

# ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1. PROBLEMA .....  | 4         |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....  | 5         |
| 1.2.1 <i>Formulación del Problema</i> .....                                    | 6         |
| 1.2.2 <i>Sistematización del Problema</i> .....                                | 7         |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL TEMA .....                                | 7         |
| 1.4. OBJETIVOS.....  | 9         |
| 1.4.1 <i>General</i> .....   | 9         |
| 1.4.2 <i>Específicos</i> .....   | 9         |
| 1.5. TIPOS DE ESTUDIO.....   | 9         |
| 1.5.1 <i>Método de Investigación</i> .....                                     | 10        |
| 1.5.2 <i>Análisis de la Información</i> .....                                  | 11        |
| <b>2. LA EMPRESA .....</b>   | <b>12</b> |
| 2.1. GENERALIDADES .....   | 12        |
| 2.2. FILOSOFÍA CORPORATIVA .....   | 12        |
| 2.3. ESTRUCTURA .....  | 14        |
| 2.4. LA PLANTA INDUSTRIAL.....   | 15        |
| 2.4.1 <i>Área de Suelta</i> .....  | 16        |
| 2.4.2 <i>Área de Pintura</i> .....   | 17        |
| 2.4.3 <i>Área de Ensamble General</i> .....                                    | 19        |
| 2.5. EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO .....                                    | 20        |
| 2.5.1 <i>Objetivos del Mantenimiento</i> .....                                 | 21        |
| 2.5.2 <i>Mantenimiento</i> .....   | 22        |
| 2.5.3 <i>Clasificación de las Fallas</i> .....                                 | 22        |
| 2.5.3.1. <i>Fallas tempranas</i> .....   | 22        |
| 2.5.3.2. <i>Fallas adultas</i> .....   | 22        |
| 2.5.3.3. <i>Fallas tardías</i> .....   | 22        |
| 2.5.4 <i>Tipos de Mantenimiento</i> .....                                      | 23        |
| 2.5.4.1. <i>Mantenimiento para Usuario (OM)</i> .....                          | 23        |
| 2.5.4.2. <i>Mantenimiento Correctivo</i> .....                                 | 23        |
| 2.5.4.3. <i>Mantenimiento Preventivo</i> .....                                 | 23        |
| 2.5.4.4. <i>Mantenimiento Predictivo</i> .....                                 | 24        |
| 2.5.5. <i>Mantenimiento Productivo Total (T.P.M.)</i> .....                    | 25        |
| 2.5.6. <i>Evaluación y Medición del Equipo de Mantenimiento</i> .....          | 25        |
| <b>3. CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD.....</b>   | <b>27</b> |
| 3.1. CONCEPTOS BÁSICOS.....  | 27        |
| 3.1.1. <i>Calidad en la Historia</i> .....                                     | 27        |
| 3.1.2. <i>Definición de Calidad</i> .....                                      | 29        |
| 3.2. RELACIONES: CALIDAD, PRODUCTIVIDAD, COSTOS, TIEMPOS DE CICLO Y VALOR..... | 33        |
| 3.2.1. <i>Calidad y Productividad</i> .....                                    | 33        |
| 3.2.2. <i>Calidad y Costos</i> .....   | 34        |
| 3.2.3. <i>Calidad y Tiempos de Ciclo</i> .....                                 | 34        |
| 3.2.4. <i>Calidad y Valor</i> .....  | 34        |
| 3.3. ADMINISTRAR PARA LA CALIDAD .....   | 35        |
| 3.4. DISEÑAR PARA LA CALIDAD .....   | 37        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 3.4.1.    | <i>Diseño para el Desempeño Orientado en el Tiempo (confiabilidad)</i> | 37        |
| 3.4.2.    | <i>Establecimiento de los objetivos globales de confiabilidad</i>      | 39        |
| 3.4.3.    | <i>Distribución, predicción y análisis de la confiabilidad</i>         | 40        |
| 3.4.4.    | <i>Evaluación de diseños mediante pruebas</i>                          | 44        |
| 3.5.      | DISPONIBILIDAD   | 46        |
| 3.5.1.    | <i>Diseñar para la capacidad de mantenimiento</i>                      | 46        |
| 3.6.      | DEFINICIÓN ESTADÍSTICA DE LOS INDICADORES DE CALIDAD                   | 48        |
| 3.6.1.    | <i>Fórmula Exponencial de la Confiabilidad</i>                         | 48        |
| 3.6.2.    | <i>Significado de la Media de Tiempo Entre Fallas</i>                  | 50        |
| 3.6.3.    | <i>Disponibilidad</i>  | 51        |
| <b>4.</b> | <b>TPM – MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL</b>                            | <b>53</b> |
| 4.1.      | DEFINICIÓN   | 53        |
| 4.2.      | ORIGEN Y DESARROLLO DEL TPM  | 55        |
| 4.2.1.    | <i>Esparcimiento del TPM</i>   | 56        |
| 4.2.2.    | <i>¿Por qué el TPM es tan popular?</i>                                 | 57        |
| 4.2.2.1.  | Resultados Tangibles Significativos                                    | 57        |
| 4.2.2.2.  | Transformando el Ambiente de Planta                                    | 58        |
| 4.2.2.3.  | Transformando a los Trabajadores de Planta                             | 58        |
| 4.3.      | IMPLEMENTACION DEL TPM   | 59        |
| 4.3.1.    | <i>Fase de preparación (pasos 1-5)</i>                                 | 61        |
| 4.3.1.1.  | Paso 1: Gerencia General Anuncia su Decisión de Implementar TPM        | 61        |
| 4.3.1.2.  | Paso 2: Educación Introductoria a TPM                                  | 61        |
| 4.3.1.3.  | Paso 3: Crear una Organización Promocional para TPM                    | 62        |
