 2007 a las 1:00 horas	599	1
5	Día 03 de Febrero del 2007 a las 0:00 horas	Día 03 de Febrero del 2007 a las 1:00 horas	71	1
6	Día 06 de Febrero del 2007 a las 0:00 horas	Día 06 de Febrero del 2007 a las 6:00 horas	66	6
7	Día 09 de Febrero del 2007 a las 0:00 horas	Día 09 de Febrero del 2007 a las 2:00 horas	142	2
8	Día 15 de Febrero del 2007 a las 0:00 horas	Día 15 de Febrero del 2007 a las 1:00 horas	2673	1
9	Día 02 de Julio del 2007 a las 10:00 horas	Día 03 de Julio del 2007 a las 01:00 horas	479	15
10	Día 23 de Julio del 2007 a las 00:00 horas	Día 23 de Julio del 2007 a las 01:00 horas	Ahora	1

Tabla 15. Datos históricos Cutter M7007

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	1320	
2	Día 24 de Febrero del 2007 a las 0:00 horas	Día 24 de Febrero del 2007 a las 1:00 horas	600	1
3	Día 21 de Marzo del 2007 a las 0:00 horas		Ahora	

Tabla 16. Datos históricos Mixer M-7001

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	288	
2	Día 12 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	Día 12 de Enero del 2007 a las 1:00 horas	3524	1
3	Día 07 de Junio del 2007 a las 20:00 horas	Día 07 de Junio del 2007 a las 22:00 horas	Ahora	2

Tabla 17. Datos históricos Empacadora planta 1

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	46	
2	Día 02 de Enero del 2007 a las 22:00 horas	Día 03 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	42	2
3	Día 04 de Enero del 2007 a las 18:00 horas	Día 05 de Enero del 2007 a las 00:00 horas	22	6
4	Día 05 de Enero del 2007 a las 22:00 horas	Día 06 de Enero del 2007 a las 00:00 horas	167	2
5	Día 12 de Enero del 2007 a las 23:00 horas	Día 13 de Enero del 2007 a las 01:00 horas	119	2
6	Día 18 de Enero del 2007 a las 00:00 horas	Día 18 de Enero del 2007 a las 02:00 horas	20	2
7	Día 19 de Enero del 2007 a las 00:00 horas	Día 19 de Enero del 2007 a las 02:00 horas	167	2
8	Día 26 de Enero del 2007 a las 01:00 horas	Día 26 de Enero del 2007 a las 02:00 horas	23	1
9	Día 26 de Enero del 2007 a las 01:00 horas	Día 26 de Enero del 2007 a las 02:00 horas	119	1
10	Día 30 de Enero del 2007 a las 01:00 horas	Día 30 de Enero del 2007 a las 01:00 horas	21	1
11	Día 30 de Enero del 2007 a las 22:00 horas	Día 31 de Enero del 2007 a las 01:00 horas	70	3
12	Día 06 de Febrero del 2007 a las 23:00 horas	Día 07 de Febrero del 2007 a las 01:00 horas	114	2
13	Día 11 de Febrero del 2007 a las 19:00 horas	Día 11 de Febrero del 2007 a las 20:00 horas	144	1
14	Día 17 de Febrero del 2007 a las 20:00 horas	Día 17 de Febrero del 2007 a las 21:00 horas	71	1
15	Día 20 de Febrero del 2007 a las 20:00 horas	Día 20 de Febrero del 2007 a las 21:00 horas	94	1
16	Día 24 de Febrero del 2007 a las 19:00 horas	Día 24 de Febrero del 2007 a las 20:00 horas	65	1
17	Día 27 de Febrero del 2007 a las 13:00 horas	Día 27 de Febrero del 2007 a las 14:00 horas	39	1
18	Día 01 de Marzo del 2007 a las 05:00 horas	Día 01 de Marzo del 2007 a las 13:00 horas	Ahora	8

Tabla 18. Datos históricos Compresor K-4003

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2007 a las 0:00 horas	1296	
2	Día 23 de Febrero del 2007 a las 0:00 horas	Día 25 de Febrero del 2007 a las 3:00 horas	4824	51
3	Día 14 de Septiembre del 2007 a las 3:00 horas	Día 15 de Septiembre del 2007 a las 21:00 horas	49	43
4	Día 17 de Septiembre del 2007 a las 22:00 horas	Día 17 de Septiembre del 2007 a las 23:00 horas	624	1
5	Día 13 de Octubre del 2007 a las 23:00 horas	Día 16 de Octubre del 2007 a las 15:00 horas	192	64
6	Día 24 de Octubre del 2007 a las 15:00 horas	Día 30 de Octubre del 2007 a las 10:00 horas	Ahora	139

Con los datos obtenidos se pudo realizar el cálculo de los indicadores CMD, pero en algunos equipos no se pudo hacer por no existir la cantidad de eventos mínimos que pudieran dar un cálculo responsable y acertado por tal razón solo se le realizó el cálculo a los siguientes equipos:

- C 4001
- C 5009
- M 7004
- M 7001
- EMPACADORA PLANTA 1

#### 4.1.2 Datos históricos línea de producción compuestos 3 Ajoever

Los datos históricos de las tablas que aparecen abajo, corresponden a los equipos críticos y medio críticos de la línea de producción compuestos 3 de Ajoever. La información se tomó desde el primero de enero de 2005 hasta el treinta y uno de diciembre de 2007. Del listado de equipos que resultaron del estudio de criticidad de Ajoever, no se encontraron datos del Blower de vacío para llenado de PVC, debido a que este equipo no tiene fallas registradas en el periodo de tiempo seleccionado para el estudio. Los datos son los siguientes en las tablas 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25:

Tabla 19. Datos históricos de la tolva de PVC No. 2

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2005 a las 0:00 horas	7184	
2	Día 30 de Octubre del 2005 a las 9:00 horas	Día 30 de Octubre del 2005 a las 12:00 horas	2510	3
3	Día 13 de Febrero del 2006 a las 14:00 horas	Día 13 de Febrero del 2006 a las 20:00 horas	4215	6
4	Día 08 de Agosto del 2006 a las 11:00 horas	Día 11 de Agosto del 2006 a las 1:00 horas	1899	62
5	Día 20 de Octubre del 2006 a las 4:00 horas	Día 21 de Octubre del 2006 a las 3:30 horas	1463,5	23,5
6	Día 22 de Diciembre del 2006 a las 3:00 horas	Día 25 de Diciembre del 2006 a las 1:00 horas	6828	70
7	Día 09 de Octubre del 2007 a las 13:00 horas	Día 10 de Octubre del 2007 a las 15:00 horas	1211	26
8	Día 01 de Diciembre del 2007 a las 2:00 horas	Día 04 de Diciembre del 2007 a las 8:00 horas	Ahora	78

Tabla 20. Datos históricos de la tolva de líquidos menores No. 2

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2005 a las 0:00 horas	6005	
2	Día 11 de Septiembre del 2005 a las 5:00 horas	Día 11 de Septiembre del 2005 a las 19:00 horas	486	14
3	Día 02 de Octubre del 2005 a las 1:00 horas	Día 02 de Octubre del 2005 a las 8:11 horas	1112,18	7,18
4	Día 19 de Noviembre del 2005 a las 4:00 horas	Día 19 de Noviembre del 2005 a las 11:30 horas	8012,5	7,5
5	Día 23 de Octubre del 2006 a las 8:00 horas	Día 3 de Octubre del 2006 a las 17:00 horas	9297	9
6	Día 26 de Octubre del 2007 a las 2:00 horas	Día 26 de Octubre del 2007 a las 12:30 horas	Ahora	10,5

Tabla 21. Datos históricos del mezclador y enfriador No. 2

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2005 a las 0:00 horas	6850	
2	Día 16 de Octubre del 2005 a las 10:00 horas	Día 16 de Octubre del 2005 a las 12:20 horas	772,7	2,3
3	Día 18 de Noviembre del 2005 a las 17:00 horas	Día 18 de Noviembre del 2005 a las 18:30 horas	8263,5	1,5
4	Día 02 de Noviembre del 2006 a las 2:00 horas	Día 06 de Noviembre del 2006 a las 23:00 horas	7378	117
5	Día 14 de Septiembre del 2007 a las 9:00 horas	Día 14 de Septiembre del 2007 a las 15:00 horas	767	6
6	Día 16 de Octubre del 2007 a las 14:00 horas	Día 16 de Octubre del 2007 a las 17:00 horas	906	3
7	Día 24 de Noviembre del 2007 a las 11:00 horas	Día 29 de Noviembre del 2007 a las 11:00 horas	Ahora	120

Tabla 22. Datos históricos del tornillo de transporte No. 3

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2005 a las 0:00 horas	2337	
2	Día 08 de Abril del 2005 a las 9:00 horas	Día 08 de Abril del 2005 a las 11:00 horas	3076	2
3	Día 16 de Agosto del 2005 a las 15:00 horas	Día 17 de Agosto del 2005 a las 3:00 horas	10800	12
4	Día 18 de Octubre del 2006 a las 3:00 horas	Día 18 de Octubre del 2006 a las 12:45 horas	8366,55	9,75
5	Día 2 de Octubre del 2007 a las 3:00 horas	Día 3 de Octubre del 2007 a las 10:45 horas	269,55	31,75
6	Día 14 de Octubre del 2007 a las 16:00 horas	Día 14 de Octubre del 2007 a las 22:30 horas	880,5	6,5
7	Día 21 de Noviembre del 2007 a las 14:00 horas	Día 22 de Noviembre del 2007 a las 0:30 horas	Ahora	10,5

Tabla 23. Datos históricos del motor forzado No. 3

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2005 a las 0:00 horas	2312	
2	Día 07 de Abril del 2005 a las 8:00 horas	Día 08 de Abril del 2005 a las 14:00 horas	4758	30
3	Día 26 de Octubre del 2005 a las 20:00 horas	Día 26 de Octubre del 2005 a las 21:35 horas	Ahora	1,6

Tabla 24. Datos históricos de la extrusora No. 3

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2005 a las 0:00 horas	748	
2	Día 01 de Febrero del 2005 a las 21:00 horas	Día 15 de Marzo del 2005 a las 13:30 horas	857,7	1000,5
3	Día 20 de Abril del 2005 a las 7:00 horas	Día 30 de Abril del 2005 a las 7:00 horas	1021	240
4	Día 12 de Junio del 2005 a las 20:00 horas	Día 13 de Junio del 2005 a las 6:00 horas	899	11
5	Día 20 de Julio del 2005 a las 17:00 horas	Día 20 de Julio del 2005 a las 21:00 horas	12072	4
6	Día 25 de Octubre del 2006 a las 11:00 horas	Día 25 de Octubre del 2006 a las 13:00 horas	5826	2
7	Día 28 de Junio del 2007 a las 7:00 horas	Día 30 de Junio del 2007 a las 6:00 horas	1104	47
8	Día 15 de Agosto del 2007 a las 6:00 horas	Día 15 de Agosto del 2007 a las 23:00 horas	491	17
9	Día 5 de Septiembre del 2007 a las 10:00 horas	Día 5 de Septiembre del 2007 a las 6:00 horas	1618	8
10	Día 12 de Noviembre del 2007 a las 16:00 horas	Día 15 de Noviembre del 2007 a las 11:00 horas	Ahora	67

Tabla 25. Datos históricos de la cortadora de pellet No. 3

DATO #	FECHA Y HORA INICIO DE FALLAS	HORA FIN DE FALLA, INICIO DE OPERACIÓN NORMAL	TBF	TTR
			HORAS	
1		Día 01 de Enero del 2005 a las 0:00 horas	7589	
2	Día 17 de Noviembre del 2005 a las 5:00 horas	Día 17 de Noviembre del 2005 a las 7:12 horas	7275,88	2,2
3	Día 20 de Septiembre del 2006 a las 10:00 horas	Día 20 de Septiembre del 2006 a las 1:12 horas	9603,88	15,2
4	Día 25 de Octubre del 2007 a las 4:00 horas	Día 25 de Octubre del 2007 a las 7:00 horas	Ahora	3

## 4.2 CALCULOS CON DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

### 4.2.1 Cálculos línea de producción Planta 1 Propilco

A continuación se presenta la tabla 26 que contiene el resumen de los cálculos realizados con distribución weibull para obtener los factores de escala  $\eta$  y  $\beta$ , y los tiempos medios entre fallas y reparaciones correctivos para cada uno de los equipos que componen la línea de producción Planta 1 de Propilco.

Tabla 26. Valores Correctivos Propilco

EQUIPO	CORRECTIVO					
	CONFIABILIDAD			MANTENIBILIDAD		
	FACTOR DE ESCALA $\eta$	FACTOR DE FORMA $\beta$	MTBM <sub>c</sub>	FACTOR DE ESCALA $\eta$	FACTOR DE FORMA $\beta$	MTTR
C4001	739,536	2,003	655,379	15,555	0,431	42,532
C5009	243,576	0,697	309,777	14,058	1,061	13,734
M7004	380,144	0,612	557,788	3,515	0,721	4,332
M7001	2782,356	0,398	9375,495	1,873	1,438	1,701
Empacadora	87,461	1,406	79,659	2,511	1,348	2,303

Igualmente se obtuvieron las curvas de confiabilidad y mantenibilidad para cada uno de estos equipos, las cuales se pueden observar en el Anexo C.

#### 4.2.2 Cálculos línea de producción compuestos 3 Ajovert

A continuación se presentan las tablas 27 y 28 que contiene el resumen de los cálculos realizados con distribución weibull para obtener los factores de escala  $\eta$  y  $\beta$ , y los tiempos medios entre falla y reparación tanto correctivos como planeados para cada uno de los equipos que componen la línea de producción Compuestos 3 de Ajovert.

Tabla 27. Valores Correctivos Ajovert

EQUIPO	CORRECTIVO					
	CONFIABILIDAD			MANTENIBILIDAD		
	FACTOR DE ESCALA $\eta$	FACTOR DE FORMA $\beta$	MTBMc	FACTOR DE ESCALA $\eta$	FACTOR DE FORMA $\beta$	MTTR
Tolva de llenado de PVC No. 2	3806,098	0,863	4101,784	45,105	0,722	55,455
Tolva de líquidos menores No. 2	5096,288	0,704	6418,672	10,854	3,063	9,702
Mezclador y enfriador No. 2	4065,008	0,648	5575,770	30,671	0,410	95,275
Tornillo de transporte No. 3	3769,346	0,682	4897,983	14,469	0,975	14,633
Motor forzado No. 3	10630,665	0,732	12922,262	22,751	0,340	126,773
Extrusora No. 3	2510,906	0,837	2758,485	77,948	0,471	175,355
Cortadora de pellet No. 3	8859,750	4,742	8109,832	8,677	0,686	11,197

Tabla 28. Valores Planeados Ajovert

EQUIPO	PLANEADO					
	CONFIABILIDAD			MANTENIBILIDAD		
	FACTOR DE ESCALA $\eta$	FACTOR DE FORMA $\beta$	MTBmp	FACTOR DE ESCALA $\eta$	FACTOR DE FORMA $\beta$	Mp
Tolva de llenado de PVC No. 2	788,975	6,033	732,168	2,035	1,152	1,936
Tolva de líquidos menores No. 2	808,530	5,306	744,912	3,662	0,835	4,029
Mezclador y enfriador No. 2	797,778	5,725	738,178	2,572	1,065	2,510
Tornillo de transporte No. 3	1483,371	11,154	1417,516	2,222	1,254	2,068
Motor forzado No. 3	1484,471	11,119	1418,393	3,157	0,905	3,312
Extrusora No. 3	886,362	3,583	798,497	7,931	0,634	11,139
Cortadora de pellet No. 3	820,353	4,866	752,042	1,587	1,189	1,497

Igualmente se obtuvieron las curvas de confiabilidad y mantenibilidad para cada uno de estos equipos, las cuales se pueden observar en el Anexo D.

### 4.3 CALCULOS DE INDICADORES CMD

#### 4.3.1 Indicadores CMD línea de producción planta 1 de Propilco

Para la línea de producción planta 1 de Propilco se tomarán en cuenta los valores correctivos para calcular la disponibilidad; por lo tanto se obtendrá la disponibilidad inherente con los datos que resultaron del análisis weibull. En la tabla 29 se tienen los valores calculados.

Tabla 29. Disponibilidad Inherente de Propilco

EQUIPO	C	M	D <sub>i</sub>
C4001	655,379	42,532	93,91%
C5009	309,777	13,734	95,75%
M7004	557,788	4,332	99,23%
M7001	9375,495	1,701	99,98%
Empacadora	79,659	2,303	97,19%

#### 4.3.2 Indicadores CMD línea de producción compuestos 3 Ajoever

Para la línea de producción compuestos 3 de Ajoever se tomarán en cuenta tanto los valores correctivos como los planeados para calcular la disponibilidad; por lo tanto se obtendrán la disponibilidad inherente y alcanzada con los datos que resultaron del análisis weibull. En la tabla 30 se tienen los valores calculados.

