

**ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LAS LÍNEAS DE  
PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA COMAI LTDA**

**YIRA MARÍA CRISMATT CAMPILLO**

**DARÍO ANDRÉS VALENCIA ARANGO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**MINOR GESTIÓN MODERNA DE LA PRODUCCIÓN**

**CARTAGENA D.T.Y.C**

**ABRIL 2012**

**ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LAS LÍNEAS DE  
PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA COMAI LTDA**

**YIRA MARÍA CRISMATT CAMPILLO**

**DARÍO ANDRÉS VALENCIA ARANGO**

**Monografía presentada como requisito para optar al título de**

**Ingeniero Industrial**

**Director**

**MIGUEL MARTELO**

**Ingeniero Industrial**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**MINOR GESTIÓN MODERNA DE LA PRODUCCIÓN**

**CARTAGENA D.T.C**

**2012**



Cartagena de Indias D. T y C. 10 de Marzo de 2012

Señores:

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
Ciudad

Respetados Señores:

Por medio de la presente manifestamos el interés y apoyo en el suministro de la información necesaria para el desarrollo de la monografía titulada ***"Análisis de Confiabilidad y Disponibilidad de las Líneas de Producción en la Empresa Comai Ltda."***, a desarrollar por los estudiantes Yira María Crismatt Campillo y Darío Andrés Valencia Arango, en el marco del *Minor De Gestión Moderna de la Producción*, para optar al título de Ingenieros Industriales.

Cordialmente,

**Merly Torres Puertas**  
Jefe Administrativo

Compounding and Masterbatching Industry Ltda.

Zona Franca Industrial Marmora, Bodegas 7 y 8 Corm (5) 608 5862 - 608 5449 Fax, (5) 608 5658 A.A. 4156  
Cartagena - Colombia

Cartagena de Indias D. T y C. 20 de Abril de 2012

**Señores:**

**COMITÉ EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

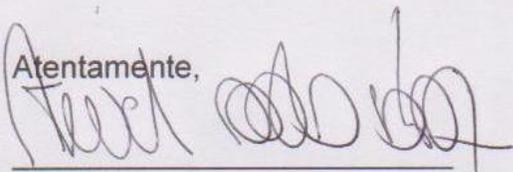
**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**La ciudad**

Respetados Señores:

Por medio de la presente me permito someter a su consideración la Monografía titulada ***“Análisis de Confiabilidad y Disponibilidad de las Líneas de Producción en la Empresa Comai Ltda.”***, desarrollada por los estudiantes Yira María Crismatt Campillo y Darío Andrés Valencia Arango, en el marco del ***Minor De Gestión Moderna de La Producción***, como requisito para optar al título de Ingenieros Industriales, en la que me desempeñé cumpliendo la función de asesor.

Atentamente,



**Ing. Miguel Martelo**

Asesor

Cartagena de Indias D. T y C. 20 de Abril de 2012

**Señores:**

**COMITÉ CURRICULAR**

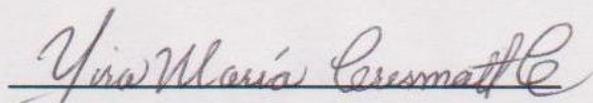
**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**La ciudad**

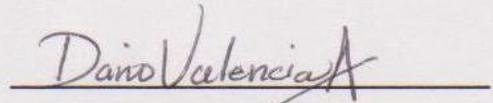
Respetados Señores:

Por medio de la presente nos permitimos someter a su consideración la Monografía titulada "**Análisis de Confiabilidad y Disponibilidad de las Líneas de Producción en la Empresa Comai Ltda.**", realizada en el marco del **Minor de Gestión Moderna de la Producción**" para optar al título de Ingenieros Industriales.

Atentamente,



Yira María Crismatt Campillo



Darío Andrés Valencia Arango

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN.....	1
1. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE MANTENIMIENTO.....	4
2.1.1. Primera generación del mantenimiento.....	4
2.1.2. Segunda generación del mantenimiento.....	5
2.1.3. Tercera generación del mantenimiento.....	7
2.1.4. Nuevas tendencias del mantenimiento: La Cuarta generación.....	7
2.2. TÉCNICAS Y FILOSOFÍAS DE MANTENIMIENTO MÁS UTILIZADAS.....	9
2.2.1. Mantenimiento autónomo / mantenimiento Productivo total (TPM):.....	9
2.2.2. Mejoramiento de la confiabilidad operacional (MCO).....	11
2.2.3. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) / (MCC).....	12
2.2.4. Mantenimiento basado en el riesgo (MBR).....	14

2.2.5.	Análisis casusa Raíz (ACR) .....	15
2.2.6.	Análisis de criticidad (AC).....	16
2.3.	PATRONES DE FALLO .....	18
2.4.	ESTRUCTURA DE TIEMPOS DE FALLA .....	22
2.4.1.	MTBF (Mean Time Between Failures).....	22
2.4.2.	MTTR (Mean time To Repair) .....	22
2.4.3.	Disponibilidad.....	23
2.5.	OEE .....	23
2.6.	DIAGRAMA DE PARETO .....	25
2.7.	MEDICIÓN DE LA CONFIABILIDAD .....	27
2.7.1.	La distribución de Weibull.....	27
3.	PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA COMAI LTDA .....	28
3.1.	RESEÑA HISTÓRCA .....	28
3.2.	APLICACIONES.....	30
3.3.	DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO.....	31
3.3.1.	Misión .....	31
3.3.2.	Visión.....	31
3.3.3.	Política Integrada:.....	31
3.4.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO .....	32
3.5.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS DE PRODUCCIÓN .....	34

4.	DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA.....	37
4.1.	DEFINICION DE INDICADORES .....	37
4.2.	EVOLUCION DE LOS INDIADORES GERENCIALES DEL AREA DE MANTENIMIENTO DURANTE LOS AÑOS 2010 Y 2011.....	40
4.3.	ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA COMAI LTDA .....	45
4.4.	IMPACTO ECONOMICO DE LAS FALLAS PRESENTADA EN LA LINEA Y7 DURANTE EL AÑO 2011 .....	53
5.	IDENTIFICACIÓN DE FALLAS PRIMARIAS EN LA LÍNEA DE PROCUCIÓN Y7...	54
5.1.	IMPACTO ECONOMICO DE LAS FALLAS PRESENTADAS EN LOS EQUIPOS CRITICOS DE LA LINEA Y7 .....	58
6.	PARAMETRIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE FALLAS DE EQUIPOS EN LA LÍNEA Y7 .....	60
7.	IMPACTO DE LA DISPONIBILIDAD SOBRE LA EFICIENCIA GLOBAL DE LOS EQUIPOS (OEE).....	69
8.	PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES PARA LA DISMINUCIÓN DE FALLOS POR PARADA DE LINEA.....	74
	CONCLUSIONES.....	76
	BIBLIOGRAFÍA.....	79

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Evaluación del OEE	24
<b>Tabla 2.</b> Componentes de disponibilidad, rendimiento y calidad	25
<b>Tabla 3.</b> Porcentaje en el cual cada familia de producto esta asociado a una línea.	48
<b>Tabla 4.</b> Contribución al margen de utilidad de la empresa, por líneas de producción.	49
<b>Tabla 5.</b> Contribución al volumen de producción por Línea.	49
<b>Tabla 6.</b> Determinación de los porcentajes de frecuencia y tiempo de fallas por líneas de fabricación.	50
<b>Tabla 7.</b> Imapacto Economico de las fallas presentados en la línea Y7 durante el año 2011	53
<b>Tabla 8.</b> Frecuencia de fallas entre los equipos que conforman la línea Y7	54
<b>Tabla 9.</b> Frecuencia de fallas por equipo Y7	56
<b>Tabla 10.</b> Parametrización de datos de falla de la peletizadora.	62
<b>Tabla 11.</b> Parametrización de datos de falla del alimentador 3	64

<b>Tabla 12.</b> Parametrización de datos de falla Sistema de agua de proceso.	65
<b>Tabla 13.</b> Parametrización de datos de falla Sistema de Barril principal de la extrusora.	66
<b>Tabla 14.</b> Parametrización de datos de falla Criba.	67
<b>Tabla 15.</b> Disponibilidad estimada año 2011 Comai Ltda.	70
<b>Tabla 16.</b> Estimación del OEE en la planta Comai Ltda.	71
<b>Tabla 17.</b> Resumen tiempo medio entre fallas arrojado por seguimiento de datos históricos en la empresa (horas)	74

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Beneficios del Mantenimiento Productivo Total TPM	10
<b>Figura 2.</b> Estructura de la Confiabilidad Operacional	11
<b>Figura 3.</b> Metodología del MBR	15
<b>Figura 4.</b> Análisis casusa Raíz (ACR)	16
<b>Figura 5.</b> Objetivos del Mantenimiento	17
<b>Figura 6.</b> Evolución de las técnicas de mantenimiento	18
<b>Figura 7.</b> Patrones de Tasas de Fallo	19
<b>Figura 8.</b> Participación Accionistas COMAI LTDA.	29
<b>Figura 9.</b> Aplicaciones Industriales Compuestos Plásticos y Masterbatches	30
<b>Figura 10.</b> Proceso de Fabricación de Masterbatches.	32
<b>Figura 11.</b> Back Log año 2010 Comai Ltda.	41
<b>Figura 12.</b> Back Log año 2011 Comai Ltda.	41

<b>Figura 13.</b> Comparativo Back Log año 2010-2011	41
<b>Figura 14.</b> Porcentaje por ordenes Correctivas año 2010 Comai Ltda.	42
<b>Figura 15.</b> Porcentaje por ordenes Correctivas año 2011 Comai Ltda.	42
<b>Figura 16.</b> Comparativo Porcentaje por ordenes Correctivas año 2010-2011.	42
<b>Figura 17.</b> Porcentaje de ordenes por Garantía año 2010 Comai Ltda.	43
<b>Figura 18.</b> Porcentaje de ordenes por Garantía año 2011 Comai Ltda.	43
<b>Figura 19.</b> Comparativo porcentaje de ordenes garantía año 2010-2011.	43
<b>Figura 20.</b> Porcentaje de ordenes por Fallas de Línea año 2010 Comai Ltda.	44
<b>Figura 21.</b> Porcentaje de ordenes por Falla de Línea año 2011 Comai Ltda.	44
<b>Figura 22.</b> Comparativo porcentaje de órdenes por Falla de Línea año 2010 - 2011	44
<b>Figura 23.</b> Contribución al margen por tipo de producto empresa Comai Ltda.	47
<b>Figura 24.</b> Diagrama de Pareto para frecuencia de fallas líneas de producción Comai Ltda.	51
<b>Figura 25.</b> Diagrama de Pareto para tiempo fuera de servicio líneas de Producción Comai Ltda.	51

<b>Figura 26.</b> Determinación de la Línea Crítica	52
<b>Figura 27.</b> Diagrama de Pareto Frecuencia de fallos por equipos Y7	55
<b>Figura 28.</b> Pareto tiempo fuera de servicio en los equipo de la línea Y7	57
<b>Figura 29.</b> Impacto de los equipos seleccionados sobre la frecuencia de Fallas y el tiempo fuera de servicio en la línea Y7	58
<b>Figura 30.</b> Estimación del OEE año 2011	72

## RESUMEN

El presente trabajo titulado *“Análisis de Confiabilidad y Disponibilidad de las Líneas de Producción en la Empresa Comai Ltda.”*, fue realizado con el fin de determinar las líneas de fabricación con un alto potencial de mejora dentro de la empresa, teniendo en cuenta como aspectos críticos: la frecuencia de fallas, el tiempo invertido en reparaciones por llamados de emergencia, su margen de contribución y el volumen de producción.

Como punto de partida para la generación de propuestas, se realizó un diagnóstico de la situación actual de la empresa teniendo en cuenta su direccionamiento estratégico y la influencia de los resultados evidenciados en los índices gerenciales del área de mantenimiento sobre los objetivos de la organización.

Con base a los criterios mencionados, siendo el periodo de estudio Enero del 2011 a Febrero del 2012 se seleccionó la línea de producción Y7. Teniendo en cuenta que el 60% de la frecuencia de fallas y el 52% del tiempo invertido en reparaciones de esta línea está representado por 5 de los equipos que la componen, se aplicó la distribución de Weibull para parametrizar el comportamiento de fallos y estimar sus tiempos medios de reparación y tiempos medios entre fallos.

El impacto de la disponibilidad de la línea crítica también fue medido dentro del indicador clave de desempeño OEE el cual fue estimado, con miras a identificar de qué manera incrementaría la capacidad de producción de la planta con la

reducción del porcentaje de tiempo fuera de servicio correspondiente a los equipos seleccionados.

**PALABRAS CLAVE:** Confiabilidad, indicadores de gestión, fallas, mantenimiento centrado en confiabilidad, distribución de Weibull, análisis estadístico de fallas.

## INTRODUCCIÓN

La empresa COMAI Ltda. Ubicada en la ciudad de Cartagena se ha caracterizado por la calidad existente en la amplia gama de compuestos de Polipropileno y masterbatches que son ofrecidos a sus clientes, siendo uno de los principales factores diferenciadores de la empresa en el mercado. Sin embargo, la evolución durante los años 2010 y 2011 de los indicadores gerenciales del área de mantenimiento en la empresa, muestran un aumento en el número de órdenes correctivas que han sido causa de paradas de línea, y un comportamiento tendiente a la realización de órdenes correctivas sobre las preventivas.

Viendo esta tendencia, la presente monografía se enfocará a proponer el uso de herramientas del área de confiabilidad dentro de los programas de mantenimiento preventivo de la empresa. La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación,<sup>1</sup> permitiendo aumentar la disponibilidad de los activos dentro de la línea de producción. La disponibilidad es la probabilidad de que una maquina o sistema este preparado para la producción en un periodo de tiempo determinado, es decir, que no este parado por averías o ajustes.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> KARDEK, A, NASCIF, J. Mantenimiento, Función Estratégica, CIP Brasil, Rio de Janeiro, 2002

<sup>2</sup> RODRIGUEZ, JORGE. Gestión del mantenimiento. Introducción a la teoría del mantenimiento. 2008.

Con base a los índices gerenciales del área de mantenimiento en el periodo referenciado anteriormente, la presente monografía esta enfocada a analizar los factores que impactan en la confiabilidad y disponibilidad de las líneas de producción en la empresa Comai Ltda. Para ello se realizará un diagnostico de cada una de estas líneas, con el fin de identificar aquella con mayor oportunidad de mejora basado en los siguientes criterios: frecuencia de fallas, tiempo invertido en reparaciones por llamados de emergencia, margen de contribución y volumen de producción aportado a la empresa.

A partir de la información disponible sobre la línea seleccionada, se identificarán los equipos que representan el mayor numero de fallas y tiempo invertido en reparaciones de emergencia, para realizar la parametrización de su comportamiento de fallos a través de la distribución de Weibull con lo cual se estimaran los tiempos promedios de reparación y entre fallos, de manera que se puedan establecer planes de mantenimiento preventivo basado en estos valores.

Finalmente se realizará la estimación de la disponibilidad y del OEE en la empresa basado en esta propuesta de mejora con el fin de medir el impacto de la disminución de los tiempos de fallo de la línea crítica sobre el OEE, de acuerdo a los equipos seleccionados.

# 1. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

## 1.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta de mejora enfocada al aumento de los niveles de confiabilidad y disponibilidad en la empresa Comai Ltda. basada en un análisis de criticidad de fallos en las líneas de producción, a través del uso de herramientas cobijadas por RCM con el fin de influir positivamente los índices gerenciales de mantenimiento.

## 1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnosticar la situación actual de la empresa Comai Ltda. en términos de confiabilidad y disponibilidad, a través de la elaboración de un análisis de criticidad de sus líneas de producción, para determinar hacia donde enfocar la propuesta de mejora.
  
- Identificar las fallas primarias que están afectando negativamente los índices gerenciales de la línea de producción con mayor criticidad, mediante la realización de un análisis de Pareto aplicado al histórico de fallas.
  
- Paramétrizar el comportamiento de las fallas primarias de la línea de producción seleccionada, a través del uso de la distribución de Weibull, con el fin de estimar los tiempos medios de ocurrencia de estos eventos.
  
- Elaborar una propuesta de mejora y recomendaciones enfocadas a reducir el número de fallos primarios evidenciados en la priorización y parametrización estadística realizada.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE MANTENIMIENTO

Con la llegada de la revolución industrial a finales del siglo XVIII y principios del XIX los cambios culturales, socioeconómicos y tecnológicos cambiaron la forma de hacer las cosas, dejando atrás el trabajo manual, para iniciar una era donde las maquinas desempeñarían un papel importante en la realización del trabajo, naciendo así la economía de la industria y la manufactura.

El desarrollo de nuevos equipos creó la necesidad de mantenerlos en buen estado con el fin de preservar su función, es decir, llevar a cabo las actividades por las que son requeridos; es a partir de esta época que nace el mantenimiento.

Jhon Moubray (1997) en su libro RCM II distingue entre tres generaciones diferentes de mantenimiento, a continuación una breve descripción de cada una de ellas:

#### 2.1.1. Primera generación del mantenimiento

Enmarcada en el periodo entre 1930 y la segunda guerra mundial, la primera generación se caracteriza por la poca mecanización de la industria, con lo cual los tiempos fuera de servicio no eran críticos, lo que llevaba a no dedicar esfuerzos en la prevención de fallos de equipos. Además al ser maquinaria muy simple, los equipos eran muy fiables y fáciles de reparar, por lo que no se hacían revisiones sistemáticas salvo las rutinarias de limpieza y lubricación. El único mantenimiento que se realizaba era el de reparar en caso de avería; es la época del ***mantenimiento correctivo***.

Características de esta generación son:

- Los equipos se llevaban a punto de falla, con graves consecuencias.
- Alto consumo de recursos.
- Altos niveles de inventarios de materiales, repuestos y equipo extra.
- Realización del mantenimiento con un mayor personal.
- Dificultad para realizar una medición de los costos incurridos durante el mantenimiento.<sup>3</sup>

### **2.1.2. Segunda generación del mantenimiento**

La segunda guerra mundial provocó un fuerte aumento de la demanda de toda clase de bienes. Este cambio unido al descenso en la oferta de mano de obra que causó la guerra, aceleró el proceso de mecanización de la industria.