| 4.3.1.4.  | Paso 4: Establecer una Política y Metas Básicas para TPM               | 63        |
| 4.3.1.5.  | Paso 5: Generar el Máster Plan de TPM                                  | 64        |
| 4.3.2.    | <i>Fase de Introducción</i>  | 65        |
| 4.3.2.1.  | Paso 6: Kick Off de Iniciativas TPM                                    | 65        |
| 4.3.3.    | <i>Fase de Implementación</i>  | 65        |
| 4.3.3.1.  | Paso 7-1: Mejoramiento Focalizado                                      | 66        |
| 4.3.3.2.  | Paso 7-2: Mantenimiento Autónomo                                       | 67        |
| 4.3.3.3.  | Paso 7-3: Mantenimiento Planificado                                    | 68        |
| 4.3.3.4.  | Paso 7-4: Entrenamiento  | 69        |
| 4.3.4.    | <i>Paso 8: Manejo temprano</i>   | 70        |
| 4.3.5.    | <i>Paso 9: Mantenimiento de la Calidad</i>                             | 71        |
| 4.3.6.    | <i>Paso 10: TPM en Departamentos Administrativos y de Soporte</i>      | 71        |
| 4.3.7.    | <i>Paso 11: Gerenciamiento en Seguridad y Medio Ambiente</i>           | 72        |
| 4.3.8.    | <i>Fase de Consolidación</i>   | 73        |
| 4.3.8.1.  | Paso 12: Sustentar la Implementación del TPM y mejorar su nivel        | 73        |
| 4.4.      | MANTENIMIENTO AUTÓNOMO   | 74        |
| 4.4.1.    | <i>Desarrollando un programa de mantenimiento autónomo</i>             | 74        |
| 4.4.1.1.  | Las metas del mantenimiento autónomo                                   | 74        |
| 4.4.1.2.  | La necesidad del mantenimiento autónomo                                | 75        |
| 4.5.      | CLASIFICANDO Y ASIGNANDO LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO                   | 76        |
| 4.5.1.    | <i>Actividades del Departamento de Producción</i>                      | 77        |
| 4.5.2.    | <i>Actividades del Departamento de Mantenimiento</i>                   | 78        |
| 4.5.3.    | <i>Soporte para el Mantenimiento Autónomo</i>                          | 78        |
| 4.6.      | MEDICIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL TPM                                     | 80        |
| 4.6.1.    | <i>Tipos de Indicadores</i>  | 80        |
| 4.6.1.1.  | Calidad  | 80        |
| 4.6.1.2.  | Mantenimiento  | 81        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 4.7.       | EVALUANDO EL TPM.....  | 85         |
| 4.7.1.     | <i>Midiendo los Beneficios del TPM.....</i>                                      | 85         |
| <b>5.</b>  | <b>SISTEMA AUTOMÁTICO DE REPORTES.....</b>                                       | <b>87</b>  |
| 5.1.       | CONCEPTOS TÉCNICOS GENERALES .....   | 87         |
| 5.1.1.     | <i>Sistema SCADA .....</i>   | 87         |
| 5.1.2.     | <i>Programador Lógico Controlable (PLC) .....</i>                                | 89         |
| 5.1.3.     | <i>Base de Datos.....</i>  | 92         |
| 5.1.4.     | <i>Cimplicity.....</i>   | 93         |
| 5.2.       | PROPÓSITO Y ALCANCE .....  | 94         |
| 5.3.       | RELACIÓN DIRECTA CON TPM, CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD .....                          | 96         |
| 5.4.       | CONSTRUCCIÓN DE REPORTES .....   | 97         |
| 5.5.       | RESULTADOS ESPERADOS .....   | 99         |
| <b>6.</b>  | <b>ANÁLISIS EN TÉRMINOS DE PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD .....</b>                     | <b>100</b> |
| 6.1.       | OBJETO DE ANÁLISIS.....  | 100        |
| 6.2.       | FUNCIONAMIENTO ACTUAL DEL PROCESO SELECCIONADO .....                             | 100        |
| 6.3.       | PROBLEMAS A RESOLVER Y CUANTIFICAR.....  | 103        |
| 6.4.       | SOLUCIÓN PRÁCTICA MEDIANTE EL SISTEMA SUPERVISORIO Y DE REPORTES .....           | 106        |
| 6.4.1.     | <i>Soluciones Mediante la Aplicación del Sistema Andon .....</i>                 | 106        |
| 6.4.2.     | <i>Soluciones Mediante la Aplicación del Sistema de Monitoreo y Control.....</i> | 110        |
| 6.5.       | ANÁLISIS DE RESULTADOS.....  | 120        |
| <b>7.</b>  | <b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>  | <b>125</b> |
| 7.1.       | ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD Y VIABILIDAD .....                                      | 125        |
| 7.2.       | ESTUDIO DE MERCADO.....  | 126        |
| 7.3.       | PRESUPUESTO DE GASTOS E INGRESOS: FLUJO DE CAJA.....                             | 130        |
| 7.4.       | EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROYECTO.....  | 135        |
| 7.4.1.     | <i>Valor actual neto (VAN) .....</i>   | 136        |
| 7.4.2.     | <i>Tasa interna de retorno (TIR) .....</i>                                       | 137        |
| 7.4.3.     | <i>Período de recuperación de la inversión actualizado (PRIA) .....</i>          | 138        |
| 7.4.4.     | <i>Índice de deseabilidad o índice beneficio/costo (B/C).....</i>                | 139        |
| <b>8.</b>  | <b>CONCLUSIONES .....</b>  | <b>141</b> |
| <b>9.</b>  | <b>RECOMENDACIONES .....</b>   | <b>144</b> |
| <b>10.</b> | <b>ANEXO 1: CENTROS DE COSTOS, COSTOS POR UNIDAD Y PRECIOS POR UNIDAD .....</b>  | <b>145</b> |
| <b>11.</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>  | <b>148</b> |