Tabla 30. Disponibilidades Inherente y Alcanzada de Ajoever

EQUIPO	C	M	C <sub>p</sub>	M <sub>p</sub>	D <sub>i</sub>	D <sub>A</sub>
Tolva de llenado de PVC No. 2	4101,784	55,455	732,168	1,936	98.67 %	98,41%
Tolva de líquidos menores No. 2	6418,672	9,702	744,912	4,029	99.85 %	99,31%
Mezclador y enfriador No. 2	5575,770	95,275	738,178	2,510	98.32 %	97,99%
Tornillo de transporte No. 3	4897,983	14,633	1417,516	2,068	99.70 %	99,56%
Motor forzado No. 3	12922,262	126,773	1418,393	3,312	99.03 %	98,80%
Extrusora No. 3	2758,485	175,355	798,497	11,139	94.02 %	92,81%
Cortadora de pellet No. 3	8109,832	11,197	752,042	1,497	99.86 %	99,66%

## 5. ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA CONFIABILIDAD

### 5.1 ESTRATEGÍAS PARA LA LINEA DE PRODUCCIÓN PLANTA 1 DE PROPILCO

Con los datos que se obtuvieron de los cálculos de los indicadores CMD a través de weibull se plantearon las siguientes estrategias tácticas para mejorar dichos indicadores, también se usó la tabla 31 para generar estrategias proactivas que se reflejen en una maximización de la gestión de mantenimiento:

Tabla 31. Ubicación en la curva de Davies para equipos de Propilco

EQUIPO	CURVA DE LA BAÑERA
C4001	Etapa II de la Fase III Envejecimiento
C5009	Fase I Mortalidad Infantil
M7004	Fase I Mortalidad Infantil
M7001	Fase I Mortalidad Infantil
Empacadora	Etapa I de la Fase III Envejecimiento

A. La empacadora tuvo los tiempos medios entre mantenimientos más cortos, MTBMc de 105.01 horas y MTBMp de 439.22 horas, los cuales a nuestro juicio son tiempos demasiado cortos a pesar de que el equipo tenga una alta disponibilidad del 97.57%; sin embargo también cabe anotar que los tiempos medios de reparación son de pocas horas 2.61 y 1.36 horas, esto se traduce en traumas para el área de mantenimiento debido a que las llamadas por paradas del equipo se hacen repetitivas y entre intervalos de tiempo muy reducidos, a pesar que la reparación de la empacadora se lleva a cabo de una a dos horas, la estrategia que se podría usar para aumentar los tiempos entre fallas y disminuir los llamados que se hacen al departamento de mantenimiento sería implementar TPM puntualmente a este equipo, pues es necesario involucrar a los operadores de producción para que ellos mismos resuelvan aquellos problemas sencillos que no requieren la atención especializada de mantenimiento. A simple vista se puede concluir que de acuerdo con los tiempos en que demoran las reparaciones, la

mayoría de las fallas que se presentan son de carácter menor, las cuales pueden ser solucionadas por el operador si se encuentra bien entrenado; adicionalmente se podría cambiar el perfil del operador por un instrumentista recién egresado del SENA, ya que la mayoría de las fallas están relacionadas con sensores de movimientos y transmisores de señales análogas. Como se puede observar en la tabla No. 31, la empacadora está ubicada en la etapa 1 de la fase 3 de la curva de Davies, en esta zona se incrementa el número de fallas y estas son conocidas y repetitivas, como las fallas ya se conocen se pueden tomar acciones preventivas planeadas que eviten que estas ocurran, esto demuestra la importancia que tiene la ingeniería de confiabilidad en las empresas.

B. Para el caso del compresor K-4003, el cual tiene una potencia de 1.2 MW y se usa para la agitación del reactor, es un equipo de gran importancia dentro del proceso, cuyo tiempo medio entre fallas es de 2560.9 horas, y el tiempo medio de reparación es de 268.8 horas, arrojando como resultado una disponibilidad genérica de 90.5%, la cual es la más baja entre todos los equipos empleados en los cálculos; para producción este dato es de suma importancia y se debe buscar la forma de mejorarlo, debido a que cuando este equipo no opera, se detiene el proceso en su totalidad y hay pérdida de la materia prima empleada; una de las opciones sería disminuir los tiempos de reparación por parte de mantenimiento, sin embargo estos tiempos se deben a la complejidad que tiene el equipo, como estrategia se plantea hacer una filmación del proceso de reparación del compresor, estudiar paso a paso todos los procedimientos que se ejecutan cuando el equipo está apagado, con el fin de observar e identificar en cuáles momentos del procedimiento se pueden optimizar los tiempos para disminuir los desperdicios y volver mucho más eficiente el proceso de reparación.

C. El tanque C-4001 tiene un beta de 2,003 el cual lo ubica en la etapa 2 de la fase 3 de la curva de Davis, para este caso el número de fallas va en incremento, este resultado obtenido es bastante acertado pues este equipo es uno de los más

viejos de la planta. Se recomienda implementar acciones predictivas que minimicen las fallas, el RCM sería una herramienta útil para el mejoramiento de la confiabilidad de este equipo.

D. El resto de equipos que son el C-5009, M-7004 y el M-7001 se encuentran en la fase infantil de la curva de Davies, en esta etapa la tasa de fallas es decreciente, se sugiere para esta fase emplear acciones correctivas y modificativas, dichas modificaciones sirven para corregir cualquier defecto de diseño o montaje, sin embargo estos equipos tienen más de 17 años de operación de la planta por lo cual los indicadores CMD obtenidos para los tres están alejados de la realidad a nuestro juicio. Para que los cálculos sean más reales y acertados se debe implementar un sistema de recolección de datos de funcionamiento y de fallas de equipos basado en la norma ISO 14224.

## 5.2 ESTRATEGÍAS PARA LA LINEA DE PRODUCCIÓN COMPUESTOS 3 AJOVER

A partir de los valores obtenidos mediante la distribución weibull y los indicadores CMD de los equipos críticos de la línea de producción Compuestos 3 de Ajoever S.A. se construye la tabla 32, la cual muestra la ubicación de cada equipo en la curva de la bañera o de Davies teniendo en cuenta el parámetro  $\beta$  de la distribución.

Tabla 32. Ubicación en la curva de Davies para equipos de Ajoever

<b>EQUIPO</b>	<b>CURVA DE LA BAÑERA</b>
Tolva de llenado de PVC No. 2	Fase I Mortalidad Infantil
Tolva de líquidos menores No. 2	Fase I Mortalidad Infantil
Mezclador y enfriador No. 2	Fase I Mortalidad Infantil
Tornillo de transporte No. 3	Fase I Mortalidad Infantil
Motor forzado No. 3	Fase I Mortalidad Infantil
Extrusora No. 3	Fase I Mortalidad Infantil
Cortadora de pellet No. 3	Etapa III de la Fase III Envejecimiento

Se puede observar que todos los equipos a excepción de la cortadora de pellets No. 3 se encuentran en la fase I de mortalidad infantil debido a que tienen un  $\beta$  inferior a uno, mientras que el  $\beta$  de la cortadora de pellets es mayor a dos por lo que se ubica en la etapa III de la fase III de envejecimiento.

Si se observa detalladamente la descripción que se realizó en el capítulo No. 2 sobre la línea de producción Compuestos 3 de Ajovert, se aprecia que es una planta relativamente nueva que inició actividades en octubre de 2004, por lo tanto se puede concluir que los resultados de los cálculos realizados tienen pertinencia con la realidad de los equipos.

La fase I de mortalidad infantil se caracteriza porque la tasa de fallas disminuye paulatinamente o drásticamente con el tiempo. Este comportamiento puede ser ocasionado por varios factores como son defectos de producción, fallas por soldadura, fisuras, componentes imperfectos, calidad defectuosa, condiciones fuera de estándares o montajes inadecuados. En otras palabras, esta etapa abarca desde el periodo de montaje de los equipos hasta la puesta en marcha y producción normalizada; en esta etapa se empiezan a conocer las fallas de los equipos, muchas de las cuales son el resultado de errores que se comenten en la instalación, de la mala manipulación de los equipos o de defectos que vienen de fábrica.

Las acciones de mantenimiento que se deben implementar para disminuir las fallas que se ocasionan en esta etapa básicamente están constituidas por chequeos de funcionamiento, control de calidad, FMECA o análisis de fallas, acciones correctivas buenas y acciones modificativas. Debido a que no se conocen los tipos de fallas en estos equipos porque su funcionamiento es reciente, no se recomienda implementar tácticas avanzadas de mantenimiento como TPM, RCM, Clase Mundial, etc. Principalmente se debe enfatizar en el mantenimiento correctivo para reparar las fallas que se presenten, pero a su vez hacer análisis de estas para evitar que vuelvan a ocurrir, es decir, buscar la causa raíz de cada problema; también es importante realizar acciones modificativas que permitan corregir cualquier defecto de diseño o montaje, calidad de materiales,

métodos inadecuados de mantenimiento o cualquier falla característica de la fase I. Por otro lado, es recomendable implementar el programa de mantenimiento preventivo con chequeos e inspecciones rutinarias, que ayuden a detectar fallas incipientes y permitan solucionarlas sin que se vea afectada gravemente la producción y se logre maximizar la disponibilidad de los equipos.

Por otra parte, la fase III de envejecimiento a la cual corresponde la cortadora de pellets No. 3, se caracteriza porque la tasa de fallas se incrementa de varias formas, es la fase del desgaste ocasionado por fatiga, corrosión, fricción, cargas cíclicas, defectos ocultos, bajos coeficientes de seguridad y en general por el exceso de uso, desuso o abuso de los equipos. Es la etapa de sustitución y reposición de los dispositivos y máquinas cuando su mantenimiento es más costoso que reemplazarlos, o cuando su funcionalidad es más cara que sustituirlos por nuevos. En la etapa III de la fase III de envejecimiento puro, la tasa de fallas se incrementa aceleradamente, normalmente se estabiliza el uso de acciones predictivas y cuando estas ya no mejoran la mantenibilidad de la máquina se usa la reposición o sustitución como única alternativa, también se continua con el uso de técnicas preventivas y eventualmente correctivas y modificativas, la mayoría de las fallas son causadas por acción del tiempo y como tal se usan las acciones predictivas para identificar el comportamiento futuro de los elementos con el fin de conocer su verdadera vida útil presente. En esta fase la mayoría de las fallas son conocidas por lo que es recomendable implementar RCM con el fin de alargar la vida útil de los equipos, por medio de este se controlan todos los modos de falla, además se implementan tareas proactivas de mantenimientos planeados sobre las fallas potenciales que pudiesen ocurrir y combinado con FMECA permite incorporar acciones de reparaciones a tareas de mantenimiento planeado rutinario.

En el caso de la cortadora de pellets No. 3 se puede concluir que la carencia de un mayor número de datos de operación entre fallas y tiempos de reparación se refleja en un resultado alejado de la realidad debido a que el equipo tiene tiempos de operación entre fallas bastante prolongados, 8000 horas en promedio

aproximadamente y solo presentó tres fallas en el intervalo de tiempo seleccionado de dos años, por lo tanto es inadecuado clasificarlo como un equipo con envejecimiento puro, además hay que tener en cuenta que su funcionamiento es reciente a partir de octubre de 2004, por lo tanto puede ubicarse entre la fase I de mortalidad infantil y II de madurez donde las fallas son básicamente por errores en la operación de producción y fallas incipientes que pueden ser detectadas rápidamente con una buena inspección de la máquina.

Los indicadores CMD correctivos de Ajovert muestran que los tiempos que se emplean para reparación están un poco elevados, principalmente el de la extrusora y el motor forzado, es necesario revisar cuales son los aspectos que hacen que estos tiempos se incrementen y buscar la forma de mejorarlos, algunas recomendaciones son evaluar las destrezas y habilidades del personal técnico para identificar cuales son las debilidades y las fortalezas de cada uno, para establecer jornadas de capacitación que supriman las falencias; también se debe revisar el tema de los repuestos en stock, garantizar que se tienen los repuestos necesarios para solucionar las posibles fallas en el menor tiempo posible, pero a su vez evitando el exceso de inventario para no incurrir en costos adicionales; es necesario crear grupos caza fallas o enfatizar en la cultura de la prevención, estar siempre alertas a cualquier síntoma incipiente que pueda tratarse antes de convertirse en una falla mayor; por ultimo se deben realizar análisis de fallas FMECA de cada problema para identificar la causa raíz de cada uno y hacer la corrección necesaria para que no vuelva a ocurrir.

Es importante resaltar que las disponibilidades calculadas muestran valores por encima del 98% a excepción de la extrusora que tiene una disponibilidad de 92.81% las cuales se consideran en general como buenos indicadores a pesar de los tiempos un poco altos de mantenibilidad. Lo fundamental es ver a que costo se obtienen estos indicadores, es decir, revisar el costo de mantenimiento con respecto a la producción para saber si la labor que se está ejecutando es de la forma más eficiente y si mantenimiento en realidad está aportando un valor agregado a la producción de la planta, porque de nada vale tener buenos

indicadores con unos costos de mantenimiento elevados que encarezcan la producción y afecten la competitividad de la compañía.

## CONCLUSION

- ❖ Los indicadores CMD pueden implementarse con cualquier modelo de mantenimiento puesto que ellos se convierten en guía para saber hacia donde dirigir las acciones de mantenimiento.
- ❖ Los indicadores CMD son una herramienta valiosa para la ingeniería de mantenimiento, debido a que sirven de punto de referencia para saber en que estado se encuentra el área de mantenimiento en la compañía y permiten mostrar si la gestión que se está realizando tiene el efecto deseado de maximizar la disponibilidad de los equipos.
- ❖ Además de utilizar los indicadores CMD para mejorar la gestión de mantenimiento es importante tener en cuenta la parte económica, controlar los costos de ejecución porque de nada vale tener indicadores de alta disponibilidad de los equipos si los costos para lograrlo son muy elevados y sobrepasan lo presupuestado. Por lo tanto los indicadores deben complementarse con la evaluación costo-beneficio del mantenimiento.
- ❖ El estudio de criticidad es muy importante y pertinente al momento de implementar indicadores en la gestión de mantenimiento debido a que permiten identificar cuales son los equipos más críticos de la compañía y enfoca los esfuerzos del área de mantenimiento hacia los equipos indispensables para la producción. Además, facilita el manejo de información porque reduce la población de los equipos en estudio.

- ❖ Es indispensable que el área de mantenimiento recopile los datos históricos de funcionamiento y paradas de los equipos para poder llevar unos indicadores que sean acordes a la realidad. En el caso de Propilco S.A., los datos históricos fueron suministrados por el área de producción y algunos valores calculados no concuerdan con el estado real del equipo en estudio.
  
- ❖ Para el área de Mantenimiento de Propilco S.A., se observa la necesidad de implementar los indicadores CMD antes de emplear RCM 2, para poder tener una guía o una base de medición que muestre el estado actual de los equipos, que permita identificar si la estrategia que se pretende es la más adecuada, y en caso que sea positivo la implementación de RCM 2, se pueda realizar una comparación antes y después de emplear esta técnica.
  
- ❖ Existen dos tipos de confiabilidad, una que esta ligada con un modelo probabilística o matemático y la otra esta relacionada con el aspecto funcional del equipo, en este estudio se calculó la confiabilidad probabilística la cual indica que un equipo es 100% confiable si este nunca falla, la otra confiabilidad es la que se usa en RCM en donde se evalúan todas las funciones que tiene un equipo ya sean primarias o secundarias y se establece que el equipo es 100% confiable si este realiza todas sus funciones para las cuales fue diseñado. Esta confiabilidad no estuvo en el alcance de este estudio.
  
- ❖ En el caso de Ajover S.A., se requiere que mejoren en planificación y análisis de fallas, debido a que los equipos se encuentran en la etapa infantil donde las fallas no son conocidas, el área de mantenimiento se ocupa en reparar los equipos pero carece de una búsqueda rigurosa de las causas raíces de dichas fallas, por lo tanto se debe utilizar técnicas como FMECA para una mejora continua.

## BIBLIOGRAFIA

BARLOW, Richard. Engineering Reliability. New Cork: Board SIAM, 1998.

DIAZ MATALABOS, Ángel. Confiabilidad en Mantenimiento. Caracas: IESA, 1992.

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

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

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

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

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

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

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

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

TORO OSORIO, Juan y CESPEDES GUTIERREZ, Pedro. Metodología para medir Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad en Mantenimiento. Medellín, 2001, 126p. Tesis (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

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

## ANEXOS

ANEXO A. Estimación de parámetros de confiabilidad y mantenibilidad de Proplico S.A.