Conforme aumentaba la mecanización, la industria comenzaba a depender de manera crítica del buen funcionamiento de la maquinaria. Esta dependencia provocó que el mantenimiento se centrara en buscar formas de prevenir los fallos y por tanto evitar o reducir los tiempos de parada forzadas de las máquinas. Con este nuevo enfoque, apareció el concepto de ***mantenimiento preventivo***; en la década de los sesenta este consistía fundamentalmente en realizar revisiones periódicas a la maquinaria a intervalos fijos.

Además se comenzaron a implementar sistemas de control y planificación del mantenimiento con el objetivo de controlar el aumento de sus costos y planificar las revisiones a intervalos fijos.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> GONZÁLES BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Principios de mantenimiento 2000. Posgrado en gerencia de mantenimiento Pág. 6.

El mantenimiento preventivo permitió a las empresas tener:

- Mayor disponibilidad de la maquinaria.
- Mayor duración de los equipos.
- Costos más bajos.

En esta época, para evitar fallas se hacían grandes paradas preventivas o de mantenimiento periódico, la frecuencia con la que se hacían las paradas eran definidas por las recomendaciones del fabricante o por experiencia propia y era medida por horas trabajadas o por unidades producidas.

Esto evitaba algunas fallas, pero al descuidar la inspección, se generaban daños prematuros. También se realizaban desmontajes con frecuencia innecesarios, y adicionado a que la precisión del montaje disminuía a través del tiempo, se provocaba que la eficiencia de la planta fuera disminuyendo, además se producían:

- Grandes paradas de planta.
- Se consumían altos recursos.
- Se necesitaba alta disponibilidad del personal.
- Se requerían altos inventarios.
- Se contaba con pocas herramientas predictivas.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> GARCIA, Javier. *“Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo”* [ en línea] Disponible en: < <http://www.iit.upcomillas.es/docs/TM-04-007.pdf>>  
Consulta: Abril 2 del 2012

<sup>5</sup> GONZÁLES BOHÓRQUEZ, Op., Cit., p 7

### **2.1.3. Tercera generación del mantenimiento**

Se inicio a mediados de la década de los años setenta, cuando se aceleraron los cambios a raíz del avance tecnológico y de las nuevas investigaciones. La mecanización y automatización siguieron aumentando, se operaba con volúmenes de producción muy elevados, cobraban mucha importancia los tiempos de parada debido a los costos por perdida de producción. Alcanzo mayor complejidad la maquinaria y aumento la dependencia a estas, se presentó una exigencia generalizada de producto y servicios de calidad, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente, consolidándose de esta manera el desarrollo del mantenimiento preventivo.

Las tendencias de mantenimiento para esta generación, permitieron a las empresas:

- Tener mayor *disponibilidad y confiabilidad*.
- Mayor seguridad.
- Protección del medio ambiente.
- Una mejor calidad de los productos.
- Mayor duración de los equipos.<sup>6</sup>

### **2.1.4. Nuevas tendencias del mantenimiento: La Cuarta generación**

Los conocimientos generados por las transformaciones de los últimos años, han venido acompañados de nuevos conceptos de mantenimiento y metodologías aplicadas a su gestión.

Hasta finales de la década de los noventa los desarrollos alcanzados en la tercera generación del mantenimiento incluían:

---

<sup>6</sup> Ibídem., p 7

- Herramientas de ayuda a la decisión, como estudios de riesgo, modos de falla y análisis de causas de fallos
- Nuevas técnicas de mantenimiento, como el monitoreo de condición.
- Equipos de diseño, dando mucha relevancia a la fiabilidad y mantenibilidad.
- Un cambio importante en el pensamiento de la organización hacia la participación, el trabajo en equipo y la flexibilidad.

Se han añadido nuevas tendencias, técnicas y filosofías de mantenimiento hasta nuestros días, de tal forma que actualmente podemos hablar de una cuarta generación del mantenimiento.

El nuevo enfoque se centra en la eliminación de fallos utilizando técnicas proactivas. No siendo suficiente, eliminar las consecuencias del fallo, sino que debe encontrarse la causa del mismo para eliminarlo y evitar así que se repita.

Existe una preocupación creciente en la importancia de la mantenibilidad y fiabilidad de los equipos, de manera que resulta clave tomar en cuenta estos valores desde la fase del diseño del proyecto. Otro punto importante es la tendencia a implantar sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, de la organización y ejecución del mantenimiento<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> GARCIA, Javier. Óp. Cit.

## **2.2. TÉCNICAS Y FILOSOFÍAS DE MANTENIMIENTO MÁS UTILIZADAS**

Hoy en día existen infinidad de diferentes herramientas, técnicas, metodologías y filosofías de mantenimiento. Algunas de las más utilizadas pueden ser:

- Mantenimiento autónomo / mantenimiento Productivo total (TPM)
- Mejoramiento de la confiabilidad operacional (MCO)
- Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) / (MCC)
- Mantenimiento basado en el riesgo (MBR)
- Análisis casusa Raíz (ACR)
- Análisis de criticidad (AC)

A continuación se describen brevemente y se mencionaran los aspectos representativos de cada una de estas técnicas y/o filosofías:

### **2.2.1. Mantenimiento autónomo / mantenimiento Productivo total (TPM):**

El TPM es un sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto de mantenimiento preventivo creado en la industria de los Estados Unidos, esta estrategia, se compone por una serie de actividades ordenadas que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios.

Se considera como estrategia, por ayudar a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos.

El TPM permite diferenciar una organización con relación a su competencia debido al impacto en reducción de los costos, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas y la calidad de los productos y servicios finales. El TPM es un sistema orientado a lograr:

1. Cero accidentes,
2. Cero defectos
3. Cero averías.<sup>8</sup>

**Figura 1.** Beneficios del Mantenimiento Productivo Total TPM

Organizativos	Seguridad	Productividad
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora la calidad del ambiente de trabajo.</li> <li>• Mejor control de las operaciones</li> <li>• Incremento de la moral del empleado</li> <li>• Creacion de una cultura de reponsabilidad, disciplina y respeto por las normas.</li> <li>• Aprendizaje permanente</li> <li>• Creacion de ambientes con participacion, colaboracion y creatividad.</li> <li>• Dimensionamiento adecuado de la plantilla del personal.</li> <li>• Redes de comunicacion eficaces.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejorar las condiciones ambientales</li> <li>• Cultura de prevencion de eventos negativos para la salud.</li> <li>• Incremento de la capacidad de identificacion de problemas potenciales y busqueda de acciones correctivas</li> <li>• Entendimiento de las normas</li> <li>• Prevencion y eliminacion de causas potenciales de accidentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminar perdidas</li> <li>• Mejorar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos</li> <li>• Reduccion de Iso costos de mantenimiento</li> <li>• Mejora de la calidad del producto final</li> <li>• Menor costo financiero por recambios</li> <li>• Mejora de la tecnologia de la empresa</li> <li>• Aumento de la capacidad de respuesta a los movimientos del mercado.</li> <li>• Crear capacidades competitivas</li> </ul>

**Fuente:** Autores de la investigación, a partir de la información citada en la Tesis, “Gerencia estratégica de mantenimiento de la empresa plásticos del litoral - plastlit”.

---

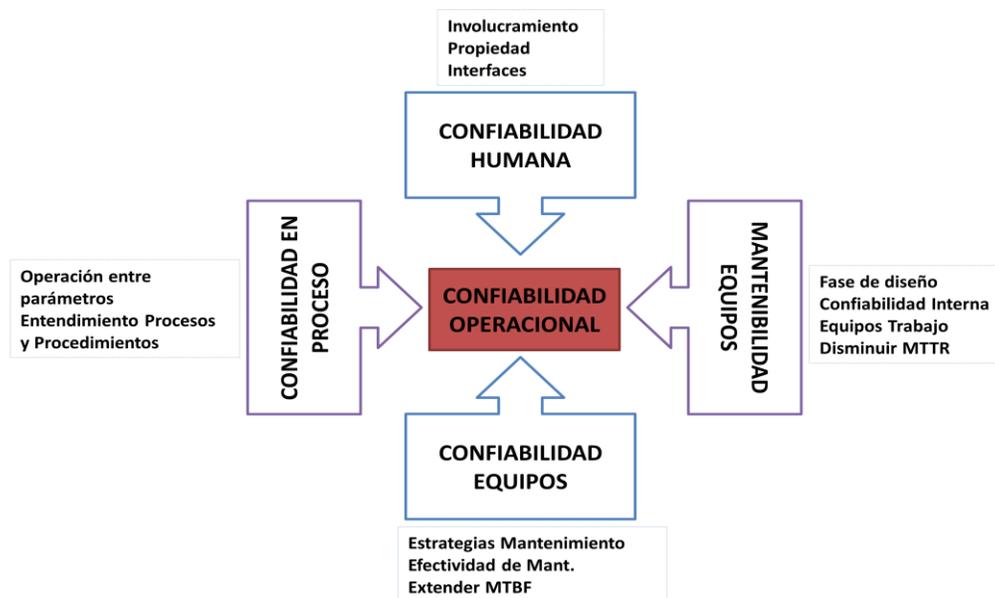
<sup>8</sup> PIEDRA PALADINES, María Fernanda. 2009. “Gerencia estratégica de mantenimiento de la empresa plásticos del litoral - plastlit”. Escuela superior politécnica del litoral. Facultad de ingeniería en electricidad y computación. Tesis de grado, p 70.

### 2.2.2. Mejoramiento de la confiabilidad operacional (MCO)

El mejoramiento en la confiabilidad operacional fue desarrollado en Inglaterra con la intención de agrupar las mejores prácticas de mantenimiento y operaciones con una orientación en el negocio.

Reconoce las limitaciones que el mantenimiento como función tiene para lograr una confiabilidad adecuada de las instalaciones, ya que involucra: la confiabilidad humana, en los procesos, equipos y la mantenibilidad de estos últimos.

Figura 2. Estructura de la Confiabilidad Operacional



Para mejorar los 4 sectores nombrados en la grafica anterior, el MCO divide las técnicas de mejoramiento:

- **Diagnostico**

Mediante uso de técnicas asociadas al manejo de riesgo se cuantifican las oportunidades a corto plazo (reactivas y mediano largo plazo (proactivas). Como

resultado se obtiene una jerarquía de implementación. Aquí se hace uso de herramientas de análisis de criticidad y de oportunidades perdidas, estas permiten establecer las oportunidades de mejoramiento y que herramientas de control podrían usarse para capitalizar las oportunidades halladas.

- **Control**

Aquí se usa el RCM+ (que combina algunas ventajas del TPM con el RCM) como técnica proactiva y el ACR como técnica reactiva, también se puede hacer uso del IBR para equipos estáticos. Como resultado se obtienen una serie de tareas de mantenimiento, operaciones, rediseño a ejecutar para mejorar el desempeño.

Estas técnicas de control por lo general son técnicas del tipo cualitativo y basadas en reglas fijas para la toma de decisión (por ejemplo: diagramas lógicos).

- **Optimización**

Aquí mediante el uso de herramientas avanzadas de cálculo costo riesgo se hallan los intervalos óptimos de mantenimiento, parada de planta, inspecciones, etc. Se trata de técnicas del tipo numérico e involucran el modelado de los equipos y/o sistemas.<sup>9</sup>

### **2.2.3. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) / (MCC)**

Esta técnica surge a finales de los años sesenta como respuesta al incremento de costos y actividades del mantenimiento de las aeronaves (básicamente preventivo).

---

<sup>9</sup> J. B. Durán, Nuevas Tendencias en el Mantenimiento En La Industria Eléctrica, IEEE Latin America Transactions, vol. 1, NO. 1, October 2003.

En dicha industria demuestra ser muy valioso, no solo bajando los costos y actividades de mantenimiento, sino que además mejora los niveles de confiabilidad, disponibilidad y seguridad.

Estos éxitos lo hicieron apetecible a otras industrias, como la militar, petrolera y generación de electricidad. Esta técnica se basa en seleccionar mantenimiento solo donde las consecuencias de las fallas así lo requieren, para esto se requiere hacer un estudio exhaustivo de todas las funciones, fallas, modos y consecuencias de las fallas, para luego decidir donde y que tipo de mantenimiento hacer.

Establece un orden de prioridades: la seguridad y ambiente, producción, costos de reparación. Esto ha hecho que sea una herramienta valiosa en las industrias que requieren elevados niveles de seguridad, generando a cambio de los esfuerzos, gratos resultados.

El trabajo se realiza con equipos de trabajo multidisciplinarios (mantenimiento y operaciones) liderados por un facilitador que responden de manera sistemática las siguientes 7 preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares deseados de desempeño del activo en su contexto operativo actual (funciones)?
2. ¿De qué maneras el activo puede dejar de cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
3. ¿Qué causa cada falla funcional (Modos de Falla)?
4. ¿Qué pasa cuando ocurre cada falla funcional (Efectos de Falla)?
5. ¿En que formas afecta cada falla funcional?
6. ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla funcional (tareas proactivas y frecuencias)?

7. ¿Qué debería hacerse si no se pueden hallar tareas preventivas aplicables (Tareas por omisión)? (Consecuencias de Falla)<sup>10</sup>

#### **2.2.4. Mantenimiento basado en el riesgo (MBR)**

La estrategia del mantenimiento basado en el riesgo tiene por objetivo reducir el riesgo general de fallas catastróficas de las instalaciones operativas.

En las zonas de riesgo alto y medio, es necesario concentrar un esfuerzo de mantenimiento mayor, mientras que en zonas de bajo riesgo, el esfuerzo se reduce al mínimo para reducir el alcance total del trabajo y el costo del programa de mantenimiento de una manera estructurada y justificable.

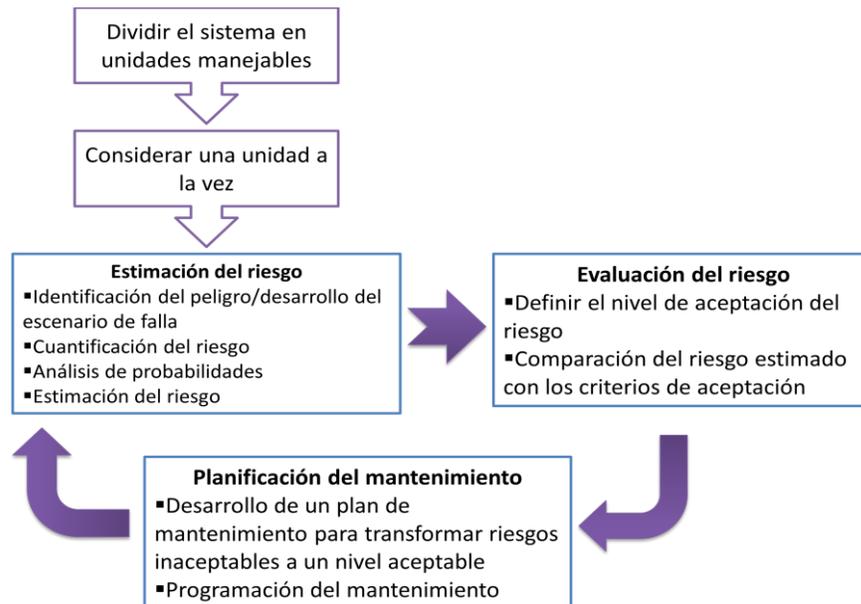
El valor cuantitativo de los riesgos se utiliza para dar prioridad a la inspección y mantenimiento. MBR sugiere un conjunto de recomendaciones sobre cuántas tareas preventivas (incluido el tipo, los medios y de tiempo) se van a realizar. La aplicación del MBR reducirá la probabilidad de una falla inesperada.<sup>11</sup>

---

10 PIEDRA PALADINES, María Fernanda, Op., Cit., p

11 Espinoza, Fernando. "Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR)" [en línea] Disponible en: <<http://ing.otalca.cl/~fespinos/CONCEPCION%20MBR%20MANTENIMIENTO%20BASADO%20EN%20EL%20RIESGO.pdf>>, Fecha de Consulta: 10 Abril de 2012

**Figura 3: Metodología del MBR**



### 2.2.5. Análisis casusa Raíz (ACR)

Es una técnica sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas.

La práctica de la RCA se basa en el supuesto de que los problemas se resuelven mejor al tratar de corregir o eliminar las causas raíz, en vez de simplemente tratar los síntomas evidentes de inmediato.

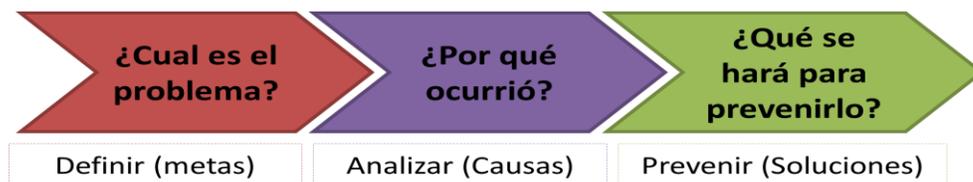
Al dirigir las medidas correctivas a las causas primarias, se espera que la probabilidad de la repetición del problema se minimice. Sin embargo, se reconoce que la prevención total de la recurrencia de una sola intervención no es siempre posible, por lo tanto, el RCA es considerada a menudo como un proceso iterativo, y con frecuencia es usado como una herramienta de mejora continua.

RCA, en principio es un método reactivo de detección de problemas y solución. Esto significa que el análisis se realiza después de un evento ha ocurrido.