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. PROBLEMA

Para una planta manufacturera con estándares y normas internacionales es fundamental la aplicación de sistemas tecnológicos de vanguardia que permitan mejorar la productividad y la calidad de sus productos.

La presente investigación está dirigida al sector manufacturero automotriz, el producto final es la producción en serie de vehículos automotores para ventas a nivel nacional y de exportación. La línea manufacturera tiene un régimen continuo de producción que puede variar en función de la demanda aun cuando existe un plan de ventas anuales el cual es continuamente ajustado. Resulta crítico el garantizar el correcto funcionamiento diario de las máquinas de la planta industrial puesto que de su confiabilidad se desprende el volumen y la calidad total del producto. Esta investigación pretende centrarse en el proceso manufacturero más que en el producto final como tal puesto que para el producto final existen una serie de controles de calidad y parámetros medibles de productividad mientras que para el proceso de producción resulta ciertamente más complejo el análisis.

Hoy en día la mejora continua es un principio fundamental, en donde cada vez se hace más competitivo el mercado, aún más cuando la principal competencia viene de culturas y tecnologías más desarrolladas que la nuestra, esto nos obliga a trabajar con más detenimiento en todos aquellos pequeños detalles que pueden influir en entregar un mejor producto a nuestros clientes, entregados a tiempo, con la calidad necesaria y por supuesto apegados a todos aquellos criterios que son el centro del negocio.

La investigación propuesta plantea una solución basada en una aplicación tecnológica para generar reportes continuos y oportunos y poder dar seguimiento a fallos en maquinarias, tiempos de solución de problemas y clasificación de fallas con el fin de mejorar la productividad y la calidad de los productos finales reflejados en el desempeño, tiempo de respuesta y solución de problemas del grupo de Mantenimiento al Mantenimiento Productivo Total de la planta manufacturera. También permitirá visualizar una falla existente en un equipo una vez generado un evento a fin de poder actuar de manera inmediata sobre la solución de un problema.

Esto se puede cuantificar en base a los diferentes indicadores aplicables al sistema productivo, a las auditorías de calidad y a los indicadores propios del área de Mantenimiento en función de tiempos de respuesta y procesos de mejora continua.

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La presente investigación, se centra en el análisis de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de diferentes equipos críticos y no críticos necesarios para la correcta operación y funcionamiento de una planta manufacturera.