EQUIPO: REACTOR 1 C4001

**CORRECTIVOS**  
**CONFIABILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$F(j)/(N+1)$	$\ln(\ln(1/(1-F(j))))$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	$X_j \cdot Y_j$	$X_j^2$	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)(Yj - Y media)
1	454	392	20.00%	-1.50	5.97	-8.86	35.66	-1.27	-0.23	0.05	-0.412	0.170	-1.054	1.111	0.434
2	855	454	40.00%	-0.67	6.12	-4.11	37.43	-0.98	0.31	0.09	-0.265	0.070	-0.226	0.051	0.060
3	807	807	60.00%	-0.09	6.69	-0.99	44.80	0.17	-0.26	0.07	0.310	0.096	0.359	0.124	0.111
4	392	855	80.00%	0.48	6.75	3.21	45.68	0.29	0.19	0.03	0.368	0.135	0.922	0.850	0.339
		Media	50.00%												
Y media		-0.446													
X media		6.383													
Pendiente b		2.0029													
Intercepto a		-13.2312													
Ajuste		0.00													
Se		0.3927													
r <sup>2</sup>		0.8538													
r		0.9401													

Escala η	7.39.336
Forma β	2.0029
MTBF	855.379

**MANTENIBILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(j)/(N+1)$	$\ln(\ln(1/(1-F(j))))$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	$X_j \cdot Y_j$	$X_j^2$	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)(Yj - Y media)
1	1	1	20.00%	-1.50	0.00	0.00	0.00	-1.16	-0.32	0.10	-1.711	2.927	-1.054	1.111	1.804
2	7	2	40.00%	-0.67	0.69	-0.47	0.46	-0.88	0.21	0.05	-1.018	1.036	-0.226	0.051	0.230
3	2	7	60.00%	-0.09	1.95	-0.17	3.79	-0.34	0.26	0.07	0.235	0.055	0.399	0.122	0.084
4	67	67	80.00%	0.48	4.20	2.00	17.68	0.63	-0.15	0.02	2.494	6.219	0.922	0.850	2.298
		Media	50.00%												
Y media		-0.446													
X media		1.711													
Pendiente b		0.4314													
Intercepto a		-1.1839													
Ajuste		0.00													
Se		0.3429													
r <sup>2</sup>		0.8501													
r		0.9435													

Escala η	15.355
Forma β	0.4314
MTTR	42.332

EQUIPO: TANQUE C6009

CONRECTIVOS  
CONFIBILIDAD

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$F(i)/(N+1)$	$\ln(\ln(1/(1-F(i))))$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj <sup>2</sup>	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	408	15	7.14%	-2.60	2.71	-7.05	7.33	-1.84	-0.66	0.44	-2.095	4.390	4.315
2	69	15	14.29%	-1.87	2.71	-5.06	7.33	-1.84	0.07	0.01	-1.363	1.857	2.807
3	71	17	21.43%	-1.42	2.83	-4.03	8.03	-1.85	0.43	0.19	-0.915	0.838	1.771
4	278	65	28.57%	-1.09	4.17	-4.55	17.43	-0.92	-0.17	0.03	-0.562	0.399	0.345
5	971	69	35.71%	-0.82	4.23	-3.46	17.93	-0.88	0.06	0.00	-0.534	0.285	0.165
6	15	71	42.86%	-0.58	4.26	-2.47	18.17	-0.86	0.28	0.06	-0.505	0.255	-0.074
7	15	113	50.00%	-0.37	4.73	-1.73	22.35	-0.54	0.17	0.03	-0.040	0.002	0.140
8	744	181	57.14%	-0.17	5.20	-0.86	27.02	-0.21	0.04	0.00	0.431	0.186	0.341
9	405	278	64.29%	0.03	5.63	0.16	31.67	0.09	-0.06	0.00	0.860	0.740	0.536
10	65	405	71.43%	0.23	6.00	1.35	36.05	0.35	-0.13	0.02	1.256	1.528	0.732
11	181	468	78.57%	0.43	6.01	2.60	36.14	0.36	0.07	0.01	1.244	1.547	0.839
12	113	744	85.71%	0.67	6.61	4.40	43.72	0.78	-0.11	0.01	1.644	3.402	1.173
13	17	971	92.86%	0.97	6.68	6.67	47.31	0.96	0.01	0.00	2.111	4.455	1.477
			Media										
			50.00%										
Y media	-0.507												
X media	4.768												
Pendiente b	0.0906												
Intercepto a	-3.8280												
Ajuste	0.00												
Se	0.2708												
r <sup>2</sup>	0.9378												
r	0.9683												

Suma -14.02 320.47 -6.59 0.00 0.81 0.00 24.98 0.00 12.93 17.40

Escala n	243.58
Forma β	0.6906
M/TBF	309.777

Ajuste 0.00  
Se 0.2708 Error estándar del estimado o variación o error típico  
r<sup>2</sup> 0.9378 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.9683 Coeficiente de correlación múltiple

MANTENIBILIDAD

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(i)/(N+1)$	$\ln(\ln(1/(1-F(i))))$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj <sup>2</sup>	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	27	1	7.14%	-2.60	0.00	0.00	0.00	-2.80	0.20	0.04	-2.095	4.390	4.537
2	1	4	14.29%	-1.87	1.39	-2.59	1.92	-1.33	-0.54	0.29	-0.779	0.607	1.062
3	6	6	21.43%	-1.42	1.79	-2.55	3.21	-0.90	-0.52	0.27	-0.374	0.140	0.342
4	4	7	28.57%	-1.09	1.95	-2.12	3.79	-0.74	-0.35	0.12	-0.219	0.048	0.128
5	9	7	35.71%	-0.82	1.95	-1.99	3.79	-0.74	-0.08	0.01	-0.219	0.048	0.068
6	9	9	42.86%	-0.58	1.95	-1.15	3.79	-0.74	0.19	0.03	-0.219	0.048	0.016
7	9	9	50.00%	-0.37	2.20	-0.81	4.63	-0.47	0.11	0.01	0.032	0.001	0.004
8	7	9	57.14%	-0.17	2.20	-0.36	4.63	-0.47	0.31	0.09	0.032	0.001	0.115
9	23	9	64.29%	0.03	2.20	0.06	4.63	-0.47	0.50	0.25	0.032	0.001	0.011
10	7	11	71.43%	0.23	2.40	0.54	5.75	-0.26	0.49	0.24	0.232	0.054	0.170
11	11	23	76.57%	0.43	3.14	1.15	9.63	0.52	-0.09	0.01	0.870	0.941	0.839
12	7	27	85.71%	0.67	3.30	2.10	10.86	0.69	-0.03	0.00	1.150	1.278	1.326
13	41	41	92.86%	0.97	3.71	3.60	13.79	1.14	-0.17	0.03	1.548	2.597	2.287
			Media										
			50.00%										
Y media	-0.507												
X media	2.165												
Pendiente b	1.0811												
Intercepto a	-2.8046												
Ajuste	0.00												
Se	0.3544												
r <sup>2</sup>	0.8931												
r	0.9451												

Escala n	14.06
Forma β	1.0811
M/TTR	13.73

Ajuste 0.00  
Se 0.3544 Error estándar del estimado o variación o error típico  
r<sup>2</sup> 0.8931 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.9451 Coeficiente de correlación múltiple

EQUIPO: MOTOR M7004

**CORRECTIVOS  
CONFIABILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$F(i) = \frac{i}{(N+1)}$	$\ln(\frac{\ln(1-F(i)))}{Y \text{ de la Regresión}}$	$\ln \text{ de los datos X de la regresión}$	$X_j \cdot Y_j$	$X_j^2$	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)(Yj - Y media)
1	72	47	10.00%	-2.25	3.85	-8.66	14.82	-1.28	-0.97	0.94	-1.269	1.662	-1.760	3.098	2.270
2	47	66	20.00%	-1.50	4.19	-4.28	17.55	-1.07	-0.43	0.16	-0.950	0.902	-1.010	1.020	0.959
3	71	71	30.00%	-1.03	4.26	-4.39	18.17	-1.03	0.00	0.00	-0.977	0.769	-0.941	0.292	0.474
4	599	71	40.00%	-0.67	4.26	-2.86	18.17	-1.03	0.35	0.13	-0.877	0.769	-0.182	0.033	0.159
5	71	72	50.00%	-0.37	4.28	-1.57	18.29	-1.02	0.65	0.42	-0.853	0.744	0.124	0.015	-0.107
6	66	142	60.00%	-0.09	4.96	-0.43	24.56	-0.60	0.52	0.27	-0.184	0.034	0.403	0.162	-0.074
7	142	479	70.00%	0.19	6.17	1.15	38.09	0.14	0.04	0.00	1.032	1.065	0.676	0.457	0.698
8	2673	599	80.00%	0.48	6.40	3.04	40.90	0.28	0.20	0.04	1.248	1.577	0.966	0.933	1.213
9	479	2673	90.00%	0.63	7.99	6.56	62.27	1.19	-0.36	0.13	2.751	7.570	1.324	1.753	3.643
Media			50.00%												
Y media															
X media															
Pendiente b															
Intercepto a															
Ajuste															
Se															
r <sup>2</sup>															
r															

Y media -0.490  
X media 5.140

Pendiente b 0.6119  
Intercepto a -3.6350

Ajuste 0.00  
Se 0.5494 Error estándar del estimado o variación o error típico  
r<sup>2</sup> 0.7278 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.8531 Coeficiente de correlación múltiple

Escala n	380.14
Forma β	0.6119
MTBF	557.788

Suma	-13.44	252.82	-4.41	0.00	2.11	0.03	15.09	0.00	7.76	9.24
------	--------	--------	-------	------	------	------	-------	------	------	------

**MANTENIBILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(i) = \frac{i}{(N+1)}$	$\ln(\frac{\ln(1-F(i)))}{Y \text{ de la Regresión}}$	$\ln \text{ de los datos X de la regresión}$	$X_j \cdot Y_j$	$X_j^2$	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)(Yj - Y media)
1	1	1	10.00%	-2.25	0.00	0.00	0.00	-0.91	-1.34	1.81	-0.577	0.333	-1.760	3.098	1.016
2	1	1	20.00%	-1.50	0.00	0.00	0.00	-0.91	-0.99	0.35	-0.577	0.333	-1.010	1.020	0.593
3	1	1	30.00%	-1.03	0.00	0.00	0.00	-0.91	-0.12	0.02	-0.577	0.333	-0.541	0.292	0.312
4	1	1	40.00%	-0.67	0.00	0.00	0.00	-0.91	0.23	0.05	-0.577	0.333	-0.182	0.033	0.105
5	6	1	50.00%	-0.37	0.00	0.00	0.00	-0.91	0.54	0.29	-0.577	0.333	0.124	0.015	-0.071
6	2	1	60.00%	-0.09	0.00	0.00	0.00	-0.91	0.82	0.67	-0.577	0.333	0.403	0.162	-0.232
7	1	2	70.00%	0.19	0.09	0.13	0.48	-0.41	0.99	0.39	0.116	0.013	0.676	0.457	0.076
8	15	6	80.00%	0.48	1.79	0.85	3.21	0.39	0.09	0.01	1.215	1.476	0.966	0.933	1.174
9	1	15	90.00%	0.63	2.71	2.26	7.33	1.05	-0.21	0.04	2.131	4.541	1.324	1.753	2.822
Media			50.00%												
Y medio															
X media															
Pendiente b															
Intercepto a															
Ajuste															
Se															
r <sup>2</sup>															
r															

Y medio -0.490  
X media 0.577

Pendiente b 0.7206  
Intercepto a -0.9060

Ajuste 0.00  
Se 0.7167 Error estándar del estimado o variación o error típico  
r<sup>2</sup> 0.5370 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.7328 Coeficiente de correlación múltiple

Escala n	3.515
Forma β	0.7206
MTTR	4.332

Suma	3.24	11.02	-4.41	0.00	3.60	0.00	6.03	0.00	7.76	5.79
------	------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------

EQUIPO: MIXER M7001

**CORRECTIVOS**  
**CONFIABILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$F(i)/j/(N+1)$	$\ln(\ln(1/(1-F(i))))$ Y de la Regresión	X de la Regresión	Ln de datos	$X_j \cdot Y_j$	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	268	268	33.33%	-0.90	5.66	5.66	-5.11	-0.90	0.00	0.00	-1.252	1.568	-0.498	0.248	0.624
2	3524	3524	66.67%	0.09	8.17	8.17	0.77	0.09	0.00	0.00	1.262	1.568	0.498	0.248	0.624
		Media	50.00%				Suma	-4.34	98.77	-0.61	0.00	3.14	0.00	0.50	1.25

Y media -0.404  
X media 6.915

Pendiente b 0.3980  
Intercepto a -3.1566

Ajuste 0.00  
Se 0.0000 Error estándar del estimado o variación o error típico  
r<sup>2</sup> 1.0000 Coeficiente de determinación muestral  
r 1.0000 Coeficiente de correlación múltiple

Escala n	2782.336
Forma β	0.3980
MTBF	9375.445

**MANTENIBILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(i)/j/(N+1)$	$\ln(\ln(1/(1-F(i))))$ Y de la Regresión	X de la Regresión	Ln de datos	$X_j \cdot Y_j$	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	1	1	33.33%	-0.90	0.00	0.00	0.00	-0.90	0.00	0.00	-0.347	0.120	-0.498	0.248	0.173
2	2	2	66.67%	0.09	0.69	0.69	0.07	0.09	0.00	0.00	0.347	0.120	0.498	0.248	0.173
		Media	50.00%				Suma	0.07	0.48	-0.61	0.00	0.24	0.00	0.50	0.35

Y media -0.404  
X media 0.347

Pendiente b 1.4380  
Intercepto a -0.9027

Ajuste 0.00  
Se 0.0000 Error estándar del estimado o variación o error típico  
r<sup>2</sup> 1.0000 Coeficiente de determinación muestral  
r 1.0000 Coeficiente de correlación múltiple

Escala n	1.873
Forma β	1.4380
MTTR	1.70

EQUIPO: EMPACADORA

CORRECTIVOS  
CONFIDENCIAL

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	F(i)=(N+1)	Ln(Ln(1-F(i))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	X <sup>2</sup> Y	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)(Yj - Y media)	
1	46	20	5.58%	-2.66	3.00	-6.57	-2.07	-0.78	0.62	-1.117	1.226	-2.344	5.498	-2.596	
2	42	21	11.11%	-2.14	3.04	-6.51	-2.01	-0.13	0.02	-1.019	1.121	-1.821	2.628	-1.716	
3	22	23	16.67%	-1.70	3.09	-5.26	-1.84	0.24	0.06	-1.012	1.024	-1.184	1.403	-1.199	
4	167	23	22.22%	-1.38	3.14	-4.33	-1.69	0.60	0.26	-0.918	0.836	-0.863	0.745	-0.830	
5	119	39	27.78%	-1.12	3.66	-4.11	-1.14	0.01	0.00	-0.440	0.193	-0.609	0.366	-0.266	
6	20	42	33.33%	-0.80	3.74	-3.37	-1.03	0.13	0.02	-0.365	0.134	-0.365	0.148	-0.141	
7	167	46	38.89%	-0.71	3.83	-2.71	-0.90	0.20	0.04	-0.214	0.079	-0.191	0.036	-0.052	
8	23	65	44.44%	-0.53	4.17	-2.22	-0.42	-0.11	0.01	0.071	0.005	-0.114	0.000	-0.001	
9	119	70	50.00%	-0.37	4.26	-1.66	-0.05	0.00	0.00	0.146	0.021	0.151	0.022	0.022	
10	21	71	55.56%	-0.21	4.26	-0.89	-0.29	0.08	0.01	0.180	0.025	0.306	0.095	0.049	
11	70	71	61.11%	-0.06	4.26	-0.24	-0.29	0.24	0.05	0.180	0.025	0.461	0.212	0.074	
12	65	84	66.67%	0.09	4.54	0.43	-0.10	-0.01	0.00	0.440	0.194	0.812	0.374	0.269	
13	144	119	72.22%	0.25	4.78	1.18	0.43	-0.19	0.03	0.676	0.457	0.765	0.966	0.517	
14	71	119	77.78%	0.41	4.78	1.95	0.43	-0.02	0.00	0.676	0.457	0.026	0.857	0.026	
15	94	144	83.33%	0.58	4.97	2.90	0.70	-0.12	0.01	0.867	0.751	1.101	1.212	0.954	
16	65	167	88.89%	0.79	5.17	4.03	0.91	-0.12	0.01	1.095	1.200	1.305	1.703	1.324	
17	39	167	94.44%	1.06	5.12	5.43	0.91	-0.15	0.02	1.095	1.200	1.579	2.493	1.603	
Media															
Y media															-0.518
X media															4.103
Pendiente b															1.4063
Intercepto a															-6.2877
Ajuste															0.00
Se															0.2783
r <sup>2</sup>															0.9368
r															0.9678

Y media  
X media  
Pendiente b  
Intercepto a

Escala n	87.46
Forma β	1.4063
M <sup>2</sup> BF	79.659

Ajuste  
Se  
r<sup>2</sup>  
r

MANTENIBILIDAD

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	M(i)=(N+1)	Ln(Ln(1-F(i))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	X <sup>2</sup> Y	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)(Yj - Y media)	
1	2	1	5.56%	-2.66	0.00	0.00	-1.24	-1.82	2.62	-0.537	0.288	-2.344	5.498	-2.596	
2	6	1	11.11%	-2.14	0.00	0.00	-1.24	-0.90	0.81	-0.537	0.288	-1.821	2.628	-1.821	
3	2	1	16.67%	-1.70	0.00	0.00	-1.24	-0.46	0.21	-0.537	0.288	-1.184	1.403	-0.636	
4	2	1	22.22%	-1.38	0.00	0.00	-1.24	-0.14	0.02	-0.537	0.288	-0.863	0.745	-0.484	
5	2	1	27.78%	-1.12	0.00	0.00	-1.24	0.12	0.01	-0.537	0.288	-0.609	0.366	-0.325	
6	2	1	33.33%	-0.80	0.00	0.00	-1.24	0.34	0.11	-0.537	0.288	-0.365	0.148	-0.207	
7	1	1	38.89%	-0.71	0.00	0.00	-1.24	0.53	0.28	-0.537	0.288	-0.191	0.036	0.162	
8	1	1	44.44%	-0.53	0.00	0.00	-1.24	0.71	0.50	-0.537	0.288	-0.014	0.000	0.007	
9	1	2	50.00%	-0.37	0.69	-0.25	-0.48	-0.06	0.00	0.156	0.024	0.151	0.023	0.024	
10	3	2	55.56%	-0.21	0.69	-0.15	-0.48	-0.31	0.10	0.156	0.024	0.306	0.095	0.048	
11	2	2	61.11%	-0.06	0.69	-0.04	-0.48	-0.31	0.25	0.156	0.024	0.461	0.212	0.072	
12	2	2	66.67%	0.09	0.69	0.07	-0.48	-0.31	0.40	0.156	0.024	0.612	0.374	0.096	
13	1	2	72.22%	0.25	0.69	0.17	-0.48	-0.31	0.55	0.156	0.024	0.765	0.596	0.120	
14	1	2	77.78%	0.41	0.69	0.28	-0.48	-0.31	0.72	0.156	0.024	0.926	0.857	0.145	
15	1	3	83.33%	0.58	1.10	0.64	1.21	0.24	0.34	0.622	0.315	1.101	1.212	0.618	
16	1	6	88.89%	0.79	1.79	1.17	1.17	-0.39	0.15	1.255	1.574	1.305	1.703	1.637	
17	8	6	94.44%	1.06	2.08	2.21	4.32	1.56	0.25	1.642	2.379	1.579	2.493	2.436	
Media															
Y media															-0.518
X media															0.537
Pendiente b															1.3465
Intercepto a															-1.2418
Ajuste															0.00
Se															0.6405
r <sup>2</sup>															0.6651
r															0.8156

Y media  
X media  
Pendiente b  
Intercepto a

Escala n	2.511
Forma β	1.3465
M <sup>2</sup> BF	2.303

Ajuste  
Se  
r<sup>2</sup>  
r

ANEXO B. Estimación de parámetros de confiabilidad y mantenibilidad de Alcover S.A.