Al ganar experiencia en el RCA este se convierte en un método de proactivo. Esto significa que el RCA es capaz de prever la posibilidad de un evento, incluso antes de que pudiera ocurrir.<sup>12</sup>

Dentro de una organización, la resolución de problemas, la investigación de incidentes y análisis de causa raíz están conectados fundamentalmente por tres preguntas básicas:

**Figura 4. Análisis casusa Raíz (ACR)**



**Fuente:** Espinoza, Fernando. “Análisis Causa Raíz (RCA)”

### **2.2.6. Análisis de criticidad (AC)**

Es una técnica que permite jerarquizar sistemas, equipos e instalaciones, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

Actualmente uno de los mayores retos para las personas encargadas en temas de mantenimiento no es solo aprender todas las técnicas existentes, sino identificar

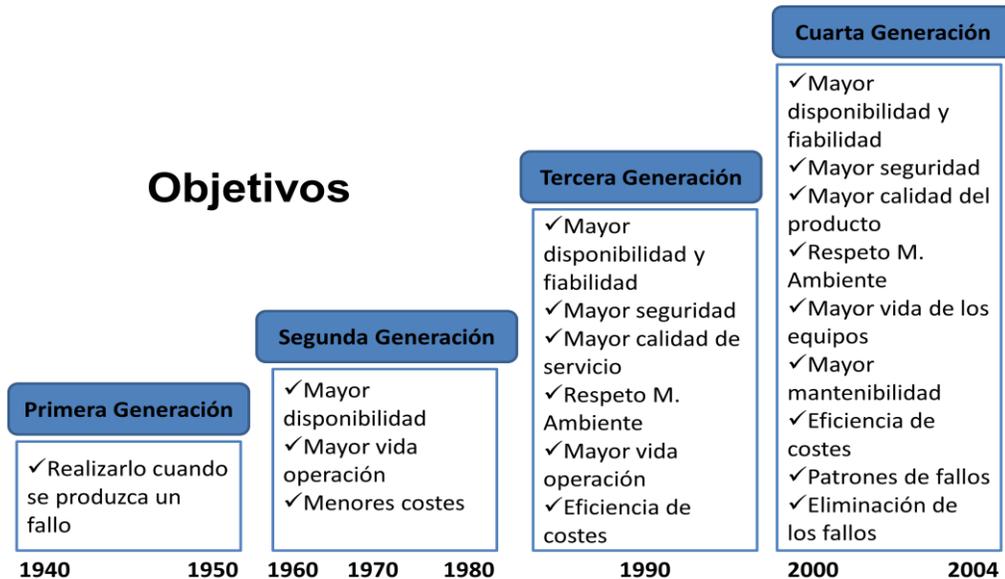
---

<sup>12</sup> Espinoza, Fernando. “Análisis Causa Raíz (RCA)” [en línea] Disponible en:<  
[http://ing.utralca.cl/~fespinos/ANALISIS%20CAUSA%20RAIZ%20%20\(RCA\).pdf](http://ing.utralca.cl/~fespinos/ANALISIS%20CAUSA%20RAIZ%20%20(RCA).pdf)> Fecha de Consulta: 10 Abril de 2012

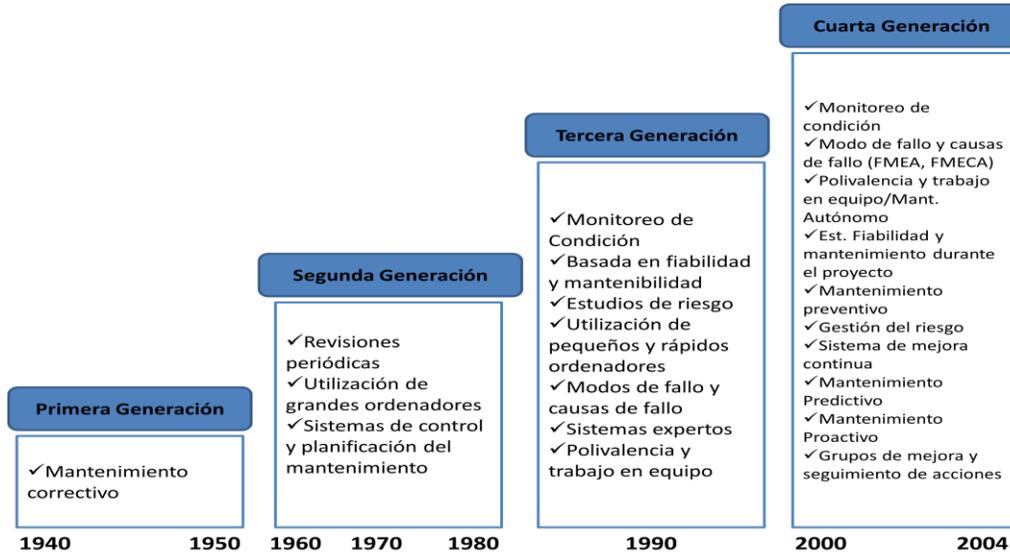
cuáles son las adecuadas para aplicar en su propia organización y cuáles no, tanto desde el punto de vista técnico como económico. Tomando una decisión correcta es posible mejorar el rendimiento de los activos y al mismo tiempo reducir los costes de mantenimiento.

A modo de resumen, en la siguiente gráfica se presentan como han ido evolucionando las expectativas y técnicas del mantenimiento en el último siglo:

**Figura 5. Objetivos del Mantenimiento**



**Figura 6.** Evolución de las técnicas de mantenimiento



### 2.3. PATRONES DE FALLO

Las nuevas investigaciones están cambiando muchas de las tradicionales creencias sobre la relación existente en una máquina entre el envejecimiento y el fallo. En particular se ha demostrado que para muchos equipos existe poca relación entre el tiempo de operación y la probabilidad de fallo.

El enfoque inicial del mantenimiento suponía que la probabilidad de que una máquina falle, aumenta según el tiempo de operación, siendo mayor la probabilidad de fallo en la “vejez” de la máquina (patrones de fallo A en la figura 20)

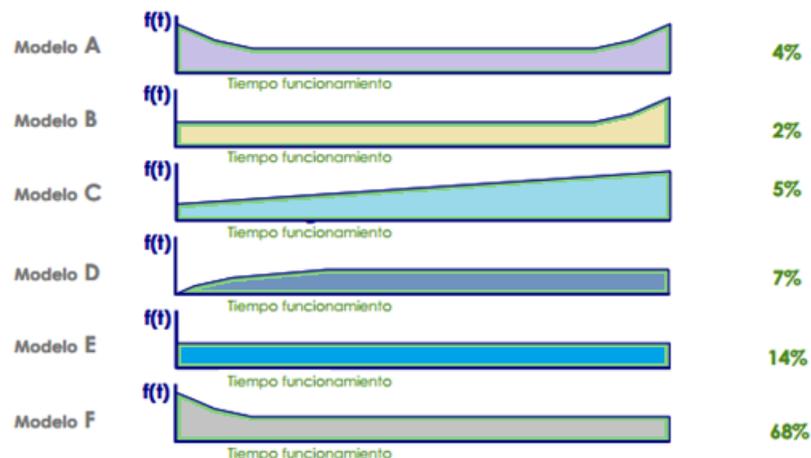
La segunda generación de mantenimiento introdujo el concepto de “mortalidad infantil” de esta forma, la tasa de fallos de una máquina puede ser representada con una curva de bañera, existen, por tanto, mas probabilidad de fallo durante el principio y el final de su vida útil (patrón de fallos B en la figura 20)

Sin embargo en el mantenimiento actual se ha demostrado que podemos definir 6 patrones diferentes de tasa de fallos, según el tipo de máquina que se esté utilizando.

Tener en cuenta el patrón al que se ajusta cada elemento es fundamental si se quiere conseguir una óptima planificación del mantenimiento.

Debemos estar seguros de que el mantenimiento que ha sido planificado es el adecuado ya que de nada sirve realizar el trabajo planificado de manera correcta, si este no es el más adecuado.<sup>13</sup>

**Figura 7.** Patrones de Tasas de Fallo



**Fuente:** GARCIA, Javier. “Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo”

<sup>13</sup> GARCIA, Javier. “Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo” [ en línea] Disponible en: < <http://www.iit.upcomillas.es/docs/TM-04-007.pdf>> Consulta: Abril 2 del 2012

Para los patrones de fallo “A”, “B” y “C”, la probabilidad de fallo, aumenta con la edad hasta alcanzar un punto en el que es conveniente reemplazar el componente antes de que falle y así reducir su probabilidad de fallo.

En el caso de los componentes que presentan una probabilidad de fallo del modelo “E”, reemplazar el componente no mejorara en ningún caso su fiabilidad, ya que el nuevo elemento tendrá la misma probabilidad de fallo que el antiguo.

Si el patrón de fallo al que se ajusta el componente es el “F”, reemplazar el elemento a intervalos fijos por un componente nuevo, no solo no mejorara la fiabilidad sino que aumentara la probabilidad de fallo ya que en la “infancia” presenta más probabilidad que en la vejez.

En el grafico se observa qué más del 50% de los componentes presentan fallos en la “infancia” .esto quiere decir que cada vez que se repara o reemplaza un equipo las posibilidades de fallo prematuro debido a esa operación de mantenimiento son muy elevadas.

Algunas de las posibles explicaciones que se pueden dar a este hecho, son:

- *Errores humanos* la tarea de replazo o reparación no se completa de manera adecuada por falta de experiencia o conocimiento del personal de mantenimiento.
- *Errores del sistema* el equipo se vuelve a poner en servicio tras haberle realizado una operación de mantenimiento de alto riesgo y no haber revisado dicha operación.
- *Errores de diseño.* La capacidad de diseño del componente está demasiado cerca del rendimiento que se espera de él, por lo que las piezas de menor calidad pueden fallar cuando se le exige dicho rendimiento.
- *Errores de piezas.* Se suministran piezas incorrectas o de baja calidad.

Por lo visto anteriormente, está claro que el mantenimiento actual debe centrarse en reducir las operaciones de mantenimiento provocadas por fallos que se ajustan al modelo “F”. Es decir, fallos ocurridos en la “infancia” de los equipos. Para los elementos que ajusten sus tasas de fallos a este patrón “F”, un mantenimiento planificado a intervalos fijos aumentaría las posibilidades de fallo, ya que el equipo nuevo presentaría más probabilidades de fallos que el antiguo. Por este motivo existe una tendencia generalizada a mantener lo mínimo posible debido a que cualquier operación de mantenimiento realizada puede aumentar la probabilidad de fallo.

Otra posibilidad, es centrarse en reducir de manera global las probabilidades de fallo sobre todos los modelos. La forma de realizar esto, es mediante la utilización de un mantenimiento proactivo es decir, buscar la forma de eliminar los fallos más que eliminar sus consecuencias.

Para eliminar los fallos, hay que eliminar sus causas, lo que implica conocerlas. Existen herramientas como el Análisis Causa - Raíz que ayudan a identificar y eliminar las causas de los fallos, aunque en muchas ocasiones se utiliza como una herramienta reactiva más que proactiva.

La eliminación proactiva de las causas de fallo implica la utilización de metodologías y herramientas que proporcionen:

1. Asegurar que los equipos utilizados han sido adecuadamente diseñados para la operación requerida y que a la hora de su adquisición se han tenido en cuenta sus mantenibilidad y coste de ciclo de vida, más que minimizar la inversión. Esto requiere una interacción importante entre los ingenieros y el personal de mantenimiento.

2. Asegurar un correcto mantenimiento de la gestión de los repuestos e inventarios.
3. Asegurar que los procesos de reparación funcionen correctamente, de tal forma que se aseguren que los equipos son reparados correctamente a la primera. Esto requiere un alto grado de atención en los detalles y una mayor disciplina en la organización.

## **2.4. ESTRUCTURA DE TIEMPOS DE FALLA**

A continuación se hará una descripción de cada uno de los elementos necesarios para poder hallar la disponibilidad de un sistema, equipo, maquinaria, línea o proceso:

### **2.4.1. MTBF (Mean Time Between Failures)**

Es el tiempo promedio de que un equipo, maquina, línea o planta cumple su función sin interrupción debido a una falla funcional, este tiempo es posible hallarlo dividiendo el tiempo total de operación entre el número de paros por fallas

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo Total de Operacion}}{\textit{Numero de Paros Por Fallas}}$$

### **2.4.2. MTTR (Mean time To Repair)**

Es el tiempo promedio para reparar la función de un equipo, línea, maquinaria o proceso después de una falla funcional, este incluye el tiempo para analizar y

diagnosticar la falla, se obtiene dividiendo el tiempo total de reparaciones entre el número total de fallas de un sistema.<sup>14</sup>

$$MTTR = \frac{\text{Horas de Falla}}{\text{Numero de Fallas}}$$

### 2.4.3. Disponibilidad

La disponibilidad cuantitativa es la probabilidad de que una unidad desempeñe una función requerida en cualquier punto del tiempo, cuando es usada bajo condiciones establecidas, donde el tiempo considerado es tiempo operativo y tiempo de reparación de activo para ello puede representarse de la siguiente forma

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

### 2.5. OEE

La eficiencia general de los equipos (OEE) es una relación porcentual que sirve para conocer la eficiencia productiva de un sistema esta es posible hallarla con la siguiente formula:

$$OEE = \text{DISPONIBILIDAD} * \text{CALIDAD} * \text{RENDIMIENTO}$$

Esta herramienta se ha convertido en un estándar para todas las empresas en el mundo, ya que su principal ventaja radica en que es posible conocer cuáles de los

---

<sup>14</sup> Industrial Tijuana. "Definición MTBF & MTTR" [en línea] Disponible en: <<http://www.industrialtijuana.com/pdf/B-4.pdf>> Consulta: Abril 2 del 2012

tres elementos que la componen son los que afectan la confiabilidad del 100%, Una baja disponibilidad indica que no se está produciendo dentro del tiempo que se tenía planeado, de igual forma una baja en el rendimiento indica una disminución de la velocidad de producción de la que realmente tiene el sistema y una no calidad indica muchos defectos en el producto

A continuación se describe una tabla donde se evalúa la OEE de una industria:

**Tabla 1.** Evaluación del OEE

OEE	Calificativo	Consecuencias
<65%	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas. Baja competitividad
≥65% <75%	Regular	Pérdidas económicas. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora
≥75% <85%	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja
≥85% <95%	Buena	Buena competitividad. Entramos ya en valores considerados 'World Class'
≥95%	Excelente	Competitividad excelente

**Fuente:** Información presente en la página: <http://www.produktika.com/es/cas/problem05.php>

Por otro lado la OEE clasifica de seis formas las pérdidas en el proceso productivo en el siguiente cuadro es posible observar lo que implica cada uno de los componentes de disponibilidad, rendimiento y calidad

**Tabla 2. Componentes de disponibilidad, rendimiento y calidad**

1	Paradas / Averías	Disponibilidad
2	Configuración y ajustes	
3	Pequeñas paradas	Rendimiento
4	Reducción de velocidad	
5	Rechazos por puesta en marcha	Calidad
6	Rechazos de producción	

## 2.6. DIAGRAMA DE PARETO

Frecuentemente el personal técnico de mantenimiento y producción debe enfrentarse a problemas que tienen varias causas o son la suma de varios problemas. El Diagrama de Pareto permite seleccionar por orden de importancia y magnitud, la causa o problemas que se deben investigar hasta llegar a conclusiones que permitan eliminarlos de raíz.

La mayoría de los problemas son producidos por un número pequeño de causas, y estas son las que interesan descubrir y eliminar para lograr un gran efecto de mejora. A estas pocas causas que son las responsables de la mayor parte del problema se les conoce como causas vitales. Las causas que no aportan en magnitud o en valor al problema, se les conoce como las causas triviales.

Las causas triviales aunque no aporten un valor a la mejora, no significan que se deban dejar de lado o descuidarlas. Se trata de ir eliminando en forma progresiva las causas vitales. Una vez eliminadas estas, es posible que las causas triviales se lleguen a transformar en vitales.

El Diagrama de Pareto es un instrumento que permite graficar por orden de importancia, el grado de contribución de las causas que se analizan o el conjunto de problemas que se quieren estudiar. Se trata de clasificar los problemas y/o causas en vitales y triviales.<sup>15</sup>

Para llevar a cabo un análisis de Pareto es necesario conocer la clase de problema que se quiere resolver, luego es necesario recolectar la información con los datos más recientes a fin de poder hacer un investigación más objetiva, es necesario clasificar en orden de magnitud la información obtenida para proceder a realizar el diagrama el cual consta de un eje horizontal y uno vertical.

El eje vertical está compuesto por un lado derecho donde se marca una escala porcentual de 0 a 100 y un lado izquierdo donde se escribe el número total acumulado iniciando desde cero. En el eje horizontal se divide este intervalo en el número de clasificaciones que se quieren presentar y se escriben cada una de las causas encontradas.

Por último se marca con un punto los porcentajes acumulados de cada uno de estas causas con líneas rectas empezando desde cero obteniendo como resultado la curva acumulada o también llamada curva de Lorenz

---

<sup>15</sup> PIEDRA PALADINES, María Fernanda; Op., Cit., p 162.

## 2.7. MEDICIÓN DE LA CONFIABILIDAD

### 2.7.1. La distribución de Weibull

La distribución de Weibull es un modelo estadístico que representa la probabilidad de fallos de algún elemento después de un tiempo transcurrido, se representa mediante la siguiente fórmula

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

**Eta( $\eta$ )=** es el parámetro de escala o vida característica. Este parámetro representa el tiempo (o el valor de la variable análoga usada) para el cual la probabilidad de fallo acumulada es de 63,2%. Por tanto cuando mayor sea  $\eta$ , mayor será el intervalo de tiempo en que se producirán los fallos.

**Beta( $\beta$ )=** es la cuesta de la curva o la característica de la forma de la curva de fallas. La beta se usa para ayudar a determinar qué clase de actividades de mantenimiento se destina para un modo de falla a continuación se describen cada uno de los valores de beta

$0 < \beta < 1$ : Tasas de falla disminuyendo equivalente a mortalidad infantil

$\beta = 1$ : tasas de falla constante: fallas aleatorias independiente del tiempo.

$1 < \beta < 2$ : Tasas de falla incrementándose, desgaste temprano. Rodamientos

$2 < \beta < 4$ : Tasas de falla incrementándose, fatigas, erosión, corrosión, etc.

$\beta > 4$ : Tasas de falla incrementándose, envejecimiento operacional

**Gamma ( $\gamma$ )=** describe el punto a que la curva de weibull cambia de forma.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> CARDOZO, Gonzalo. Ingeniería de confiabilidad.[Diapositivas]. Cartagena: Universidad Tecnológica de Bolívar. Minor en Gestión moderna de la producción, 2012. 107 diapositivas

### **3. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA COMAI LTDA**

Comai Ltda. Es una empresa productora de compuestos y masterbatches, fabricados principalmente, a base de polipropileno, polietileno, poliestireno y nylon, con una amplia variedad de usos en la industria del plástico.

La compañía se encuentra estratégicamente localizada en la Zona Franca del área industrial de Mamonal en la ciudad de Cartagena, Colombia, con una capacidad de producción de 25.000 toneladas anuales.

A continuación una breve descripción de su historia, direccionamiento estratégico y etapas de su proceso productivo.

#### **3.1. RESEÑA HISTÓRICA**

COMAI LTDA, es una empresa de inversionistas colombianos, creada el 17 de mayo de 1991, constituida como sociedad *COMPOUNDING AND MASTERBATCH INDUSTRY LTDA - COMAI LTDA*, iniciando operaciones en 1993.

COMAI LTDA es una compañía filial de POLIPROPILENO DEL CARIBE S.A., quienes apoyan en diferentes actividades de tipo logístico.