EQUIPO: TOLVA DE LLENADO DE PVC No. 2

CORRECTIVOS  
CONFIABILIDAD

No. Datos	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$F(t) = \frac{r}{n+1}$	$\ln(\frac{1}{1-F(t)})$ Y de la Regresión	$\ln(x)$	$X^2$	Y estimada	$Y_i - Y$ estimada	$(Y_i - Y estimada)^2$	$X_i - X$ media	$(X_i - X media)^2$	$Y_i - Y$ media	$(Y_i - Y media)^2$	$(X_i - X media)(Y_i - Y media)$
1	7487	264	11.11%	-2.14	-11.93	31.09	-2.30	0.16	0.03	-2.107	4.441	-1.655	2.738	3.487
2	2583	1241	22.22%	-1.38	-9.84	50.75	-0.97	-0.41	0.17	-0.560	3.133	-0.897	0.804	0.502
3	4369	1489.5	33.33%	-0.90	-8.00	53.48	-0.80	-0.10	0.01	-0.370	3.137	-0.418	0.175	0.166
4	1788	1788	44.44%	-0.53	-3.96	56.40	-0.69	0.16	0.03	-0.240	3.058	-0.047	0.002	0.011
5	1505.5	2577	55.56%	-0.21	-1.65	61.69	-0.34	0.13	0.02	0.171	3.009	0.275	0.075	0.047
6	7011	4366	66.67%	0.09	0.79	70.25	0.12	-0.02	0.00	0.698	3.458	0.578	0.334	0.404
7	1241	7000	77.78%	0.41	3.61	78.41	0.53	-0.12	0.01	1.171	5.372	0.572	0.796	1.045
8	264	7484	88.89%	0.79	7.02	79.90	0.58	0.20	0.04	1.237	5.531	1.271	1.617	1.693
		Media	50.00%											
Y media	-0.484													
X media	7.683													
Pendiente b	0.6532													
Intercepto a	-7.1169													

Suma	-22.54	480.64	-3.87	0.00	0.31	0.00	8.37	0.00	6.34	7.22
------	--------	--------	-------	------	------	------	------	------	------	------

Escala $\eta$	3906.058
Forma $\beta$	0.863
MTBF <sub>c</sub>	4101.784

Ajuste  
Se  
r<sup>2</sup>  
r

0.00  
0.2208 Error estándar del estimado o variación o error típico  
0.9532 Coeficiente de determinación muestral  
0.8763 Coeficiente de correlación múltiple

MANTENIBILIDAD

No. Datos	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(t) = \frac{r}{n+1}$	$\ln(\frac{1}{1-F(t)})$ Y de la Regresión	$\ln(x)$	$X^2$	Y estimada	$Y_i - Y$ estimada	$(Y_i - Y estimada)^2$	$X_i - X$ media	$(X_i - X media)^2$	$Y_i - Y$ media	$(Y_i - Y media)^2$	$(X_i - X media)(Y_i - Y media)$
1	3	3	12.50%	-2.01	1.10	1.21	-1.95	-0.06	0.00	-2.050	4.201	-1.536	2.359	3.148
2	6	6	25.00%	-1.25	1.79	3.21	-1.46	0.21	0.04	-1.368	3.540	-0.769	0.591	1.043
3	62	23.5	37.50%	-0.76	3.16	9.97	-0.87	-0.28	0.08	0.000	3.000	-0.278	0.077	-0.002
4	23.5	26	50.00%	-0.37	3.26	10.62	-0.40	0.03	0.00	0.110	3.012	0.111	0.012	0.002
5	70	62	62.50%	-0.02	4.13	17.03	0.23	-0.25	0.06	0.979	3.568	0.458	0.210	0.448
6	26	70	75.00%	0.33	4.25	18.05	0.32	0.01	0.00	1.100	3.211	0.804	0.645	0.885
7	78	87.50%	87.50%	0.73	4.36	18.98	0.40	0.34	0.11	1.208	3.460	1.209	1.462	1.462
		Media	50.00%											
Y media	-0.477													
X media	3.148													
Pendiente b	0.7225													
Intercepto a	-2.7518													

Suma	-3.52	79.06	-3.34	0.00	0.30	0.00	9.68	0.00	5.36	7.00
------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------

Escala $\eta$	45.105
Forma $\beta$	0.722
MTBF	55.155

Ajuste  
Se  
r<sup>2</sup>  
r

0.00  
0.2468 Error estándar del estimado o variación o error típico  
0.9431 Coeficiente de determinación muestral  
0.9311 Coeficiente de correlación múltiple

PLANEADOS  
CONFIAbilidad

No. dato	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas o dañado de menor o mayor	F(1-α)/(N+1)	Ln(1/(1-F(1/3))) Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	X) * Y	X <sup>2</sup>	Y estimadas	Yi - Y estimadas	(Yi - Y estimada) <sup>2</sup>	Xi - X media	(Xi - X media) <sup>2</sup>	(Yi - Y media)	(Yi - Y media) <sup>2</sup>	(Xi - X media)*(Yi - Y media)
1	368	368	2.70%	-3.60	5.91	-21.25	34.91	-4.60	1.00	1.01	-0.673	0.453	-3.056	9.340	2.957
2	547	547	5.41%	-2.89	6.30	-19.22	39.75	-2.21	-0.80	0.64	-0.777	0.603	-2.349	5.518	0.850
3	641	641	8.11%	-2.47	6.48	-15.67	41.77	-1.25	-1.22	1.48	-0.118	0.014	-1.029	3.722	0.228
4	669	669	10.61%	-2.17	6.51	-14.10	42.33	-1.00	-1.17	1.36	-0.075	0.006	-1.627	2.647	0.122
5	707.5	707.5	13.51%	-1.93	6.56	-12.66	43.06	-0.68	-1.27	1.62	-0.019	0.000	-1.389	1.929	0.027
6	725	725	16.22%	-1.73	6.59	-11.41	43.38	-0.61	-1.22	1.49	0.005	0.000	-1.181	1.418	-0.005
7	737	737	18.92%	-1.56	6.60	-10.31	43.69	-0.41	-1.15	1.32	0.022	0.000	-1.021	1.042	-0.022
8	740	740	21.62%	-1.41	6.61	-9.33	43.65	-0.39	-1.03	1.05	0.026	0.001	-0.871	0.759	-0.022
9	745	745	24.32%	-1.28	6.61	-8.45	43.74	-0.35	-0.93	0.87	0.032	0.001	-0.737	0.542	-0.024
10	748	748	27.03%	-1.15	6.62	-7.68	43.79	-0.32	-0.83	0.69	0.036	0.001	-0.614	0.377	-0.022
11	748	748	29.73%	-1.04	6.62	-6.99	43.79	-0.32	-0.72	0.52	0.036	0.001	-0.501	0.251	-0.015
12	748	748	32.43%	-0.94	6.62	-6.29	43.79	-0.32	-0.61	0.38	0.036	0.001	-0.395	0.156	-0.014
13	751	751	35.14%	-0.84	6.62	-5.54	43.84	-0.30	-0.54	0.29	0.040	0.002	-0.296	0.088	-0.012
14	751	751	37.84%	-0.74	6.62	-4.92	43.84	-0.30	-0.45	0.20	0.040	0.002	-0.202	0.041	-0.008
15	751	751	40.54%	-0.65	6.62	-4.33	43.84	-0.30	-0.36	0.13	0.040	0.002	-0.113	0.013	-0.005
16	751	751	43.24%	-0.57	6.62	-3.76	43.84	-0.30	-0.27	0.07	0.040	0.002	-0.027	0.001	-0.001
17	751	751	45.95%	-0.49	6.62	-3.22	43.84	-0.30	-0.19	0.04	0.040	0.002	0.045	0.003	0.002
18	751	751	48.65%	-0.41	6.62	-2.69	43.84	-0.30	-0.11	0.01	0.040	0.002	0.135	0.018	0.005
19	751	751	51.35%	-0.33	6.62	-2.17	43.84	-0.30	-0.03	0.00	0.040	0.002	0.243	0.046	0.009
20	751	751	54.05%	-0.25	6.62	-1.66	43.84	-0.30	0.05	0.00	0.040	0.002	0.365	0.133	0.015
21	751	751	56.76%	-0.18	6.62	-1.17	43.84	-0.30	0.12	0.01	0.040	0.002	0.439	0.193	0.018
22	751	751	59.46%	-0.10	6.62	-0.68	43.84	-0.30	0.20	0.04	0.040	0.002	0.513	0.263	0.021
23	751	751	62.16%	-0.03	6.62	-0.19	43.84	-0.30	0.27	0.07	0.040	0.002	0.513	0.263	0.021
24	751	751	64.86%	0.04	6.62	0.30	43.84	-0.30	0.34	0.12	0.040	0.002	0.400	0.160	0.024
25	751	751	67.57%	0.12	6.62	0.79	43.84	-0.30	0.42	0.17	0.040	0.002	0.243	0.059	0.027
26	751	751	70.27%	0.19	6.62	1.28	43.84	-0.30	0.49	0.24	0.040	0.002	0.135	0.018	0.030
27	751	751	72.97%	0.27	6.62	1.78	43.84	-0.30	0.57	0.32	0.040	0.002	0.018	0.003	0.033
28	751	751	75.68%	0.35	6.62	2.29	43.84	-0.30	0.64	0.41	0.040	0.002	-0.097	0.009	0.036
29	751	751	78.38%	0.43	6.62	2.82	43.84	-0.30	0.72	0.52	0.040	0.002	-0.202	0.041	-0.039
30	751	751	81.08%	0.51	6.62	3.38	43.84	-0.30	0.81	0.65	0.040	0.002	-0.319	0.101	-0.042
31	751	751	83.78%	0.60	6.62	3.95	43.84	-0.30	0.90	0.80	0.040	0.002	-0.439	0.193	-0.046
32	751	751	86.49%	0.69	6.62	4.59	43.84	-0.30	0.99	0.99	0.040	0.002	-0.561	0.314	-0.050
33	751	751	89.19%	0.80	6.62	5.29	43.84	-0.30	1.10	1.20	0.040	0.002	-0.681	0.465	-0.054
34	751	751	91.89%	0.92	6.62	6.10	43.84	-0.30	1.22	1.49	0.040	0.002	-0.801	0.641	-0.059
35	751	751	94.50%	1.07	6.62	7.09	43.84	-0.30	1.37	1.87	0.040	0.002	-0.921	0.848	-0.065
36	751	751	97.20%	1.28	6.62	8.40	43.84	-0.30	1.56	2.40	0.040	0.002	-1.041	1.084	-0.074
Media															
Suma															
-174.60   1659.76   -19.48   0.00   24.43   0.00   0.69   0.00   -46.07   3.59															

Y media -0.541  
X media 0.581  
Pendiente b 6.0328  
Intercepto a -40.2431

Escala η	766.973
Forma β	6.033
MTBMP	732.163

Ajuste 0.00  
S<sub>e</sub> 0.8477 Error estándar del estimado o var acción e error típico  
r<sup>2</sup> 0.4697 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.6854 Coeficiente de correlación muestral

PLANEADOS  
MANTENIBILIDAD

No. Data	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(t)/N(t)$	$\ln[\ln(1/(1-F(t)))]$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	$X_i \cdot Y_i$	$X_i^2$	Y estimada	$Y_i - Y$ estimada	$(Y_i - Y$ estimada) $^2$	$X_i - X$ media	$(X_i - X$ media) $^2$	$Y_i - Y$ media	$(Y_i - Y$ media) $^2$	$(X_i - X$ media) $(Y_i - Y$ media)
1	1	1	2.70%	-3.60	0.00	0.00	0.00	-0.92	-2.78	7.72	-0.241	0.058	-3.056	9.340	0.736
2	1	1	5.41%	-2.89	0.00	0.00	0.00	-0.82	-2.07	4.29	-0.241	0.058	-2.349	5.519	0.566
3	1	1	8.11%	-2.47	0.00	0.00	0.00	-0.82	-1.65	2.73	-0.241	0.058	-1.929	3.722	0.465
4	1	1	10.81%	-2.17	0.00	0.00	0.00	-0.82	-1.35	1.82	-0.241	0.058	-1.657	2.547	0.392
5	1	1	13.51%	-1.93	0.00	0.00	0.00	-0.82	-1.11	1.23	-0.241	0.058	-1.389	1.929	0.334
6	1	1	16.22%	-1.73	0.00	0.00	0.00	-0.82	-0.91	0.83	-0.241	0.058	-1.191	1.418	0.287
7	1	1	18.92%	-1.56	0.00	0.00	0.00	-0.82	-0.74	0.55	-0.241	0.058	-1.021	1.042	0.246
8	1	1	21.62%	-1.41	0.00	0.00	0.00	-0.82	-0.59	0.35	-0.241	0.058	-0.871	0.759	0.210
9	1	1	24.32%	-1.28	0.00	0.00	0.00	-0.82	-0.46	0.21	-0.241	0.058	-0.737	0.542	0.177
10	1	1	27.03%	-1.15	0.00	0.00	0.00	-0.82	-0.34	0.11	-0.241	0.058	-0.614	0.377	0.149
11	1	1	29.73%	-1.04	0.00	0.00	0.00	-0.82	-0.22	0.05	-0.241	0.058	-0.501	0.251	0.121
12	1	1	32.43%	-0.94	0.00	0.00	0.00	-0.82	-0.12	0.01	-0.241	0.058	-0.395	0.156	0.095
13	1	1	35.14%	-0.84	0.00	0.00	0.00	-0.82	-0.02	0.00	-0.241	0.058	-0.296	0.088	0.071
14	1	1	37.84%	-0.74	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.07	0.01	-0.241	0.058	-0.202	0.041	0.049
15	1	1	40.54%	-0.65	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.16	0.03	-0.241	0.058	-0.113	0.013	0.027
16	1	1	43.24%	-0.57	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.25	0.06	-0.241	0.058	-0.027	0.001	0.007
17	1	1	45.95%	-0.49	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.33	0.11	-0.241	0.058	0.059	0.003	-0.073
18	1	1	48.65%	-0.41	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.41	0.17	-0.241	0.058	0.135	0.018	-0.033
19	1	1	51.35%	-0.33	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.49	0.24	-0.241	0.058	0.213	0.046	-0.051
20	1	1	54.05%	-0.25	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.57	0.32	-0.241	0.058	0.290	0.084	-0.070
21	1	1	56.76%	-0.18	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.64	0.41	-0.241	0.058	0.365	0.133	-0.088
22	1	1	59.46%	-0.10	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.72	0.51	-0.241	0.058	0.439	0.193	-0.106
23	1	1	62.16%	-0.03	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.79	0.62	-0.241	0.058	0.513	0.263	-0.123
24	1	1	64.86%	0.04	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.85	0.75	-0.241	0.058	0.588	0.343	-0.141
25	1	1	67.57%	0.12	0.00	0.00	0.00	-0.82	0.94	0.88	-0.241	0.058	0.660	0.435	-0.159
26	1	1	70.27%	0.19	0.00	0.00	0.00	-0.82	1.01	1.02	-0.241	0.058	0.734	0.529	-0.177
27	1	1	72.97%	0.27	0.00	0.00	0.00	-0.82	1.09	1.18	-0.241	0.058	0.810	0.656	-0.195
28	1	1	75.68%	0.35	0.00	0.00	0.00	-0.82	1.15	1.35	-0.241	0.058	0.887	0.787	-0.214
29	1	1	78.38%	0.43	0.00	0.00	0.00	-0.82	1.24	1.55	-0.241	0.058	0.967	0.936	-0.233
30	1	1	81.08%	0.51	0.00	0.00	0.00	-0.82	1.33	1.76	-0.241	0.058	1.051	1.104	-0.253
31	3	3	83.78%	0.60	1.10	0.66	1.21	0.45	1.15	0.02	0.658	0.736	1.235	1.298	0.977
32	3	3	86.48%	0.69	1.10	0.76	1.21	0.45	1.25	0.06	0.658	0.736	1.235	1.525	1.059
33	3	3	89.18%	0.80	1.10	0.88	1.21	0.45	1.35	0.12	0.658	0.736	1.341	1.797	1.150
34	6	6	91.88%	0.82	1.79	1.55	3.21	1.25	-0.19	0.11	1.651	2.405	1.462	2.138	2.258
35	6	6	94.58%	1.07	1.79	1.82	3.21	1.25	-0.17	0.03	1.551	2.405	1.612	2.568	2.500
36	6	6	97.28%	1.28	1.79	2.30	3.21	1.25	0.04	0.00	1.551	2.405	1.825	3.331	2.830
			Media		Suma	8.17	13.25	-19.45	0.00	31.25	0.00	11.16	0.00	45.07	12.86