La participación de los accionistas está constituida de la siguiente forma:

**Figura 8.** Participación Accionistas COMAI LTDA.



**Fuente:** Manual SGC, Versión 2008. Empresa Comai Ltda.

El objeto social de la empresa es el procesamiento de resinas plásticas, la producción y exportación de compuestos de polipropileno y otros compuestos de plásticos concentrados, en todas sus formas. Reciclaje y recuperación de todo tipo de plásticos. La exportación hacia terceros países de los bienes procesados producidos y reciclados en la Zona Franca Industrial, así como la importación y ventas en el territorio aduanero nacional Colombiano .

Sus instalaciones se encuentran ubicadas en la ZONA FRANCA INDUSTRIAL DE MAMONAL. Bodega No. 7, 8, 12A, 15 y 16 del complejo industrial de Mamonal en la ciudad de Cartagena - Colombia. La planta se encuentra en la ciudad de Cartagena y las oficinas de ventas en Bogotá, Edificio Bavaria, del centro internacional Tequendama.

Se cuenta con una moderna tecnología, bajo la licencia de Washington Penn Plastics Co. Inc. con equipos de producción y laboratorio modernos lo cual permite estar siempre a la vanguardia de las expectativas de los clientes.

COMAI LTDA dirige sus esfuerzos a satisfacer las necesidades de los clientes, orientada siempre a dar soluciones a nuevas exigencias tecnológicas en materiales que le permitan día a día enfrentar nuevos mercados.

### 3.2. APLICACIONES

Comai Ltda., Fabrica materia prima para la industria del plástico y sus productos están orientados a las siguientes aplicaciones:

- Sector de auto partes
- Sillas y mesas plásticas
- Partes industriales
- Concentrados de pigmentos y aditivos para bolsas y material de empaque en general.<sup>17</sup>

**Figura 9.** Aplicaciones Industriales Compuestos Plásticos y Masterbatches



**Fuente:** información presentada por el Manual SGC, Versión 2008. Empresa Comai Ltda.

<sup>17</sup> Fuente: Manual SGC, Versión 2008. Empresa Comai Ltda. pág. 10

### **3.3. DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO**

La estructura estratégica de la compañía, esta conformada por el plan estratégico que lo conforma el conjunto de Objetivos estratégicos e impulsores, Misión, visión y Política integrada de calidad y seguridad física.<sup>18</sup>

#### **3.3.1. Misión**

Suministrar a la industria del plástico productos y servicios de calidad que contribuyan al éxito de nuestros clientes con el compromiso de superar sus expectativas para lograr así el máximo valor para los grupos de interés.

#### **3.3.2. Visión**

Ser No.1 o No.2 en nuestros mercados de influencia

#### **3.3.3. Política Integrada:**

- Mejorar continuamente la calidad de las actividades realizadas.
- Diseñar y proveer productos que contribuyan al éxito de sus clientes satisfaciendo consistentemente sus necesidades.
- Propiciar el libre y productivo desempeño de sus empleados, apoyándolos con la capacitación necesaria y facilitando su desarrollo.
- Actuar responsablemente con el medio ambiente, establecer que la seguridad industrial es un requisito para todo acto en la empresa, y ofrecer un ambiente de trabajo que propenda por la salud de sus empleados.
- Agregar valor a los recursos que los socios han aportado a la empresa.
- Mantener acuerdos de beneficio mutuo y relaciones de largo plazo con sus proveedores.

---

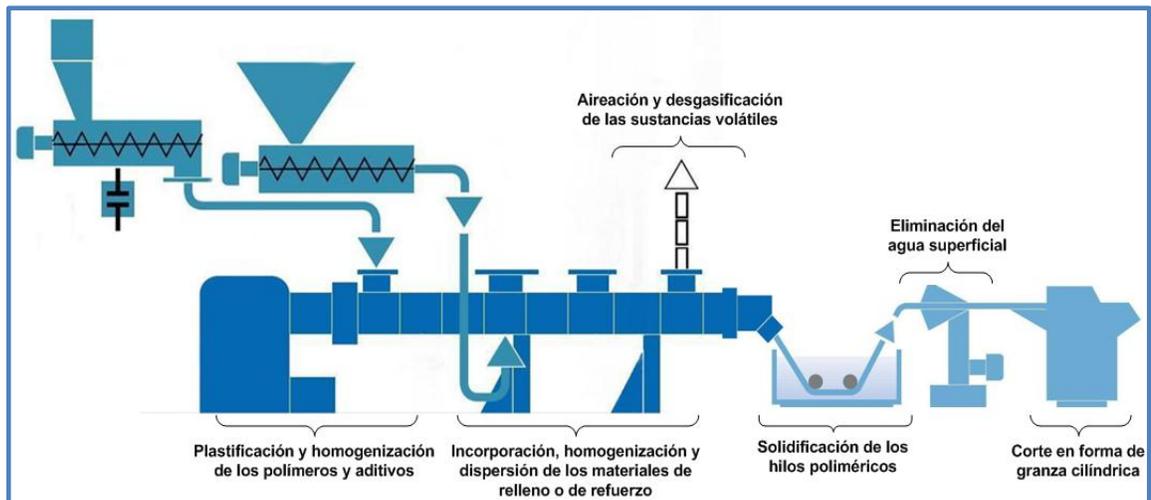
<sup>18</sup> *Ibíd.*, pág. 14

- Proteger los recursos y mejorar los procesos de forma continua para evitar que nuestras operaciones sean usadas por organizaciones ilícitas.<sup>19</sup>

### 3.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

El proceso de fabricación de masterbatch es una tarea de producción muy exigente, puesto que, por lo general, incorpora grandes cantidades de pigmentos y aditivos a un polímero base.

**Figura 10.** Proceso de Fabricación de Masterbatches.



**Fuente:** Extrusión – Compounding Investigación en Nanocomposites y Termoplásticos técnicos a medida. Centro tecnológico aitiip.

El proceso de fabricación de masterbatches y compuestos, inicia con la entrega de la formula del tipo de producto que se desea generar según las necesidades del cliente.

<sup>19</sup> Ibíd., p 14

Una vez el operador tiene conocimiento de los parámetros del proceso y el porcentaje en el que debe realizar la adición de materias primas, procede a realizar el pesaje de cada uno de los materiales, para su posterior mezcla.

Una vez preparada la mezcla en big bags, esta es instalada en una plataforma para alimentar las tolvas por las que ingresara el producto a la maquina, dicha maquinaria ha sido previamente programada con los parámetros del proceso, como temperatura de fundición, sistema de vacío, rapidez de corte de los pellets, etc.

La incorporación de las materias primas se puede realizar por dos vías diferentes, según su naturaleza y finalidad. La primera es por la tolva principal, por la que se introduce generalmente el polímero o polímeros, para que se vaya formando la masa fundida. Una vez que esta masa está plastificada, se pueden introducir diversos aditivos por los alimentadores laterales, que se incorporan a la masa ya fundida para su homogeneización.

Una vez la maquina es alimentada, inicia el proceso de fundición dentro de esta; finalmente el producto ya derretido sale, en forma de hilos, a través del dado de la maquina.

Estos hilos son transportados por el operador al waterpan para ser enfriados y posteriormente movidos a un sistema de secado, luego del cual pasan a la peletizadora donde toma su forma característica.

Finalmente el producto terminado es jalonado por un sistema de vacío hacia un tanque homogeneizador, del cual se extrae una muestra, que tiene una frecuencia específica según el producto que se esté corriendo, con el fin de verificar que cumplen con las características de calidad establecidas.

### **3.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS DE PRODUCCIÓN**

La empresa Comai Ltda., cuenta actualmente con 9 líneas de producción, las cuales se encargan de fabricar de 2 grandes familias de productos: 5 se encargan de producir compuestos, y las 4 restantes la familia de productos de color.

En general estas líneas comparten los mismos componentes. A continuación se hará una descripción general de los equipos que integran una línea de proceso, con el fin de aumentar la comprensión del mismo, y las desviaciones funcionales que se definen como fallos en cada caso.

- **Tolva:**

La tolva a un dispositivo similar a un embudo de gran talla destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados. Este equipo es utilizado para depositar las materias primas que alimentaran la extrusora a través del proceso de producción de compuestos o masterbatches.

**Función primaria:** Dosificación de la materia prima a lo largo del proceso.

- **Feeder:**

El feeder o alimentador, es un transportador de tornillo utilizado para conducir la materia prima desde una tolva de retención situada encima de la extrusora, con un mecanismo de velocidad variable que permite el control de la velocidad de alimentación hacia la maquina.

**Función Primaria:** Alimentar la maquina de extrusión, de acuerdo a una velocidad determinada por las características del proceso.

- **Extrusora:**

Equipo a través del cual se realiza una acción de prensado y moldeado del plástico, que por flujo continuo con presión y empuje, pasa por un molde encargado de darle la forma deseada. El polímero fundido (o en estado ahulado) es forzado a pasar a través de un dado por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillos gemelos) que giran concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas

**Funciones Primarias:** transporte del material sólido hasta la zona de fusión, fusión o plastificación del material, mezclado, desgasificado y conformado.

- **Bomba de vacío:**

Equipo encargado de extraer moléculas de gas de un volumen sellado, para crear un vacío parcial. Dependiendo de los parámetros del proceso, este equipo permite que el producto final tenga las características deseadas, de acuerdo a las indicaciones del cliente.

**Función Primaria:** Extraer moléculas de gas, para una determinada característica de proceso.

- **Water Pan:**

Equipo a través del cual una vez fundido el material plástico dentro de la extrusora y generados los hilos de producto, se utiliza para enfriarlos por medio de la acción del agua.

**Función Primaria:** Enfriar los hilos de producto.

- **Secador:**

Los secadores son equipos que permiten reducir la humedad contenida en materias primas plásticas. El funcionamiento se basa en la acción de secado por aire una vez que los hilos de producto son transportados entre el waterpan y la peletizadora.

**Función primaria:** Eliminación de la humedad presente en los hilos de producto.

- **Peletizadora:**

Esta máquina tiene como función la transformación de los hilos de producto, en pellets, que son piezas más pequeñas más o menos esféricas de material, con lo cual el producto adquiere su apariencia final.

**Función primaria:** cortar los hilos de producto plástico.

- **Criba:**

Estructura que permite la separación de los pellets de acuerdo a un tamaño óptimo, consistente de tamices con distintos grados de aberturas con la particularidad de colocar las sucesivamente tienen mayor aberturas, hasta colocar por encima de todas la de mayor abertura.

Todo ese conjunto se coloca en un dispositivo mecánico provisto de un motor y que le imprime un movimiento de desplazamiento y vaivén horizontal de modo que el material colocado en la criba superior vaya pasando a las cribas inferiores y se separen los distintos tamaños de partículas.

**Función primaria:** tamizar el producto terminado de acuerdo al tamaño deseado.

## **4. DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA**

### **4.1. DEFINICION DE INDICADORES**

De acuerdo a la planeación estratégica del personal directivo de la empresa Comai Ltda., los siguientes son los índices de gestión establecidos para los factores clave del negocio:

- Crecimiento en ventas (Ton/mes)
- Utilidad operacional al mes
- Margen de contribución a la planta por tonelada
- Eficiencia
- Cumplimiento en el despacho
- Número de casos de AT con pérdida de tiempo
- Paradas por problemas de mantenimiento

Con base en estos índices, la siguiente monografía esta enfocada a analizar las oportunidades de mejora relacionadas con la confiabilidad y disponibilidad de las líneas de producción, como elementos estratégicos del área mantenimiento, teniendo en cuenta su impacto, sobre los objetivos generales de la organización.

Actualmente, el desempeño del área, es medido a través de los siguientes índices gerenciales de mantenimiento:

- Back Log
- Porcentaje de ordenes correctivas
- Porcentaje de ordenes correctivas por garantía
- Porcentaje de fallas de línea

La información contrastada a continuación, relaciona el comportamiento de estas variables en el año 2010 y 2011, ya que a partir de esta fecha, se inicio el proceso de seguimiento a través de los indicadores mencionados, con el objetivo de evaluar el desempeño del área con cifras concretas. Se presenta una breve descripción de cada uno de ellos, y los datos obtenidos:

- **Back Log:** Se define como la “Acumulación de trabajo no completado”, es decir, aquel que ha sido planificado pero que no se ha programado, el trabajo planificado y programado pero que no se ha ejecutado o aquel que se ha iniciado pero no se ha completado.<sup>20</sup>

$$\text{Back Log} = \frac{\text{Nro. de Ordenes Pendientes}}{\text{Nro. de Ordenes Totales}}$$

- **Porcentaje de Órdenes Correctivas:** Este indicador determina la proporción de órdenes correctivas realizadas por mes, en relación a las órdenes preventivas en el área de producción.

A través de los datos arrojados, es posible identificar, si los esfuerzos del área de mantenimiento, se encuentran enfocados, hacia la parte correctiva o preventiva.

$$\text{Correctivas (\%)} = \frac{\text{Nro. de Ordenes Correctivas}}{\text{Nro. de Ordenes Preventivas (Producción)}}$$

---

<sup>20</sup> JIMENEZ, Alirio, Backlog: El índice clave para el manejo de la carga de trabajo en mantenimiento [en línea] Disponible en:

<<http://mantenancela.blogspot.com/2010/10/backlog-el-indice-clave-para-el-manejo.html>>

Consulta: Marzo 4 del 2012

▪ **Porcentaje de Órdenes por Garantía:** La garantía, se refiere al periodo de tiempo, para el cual no debe presentarse reincidencia de una orden de mantenimiento.

El periodo de garantía en la empresa Comai Ltda., es de 3 meses, tiempo en el cual, se espera que no se presente daño en un equipo o componente previamente reparado.

Este indicador permite hacer un seguimiento, a la calidad de las reparaciones realizadas, y también es una medida de la forma en que se está identificando la causa raíz del problema, y se esta trabajando para que no se vuelva a presentar:

$$\text{Garantía (\%)} = \frac{\text{Nro. de Ordenes Correctivas por Garantía}}{\text{Nro. de Ordenes Total Correctivas}}$$

▪ **Porcentaje de Fallas de línea:** El objetivo primario del RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) es conservar la función de sistema, antes que la función del activo.

Este indicador, permite establecer la proporción de órdenes correctivas, que pararon la línea, dentro del total de órdenes correctivas generadas.

Es un factor crítico, pues de no encontrarse en funcionamiento las líneas de producción, se presentan las pérdidas más significativas del negocio en términos de: deterioro de la relación con el cliente por incumplimiento de pedido, tiempo ocioso, costo de oportunidad y aumento de los riesgos para los trabajadores en el área.

$$\text{Fallas de Linea (\%)} = \frac{\text{Nro. de Ordenes Correctivas que Pararon la linea}}{\text{Nro. de Ordenes Total Correctivas}}$$

#### **4.2. EVOLUCION DE LOS INDIADORES GERENCIALES DEL AREA DE MANTENIMIENTO DURANTE LOS AÑOS 2010 Y 2011**

De acuerdo a la información suministrada por la empresa, en relación al comportamiento de los índices gerenciales de mantenimiento durante los años 2010 y 2011, puede evidenciarse que la generación de órdenes correctivas por llamados de emergencia, prevalece sobre la generación de órdenes preventivas. (Ver figuras 5 y 6), denotando una tendencia a la realización de mantenimiento correctivo. Adicionalmente el comparativo entre los años 2010 y 2011, del porcentaje de órdenes correctivas por parada de línea muestra un aumento del promedio mensual de órdenes de este tipo del 52% para el 2011.

La información mostrada a continuación, corresponde a los cuatro indicadores gerenciales manejados en el área de mantenimiento, obtenidos a partir de los datos almacenados en el software SISMAP (sistema de mantenimiento preventivo) dentro de la empresa Comai Ltda. Se han seleccionado como críticos para el tema de confiabilidad y disponibilidad, el *porcentaje de ordenes correctivas sobre las preventivas* y el *porcentaje de fallas que causan paradas de linea*, debido a que afectan en mayor medida la confiabilidad y disponibilidad del sistema.

1. Back Log (%): Nro. Ordenes Pendientes/Nro. Ordenes Totales:

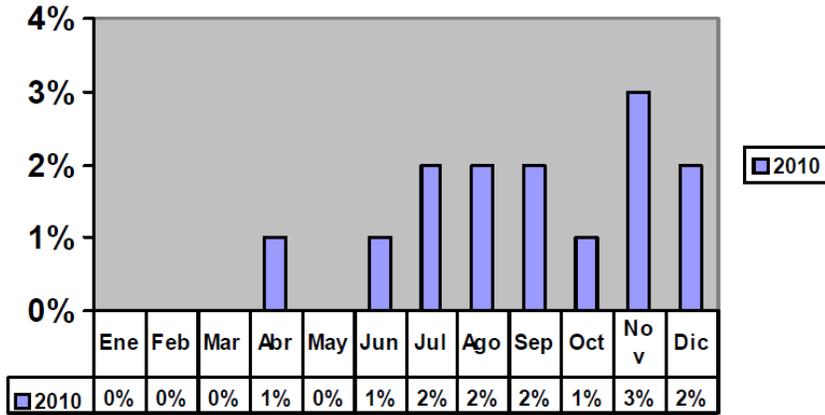


Figura 2. Back Log año 2010 Comai Ltda.

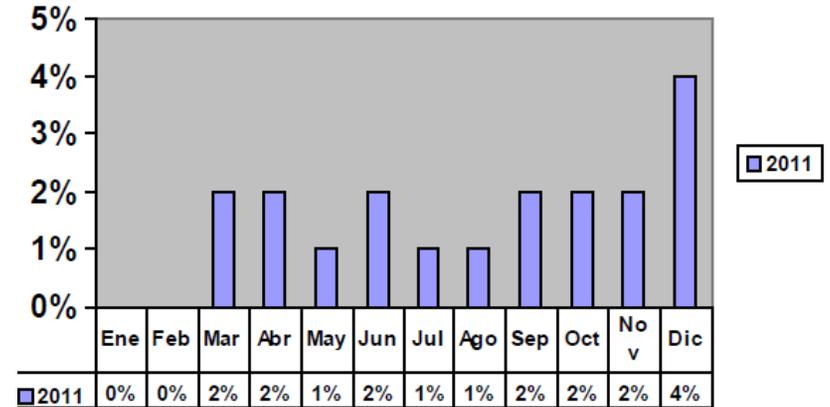


Figura 3. Back Log año 2011 Comai Ltda.

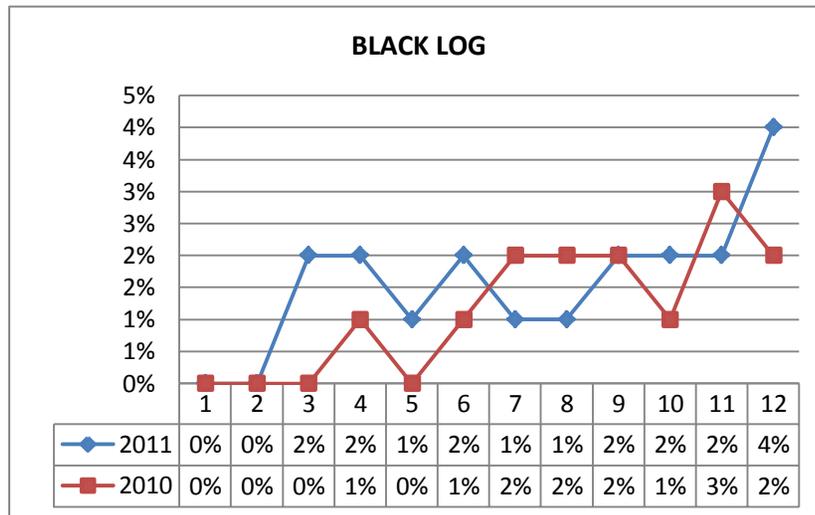


Figura 4. Comparativo Back Log año 2010-2011.

Se observa una alta variabilidad en el porcentaje de trabajo acumulado.

Para el año 2010 el porcentaje promedio de trabajo acumulado, fue de: 1.17% mensual, y en el año 2011 fue de 1.58% lo cual equivale a un aumento del 35,7% en el porcentaje promedio de ordenes pendientes por realizar.

## 2. Correctivas (%): Nro. Ordenes Correctivas / Nro. Ordenes Preventivas (Producción)

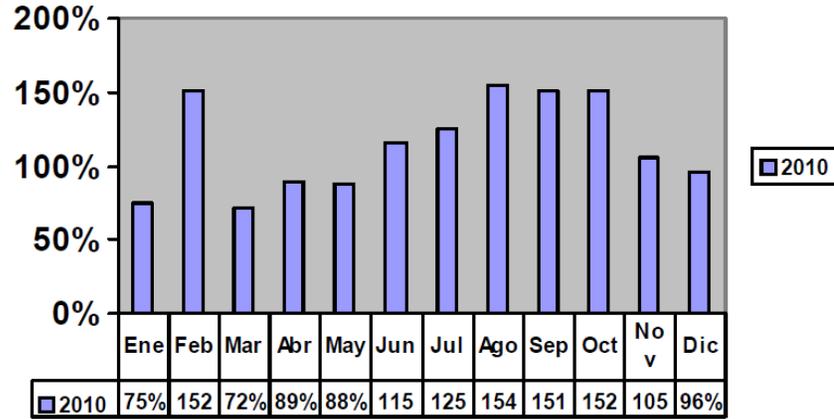


Figura 5. % Correctivas año 2010 Comai Ltda.

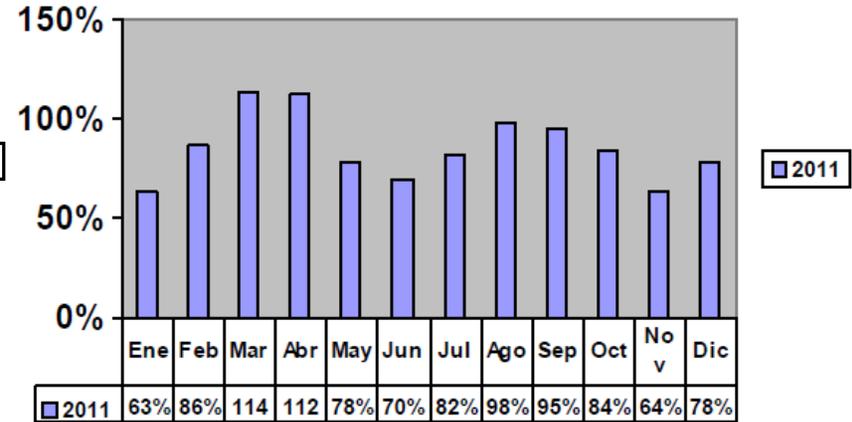


Figura 6. % Correctivas año 2011 Comai Ltda.

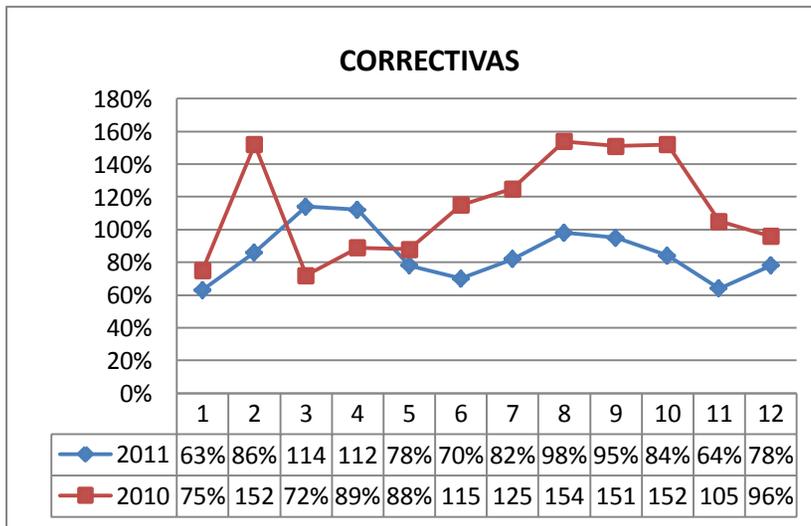


Figura 7. Comparativo % Correctivas año 2010-2011.

De acuerdo a la información suministrada por la empresa el porcentaje promedio de órdenes correctivas en el año 2010 es del 115%, con lo cual se evidencia que durante este año, este tipo de órdenes superaban en promedio un 15% a las preventivas.

En el año 2011 el porcentaje promedio de órdenes correctivas descendió al 85%, sin embargo, esto muestra un alto potencial de mejora en esta área, consistente en enfocar las actividades de mantenimiento a la prevención de fallas.

### 3. Garantía (%): Nro. ordenes Correctivas por Garantía / Nro. Ordenes Total Correctivas

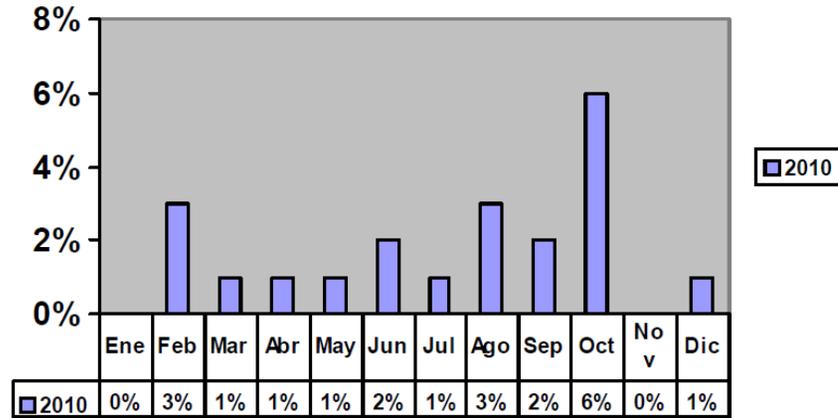


Figura 8. % garantía año 2010 Comai Ltda.

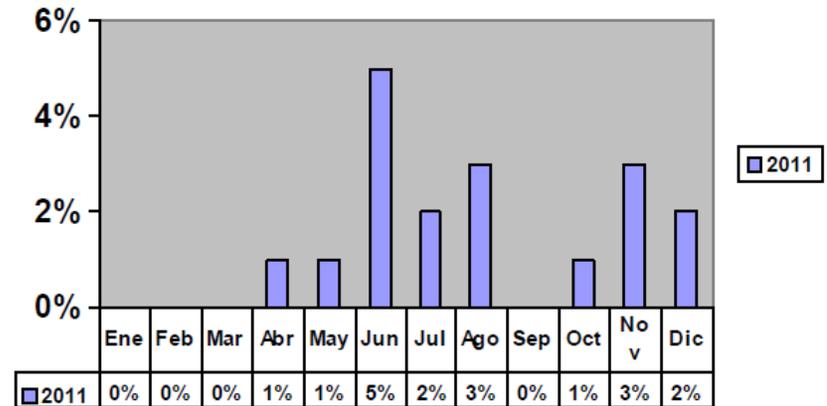


Figura 9. % garantía año 2011 Comai Ltda.

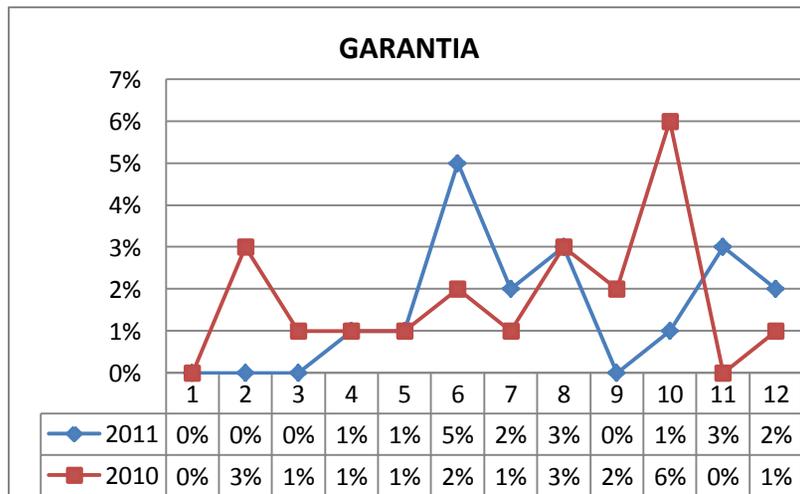
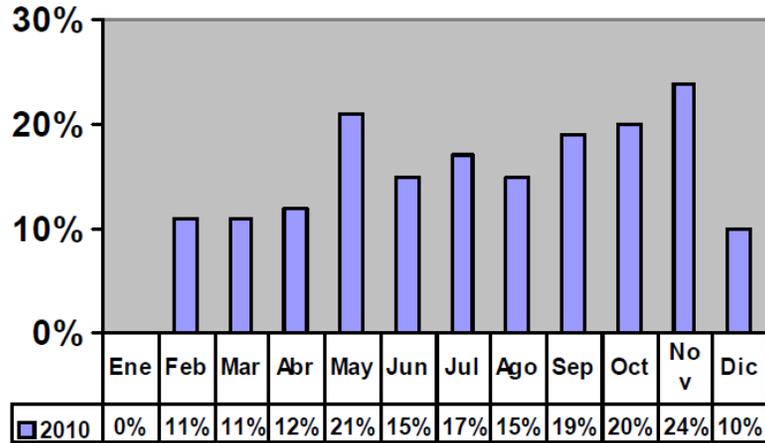


Figura 10. Comparativo % garantía año 2010-2011.

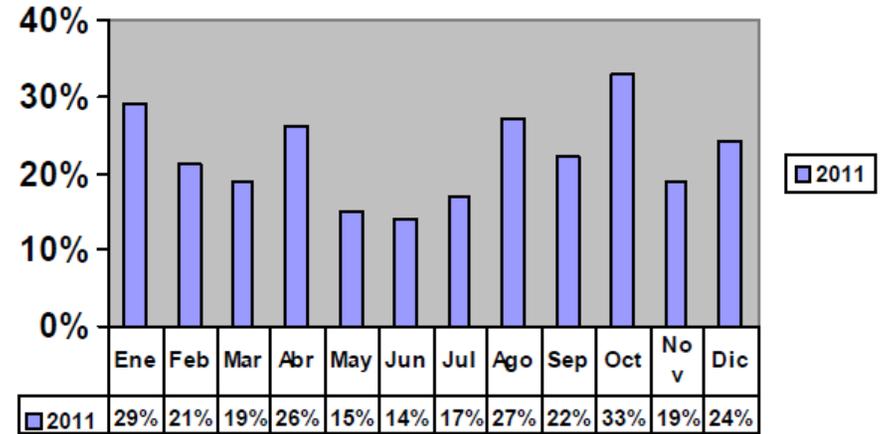
Las órdenes por garantía permiten cuantificar la efectividad de las labores de mantenimiento.

Durante el año 2010, el porcentaje promedio de órdenes por garantía fue de 1,75% y durante el 2011 fue de 1,50%, a pesar de la disminución en el promedio anual, la alta variabilidad del comportamiento de este indicador, toma valores en el 2010 hasta del 6% de ordenes por garantía en 1 mes y en el 2011, hasta del 5%.

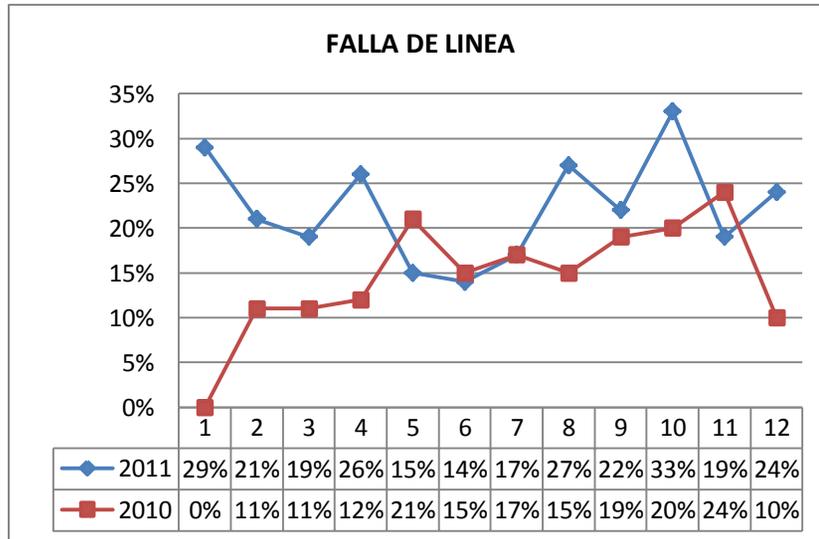
**4. Falla Línea (%): Nro. Ordenes Correctivas que pararon la línea/ Nro. Ordenes Total Correctivas**



**Figura 11. % Falla de Línea año 2010 Comai Ltda.**



**Figura 12. % Falla de Línea año 2011 Comai Ltda.**



**Figura 13. Comparativo % Falla de Línea año 2010-2011**

El comportamiento de este indicador, muestra un aumento en la variabilidad, frecuencia y gravedad de las fallas de línea que produjeron paradas de las mismas durante el último año, comparadas con las presentadas en el 2010. En cuanto al porcentaje promedio de fallas de línea, en el 2010 se tiene: 14,58% mensual y durante el 2011 el 22,17%, lo cual equivale a un aumento del 52% con relación al promedio de fallas de línea.

Este ultimo indicador, permite apreciar un incremento significativo en el numero de ordenes correctivas que estan ocasionando paradas en las lineas de produccion y en consecuencia mayores perdidas para la empresa. La gestion de mantenimiento debe enfocarse en atacar con especial interes, este tipo de fallas, ya que generan un gran impacto en la confiabilidad del sistema.

Los planes de mantenimiento existentes en la empresa Comai Ltda, se encuentran basados principalmente en recomendaciones del fabricante y predomina el mantenimiento correctivo sobre el preventivo. Los esfuerzos de la gestion de mantenimiento deben estar enfocados a mantener los equipos y activos en la maxima disponibilidad y confiabilidad con el objetivo de garantizar una produccion continua.

#### **4.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA COMAI LTDA**

Cuando se refiere a la asignación de recursos, se debe contar con la información pertinente para identificar las áreas que requiere una intervención prioritaria, teniendo en cuenta que no se disponen de recursos ilimitados.

La importancia del análisis de criticidad, es el establecimiento de un ranking relativo de los entes dentro de un sistema para determinar cuáles de dichos entes tendrán prioridad en la asignación de: fuerza laboral, materiales, repuestos y prelación en la programación de las actividades de mantenimiento.

Los intereses alrededor de los activos deben incluir dos factores:

- **Importancia:** se refiere a aquellos equipos cuyas fallas se dicen que afectan severamente o frecuentemente el estado deseado del sistema y por lo tanto se dice que son los más importantes.
- La criticidad por otro lado combina la importancia con la frecuencia de fallas de los equipos. Este desarrolla un escenario en donde un equipo o maquinaria puede que tenga un bajo grado de “importancia” pero debido a una elevada frecuencia de fallas podría contar con un alto grado de criticidad.<sup>21</sup>

La determinación de los factores a tener en cuenta para intervenir una área específica de la empresa, permiten establecer prioridades en cuanto a las labores de mantenimiento a realizar, sin perder de vista el impacto que tienen las fallas y los tiempos de reparación sobre los intereses generales de la organización.

Para la realización de la presente monografía, se seleccionó una de las líneas de la empresa, a la cual intervenir, teniendo en cuenta el potencial de mejora existente en la misma.

Para determinar el grado de criticidad de la línea de producción, se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

---

<sup>21</sup> Por Ricky Smith, CMRP, Allied Reliability, Análisis de Criticidad. En línea: <<http://confiabilidad.net/articulos/analisis-de-criticidad/>>. Fecha de consulta: Abril 16 del 2012.