Y media -0.541  
X media 0.241  
Pendiente b 1.1519  
Intercepto a -0.8185

Escala n	2.005
Forma β	1.152
M/g	1.936

Ajuste 0.00  
Se 0.9988 Error estándar del estimado o var usión o error típico  
r<sup>2</sup> 0.3215 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.5670 Coeficiente de correlación muestral







EQUIPO: MEZCLADOR Y ENFRIADOR No. 2

CORRECTIVOS  
CONFIABILIDAD

No. Datos	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$F(i) = \frac{i}{(N+1)}$	$\ln[\frac{i}{(N+1)}(1-F(i))]$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	X <sup>2</sup>	Y estimada	Yi - Y estimada	(Yi - Y estimada) <sup>2</sup>	Xi - X media	(Xi - X media) <sup>2</sup>	Yi - Y media	(Yi - Y media) <sup>2</sup>	(Xi - X media)(Yi - Y media)
1	6850	381	12.50%	-2.01	5.94	35.32	-1.53	-0.48	0.23	-1.630	2.658	-1.536	2.359	2.504
2	772.7	795	25.00%	-1.25	6.69	44.80	-1.08	-0.19	0.04	-0.895	0.801	-0.769	0.591	0.686
3	8253.5	796	37.50%	-0.76	6.68	44.62	-1.06	0.30	0.09	-0.864	0.769	-0.278	0.077	0.248
4	7378	930	50.00%	-0.37	6.84	46.72	-0.96	0.09	0.35	-0.739	0.545	0.111	0.012	-0.082
5	767	7143.5	62.50%	-0.02	8.87	78.75	0.37	-0.35	0.15	1.301	1.692	0.458	0.210	0.566
6		7672	75.00%	0.33	8.95	80.02	0.41	-0.05	0.01	1.372	1.883	0.804	0.646	1.103
7	906	6579.5	87.50%	0.73	9.06	82.03	0.48	0.25	0.06	1.484	2.202	1.209	1.463	1.795
		Media	50.00%											
Y media					Suma	-18.45	412.05	-3.34	0.00	0.00	10.58	0.00	5.36	6.95
X media														

-0.477

7.973

Pendiente b

Intercepto a

0.6477

-3.3826

0.00

0.4290

0.5283

0.9101

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

Escala n

Forma β

MTBMc

4065.003

0.648

9575.770

MANTENIBILIDAD

No. Datos	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(i) = \frac{i}{(N+1)}$	$\ln[\frac{i}{(N+1)}(1-F(i))]$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	X <sup>2</sup>	Y estimada	Yi - Y estimada	(Yi - Y estimada) <sup>2</sup>	Xi - X media	(Xi - X media) <sup>2</sup>	Yi - Y media	(Yi - Y media) <sup>2</sup>	(Xi - X media)(Yi - Y media)
1	2.3	1.5	14.29%	-1.87	0.41	0.16	-1.24	-0.63	0.40	-1.874	3.513	-1.401	1.962	2.625
2	1.5	2.3	28.57%	-1.09	0.83	0.69	-1.05	-0.03	0.00	-1.447	2.093	-0.620	0.385	0.897
3	117	3	42.86%	-0.55	1.16	1.21	-0.95	0.37	0.14	-1.191	1.395	-0.111	0.012	0.132
4	6	6	57.14%	-0.17	1.79	3.21	-0.67	0.50	0.25	-0.498	0.238	0.303	0.092	-0.149
5	3	117	71.43%	0.23	4.76	22.69	0.55	-0.32	0.10	2.482	6.163	0.694	0.482	1.724
6	120	120	85.71%	0.67	4.79	22.92	0.56	0.11	0.01	2.508	6.289	1.135	1.289	2.846
		Media	59.00%											
Y media					Suma	1.66	50.87	-2.81	0.91	0.00	19.69	0.00	4.72	0.08
X media														

-0.469

2.260

Pendiente b

Intercepto a

0.4101

-1.4040

0.00

0.4767

0.7847

0.8558

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

0.00

Escala n

Forma β

MTTR

30.671

0.410

95.275

PLANEADOS  
CONFIABLIDAD

No. Datos	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas o demoras de menor a mayor	F(t)/[N+1]	$\ln\{L_n[1/(1-F(t))]\}$ Y de la Regresión	$\ln X$	$X^{1/2}$	Y estimada	Y1 - Y estimada	(Y1 - Y estimada) <sup>2</sup>	X1 - X media	(X1 - X media) <sup>2</sup>	Y1 - Y media	(Y1 - Y media) <sup>2</sup>	(X1 - X media)/(Y1 - Y media)
1	368	368	2.70%	-3.60	-21.25	34.91	-4.43	0.83	0.69	-0.679	0.461	-3.936	0.340	2.076
2	598	598	5.41%	-2.89	-18.48	40.90	-1.64	-1.25	1.56	-0.192	0.037	-2.349	5.518	0.451
3	627	627	8.11%	-2.47	-15.91	41.49	-1.38	-1.09	1.19	-0.146	0.021	-1.829	3.722	0.282
4	740.5	740.5	10.81%	-2.17	-13.32	43.66	-0.43	-1.74	3.03	0.020	0.000	-1.627	2.647	-0.333
5	741	741	13.51%	-1.93	-12.75	43.66	-0.43	-1.50	2.26	0.020	0.000	-1.389	1.929	-0.228
6	741	741	16.22%	-1.73	-11.45	43.67	-0.42	-1.31	1.71	0.021	0.000	-1.191	1.418	-0.025
7	741	741	18.92%	-1.56	-10.32	43.67	-0.42	-1.14	1.30	0.021	0.000	-1.021	1.042	-0.021
8	741.5	741.5	21.57%	-1.41	-9.33	43.67	-0.42	-0.99	0.99	0.021	0.000	-0.871	0.759	-0.019
9	745	745	24.32%	-1.28	-8.45	43.74	-0.33	-0.86	0.78	0.028	0.001	-0.737	0.542	-0.019
10	746.5	746.5	27.03%	-1.15	-7.64	43.76	-0.38	-0.77	0.60	0.028	0.001	-0.614	0.377	-0.017
11	746.5	746.5	29.73%	-1.04	-6.89	43.76	-0.38	-0.66	0.44	0.028	0.001	-0.501	0.251	-0.014
12	748.5	748.5	32.43%	-0.94	-6.19	43.76	-0.38	-0.56	0.31	0.028	0.001	-0.385	0.156	-0.011
13	749	749	35.14%	-0.84	-5.54	43.81	-0.36	-0.48	0.23	0.031	0.001	-0.295	0.088	-0.009
14	749	749	37.84%	-0.74	-4.92	43.81	-0.36	-0.38	0.15	0.031	0.001	-0.202	0.041	-0.005
15	749	749	40.54%	-0.65	-4.33	43.81	-0.36	-0.29	0.09	0.031	0.001	-0.113	0.013	-0.004
16	749	749	43.24%	-0.57	-3.76	43.81	-0.36	-0.21	0.04	0.031	0.001	-0.027	0.001	-0.001
17	749	749	45.95%	-0.49	-3.22	43.81	-0.36	-0.12	0.02	0.031	0.001	0.055	0.003	0.002
18	751	751	48.65%	-0.41	-2.69	43.84	-0.35	-0.06	0.00	0.034	0.001	0.135	0.018	0.005
19	751	751	51.35%	-0.33	-2.17	43.84	-0.35	0.02	0.00	0.034	0.001	0.213	0.046	0.007
20	751	751	54.05%	-0.25	-1.66	43.84	-0.35	0.09	0.01	0.034	0.001	0.290	0.084	0.010
21	751	751	56.76%	-0.18	-1.17	43.84	-0.35	0.17	0.03	0.034	0.001	0.365	0.133	0.012
22	751	751	59.46%	-0.10	-0.68	43.84	-0.35	0.24	0.06	0.034	0.001	0.439	0.183	0.015
23	751	751	62.16%	-0.03	-0.19	43.84	-0.35	0.32	0.10	0.034	0.001	0.513	0.263	0.017
24	751	751	64.86%	0.04	0.30	43.84	-0.35	0.39	0.15	0.034	0.001	0.586	0.343	0.020
25	751	751	67.57%	0.12	0.79	43.84	-0.35	0.46	0.22	0.034	0.001	0.660	0.435	0.022
26	751	751	70.27%	0.19	1.28	43.84	-0.35	0.54	0.29	0.034	0.001	0.734	0.539	0.024
27	751	751	72.97%	0.27	1.78	43.84	-0.35	0.61	0.38	0.034	0.001	0.810	0.656	0.028
28	751	751	75.69%	0.35	2.29	43.84	-0.35	0.69	0.48	0.034	0.001	0.887	0.787	0.030
29	751	751	78.39%	0.43	2.82	43.84	-0.35	0.77	0.60	0.034	0.001	0.967	0.936	0.033
30	751	751	81.09%	0.51	3.36	43.84	-0.35	0.86	0.73	0.034	0.001	1.051	1.104	0.036
31	751	751	83.78%	0.60	3.90	43.84	-0.35	0.94	0.89	0.034	0.001	1.139	1.299	0.039
32	751	751	86.49%	0.69	4.59	43.84	-0.35	1.04	1.08	0.034	0.001	1.235	1.525	0.042
33	781	781	89.19%	0.80	5.29	43.84	-0.35	1.15	1.31	0.034	0.001	1.341	1.797	0.046
34	751	751	91.89%	0.92	6.10	43.84	-0.35	1.27	1.61	0.034	0.001	1.462	2.138	0.050
35	751	751	94.59%	1.07	7.09	43.84	-0.35	1.42	2.01	0.034	0.001	1.612	2.598	0.055
36	751	751	97.30%	1.28	8.50	43.84	-0.35	1.63	2.66	0.034	0.001	1.825	3.331	0.062
Media														
Y media	-0.541													
X media	6.587													
Pendiente b	5.7248													
Intercepto a	-38.2521													
Ajuste	0.00													
Se	0.9073													
r <sup>2</sup>	0.3928													
r	0.6265													

Suma	-125.15	1662.69	-19.48	0.00	27.89	0.00	0.55	0.00	48.07	3.16				
Escala n														
Farena B														
MTBmp														

Ajuste 0.00  
 Se 0.9073 Error estándar del estimado o variación o error lógico  
 r<sup>2</sup> 0.3928 Coeficiente de determinación muestral  
 r 0.6265 Coeficiente de correlación múltiple



CORRECTIVOS  
CONFIDABILIDAD

No. Datos j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$F(j)/(n+1)$	$\ln[\ln(1/(1-F(j)))]$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj <sup>2</sup>	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	2337	268	12.50%	-2.01	5.59	-11.26	31.26	-1.80	-0.21	0.04	-1.943	3.776	-1.536	2.359	2.985
2	3076	559	25.00%	-1.25	6.33	-7.08	40.02	-1.50	0.05	0.00	-1.208	1.460	-0.769	0.591	0.928
3	10800	874	37.50%	-0.76	6.77	-5.11	45.87	-1.00	0.24	0.06	-0.761	0.579	-0.278	0.077	0.211
4	3366.55	2392	50.00%	-0.37	7.79	-2.85	60.53	-0.31	-0.05	0.00	0.245	0.060	0.111	0.012	0.027
5	269.55	3073	62.50%	-0.02	8.03	-0.16	64.49	-0.14	0.12	0.01	0.498	0.246	0.458	0.210	0.227
6		8262	75.00%	0.33	9.02	2.95	81.36	0.53	-0.21	0.04	1.485	2.206	0.904	0.818	1.194
7	880.5	10016	87.50%	0.73	9.22	6.75	85.01	0.67	0.06	0.00	1.686	2.841	1.209	1.463	2.039
			Media												
Y media															
X media															
Pendiente b															
Intercepto a															

Suma	-17.56	408.52	-3.34	0.00	0.17	0.00	11.17	0.00	5.36	7.61
------	--------	--------	-------	------	------	------	-------	------	------	------

Y media -0.477  
X media 7.534  
Pendiente b 0.5815  
Intercepto a -5.9123

Escala n	3769.346
Forma β	0.692
MTBMc	4697.963

Ajuste 0.00  
Se 0.1647 Error estándar del estimado o variación o error típico  
r<sup>2</sup> 0.9882 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.9940 Coeficiente de correlación múltiple

## MANTENIBILIDAD

No. Datos j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(j)/(n+1)$	$\ln[\ln(1/(1-F(j)))]$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj <sup>2</sup>	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	2	2	14.29%	-1.07	0.69	-1.30	0.48	-1.93	0.06	0.00	-1.498	2.243	-1.401	1.962	2.099
2	17	6.5	28.57%	-1.09	1.87	-2.04	3.50	-0.78	-0.31	0.10	-0.319	0.102	-0.820	0.365	0.199
3	0.78	0.75	42.86%	-0.58	2.28	-1.32	5.19	-0.38	-0.20	0.04	0.887	0.807	-0.111	0.012	-0.010
4	31.75	10.5	57.14%	-0.17	2.36	-0.39	5.53	-0.31	0.19	0.02	0.161	0.026	0.303	0.092	0.049
5	6.5	12	71.43%	0.23	2.48	0.56	6.17	0.18	0.41	0.17	0.294	0.087	0.694	0.482	0.204
6	10.5	32	85.71%	0.67	3.47	2.31	12.01	0.77	-0.11	0.01	1.275	1.626	1.135	1.288	1.447
			Media												
Y media															
X media															
Pendiente b															
Intercepto a															

Y media -0.469  
X media 2.191  
Pendiente b 0.9745  
Intercepto a -2.6039

Escala n	14.469
Forma β	0.875
MTTR	14.633

Ajuste 0.00  
Se 0.2502 Error estándar del estimado o variación o error típico  
r<sup>2</sup> 0.9932 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.9993 Coeficiente de correlación múltiple



EQUIPO: MOTOR FORZADO No. 3

CORRECTIVOS  
CONFIABILIDAD

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$F(t_j)/(N+1)$	$\ln[\ln^*(1-F(t_j))]$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)(Yj - Y media)
1	2368	2368	25.00%	-1.25	7.77	-9.89	60.37	-1.10	-0.15	0.02	-0.916	0.839	-0.817	0.668	0.749
2	4754	4754	50.00%	-0.37	8.47	-3.10	71.69	-0.69	0.22	0.05	-0.219	0.048	0.062	0.004	-0.014
3	18418	18418	75.00%	0.33	9.82	3.21	96.45	0.40	-0.08	0.01	1.195	1.269	0.795	0.570	0.957
		Media	50.00%		Suma	-9.58	228.51	-1.29	0.00	0.08	0.00	2.18	0.00	1.24	1.59

Y media -0.429  
X media 6.686  
Pendiente b 0.7319  
Intercepto a -6.7854

Escala n	10630.095
Forma β	0.732
MTTR	12922.282

Ajuste 0.00  
Se 0.2771 Error estándar del estimado o variación o error típico  
r^2 0.9392 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.9686 Coeficiente de correlación múltiple

MANTENIBILIDAD

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(t_j)/(N+1)$	$\ln[\ln^*(1-F(t_j))]$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj^2	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada)^2	Xj - X media	(Xj - X media)^2	Yj - Y media	(Yj - Y media)^2	(Xj - X media)(Yj - Y media)
1	30	1.9	35.35%	-0.90	0.47	-0.42	0.22	-0.90	0.00	0.00	-1.466	2.146	-0.498	0.248	-0.730
2	1.6	30	66.67%	0.09	3.40	0.32	11.57	0.09	0.00	0.00	1.466	2.146	0.498	0.248	0.730
		Media	50.00%		Suma	-0.10	11.79	-0.81	0.00	0.00	0.00	4.30	0.00	0.50	1.46

Y media -0.404  
X media 1.936  
Pendiente b 0.3401  
Intercepto a -1.0625

Escala n	22.751
Forma β	0.340
MTTR	126.773

Ajuste 0.00  
Se 0.0000 Error estándar del estimado o variación o error típico  
r^2 1.0000 Coeficiente de determinación muestral  
r 1.0000 Coeficiente de correlación múltiple



EQUIPO: EXTRUSORA No. 3

**CORRECTIVOS**  
**CONFIAZLIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$F(i)/(N+1)$	$\ln(\ln(1/(1-F(i))))$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj <sup>2</sup>	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	492	492	9.09%	-2.35	6.20	-14.57	38.42	-1.36	-0.69	0.97	-1.038	1.078	-1.885	3.443	-1.927
2	717	717	18.18%	-1.61	6.98	-10.95	43.23	-1.05	-0.56	0.31	-0.662	0.438	-1.111	1.234	-0.735
3	788.5	788.5	27.27%	-1.14	7.68	-7.63	44.49	-0.97	-0.17	0.03	-0.567	0.321	-0.549	0.421	-0.368
4	826	826	36.36%	-0.76	8.22	-5.33	45.11	-0.93	0.14	0.02	-0.520	0.271	-0.269	0.069	0.155
5	911	911	45.45%	-0.30	8.81	-3.41	46.44	-0.85	0.35	0.12	-0.422	0.178	-0.065	0.000	0.002
6	1045	1045	54.55%	0.01	9.95	-1.85	49.33	-0.73	0.50	0.25	-0.285	0.081	0.289	0.066	-0.073
7	1111.5	1111.5	63.64%	0.01	7.01	0.00	49.19	-0.68	0.69	0.48	-0.223	0.050	0.507	0.257	-0.113
8	1638.5	1638.5	72.73%	0.26	7.40	1.84	54.78	-0.36	0.62	0.36	0.165	0.027	0.767	0.573	0.125
9	6008	6008	81.82%	0.53	8.70	4.64	75.70	0.73	-0.20	0.04	1.464	2.143	1.029	1.058	1.406
10	11222	11222	90.91%	0.87	9.33	8.16	86.97	1.25	-0.38	0.14	2.089	4.363	1.370	1.876	2.861
Media 50.00%															
Y media	-0.480					Suma	-28.34	532.66	-4.95	0.00	2.75	0.00	8.95	0.00	7.49
X media	7.237					Escala r	25.10.90%								
Pendiente b	0.8371					Forma β	0.837								
Intercepto a	-6.4528					MTBMC	27.59.48%								