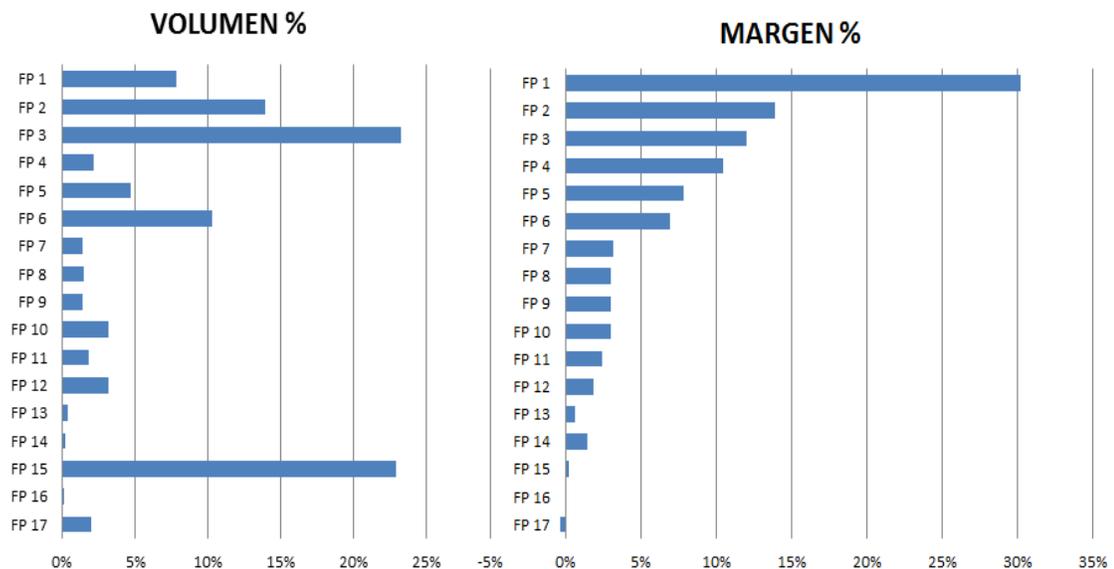
- Volumen de producción vs margen de contribución a la empresa.
- Margen de contribución total por cada línea de producto.
- Comportamiento histórico de los fallos por línea de producción.
- Tiempo empleado en reparaciones por fallos de emergencia

La información suministrada por la empresa, revela las características mostradas en la figura 25, en cuanto a la distribución del margen por familia de productos.

Teniendo en cuenta la contribución al margen por tipo de producto, y el porcentaje de este que se fabrica en las respectivas líneas, se calculo el porcentaje en el cual las líneas contribuyen al margen de utilidad de la empresa, estableciendo en primer lugar la línea Y9 seguida de la línea Y7 y Y5-I.

Esta información se evidencia en la tabla 4

**Figura 23.** Contribución al margen por tipo de producto empresa Comai Ltda.



**Fuente:** Información suministrada por la empresa. Periodo Enero- Diciembre del 2011

A través de esta grafica, se puede apreciar la relación entre el volumen de producción y el margen de utilidad de las diferentes familias de producto; este factor ha sido considerado clave para describir la relación entre los productos fabricados, el margen de contribución y el porcentaje en el cual las diferentes líneas aportan a dicho margen.

Teniendo en cuenta que las familias de producto listadas se realizan en ciertas líneas en porcentajes definidos por la empresa, fue posible determinar el impacto de la línea en el margen de contribución de la empresa.

Las familias de producto, se corren en las diferentes líneas, en las proporciones mostradas en la tabla3.

**Tabla 3.** Porcentaje en el cual cada familia de producto esta asociado a una línea.

PORCENTAJE EN EL QUE CADA FP ES REALIZADA POR LINEA								
FAMILIA DE PRODUCTO	Y9	Y4	Y5	Y7	Y5-I	C1	C2	C3
FP1	70%	15%	15%					
FP2			5%	95%				
FP3					100%			
FP4						25%	25%	50%
FP5	20%				80%			
FP6	100%							
FP7	80%	20%						
FP8	50%	50%						
FP9	90%	10%						
FP10				70%	30%			
FP11				100%				
FP12				100%				
FP13				100%				
FP14	100%							
FP15					100%			
FP16				100%				
FP17	100%							

**Fuente:** Información Suministrada por la empresa Comai Ltda.

A partir de estos datos, es posible determinar la contribución al margen de utilidad de cada una de las líneas.

**Tabla 4.** Contribución al margen de utilidad de la empresa, por líneas de producción

CONTRIBUCION AL MARGEN POR LINEAS DE PRODUCCION									
FAMILIA DE	MARGEN%	Y9	Y4	Y5	Y7	Y5-I	C1	C2	C3
FP1	30,22%	21,2%	4,53%	4,53%					
FP2	13,95%			0,70%	13,25%				
FP3	12,05%					12,05%			
FP4	10,46%						2,62%	2,62%	5,23%
FP5	7,86%	1,57%				6,29%			
FP6	6,99%	6,99%							
FP7	3,18%	2,54%	0,64%						
FP8	3,05%	1,53%	1,53%						
FP9	3,01%	2,71%	0,30%						
FP10	3,00%				2,10%	0,90%			
FP11	2,43%				2,43%				
FP12	1,83%				1,83%				
FP13	0,63%				0,63%				
FP14	1,47%	1,47%							
FP15	0,20%					0,20%			
FP16	0,05%				0,05%				
FP17	-0,38%	-0,38%							
	100%	37,6%	7,0%	5,2%	20,3%	19,4%	2,6%	2,6%	5,2%

**Fuente:** Información Suministrada por la empresa Comai Ltda.

De la misma manera, es posible calcular la contribución de cada línea al volumen de producción. Con lo cual se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 5.** Contribución al volumen de producción por Línea

CONTRIBUCION AL VOLUMEN DE PRODUCCION POR LINEAS									
FAMILIA DE PRODUCTO	VOLUMEN %	Y9	Y4	Y5	Y7	Y5-I	C1	C2	C3
		22,0%	2,3%	1,9%	20,9%	39,7%	0,5%	0,5%	1,1%

Se puede observar que la línea Y5-I tiene la mayor influencia al volumen de producción, seguida de la línea Y9 y Y7.

Luego de determinar las líneas tienen mayor margen de contribución a la empresa y a su volumen de producción, se realizó un análisis de criticidad enfocado a la mayor frecuencia de fallas y los mayores tiempos de duración de las mismas.

**Tabla 6.** Determinación de los porcentajes de frecuencia y tiempo de fallas por líneas de fabricación.

LINEA	NUMERO DE FALLAS	TIEMPO DE FALLAS (MINUTOS)	TIEMPO DE FALLAS (HORAS)	% DE FALLAS	% TIEMPO DE FALLAS
Y7	108,0	20270,0	337,8	26%	20%
Y5-I	79,0	38915,0	648,6	19%	39%
Y5	64,0	7498,0	125,0	16%	7%
Y9	61,0	12835,0	213,9	15%	13%
C3	35,0	8840,0	147,3	8%	9%
Y4	32,0	8025,0	133,8	8%	8%
C2	17,0	2640,0	44,0	4%	3%
C1	13,0	1440,0	24,0	3%	1%
C4	3,0	420,0	7,0	1%	0%
<b>Total</b>	<b>412,0</b>	<b>100883,0</b>	<b>1681,4</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

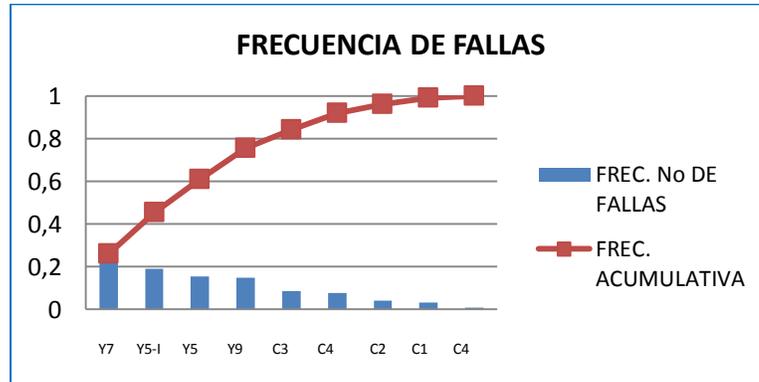
**Fuente:** Historial de Fallas enero 2011- febrero 2012. Empresa Comai Ltda.

Teniendo en cuenta estos datos, se procedió a realizar un diagrama de Pareto para evidenciar gráficamente, en que líneas se presentaron el mayor número de fallas, y aquellas con mayor duración durante el periodo Enero 2011, Febrero 2012.

A partir del histórico de fallos de emergencia, los cuales se refieren a problemas presentados de imprevisto que ocasionan retrasos importantes en el proceso de producción o paradas de las líneas, almacenados en el sistema de mantenimiento preventivo SISMAP, se analizo un total de 412 fallas, y un tiempo invertido en labores de mantenimiento por llamados de emergencia de 1681 horas.

Los resultados del Pareto pueden apreciarse en la figura 26.

**Figura 24.** Diagrama de Pareto para frecuencia de fallas líneas de producción Comai Ltda.

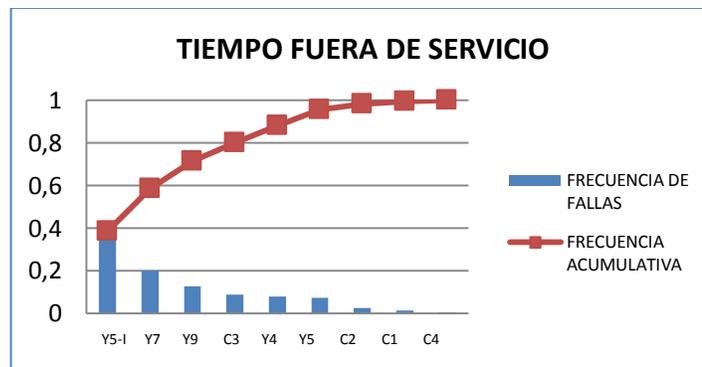


**Fuente:** Información Histórico de fallas Comai Ltda.

El 76% de los fallos se encuentran en el rango mostrado entre la Y7 y Y9, siendo la línea mas critica Y7 con el 26% de las fallas.

La representación grafica de las líneas con mayor tiempo fuera de servicio se evidencian en la figura 27:

**Figura 25.** Diagrama de Pareto para tiempo fuera de servicio líneas de producción Comai Ltda.



**Fuente:** Información Histórico de fallas Comai Ltda.

Los resultados arrojados para la priorización de las líneas que presentan mayor tiempo fuera de servicio por llamados de emergencia, muestran que el 80% del tiempo empleado en reparaciones de órdenes de este tipo, se encuentra en el rango señalado entre Y5-I y Y9, siendo la línea que mas tiempo estuvo fuera de servicio la Y5-I.

A partir de la información expuesta, teniendo en cuenta que la línea Y7 es la que representa, el segundo mayor rubro de contribución al margen de utilidad de la empresa, compuesto por la fabricación del 95% de la familia de producto con segundo mayor margen de utilidad, el 70% de la familia de producto 10, y el 100% de las familias de producto 11, 12, 13 y 16; la mayor frecuencia de fallas, y adicionalmente el segundo lugar en tiempo invertido en reparaciones por llamados de emergencia, se decidió enfocar el desarrollo de la presente monografía a dicha línea de producción.

Adicionalmente a partir de los datos mostrados en la tabla 5, en esta línea se fabrica, el 20,9% del volumen de producto de la planta.

**Figura 26.** Determinación de la línea Crítica

CONTRIBUCION AL MARGEN		
Y9	Y7	Y5-I
37,60%	20,30%	19,40%
VOLUMEN DE PRODUCCION TOTAL		
Y5-I	Y9	Y7
39,70%	22%	20,90%
FRECUENCIA DE FALLAS		
Y7	Y5-I	Y5
26%	19%	16%
DURACION DE FALLAS		
Y5-I	Y7	Y9
39%	20%	13%



**Fuente:** Autores del proyecto a partir de la información suministrada por Comai Ltda.

#### 4.4. IMPACTO ECONOMICO DE LAS FALLAS PRESENTADA EN LA LINEA Y7 DURANTE EL AÑO 2011

La línea Y7 corresponde al 20,3% del margen de contribución de la empresa.

**Tabla 7.** Impacto económico de las fallas presentadas en la línea Y7 durante el año 2011

MARGEN DE CONTIBUCION GENERADO AÑO 2011											
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1.151.104.000	680.050.000	1.066.560.000	514.560.000	1.183.710.000	961.576.000	439.296.000	929.798.000	1.125.350.000	1.031.368.000	721.259.000	577.507.000
PORCENTAJE APORTADO POR LA LINEA Y7											
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
264.753.920	156.411.500	245.308.800	118.348.800	272.253.300	221.162.480	101.038.080	213.853.540	258.830.500	237.214.640	165.889.570	132.826.610
CONTRIBUCION DE 1 HORA AL MES EN LA LINEA Y7											
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
367.714	217.238	340.707	164.373	378.130	307.170	140.331	297.019	359.487	329.465	230.402	184.481
HORAS PERDIDAS AL MES POR REPARACIONES DE EMERGENCIA											
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
15,80	12,00	12,50	7,50	20,00	86,00	45,50	19,50	17,50	16,00	8,50	36,50
PERDIDAS MENSUALES \$/MES											
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
5.809.878	2.606.858	4.258.833	1.232.800	7.562.592	26.416.630	6.385.045	5.791.867	6.291.019	5.271.436	1.958.419	6.733.571

En el año 2011 la línea Y7 dejó de aportar al margen de contribución de la empresa un estimado de \$80.318.948, teniendo en cuenta que este valor corresponden solo al lucro cesante por ocasionar paradas de línea y que podría ser mayor si se incluyen los costos de mantenimiento, ya sea con la consecución de repuestos de última hora, mano de obra, contratistas, etcétera.

## 5. IDENTIFICACIÓN DE FALLAS PRIMARIAS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN Y7

De acuerdo a la información suministrada por la empresa y teniendo en cuenta los resultados del análisis de criticidad del capítulo anterior, se realizó una priorización de las fallas de los equipos de la línea Y7, para determinar aquellos que representan el mayor número de tiempo invertido en reparaciones.

La información sobre los equipos que presentan fallas, además de la frecuencia y duración de estas, puede ser observada en las tablas 8 y 9 mostradas a continuación:

**Tabla 8.** Frecuencia de fallas entre los equipos que conforman la línea Y7

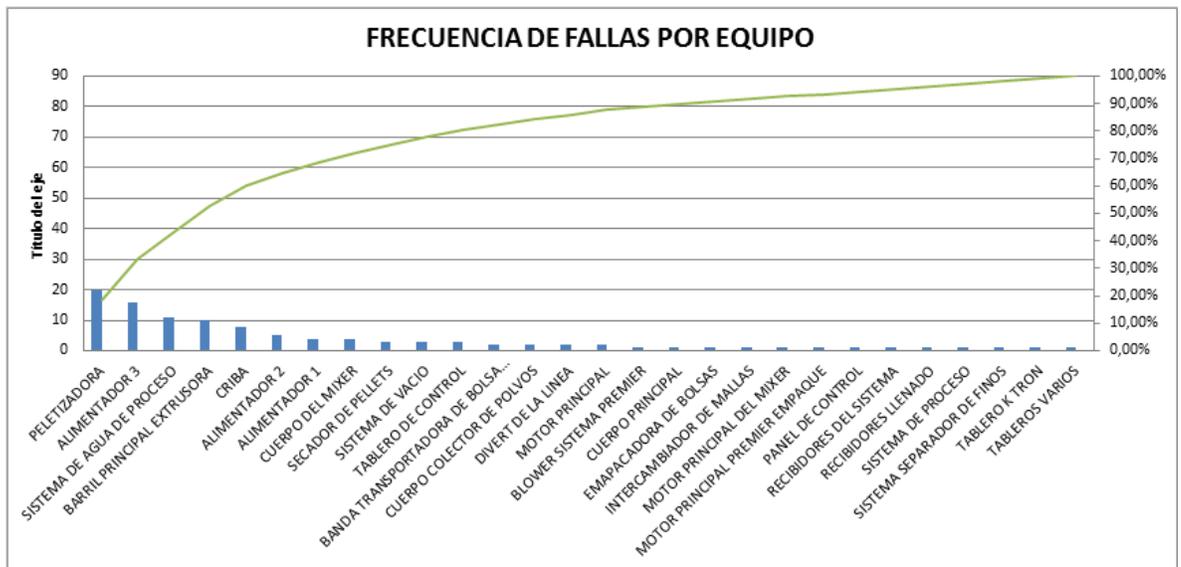
EQUIPO	Fallas Totales por equipos	Frecuencia	Frecuencia Absoluta
PELETIZADORA	20	18,52%	18,52%
ALIMENTADOR 3	16	14,81%	33,33%
SISTEMA DE AGUA DE PROCESO	11	10,19%	43,52%
BARRIL PRINCIPAL EXTRUSORA	10	9,26%	52,78%
CRIBA	8	7,41%	60,19%
ALIMENTADOR 2	5	4,63%	64,81%
ALIMENTADOR 1	4	3,70%	68,52%
CUERPO DEL MIXER	4	3,70%	72,22%
SECADOR DE PELLETS	3	2,78%	75,00%
SISTEMA DE VACIO	3	2,78%	77,78%
TABLERO DE CONTROL	3	2,78%	80,56%
BANDA TRANSPORTADORA DE BOLSA EMPACADORA	2	1,85%	82,41%
CUERPO COLECTOR DE POLVOS	2	1,85%	84,26%
DIVERT DE LA LINEA	2	1,85%	86,11%
MOTOR PRINCIPAL	2	1,85%	87,96%
BLOWER SISTEMA PREMIER	1	0,93%	88,89%

**Tabla 8.** (Continuación)

<b>CUERPO PRINCIPAL</b>	<b>1</b>	<b>0,93%</b>	<b>89,81%</b>
<b>EMACADORA DE BOLSAS</b>	<b>1</b>	<b>0,93%</b>	<b>90,74%</b>
<b>INTERCAMBIADOR DE MALLAS</b>	<b>1</b>	<b>0,93%</b>	<b>91,67%</b>
<b>MOTOR PRINCIPAL DEL MIXER</b>	<b>1</b>	<b>0,93%</b>	<b>92,59%</b>
<b>MOTOR PRINCIPAL PREMIER EMPAQUE</b>	<b>1</b>	<b>0,93%</b>	<b>93,52%</b>
<b>PANEL DE CONTROL</b>	<b>1</b>	<b>0,93%</b>	<b>94,44%</b>
<b>RECIBIDORES DEL SISTEMA</b>	<b>1</b>	<b>0,93%</b>	<b>95,37%</b>
<b>RECIBIDORES LLENADO</b>	<b>1</b>	<b>0,93%</b>	<b>96,30%</b>
<b>SISTEMA DE PROCESO</b>	<b>1</b>	<b>0,93%</b>	<b>97,22%</b>
<b>SISTEMA SEPARADOR DE FINOS</b>	<b>1</b>	<b>0,93%</b>	<b>98,15%</b>
<b>TABLERO K TRON</b>	<b>1</b>	<b>0,93%</b>	<b>99,07%</b>
<b>TABLEROS VARIOS</b>	<b>1</b>	<b>0,93%</b>	<b>100,00%</b>

Dicha priorización puede ser apreciada gráficamente a continuación:

**Figura 27.** Diagrama de Pareto Frecuencia de fallos por equipos Y7



De acuerdo a la información consolidada en el periodo Enero 2011 – Febrero 2012, con respecto a la frecuencia de falla de los equipos que integran la línea Y7, los equipos seleccionados por representar el 60,19% de las fallas son: la peletizadora, alimentador 3, sistema de agua de proceso, barril principal de la extrusora y criba.