Ajuste 0.00  
Se 0.9539 Error estándar del estimado o variación o error típico  
r<sup>2</sup> 0.6955 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.8340 Coeficiente de correlación múltiple

**MANTENIBILIDAD**

No. Dato j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(i)/(N+1)$	$\ln(\ln(1/(1-F(i))))$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	Xj * Yj	Xj <sup>2</sup>	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)*(Yj - Y media)
1	1000.5	2	10.00%	-2.25	0.89	-1.56	0.48	-1.72	-0.53	0.28	-2.622	6.873	-1.760	3.098	-4.615
2	240	4	20.00%	-1.40	1.39	-2.08	1.92	-1.49	-0.10	0.01	-1.929	3.719	-1.010	1.020	-1.947
3	11	6	30.00%	-1.03	2.08	-2.14	4.39	-1.07	0.04	0.00	-1.295	1.528	-0.541	0.292	-0.888
4	4	11	40.00%	-0.67	2.40	-1.61	5.75	-0.92	0.25	0.06	-0.917	0.841	-0.182	0.033	0.166
5	2	17	50.00%	-0.37	2.03	-1.04	8.03	-0.72	0.35	0.12	-0.402	0.232	0.124	0.015	-0.060
6	47	47	60.00%	-0.09	3.85	-0.34	14.82	-0.24	0.15	0.02	0.535	0.287	0.403	0.162	0.216
7	17	67	70.00%	0.19	4.20	0.70	17.86	-0.07	0.26	0.07	0.690	0.792	0.676	0.457	0.601
8	8	240	80.00%	0.48	5.46	2.61	30.04	0.63	-0.05	0.00	2.168	4.691	0.960	0.933	2.092
9	67	1000.5	90.00%	0.83	6.81	5.76	47.72	1.20	-0.37	0.14	3.563	12.612	1.324	1.753	4.753
Media 50.00%															
Y media	-0.480					Suma	0.38	130.77	-4.41	0.00	0.70	0.00	31.87	0.00	7.76
X media	3.315					Escala R	77.94%								
Pendiente b	0.4708					Forma β	0.471								
Intercepto a	-2.0507					MTTR	175.3%								

Ajuste 0.00  
Se 0.3164 Error estándar del estimado o variación o error típico  
r<sup>2</sup> 0.8098 Coeficiente de determinación muestral  
r 0.9538 Coeficiente de correlación múltiple



PLANEADOS  
MANTENIBILIDAD

No. Data	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(i) = i/(n+1)$	$\ln(\ln(1/(1-F(i))))$ Y de la Regresión	$\ln$ de datos X de la regresión	$X_i \cdot Y_i$	$X_i^2$	Y estimada	Yi - Y estimada	(Yi - Y estimada) <sup>2</sup>	Xi - X media	(Xi - X media) <sup>2</sup>	Yi - Y media	(Yi - Y media) <sup>2</sup>	(Xi - X media)(Yi - Y media)	
1	0.5	0.5	3.03%	-3.48	-0.69	2.41	0.48	-1.75	-1.73	2.99	-1.916	3.671	-2.943	8.662	-5.639	
2	0.5	0.5	6.06%	-2.77	-0.69	1.92	0.49	-1.75	-1.02	1.04	-1.916	3.671	-2.234	4.992	-4.281	
3	0.5	0.5	9.09%	-2.35	-0.69	1.63	0.48	-1.75	-0.60	0.36	-1.916	3.671	-1.813	3.286	-3.473	
4	0.5	0.5	12.12%	-2.05	-0.69	1.42	0.48	-1.75	-0.29	0.09	-1.916	3.671	-1.568	2.475	-2.899	
5	0.5	0.5	15.15%	-1.81	-0.69	1.25	0.48	-1.75	-0.05	0.00	-1.916	3.671	-1.288	1.658	-2.429	
6	0.5	0.5	18.18%	-1.61	-0.69	1.11	0.48	-1.75	0.15	0.02	-1.916	3.671	-1.065	1.141	-2.046	
7	0.5	0.5	21.21%	-1.43	-0.69	0.99	0.48	-1.75	0.32	0.10	-1.916	3.671	-0.805	0.648	-1.716	
8	0.5	0.5	24.24%	-1.28	-0.69	0.89	0.48	-1.75	0.47	0.22	-1.916	3.671	-0.743	0.553	-1.424	
9	0.5	0.5	27.27%	-1.14	-0.69	0.79	0.46	-1.75	0.61	0.37	-1.916	3.671	-0.695	0.486	-1.162	
10	0.5	0.5	30.30%	-1.02	-0.69	0.71	0.48	-1.75	0.73	0.54	-1.916	3.671	-0.481	0.231	-0.921	
11	0.5	0.5	33.33%	-0.90	-0.69	0.63	0.48	-1.75	0.85	0.72	-1.916	3.671	-0.365	0.133	-0.699	
12	2.5	2.5	36.36%	-0.79	0.92	-0.73	0.94	-0.73	-0.06	0.00	-0.368	0.094	-0.256	0.066	-0.076	
13	2.5	2.5	39.39%	-0.69	0.92	-0.63	0.84	-0.73	0.04	0.00	-0.368	0.094	-0.154	0.024	-0.047	
14	2.5	2.5	42.42%	-0.59	0.92	-0.54	0.84	-0.73	0.14	0.02	-0.368	0.094	-0.065	0.003	-0.017	
15	2.5	2.5	45.45%	-0.50	0.92	-0.46	0.84	-0.73	0.23	0.05	-0.368	0.094	0.037	0.001	-0.011	
16	2.5	2.5	48.48%	-0.41	0.92	-0.38	0.84	-0.73	0.32	0.10	-0.368	0.094	0.127	0.016	-0.039	
17	8	8	51.52%	-0.32	2.08	-0.67	4.32	0.01	-0.33	0.11	0.857	0.734	0.215	0.046	0.184	
18	8	8	54.55%	-0.24	2.08	-0.49	4.32	0.01	-0.24	0.06	0.857	0.734	0.300	0.090	0.257	
19	8	8	57.58%	-0.15	2.08	-0.32	4.32	0.01	-0.16	0.03	0.857	0.734	0.384	0.148	0.329	
20	8	8	60.61%	-0.07	2.08	-0.15	4.32	0.01	-0.08	0.01	0.857	0.734	0.467	0.218	0.400	
21	8	8	63.64%	0.01	2.08	0.02	4.32	0.01	0.01	0.00	0.857	0.734	0.550	0.302	0.471	
22	9	9	66.67%	0.09	2.20	0.21	4.83	0.08	0.01	0.00	0.975	0.950	0.632	0.399	0.616	
23	9	9	69.70%	0.18	2.20	0.39	4.83	0.08	0.10	0.01	0.975	0.950	0.715	0.512	0.697	
24	9	9	72.73%	0.26	2.20	0.58	4.83	0.08	0.18	0.03	0.975	0.950	0.800	0.640	0.779	
25	9	9	75.76%	0.35	2.20	0.77	4.83	0.08	0.27	0.07	0.975	0.950	0.887	0.786	0.864	
26	9	9	78.79%	0.44	2.20	0.96	4.83	0.08	0.36	0.13	0.975	0.950	0.977	0.954	0.952	
27	18.5	18.5	81.82%	0.53	2.92	1.56	8.51	0.54	0.00	0.00	1.695	2.873	1.071	1.148	1.816	
28	18.5	18.5	84.85%	0.64	2.92	1.85	8.51	0.54	0.10	0.01	1.695	2.873	1.173	1.376	1.988	
29	18.5	18.5	87.88%	0.75	2.92	2.16	8.51	0.54	0.21	0.04	1.695	2.873	1.285	1.651	2.176	
30	43	43	90.91%	0.87	3.76	3.29	14.15	1.07	-0.20	0.04	2.538	6.444	1.413	1.995	3.586	
31	43	43	93.94%	1.03	3.76	3.89	14.15	1.07	-0.04	0.00	2.538	6.444	1.569	2.461	3.966	
32	91	91	96.97%	1.25	4.51	9.69	20.35	1.65	-0.30	0.09	3.288	10.812	1.790	3.203	5.885	
Meq: 50.00%																
Y media	-0.638					Suma	30.71	128.42	-17.22	0.90	7.26	0.00	81.56	0.00	40.09	61.76
X media	1.223															
Pendiente b	0.6344															
Intercepto a	-1.3137															
Ajuste	0.00															
Se	0.4916															
r <sup>2</sup>	0.6190															
r	0.9050															

Escala η	7.931
Forma β	0.634
Mp	11.139

Ajuste 0.00  
 Se 0.4916 Error estándar del estimado o variación o error típico  
 r<sup>2</sup> 0.6190 Coeficiente de determinación muestral  
 r 0.9050 Coeficiente de correlación múltiple

EQUIPO: CORTADORA DE PELLETT No. 3

CORRECTIVOS  
CONFIABILIDAD

No. Data j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$F(j)/(N+1)$	$\ln[\ln(1/(1-F(j)))]$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	$X_j \cdot Y_j$	$X_j^2$	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)(Yj - Y media)
1	7580	7275.88	25.00%	-1.25	8.89	-11.08	79.07	-0.93	-0.31	0.10	-0.107	0.011	-0.817	0.668	0.087
2	7275.88	7560	50.00%	-0.37	8.93	-3.27	79.82	-0.73	0.37	0.14	-0.064	0.004	0.062	0.004	-0.004
3	9503.88	9603.88	75.00%	0.33	8.17	3.00	84.09	0.36	-0.06	0.00	0.171	0.029	0.755	0.570	0.129
		Media	50.00%												
Y media		-0.429				Suma	-11.36	242.09	-1.29	0.24	0.00	0.04	0.00	1.24	0.21
X media		8.999													
Pendiente b		4.7423													
Intercepto a		-43.1037													

Escala n	8059.750
Forma β	4.742
MTBMc	8109.832

Ajuste 0.00  
 Se 0.4854 Error estándar del estimado o variación o error típico  
 r<sup>2</sup> 0.8104 Coeficiente de determinación muestral  
 r 0.9002 Coeficiente de correlación múltiple

MANTENIBILIDAD

No. Data j	Datos de operación sin fallas en horas	Datos de operación sin fallas ordenados de menor a mayor	$M(j)/(N+1)$	$\ln[\ln(1/(1-F(j)))]$ Y de la Regresión	Ln de datos X de la regresión	$X_j \cdot Y_j$	$X_j^2$	Y estimada	Yj - Y estimada	(Yj - Y estimada) <sup>2</sup>	Xj - X media	(Xj - X media) <sup>2</sup>	Yj - Y media	(Yj - Y media) <sup>2</sup>	(Xj - X media)(Yj - Y media)
1	2.2	2.2	25.00%	-1.25	0.78	-0.98	0.82	-0.94	-0.30	0.09	-0.748	0.559	-0.817	0.668	0.611
2	15.2	3	50.00%	-0.37	1.10	-0.40	1.21	-0.73	0.36	0.13	-0.438	0.191	0.062	0.004	-0.027
3	3	15.2	75.00%	0.33	2.72	0.89	7.41	0.38	-0.06	0.00	1.185	1.405	0.755	0.570	0.995
		Media	50.00%												
Y media		-0.429				Suma	-0.50	9.23	-1.20	0.23	0.00	2.16	0.00	1.24	1.48
X media		1.526													
Pendiente b		0.6863													
Intercepto a		-1.4828													

Escala n	8.677
Forma β	0.686
MTTR	11.197

Ajuste 0.00  
 Se 0.4767 Error estándar del estimado o variación o error típico  
 r<sup>2</sup> 0.8171 Coeficiente de determinación muestral  
 r 0.9039 Coeficiente de correlación múltiple

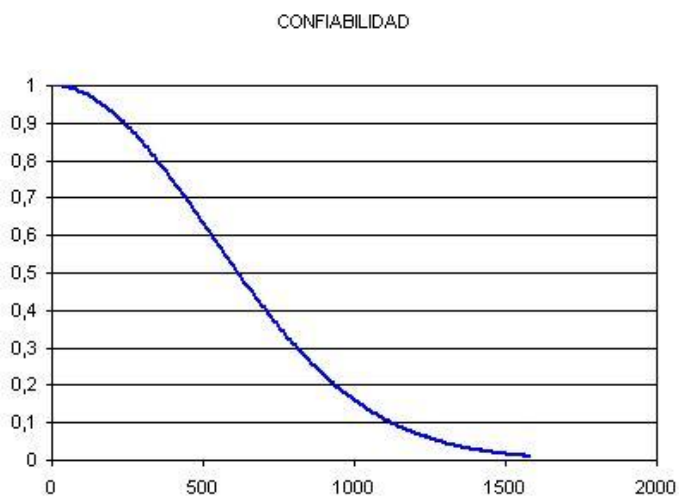




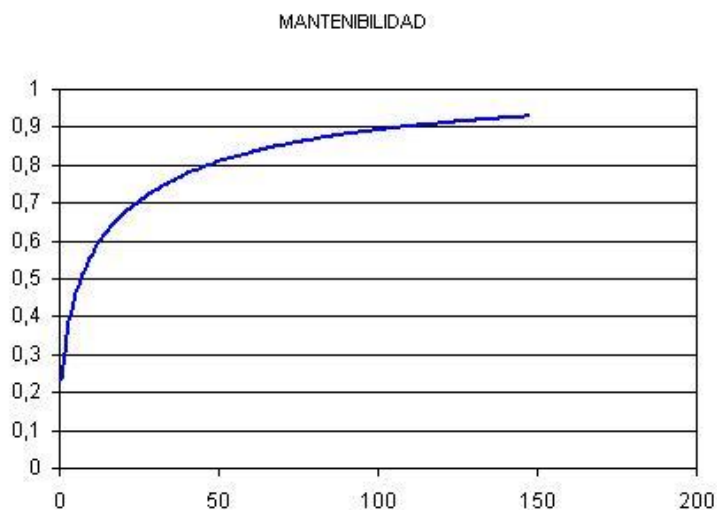
## ANEXO C. GRAFICAS DE CONFIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE PROPILCO S.A.