Teniendo en cuenta que 5 de los equipos, de un total de 28 evaluados, representan alrededor del 20% de los mismos se decidió enfocar la propuesta a estos “pocos vitales” de acuerdo al principio de Pareto.

El resultado del análisis de criticidad para tiempo de duración de fallas se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 9.** Frecuencia de fallas por equipo Y7

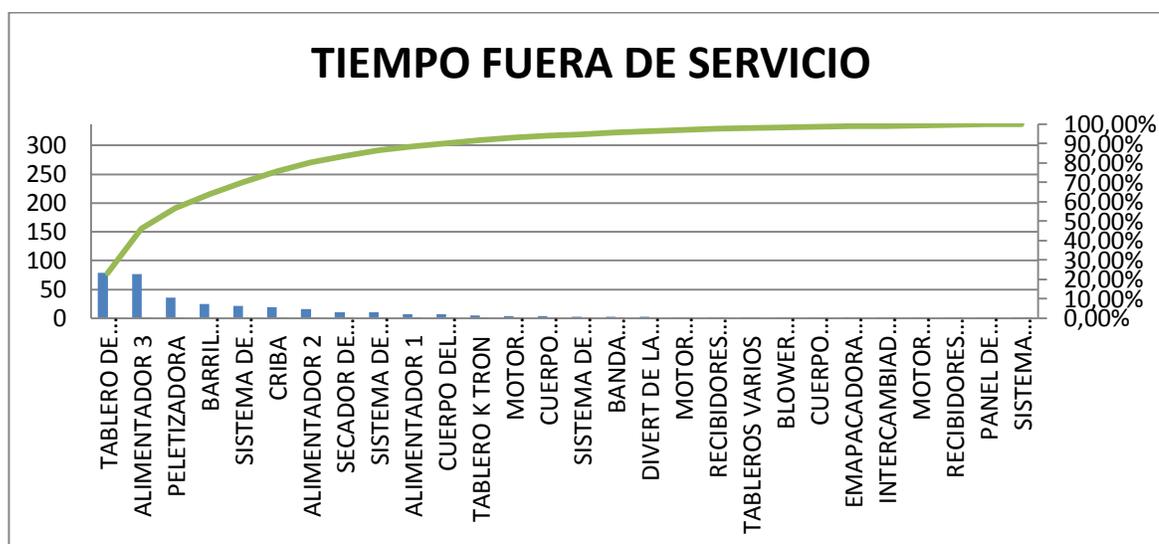
EQUIPO	Tiempo de fallas por equipos	Frecuencia	Frecuencia Absoluta
TABLERO DE CONTROL	79	23,39%	23,39%
ALIMENTADOR 3	77	22,79%	46,18%
PELETIZADORA	35,5	10,51%	56,69%
BARRIL PRINCIPAL EXTRUSORA	24,5	7,25%	63,94%
SISTEMA DE AGUA DE PROCESO	21	6,22%	70,16%
CRIBA	19	5,62%	75,78%
ALIMENTADOR 2	15,5	4,59%	80,37%
SECADOR DE PELLETS	10,3	3,05%	83,42%
SISTEMA DE VACIO	10	2,96%	86,38%
ALIMENTADOR 1	6,5	1,92%	88,31%
CUERPO DEL MIXER	6,5	1,92%	90,23%
TABLERO K TRON	5	1,48%	91,71%

**Tabla 9.** Continuación

MOTOR PRINCIPAL	4	1,18%	92,90%
CUERPO COLECTOR DE POLVOS	3,5	1,04%	93,93%
SISTEMA DE PROCESO	3	0,89%	94,82%
BANDA TRANSPORTADORA DE BOLSA EMPACADORA	2,5	0,74%	95,56%
DIVERT DE LA LINEA	2,5	0,74%	96,30%
MOTOR PRINCIPAL DEL MIXER	2	0,59%	96,89%
RECIBIDORES LLENADO	2	0,59%	97,48%
TABLEROS VARIOS	1,5	0,44%	97,93%
BLOWER SISTEMA PREMIER	1	0,30%	98,22%
CUERPO PRINCIPAL	1	0,30%	98,52%
EMAPACADORA DE BOLSAS	1	0,30%	98,82%
INTERCAMBIADOR DE MALLAS	1	0,30%	99,11%
MOTOR PRINCIPAL PREMIER EMPAQUE	1	0,30%	99,41%
RECIBIDORES DEL SISTEMA	1	0,30%	99,70%
PANEL DE CONTROL	0,5	0,15%	99,85%
SISTEMA SEPARADOR DE FINOS	0,5	0,15%	100,00%

De acuerdo a la información presentada, el 75,78% del tiempo de fallas es ocasionado por los siguientes equipos: tablero de control, alimentador 3, peletizadora, barril principal de la extrusora, sistema de agua de proceso y criba.

**Figura 28.** Pareto tiempo fuera de servicio en los equipo de la línea Y7



**Fuente:** Histórico de fallas proporcionado por la empresa.

Los equipos seleccionados para la parametrización de su histórico de fallos son: la peletizadora, el alimentador 3, el sistema de agua de proceso, el barril principal de la extrusora y la criba.

Con la selección de estos equipos, se está apuntando a atacar el 16% de las fallas presentadas por las líneas de producción en la empresa Comai Ltda, y 52,37% del porcentaje total de tiempo de fallas representadas por estos equipos dentro de la línea Y7.

**Figura 29.** Impacto de los equipos seleccionados sobre la frecuencia de fallas y el tiempo fuera de servicio en la línea Y7.



**Fuente:** Autores del proyecto a partir de la información suministrada por Comai Ltda.

### 5.1. IMPACTO ECONOMICO DE LAS FALLAS PRESENTADAS EN LOS EQUIPOS CRITICOS DE LA LINEA Y7

A partir de la información presentada en la tabla 7, en la que se estiman las pérdidas asociadas a la línea Y7 por reparaciones de emergencia que han ocasionado paradas de línea, dado que los equipos estudiados representan el 52,37% del tiempo de falla de la línea Y7, al año se presentaría un ahorro de \$42.063.033 teniendo en cuenta que este valor corresponden solo al lucro cesante

por ocasionar paradas de línea por causa de falla de equipos críticos y que podría ser mayor si se incluyen las fallas de los equipos restantes, (Ver tabla 7) y los costos de mantenimiento, ya sea con la consecución de repuestos de emergencia, mano de obra, contratistas, etcétera.

## 6. PARAMETRIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE FALLAS DE EQUIPOS EN LA LÍNEA Y7

Teniendo en cuenta el modelo estadístico de la distribución de Weibull, con el cual se representa la probabilidad de fallos de algún elemento después de un tiempo transcurrido mediante la formula:

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-Y}{\eta}\right)^\beta}$$

Donde:

**Eta ( $\eta$ ):** es el parámetro de escala o vida característica, con el cual se representa el tiempo para el cual la probabilidad de fallo acumulada es de 63,2%. Por tanto cuando mayor sea  $\eta$ , mayor será el intervalo de tiempo en que se producirán los fallos.

**Beta ( $\beta$ ):** es la cuesta de la curva o la característica de la forma de la curva de fallas, con la cual es posible determinar qué clase de actividades de mantenimiento se destinan para un modo de falla.

**Gamma ( $\gamma$ ):** describe el punto a que la curva de Weibull cambia de forma.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> CARDOZO , Gonzalo. Ingeniería de confiabilidad.[Diapositivas]. Cartagena: Universidad Tecnológica de Bolívar. Minor en Gestión moderna de la producción, 2012. 107 diapositivas

Se realizaron los siguientes cálculos, mediante el modelo matemático de la distribución de Weibull:

1. Alineación de los tiempos de fallo en orden ascendente.
2. Obtención de la media trazando sus posiciones mediante la siguiente ecuación:

$$MR = \frac{i - 0,3}{N + 0,4}$$

Siendo  $i$  el orden de fallos y  $N$  el tamaño de la muestras.

3. Se calculan valores de  $x_i$  y  $y_i$  con los cuales se aplica regresión lineal mediante las siguientes ecuaciones:

$$y_i = \text{Ln} \{-\ln[1 - F(T_i)]\}$$

$$x_i = \text{Ln}(T_i)$$

4. Se realizo la tabla de regresión lineal.
5. Se hallo a y b a través de la formulas:

$$a = \frac{(\sum x^2)\sum y - (\sum x)(\sum xy)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \qquad b = \beta = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

6. Se hallo la confiabilidad o razón de falla instantánea de los equipos.<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> *Ibíd.*,

▪ **Parametrización datos de falla de la Peletizadora Línea Y7:**

Numero de fallas = 20

Luego de la aplicación de los pasos previamente citados se obtiene:

**Tabla 10.** Parametrización de datos de falla de la peletizadora.

Orden # de fallas	Tiempos de fallas	Mediana MR						
n	T	F(T)	Y	X	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	R(T)
1	0,5	0,0343	-3,36	-0,69	2,3184	0,4761	11,2896	0,95
2	1	0,0831	-2,44	0	0	0	5,9536	0,8
3	1	0,1322	-1,95	0	0	0	3,8025	0,8
4	1	0,1812	-1,61	0	0	0	2,5921	0,8
5	1	0,2302	-1,34	0	0	0	1,7956	0,8
6	1	0,2793	-1,12	0	0	0	1,2544	0,8
7	1	0,3283	-0,92	0	0	0	0,8464	0,8
8	1,5	0,3774	-0,75	0,41	-0,3075	0,1681	0,5625	0,59
9	1,5	0,4264	-0,59	0,41	-0,2419	0,1681	0,3481	0,59
10	1,5	0,4755	-0,44	0,41	-0,1804	0,1681	0,1936	0,59
11	1,5	0,5245	-0,3	0,41	-0,123	0,1681	0,09	0,59
12	2	0,5736	-0,16	0,69	-0,1104	0,4761	0,0256	0,38
13	2	0,6226	-0,03	0,69	-0,0207	0,4761	0,0009	0,38
14	2	0,6717	0,11	0,69	0,0759	0,4761	0,0121	0,38
15	2	0,7207	0,24	0,69	0,1656	0,4761	0,0576	0,38
16	2	0,7698	0,38	0,69	0,2622	0,4761	0,1444	0,38
17	2	0,8188	0,53	0,69	0,3657	0,4761	0,2809	0,38
18	3	0,8678	0,7	1,1	0,77	1,21	0,49	0,1
19	4	0,9169	0,91	1,39	1,2649	1,9321	0,8281	0,01
20	4	0,9659	1,22	1,39	1,6958	1,9321	1,4884	0,01
			-10,92	8,97	5,9346	9,0793	32,0564	

Donde:

$$a = \frac{(\sum x^2)\sum y - (\sum x)(\sum xy)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{(9,0793)(-10,92) - (8,97)(5,9346)}{20(9,0793) - (8,97)^2}$$

$$a = -1,51$$

$$\beta = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - n\sum y^2}$$

$$\beta = 2,14$$

Dado que:  $\eta = e^{\frac{a}{b}}$

$$\eta = 2,03$$

Aplicando la tabla de Weibull, el MTTR será por lo tanto de 1,8 horas, y el valor de  $\sigma$  de 0,89 horas.

Para:

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

Siendo  $Ti = 1$ , se obtiene una probabilidad de 95% que de 100 fallas que ocurran el 95% tendrá un tiempo de duración de 1 hora y un MTTR de 1,8 horas.

Las tablas para los cálculos realizados en el alimentador 3, sistema de agua de proceso, barril principal de la extrusora y criba, con el respectivo cálculo de sus parámetros se muestran a continuación:

▪ **Alimentador 3**

**Tabla 11.** Parametrización de datos de falla del alimentador 3

Orden # de fallas	Tiempos de fallas	Mediana MR							
N	T	F(T)	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	R(T)	Ŷ	
1	1	0,0424	0	-3,14	0	0	0,87	-1,96	
2	1	0,1034	0	-2,21	0	0	0,87	-1,96	
3	2	0,1644	0,69	-1,72	-1,1868	0,4761	0,72	-1,1044	
4	2	0,2254	0,69	-1,36	-0,9384	0,4761	0,72	-1,1044	
5	2	0,2865	0,69	-1,09	-0,7521	0,4761	0,72	-1,1044	
6	2	0,3475	0,69	-0,85	-0,5865	0,4761	0,72	-1,1044	
7	2	0,4085	0,69	-0,64	-0,4416	0,4761	0,72	-1,1044	
8	3	0,4695	1,1	-0,46	-0,506	1,21	0,58	-0,596	
9	3	0,5305	1,1	-0,28	-0,308	1,21	0,58	-0,596	
10	3	0,5915	1,1	-0,11	-0,121	1,21	0,58	-0,596	
11	4	0,6525	1,39	0,06	0,0834	1,9321	0,46	-0,2364	
12	4	0,7135	1,39	0,22	0,3058	1,9321	0,46	-0,2364	
13	5	0,7746	1,61	0,4	0,644	2,5921	0,35	0,0364	
14	6	0,8356	1,79	0,59	1,0561	3,2041	0,27	0,2596	
15	7	0,8966	1,95	0,82	1,599	3,8025	0,21	0,458	
16	30	0,9576	3,4	1,15	3,91	11,56	0	2,256	
			18,28	-8,62	2,7579	31,0334			

Siendo  $a = -1,96$  y  $b = \beta = 1,24$

$\eta$  será igual a 4,86

Aplicando la tabla de Weibull, el MTTR será por lo tanto de 4,57 horas, y el valor de  $\sigma$  de 3,81 horas.

- **Sistema de Agua de Proceso:**

**Tabla 12.** Parametrización de datos de falla Sistema de agua de proceso.

Orden # de fallas	Tiempos de fallas	Mediana MR						
N	T	F(T)	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	R(T)	Ŷ
1	0,5	0,0611	-0,69	-2,76	1,9044	0,4761	0,94	-2,8279
2	1	0,1489	0	-1,82	0	0	0,8	-1,51
3	1	0,2366	0	-1,31	0	0	0,8	-1,51
4	1,5	0,3244	0,41	-0,94	-0,3854	0,1681	0,62	-0,7269
5	2	0,4122	0,69	-0,63	-0,4347	0,4761	0,43	-0,1921
6	2	0,5	0,69	-0,37	-0,2553	0,4761	0,43	-0,1921
7	2	0,5878	0,69	-0,12	-0,0828	0,4761	0,43	-0,1921
8	2	0,6756	0,69	0,12	0,0828	0,4761	0,43	-0,1921
9	2	0,7634	0,69	0,37	0,2553	0,4761	0,43	-0,1921
10	3	0,8511	1,1	0,64	0,704	1,21	0,16	0,591
11	4	0,9439	1,39	1,06	1,4734	1,9321	0,04	1,1449
			5,66	-5,76	3,2617	6,1668		

Siendo  $a = -1,51$  y  $b = \beta = 1,91$

$\eta$  será igual a 2,20

Aplicando la tabla de Weibull, el MTTR será por lo tanto de 1,95 horas, y el valor de  $\sigma$  de 1,07 horas.

- **Barril Principal de la extrusora:**

**Tabla 13.** Parametrización de datos de falla Sistema de Barril principal de la extrusora.

Orden # de fallas	Tiempos de fallas	Mediana MR						
N	T	F(T)	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	R(T)	Ŷ
1	1	0,067	0	-2,67	0	0	0,77	-1,33
2	1	0,1632	0	-1,72	0	0	0,77	-1,33
3	1	0,2594	0	-1,2	0	0	0,77	-1,33
4	1,5	0,3557	0,41	-0,82	-0,3362	0,1681	0,64	-0,7929
5	2	0,4519	0,69	-0,51	-0,3519	0,4761	0,52	-0,4261
6	2	0,5481	0,69	-0,23	-0,1587	0,4761	0,52	-0,4261
7	2	0,6443	0,69	0,03	0,0207	0,4761	0,52	-0,4261
8	2	0,7406	0,69	0,3	0,207	0,4761	0,52	-0,4261
9	2	0,8368	0,69	0,59	0,4071	0,4761	0,52	-0,4261
10	10	0,933	2,3	0,99	2,277	5,29	0,004	1,683
			6,16	-5,24	2,065	7,8386		

Siendo  $a = -1,33$  y  $b = \beta = 1,31$

$\eta = 2,76$

Aplicando la tabla de Weibull, el MTTR será por lo tanto de 2,55 horas, y el valor de  $\sigma$  de 1,98 horas.

- **Criba**

**Tabla 13.** Parametrización de datos de falla Criba.

Orden # de fallas	Tiempos de fallas	Mediana MR							
N	T	F(T)	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	R(T)	Ŷ	
1	1	0,083	0	-2,44	0	0	0,76	-1,28	
2	1	0,2021	0	-1,49	0	0	0,76	-1,28	
3	1	0,3213	0	-0,95	0	0	0,76	-1,28	
4	1	0,4404	0	-0,54	0	0	0,76	-1,28	
5	2	0,5595	0,69	-0,2	-0,138	0,4761	0,51	-0,4037	
6	3	0,6787	1,1	0,13	0,143	1,21	0,33	0,117	
7	3	0,7979	1,1	0,47	0,517	1,21	0,33	0,117	
8	7	0,917	1,95	0,91	1,7745	3,8025	0,03	1,1965	
			4,84	-4,11	2,2965	6,6986			

Siendo  $a = -1,28$  y  $b = \beta = 1,27$

$\eta = 2,74$

Aplicando la tabla de Weibull, el MTTR será por lo tanto de 2,58 horas, y el valor de  $\sigma$  de 2,15 horas.

La característica de los valores de beta obtenidos, para 4 de los 5 equipos analizados, toma valores entre 1 y 2 lo cual indica una tendencia de incremento en las tasas de fallo de estos, a excepción de la peletizadora la cual muestra un valor superior a 2 correspondiente a tasas de fallo incrementándose

**Tabla 14.** Valores del parámetro beta obtenidos.

	$\beta$	CARACTERISTICA
PELETIZADORA	2,14	Tasa de fallos incrementándose. Posibles causas: fatiga, erosión.
ALIMENTADOR 3	1,24	Tasa de fallos incrementándose. Posible causa: desgaste temprano.
SISTEMA DE AGUA DE PROCESO	1,91	Tasa de fallos incrementándose. Posible Causa: desgaste temprano.
BARRIL PRINCIPAL EXTRUSORA	1,31	Tasa de fallos incrementándose. Posible causa: desgaste temprano.
CRIBA	1,27	Tasa de fallos incrementándose. Posible causa: desgaste temprano.