### Equipo: Reactor 1 C4001

Curva de confiabilidad datos correctivos

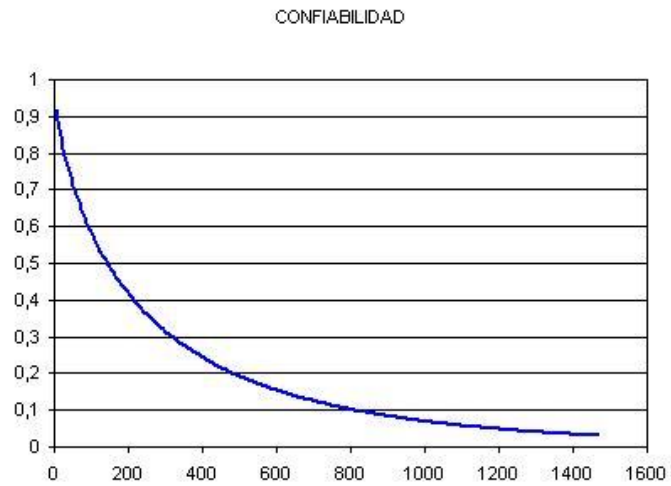


Curva de mantenibilidad datos correctivos



## Equipo: Tanque C5009

Curva de confiabilidad datos correctivos

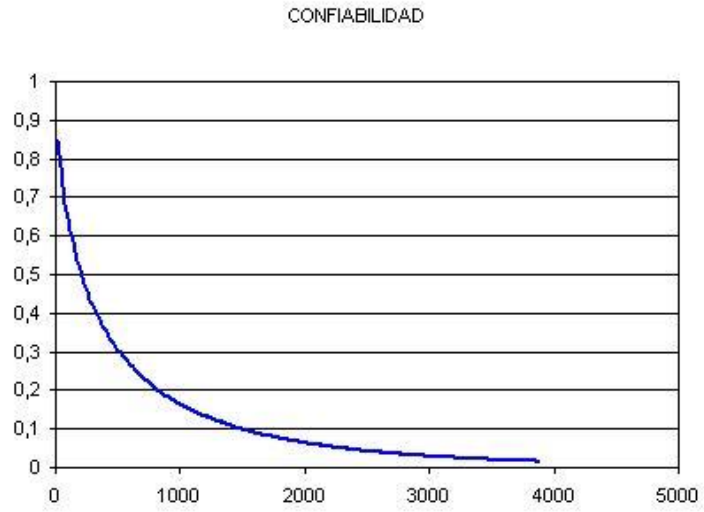


Curva de mantenibilidad datos correctivos



## Equipo: Motor M7004

Curva de confiabilidad datos correctivos

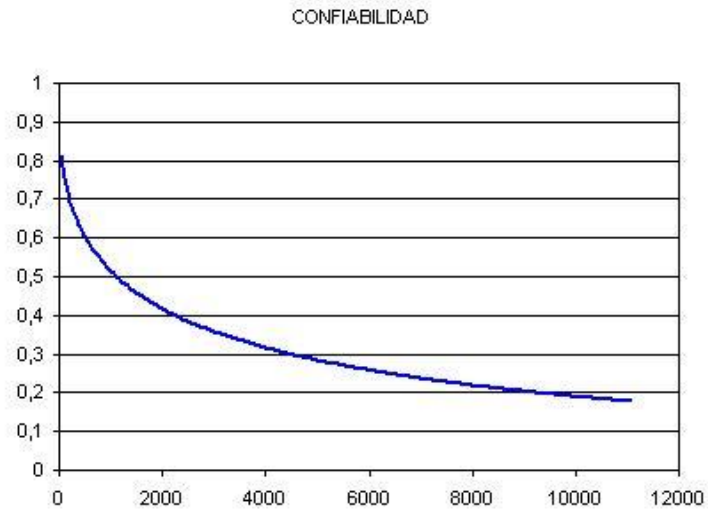


Curva de mantenibilidad datos correctivos

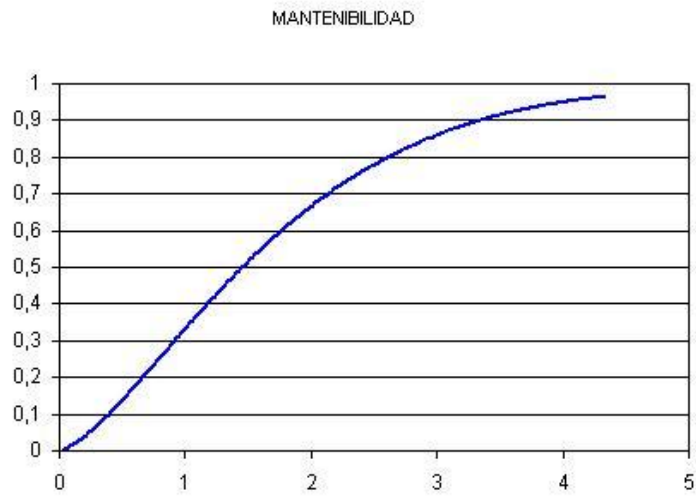


## Equipo: Mixer M7001

Curva de confiabilidad datos correctivos

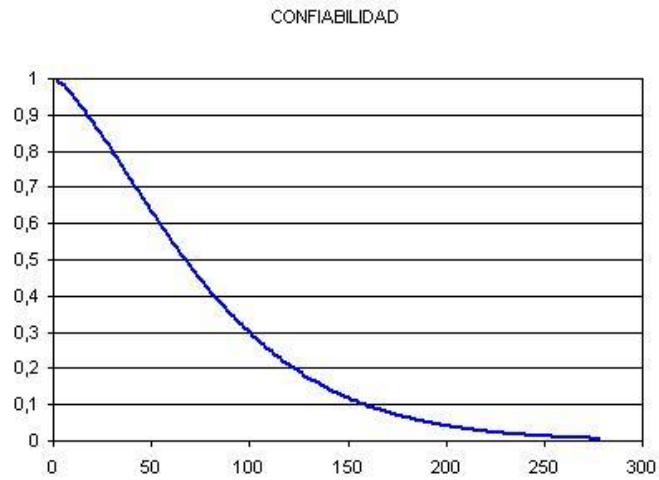


Curva de mantenibilidad datos correctivos

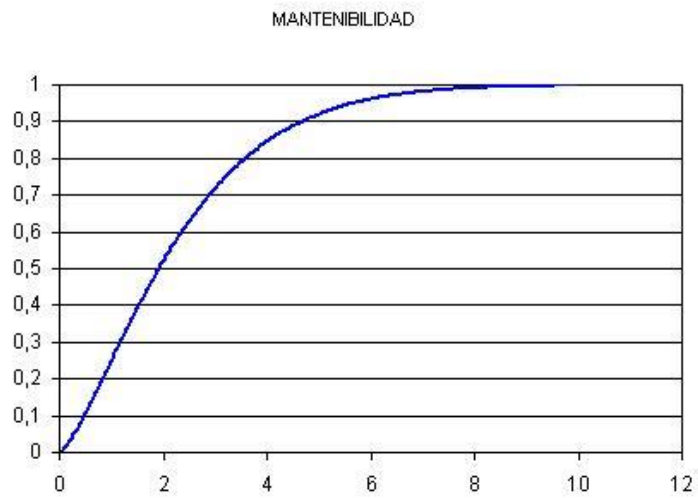


## Equipo: Empacadora

### Curva de confiabilidad datos correctivos



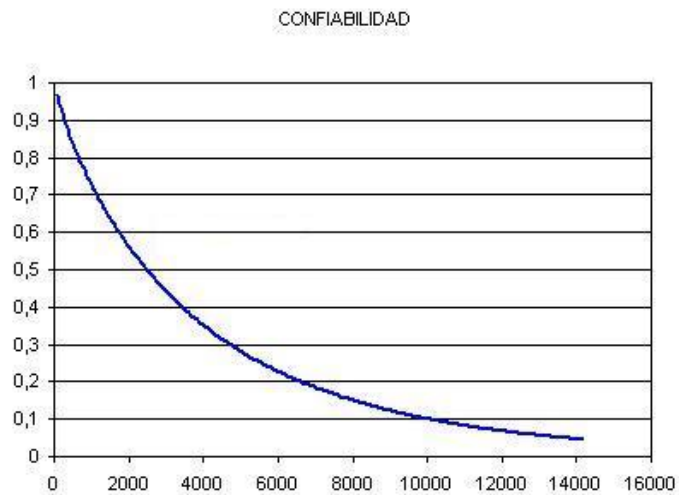
### Curva de mantenibilidad datos correctivos



## ANEXO D. GRAFICAS DE CONFIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE AJOVER S.A.

Equipo: Tolva de llenado de PVC No. 2

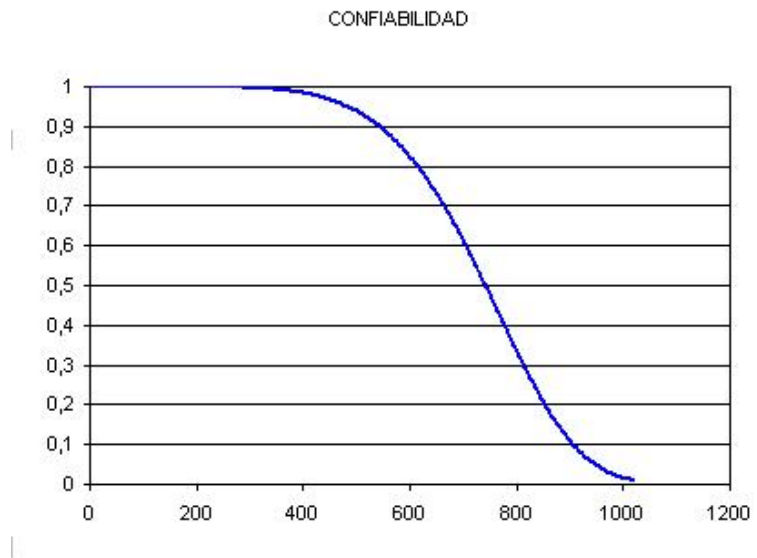
Curva de confiabilidad datos correctivos



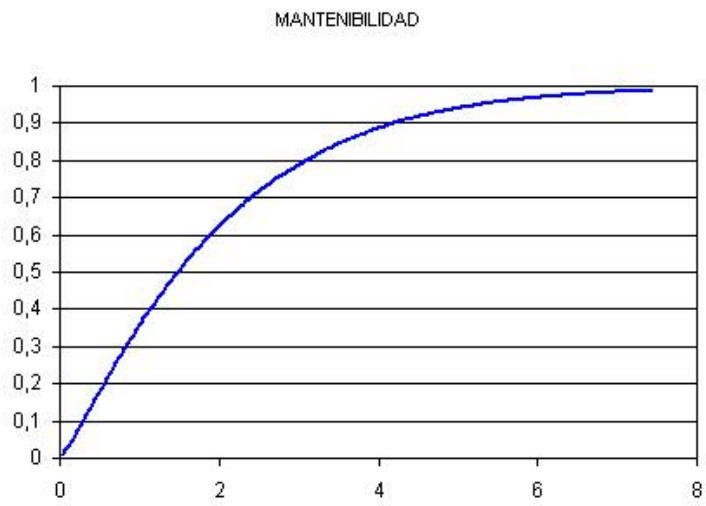
Curva de mantenibilidad datos correctivos



### Curva de confiabilidad datos planeados

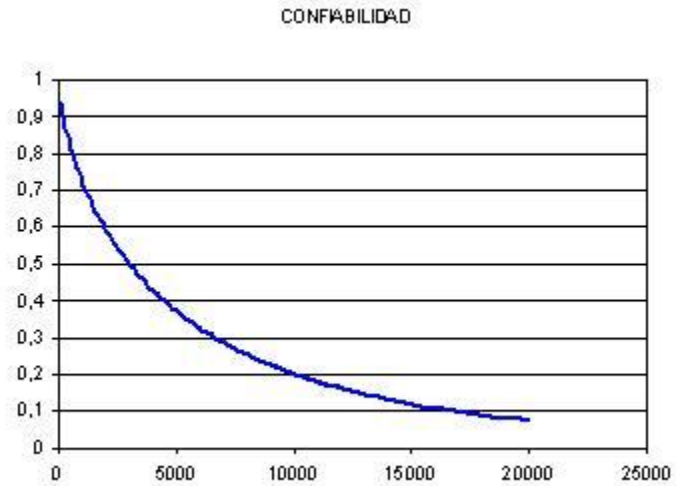


### Curva de mantenibilidad datos planeados

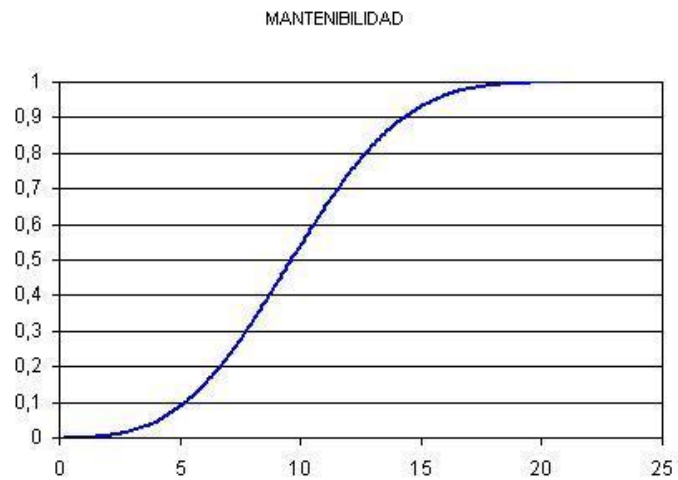


## Equipo: Tolva de líquidos menores No. 2

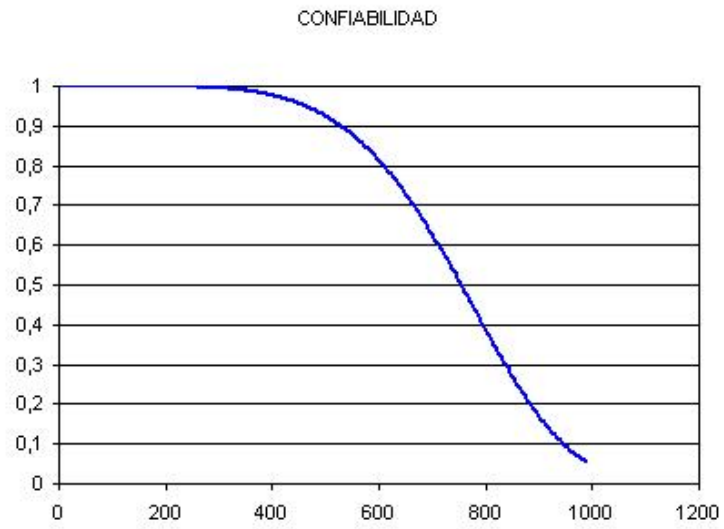
Curva de confiabilidad datos correctivos



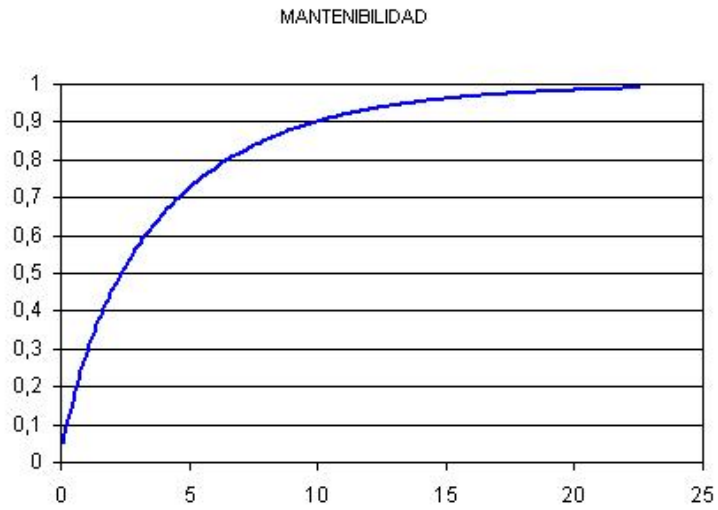
Curva de mantenibilidad datos correctivos



### Curva de confiabilidad datos planeados

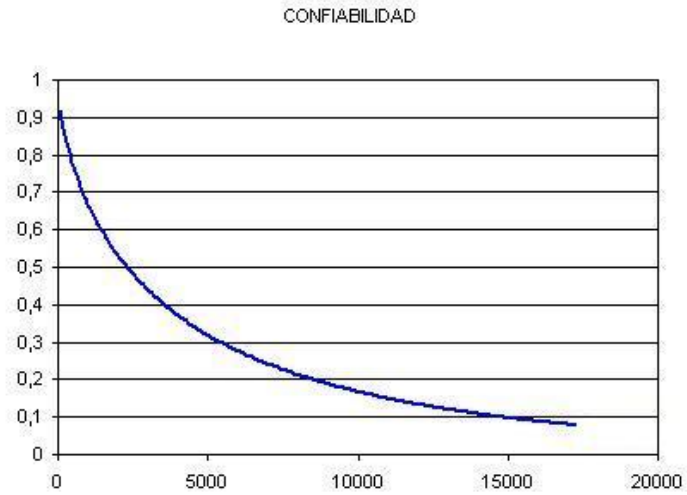


### Curva de mantenibilidad datos planeados



## Equipo: Mezclador y Enfriador No. 2

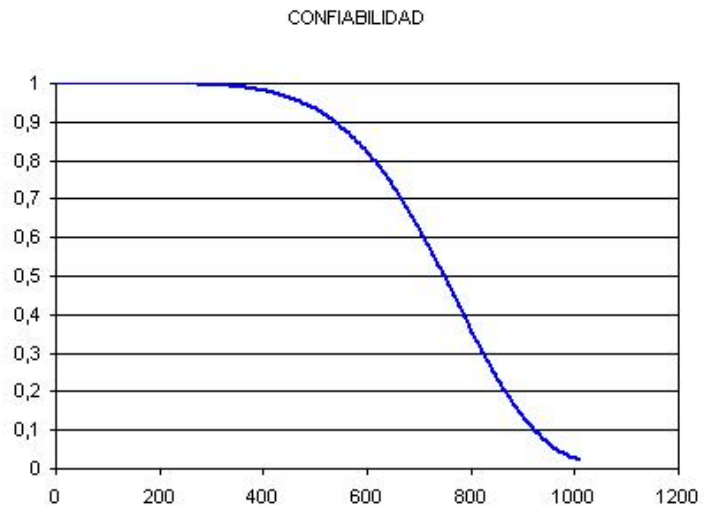
Curva de confiabilidad datos correctivos



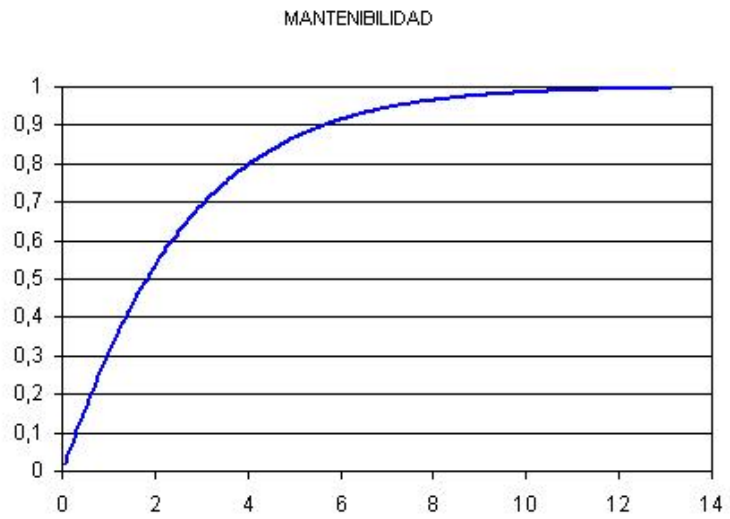
Curva de mantenibilidad datos correctivos



### Curva de confiabilidad datos planeados

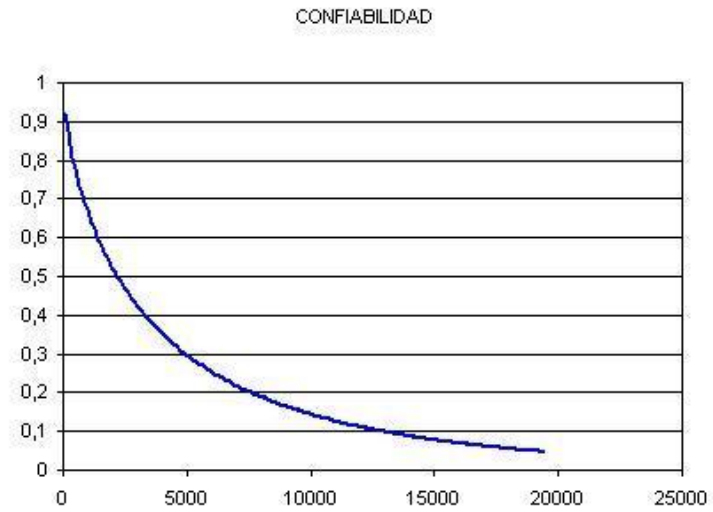


### Curva de mantenibilidad datos planeados

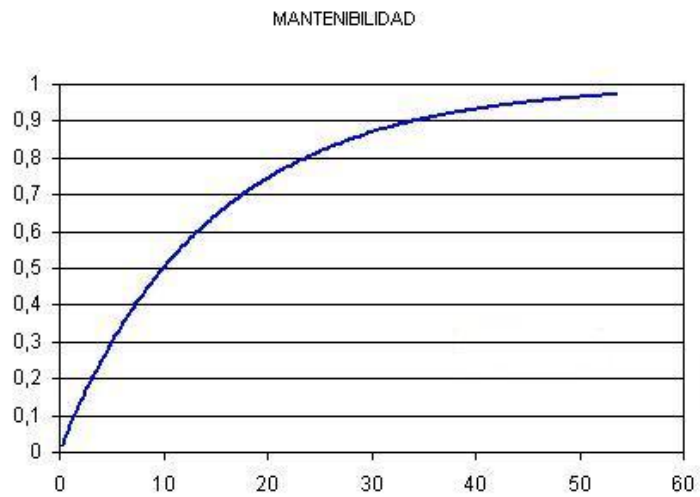


### Equipo: Tornillo de transporte No. 3

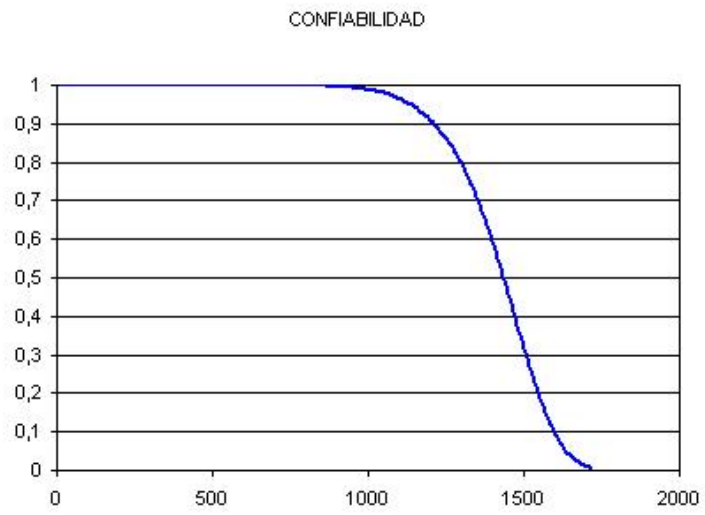
Curva de confiabilidad datos correctivos



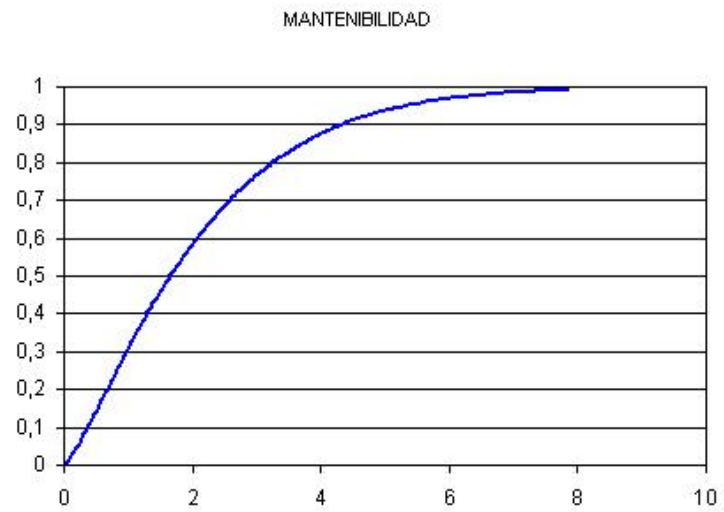
Curva de mantenibilidad datos correctivos



### Curva de confiabilidad datos planeados

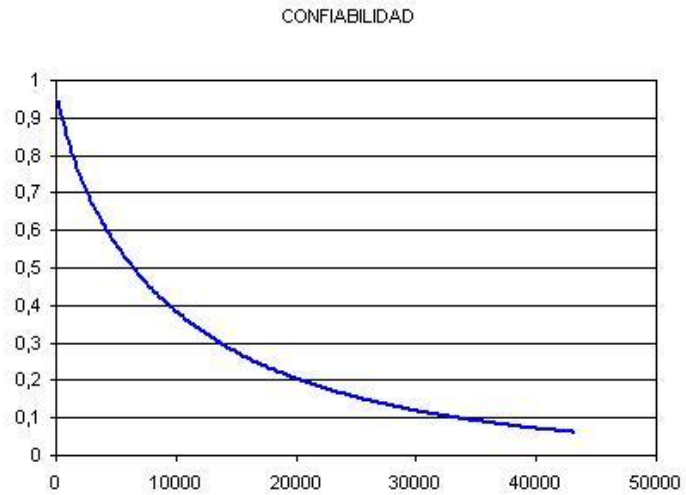


### Curva de mantenibilidad datos planeados

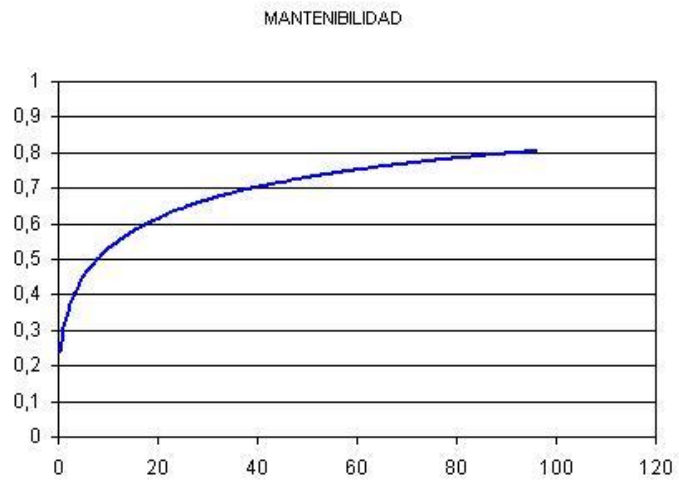


### Equipo: Motor forzado No. 3

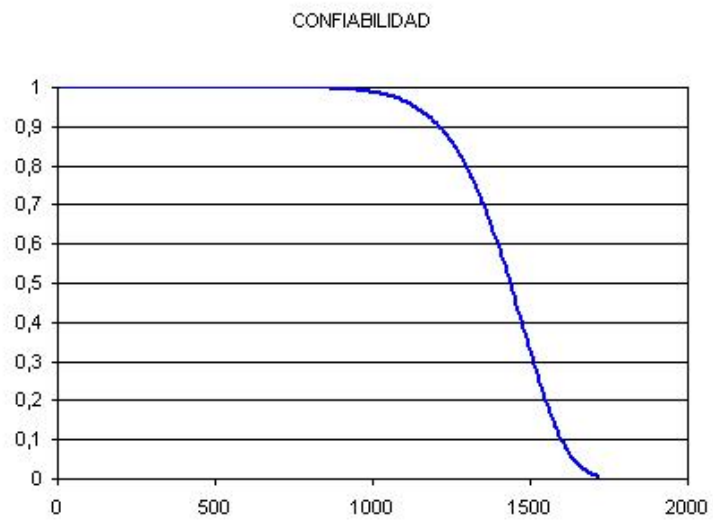
Curva de confiabilidad datos correctivos



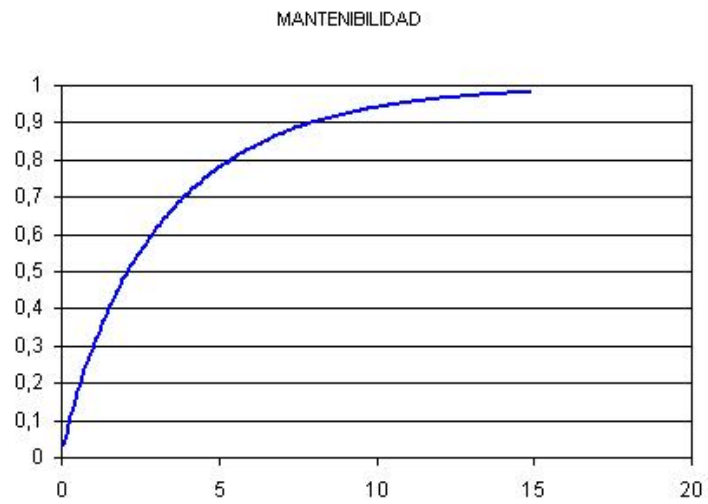
Curva de mantenibilidad datos correctivos



### Curva de confiabilidad datos planeados

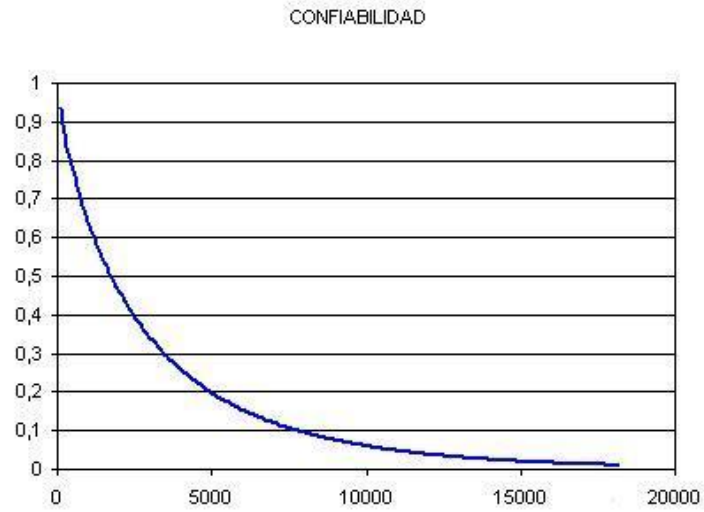


### Curva de mantenibilidad datos planeados

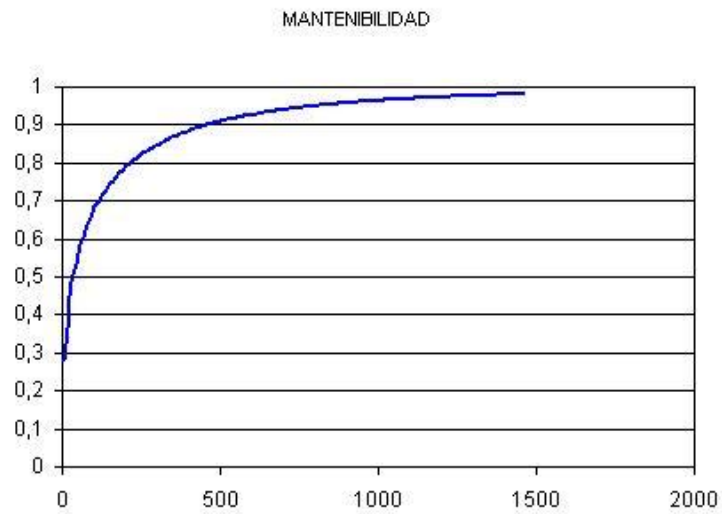


### Equipo: Extrusora No. 3

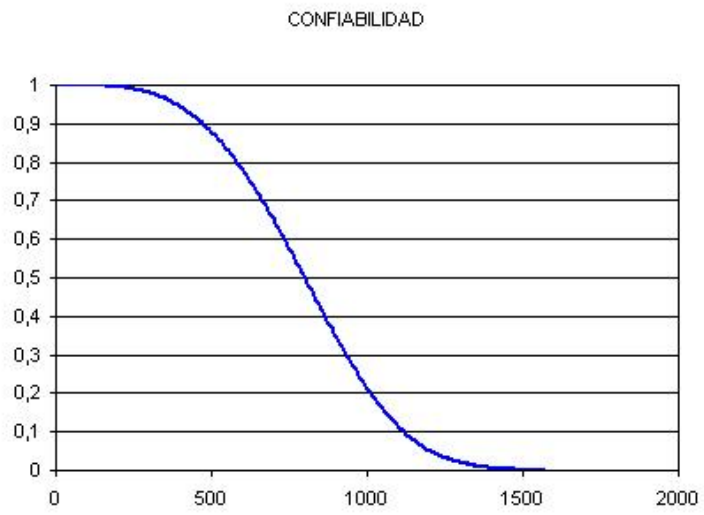
Curva de confiabilidad datos correctivos



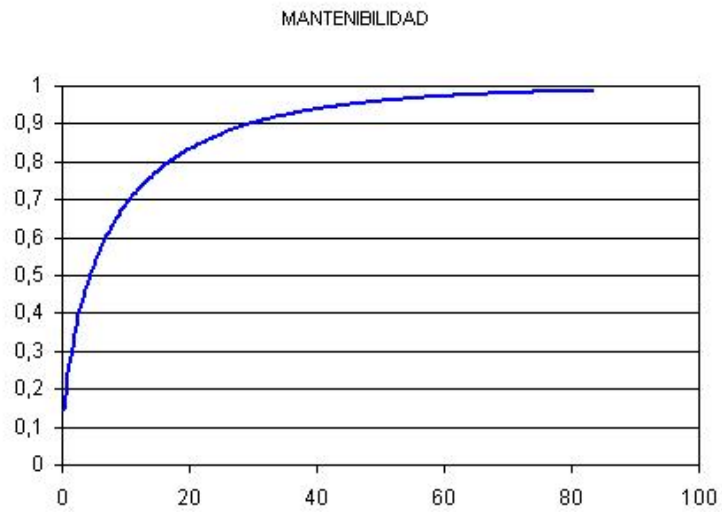
Curva de mantenibilidad datos correctivos



### Curva de confiabilidad datos planeados

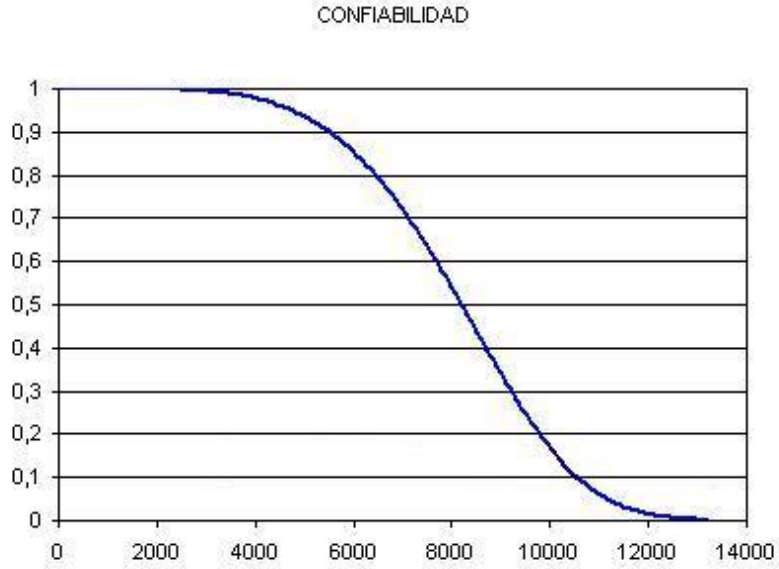


### Curva de mantenibilidad datos planeados



**Equipo: Cortadora de pellet No. 3**

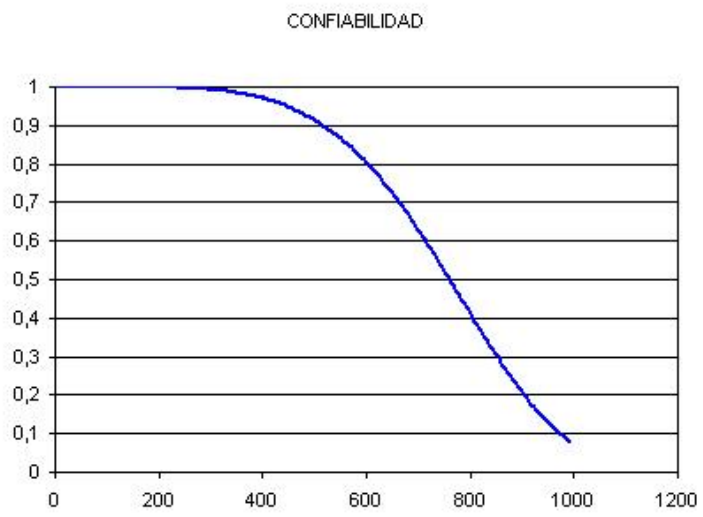
Curva de confiabilidad datos correctivos



Curva de mantenibilidad datos correctivos



### Curva de confiabilidad datos planeados



### Curva de mantenibilidad datos planeados