La validación de las causas de los fallos presentados, requieren de un análisis de causa raíz interdisciplinario por parte del personal involucrado en el proceso productivo de la empresa. Debido al alcance de la monografía, la realización de dichos análisis, se sugiere como propuesta de mejoramiento.

## 7. IMPACTO DE LA DISPONIBILIDAD SOBRE LA EFICIENCIA GLOBAL DE LOS EQUIPOS (OEE)

El OEE mencionado en la sección 7.4 es una relación porcentual que sirve para conocer la eficiencia productiva de un sistema, hallada a través de la formula:

$$OEE = DISPONIBILIDAD * CALIDAD * RENDIMIENTO$$

Esta herramienta se ha convertido en un estándar para todas las empresas en el mundo, ya que su principal ventaja radica en que es posible conocer cuáles de los tres elementos que la componen son los que afectan la confiabilidad del 100%,

Actualmente es posible estimar la disponibilidad de cada una de las líneas a partir de valores promedio de tiempo de parada programada, que en el caso de Comai Ltda, esta dado por una aproximación de las horas diarias que tardan en cambio de producto.

Teniendo en cuenta que:

$$Di = \frac{\textit{Tiempo de Operacion programado} - \textit{Tiempo de paradas no programadas}}{\textit{Tiempo de Operacion programado}}$$

El tiempo total disponible al mes  $30 * 24 = 720$ hrs

Tiempo de operación programado = Tiempo total disponible - paradas programadas.

Debido a que en la empresa no hay paradas programadas para el área de mantenimiento, ya que se aprovechan los tiempos de cambio de producto para el mantenimiento programado, el personal operativo de la empresa hace una

estimación de 2 horas diarias en cambio de producto, por lo tanto se tienen 14 horas semanales y 56 horas al mes para mantenimiento programado. El tiempo de operación programado sería de 664 horas.

Con esta información y el tiempo invertido en mantenimiento por paradas de emergencia al mes, se estima una disponibilidad por línea y promedio mensual, como la mostrada en la siguiente tabla:

**Tabla 15.** Disponibilidad estimada año 2011 Comai Ltda.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>L90</b>	<b>L70</b>	<b>L40</b>	<b>L50</b>	<b>L5</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>Di</b>
<b>2011</b>	<b>ENERO</b>	0,994	0,976	0,993	0,991	0,983	0,994	0,998	0,998	1,000	99,20%
	<b>FEBRERO</b>	0,932	0,982	0,996	0,991	0,993	0,998	1,000	0,995	1,000	98,76%
	<b>MARZO</b>	0,950	0,981	0,986	1,000	0,986	1,000	0,998	0,988	1,000	98,79%
	<b>ABRIL</b>	0,998	0,989	0,986	0,989	0,983	1,000	1,000	0,992	1,000	99,29%
	<b>MAYO</b>	0,990	0,970	0,998	0,981	0,994	0,998	0,991	0,898	1,000	97,99%
	<b>JUNIO</b>	0,986	0,870	1,000	0,987	0,983	1,000	0,997	0,997	1,000	98,02%
	<b>JULIO</b>	0,978	0,931	0,999	0,991	0,288	0,992	0,974	0,980	1,000	90,39%
	<b>AGOSTO</b>	0,998	0,971	0,995	0,988	0,985	1,000	0,998	0,982	1,000	99,07%
	<b>SEPTIEMBRE</b>	0,982	0,974	0,986	0,978	0,971	1,000	1,000	0,984	0,997	98,58%
	<b>OCTUBRE</b>	0,974	0,976	0,911	0,978	0,974	0,992	0,995	0,995	0,992	97,65%
	<b>NOVIEMBRE</b>	0,988	0,987	0,989	0,992	0,981	0,995	0,998	0,997	1,000	99,21%
	<b>DICIEMBRE</b>	0,978	0,945	0,998	0,991	0,957	0,998	0,995	0,994	1,000	98,41%

**Fuente:** Autores del Proyecto. En base a los datos histórico de fallos periodo 2011

Teniendo en cuenta que la disponibilidad de la planta esta determinada por cada una de sus líneas, se realizo un promedio de la disponibilidad mensual de la planta, la cual puede apreciarse en la columna Di de la tabla 14.

Esta información en conjunto con los datos registrados para calidad y eficiencia en la empresa, deben ser incorporados a sus índices de gestión como una medida global de desempeño de sus equipos.

Para el año 2011, el cálculo de OEE teniendo en cuenta la eficiencia y calidad de la planta estaría dado por la siguiente tabla:

**Tabla 16.** Estimación de OEE en la planta Comai Ltda.

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>EFICIENCIA</b>	<b>CALIDAD</b>	<b>DISPONIBILIDAD</b>	<b>OEE</b>
<b>2011</b>	<b>ENERO</b>	98,6%	96,21%	99,20%	94,11%
	<b>FEBRERO</b>	98,5%	98,70%	98,76%	96,02%
	<b>MARZO</b>	98,6%	95,20%	98,79%	92,73%
	<b>ABRIL</b>	98,6%	99,58%	99,29%	97,49%
	<b>MAYO</b>	98,5%	98,80%	97,99%	95,36%
	<b>JUNIO</b>	98,6%	85,50%	98,02%	82,63%
	<b>JULIO</b>	98,4%	99,53%	90,39%	88,52%
	<b>AGOSTO</b>	98,7%	98,80%	99,07%	96,61%
	<b>SEPTIEMBRE</b>	98,4%	97,10%	98,58%	94,19%
	<b>OCTUBRE</b>	98,5%	99,97%	97,65%	96,16%
	<b>NOVIEMBRE</b>	98,3%	94,70%	99,21%	92,35%
	<b>DICIEMBRE</b>	98,3%	97,10%	98,41%	93,93%

El promedio a 12 meses durante el año 2011, corresponde a un OEE de 93%, con lo cual teniendo en cuenta la producción teórica de la planta establecida en 25.000 toneladas anuales de producto, equivale a una pérdida anual por parte de Comai Ltda., de 1665 toneladas.

Con una reducción del 52% del tiempo fuera de servicio por paradas en la línea Y7 representado por los equipos críticos seleccionados, manteniendo constantes los valores de calidad y eficiencia suministrados por la empresa, se generaría un OEE del 94%, correspondiente al impacto de la mejora sobre el OEE mostrado durante el año 2011. Dicha mejora representa 165 toneladas adicionales en el año.

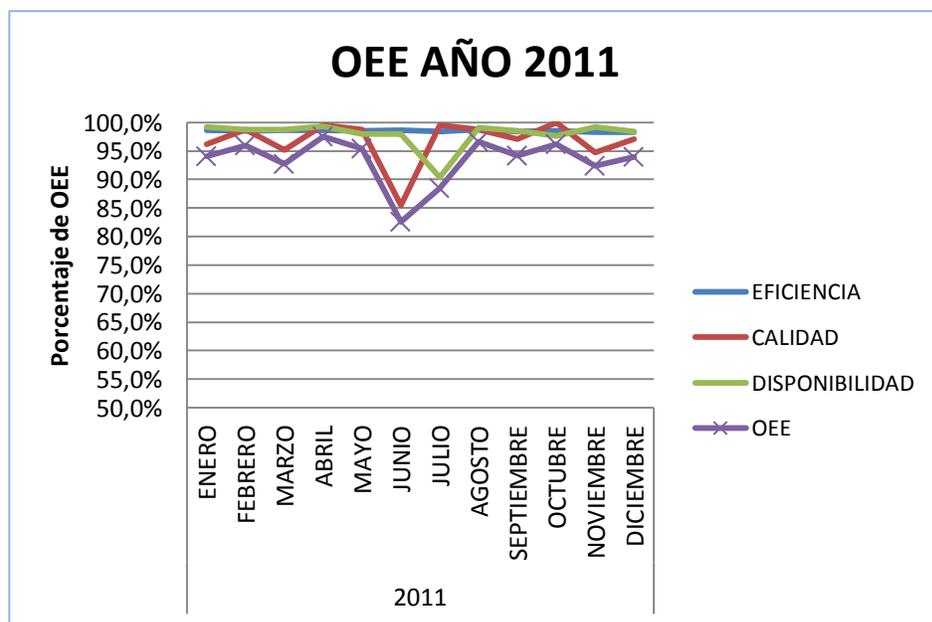
Se propone el seguimiento de los datos para el cálculo de la disponibilidad de manera exacta, realizando el registro de los tiempos de parada programada,

(cambios de producto u otras) para la sistematización de este importante indicador fielmente.

La estimación de OEE realizada muestra el siguiente comportamiento a través del año 2011.

Las mediciones más bajas se registran durante los meses de junio y julio, debido a problemas de calidad y disponibilidad respectivamente.

**Figura 30.** Estimación del OEE año 2011



Este importan KPI (Key performance indicator) permitirá a la empresa tener una mayor claridad de los factores que están afectando su confiabilidad 100%.

La métrica OEE es la forma de llevar a cabo la reducción de las causas más comunes de pérdida de eficiencia en el proceso de fabricación, mencionadas en la tabla 2.

## 8. PROPUESTAS Y RECOMENDACIONES PARA LA DISMINUCIÓN DE FALLOS POR PARADA DE LINEA

Para determinar en que áreas de la empresa focalizar los esfuerzos de la gestión de mantenimiento, se sugiere sean empleados los criterios de criticidad expuestos a lo largo de la monografía, como son el porcentaje en que cada línea contribuye al volumen de producción de la empresa, el aporte que cada una de estas representa al margen, además de la frecuencia y duración de los fallos, de manera que se pueda tener un punto de partida para la utilización de sus recursos en las áreas con mayor oportunidad de mejora y que a su vez reportan mayores beneficios.

Los cálculos realizados para tiempo promedio entre fallas y tiempo promedio de reparación se resumen en la tabla 14.

**Tabla 17.** Resumen de tiempo medio entre fallas arrojados por el seguimiento de fallos históricos en la empresa (Horas).

<i><b>EQUIPO</b></i>	<i><b>MTBF</b></i>	<i><b>MTTF</b></i>	<i><b>MTTR</b></i>	<i><b>Di</b></i>
<b>Peletizadora</b>	484	482	1,8	99,634%
<b>Alimentador 3</b>	531	526	4,5	99,101%
<b>Sistema de agua de proceso</b>	772	771	1,9	99,753%
<b>Barril principal de la extrusora</b>	738	736	2,55	99,669%
<b>Criba</b>	918	916	2,5	99,742%

A partir de estos datos se hacen las siguientes recomendaciones:

- Debido a que la peletizadora y el alimentador 3 muestran un tiempo promedio para fallar de 20 y 22 días respectivamente, se propone adaptar los planes de mantenimiento preventivos existentes en la empresa a los tiempos arrojados por el histórico de fallas. Este valor permite hacer una

estimación del tiempo alrededor del cual debe hacerse una revisión de los equipos con el fin de verificar que estén operando de manera apropiada evitando que se presenten fallas de emergencia.

- En el caso del Sistema de agua de proceso y barril principal de la extrusora, el tiempo promedio para fallar es de 32 y 30 días respectivamente, se propone adaptar los planes de mantenimiento preventivo existentes en la empresa a los intervalos de tiempo arrojados por el histórico de fallas.
- La criba como equipo que presenta el mayor tiempo promedio entre fallos de los seleccionados, muestra un tiempo medio para fallos de 38 días, se propone adaptar los planes de mantenimiento preventivo existentes en la empresa a los intervalos de tiempo arrojados por el histórico de fallas.
- Se propone estandarizar los procedimientos con los que actualmente cuenta la empresa para la realización de las labores de mantenimiento preventivo y correctivo. Este proceso debe ser liderado por el jefe de esta área.
- Se propone la realización de un análisis interdisciplinario de causa raíz, para la solución de los principales modos de falla de los equipos críticos de la línea de producción. Este análisis debe involucrar a los operadores del proceso, los operadores de mantenimiento en la parte eléctrica y mecánica, los supervisores y jefe de producción, con miras a generar acciones concretas y responsabilidades sobre su cumplimiento.
- Extender el establecimiento de frecuencias de mantenimiento preventivo, basadas en la distribución de Weibull a todas las líneas de producción de la compañía, a partir del procedimiento usado en esta monografía, de priorización, parametrización y análisis de las fallas de emergencia que generan paradas en la línea.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a la información recopilada en el sistema de mantenimiento preventivo de la empresa (SISMAP), la línea Y7 se destaca como punto de partida para la inversión de recursos por parte de la empresa, de manera que a partir de la aplicación de herramientas estadísticas, pueda ser estimado el tiempo en el que las alarmas de mantenimiento deben ser activadas para atacar fallas de alta frecuencia e impacto moderado y alto.

En cifras, la línea Y7 representa para la planta en el periodo entre Enero del 2011 y Febrero del 2012, la mayor frecuencia de fallas correspondiente al 26% del total, el 20% del tiempo invertido en paradas de emergencia, el 20,9% del volumen de producción de la planta y el 20,3% de contribución al margen.

El 60% de la frecuencia de fallas y el 52% del tiempo invertido en reparaciones de esta la línea Y7, esta representado por 5 de sus equipos: peletizadora, alimentador 3, sistema de agua de proceso, barril principal de la extrusora y criba. Luego de la aplicación de la distribución de Weibull, los tiempos medios entre fallos que deben ser incorporados a los programas de mantenimiento preventivo para prevenir la generación de paradas de emergencia son: en el caso de la peletizadora: 20 días, Alimentador 3: 22 días, Sistema de agua de proceso: 32 días, Barril principal de la extrusora 30 días, criba: 38 días.

En el año 2011 la línea Y7 dejo de aportar al margen de contribución de la empresa un estimado de \$80.318.948, teniendo en cuenta que este valor corresponden solo al lucro cesante por ocasionar paradas de línea y que podría ser mayor si se incluyen los costos de mantenimiento, ya sea con la consecución de repuestos de ultima hora, mano de obra, contratistas, etcétera. Se estima que las perdidas asociadas a la línea Y7 por reparaciones de emergencia que han

ocasionado paradas de línea, dado que los equipos estudiados representan el 52,37% del tiempo de falla, al año se presentaría un ahorro de \$42.063.033.

El promedio a 12 meses durante el año 2011, corresponde a un OEE de 93%, con lo cual teniendo en cuenta la producción teórica de la planta establecida en 25.000 toneladas anuales de producto, equivale a una pérdida anual por parte de Comai Ltda., de 1665 toneladas.

Con una reducción del 52% del tiempo fuera de servicio por paradas en la línea Y7 representado por los equipos críticos seleccionados, manteniendo constantes los valores de calidad y eficiencia suministrados por la empresa, se generaría un OEE del 94%, correspondiente al impacto de la mejora sobre el OEE mostrado durante el año 2011. Dicha mejora representa 165 toneladas adicionales al año.

La presente monografía establece un marco de referencia para futuras intervenciones a las líneas de producción, como herramienta de mejoramiento continuo.

Las métricas utilizadas están dirigidas a evitar o reducir los siguientes factores:

- Costos asociados a fallos de emergencia y el correspondiente impacto sobre el margen de utilidad, teniendo en cuenta la disponibilidad de los equipos.
- La generación de producto no conforme debido a la relación entre el estado general de los equipos y la calidad de los productos que puede producir cumpliendo las especificaciones de diseño.
- Desgaste de los equipos por paradas imprevistas, debido a que no se realizan las revisiones requeridas para prevenir estos fallos.

- Perjuicios en la imagen de la empresa por retrasos en los programas de producción.
- El estrés laboral asociado a los llamados del personal de esta área para reparaciones de emergencia, y la generación de horas extras para restablecer la operación de los equipos.

Adicionalmente, se propone la utilización del OEE como mecanismo a través del cual se puede hacer un seguimiento a la eficiencia global de sus equipos y el impacto de la disponibilidad de la planta para el máximo aprovechamiento de las capacidades del negocio.

## BIBLIOGRAFÍA

KARDEK, A, NASCIF, J. Mantenimiento, Función Estratégica, CIP Brasil, Rio de Janeiro, 2002

DURÁN, José Bernardo. (2000). Qué es Confiabilidad Operacional? Revista Club Mantenimiento. Año 1. N° 2. Septiembre 2000.

AMENDOLA, Luis José. (2002). “Modelos Mixtos de confiabilidad”. [en línea] disponible en: <[www.mantenimientomundial.com](http://www.mantenimientomundial.com)>

GARCIA, Javier. *“Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo”* [en línea] Disponible en: <<http://www.iit.upcomillas.es/docs/TM-04-007.pdf>> Consulta: Marzo 6 del 2012

GAZABON ARRIETA, Fabián Alfonso. Seminario de investigación.[Diapositivas]. Cartagena: Universidad Tecnológica de Bolívar. Minor en Gestión moderna de la producción, 2012. 66 diapositivas

PIEDRA PALADINES, María Fernanda. 2009. “Gerencia estratégica de mantenimiento de la empresa plásticos del litoral - plastlit”. Escuela superior politécnica del litoral. Facultad de ingeniería en electricidad y computación. Tesis de grado, p 70.

J. B. Durán, Nuevas Tendencias en el Mantenimiento En La Industria Eléctrica, IEEE Latin America Transactions, vol. 1, NO. 1, October 2003.

Espinoza, Fernando. “Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR)” [en línea] Disponible

en:<<http://ing.otalca.cl/~fepinos/CONCEPCION%20MBR%20MANTENIMIENTO%20BASADO%20EN%20EL%20RIESGO.pdf>>, Fecha de Consulta: 10 Abril de 2012

GARCIA, Javier. “Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo” [en línea] Disponible en: <<http://www.iit.upcomillas.es/docs/TM-04-007.pdf>> Consulta: Abril 2 del 2012

CARDOZO, Gonzalo. Ingeniería de confiabilidad.[Diapositivas]. Cartagena: Universidad Tecnológica de Bolívar. Minor en Gestión moderna de la producción, 2012.

Manual SGC, Versión 2008. Empresa Comai Ltda

Por Ricky Smith, CMRP, Allied Reliability, Análisis de Criticidad. En línea: <<http://confiabilidad.net/articulos/analisis-de-criticidad/>>. Fecha de consulta: Abril 16 del 2012.