Como premisa se considera que actualmente no existe una herramienta capaz de indicar con exactitud cada cuanto se deben programar los diferentes tipos de mantenimiento en la maquinaria, esto ocasiona que muchas veces los equipos presenten daños o averías antes del período establecido para los controles de los mismos lo que ocasiona que el proceso de producción se detenga y genera también un elevado índice de fallas disminuyendo la calidad de los productos debido a re trabajos o tiempos de espera muy largos en la solución de problemas que generan una eminente pérdida para la empresa.

Una vez definida la problemática se propone la inclusión de un sistema automático de control que permita establecer la frecuencia de fallas y averías, así como la determinación de los elementos que producen éstas, establecer el tiempo real en el que los equipos se encuentran sin trabajar generando disminución en la producción.

Esta información se guardará en una base de datos la cual permitirá a los usuarios establecer con exactitud los períodos de no funcionamiento de los equipos críticos y permitirá a los planificadores de Mantenimiento establecer una aproximación más real de la frecuencia con la que se deben programar los diferentes tipos de mantenimiento a los equipos.

De la misma manera la herramienta tecnológica permitirá indicar en tiempo real la ocurrencia de una falla en cualquier equipo permitiendo a los operadores atacar directamente al daño reduciendo los tiempos de parada de la producción. Con esto se pretende mejorar los indicadores de producción afectados directa e indirectamente por

paros atribuidos a daños en máquinas y así mismo se pretenden eliminar los defectos de calidad imputados a éstos problemas de mantenimiento.

Dado que el proceso productivo de la planta abarca una gran cantidad de equipos y procesos, se ha decidido realizar la investigación y el desarrollo del sistema “piloto” específicamente en la Planta de Ensamble General de automotores, definiendo únicamente los equipos que pueden ser enlazados a la base de datos.

El monitoreo, control, seguimiento y reporte se centra a los equipos críticos de este proceso y que presentan todas las facilidades para ser “monitoreables” a través del sistema de control automático propuesto.

Dentro de los indicadores a analizar se presentarán básicamente dos conceptos que afectan directamente a la gestión de Mantenimiento de la planta manufacturera, el MTBF (tiempo medio entre fallas) y MTTR (tiempo total de reparación) y que generan una disminución o pérdida de producción. Otros conceptos y variables productivas y de calidad que serán detalladas más adelante a fin de proporcionar un correcto entendimiento de los factores de medición.

Se presentará un análisis de la situación actual comparada con la situación futura una vez implementado el sistema de monitoreo y control y luego de la implementación del mismo a fin de establecer la mejora de la productividad y calidad en función del equipo de Mantenimiento de Planta. Actualmente se posee un seguimiento de los indicadores de la gestión de mantenimiento que servirán de base para establecer las comparaciones respectivas una vez concluida la implementación del sistema autónomo de control. En esencia se persigue mejorar los indicadores de gestión de Mantenimiento y por ende contribuir con la productividad y calidad del producto final.

### **1.2.1 Formulación del Problema**

¿La inclusión de un sistema autónomo de monitoreo y control reducirá los tiempos de respuesta del grupo de Mantenimiento antes, durante y después de la falla de un equipo ya sea crítico o no crítico, permitiendo una mejoría de los índices de Productividad y contribuyendo a la Calidad de automóviles producidos?

### **1.2.2. Sistematización del Problema**

- ¿Es factible la implementación de un sistema autónomo de control para monitorear equipos críticos en la planta de manufactura?
- ¿Cuál debería ser la periodicidad con la que se entreguen los resultados para el cambio de una planificación u orden de mantenimiento?
- ¿Qué indicadores de productividad y de calidad deben utilizarse para la evaluación del impacto del sistema?
- ¿Se pueden utilizar los conceptos de TPM para garantizar la inclusión del sistema de reportes como parte del proceso normal productivo?
- ¿El cambio en la periodicidad del mantenimiento de un equipo reducirá el tiempo de paradas de línea y defectos de calidad?
- ¿El sistema permitirá la reducción de tiempos de espera y tiempos muertos de producción?
- ¿El sistema permitirá actuar con mayor rapidez ante la ocurrencia de una falla, aumentando así la productividad?

### **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL TEMA**

Los sistemas de monitoreo y control a nivel industrial son de gran ayuda para la identificación de problemas y la mejora de la calidad y tiempos de respuesta ante una eventualidad. Con frecuencia ignoramos la existencia de sistemas de monitoreo aún cuando sean de baja escala.

Estos sistemas, ayudan a volar a los aviones, a rodar a los trenes y controlan el motor o los frenos de nuestro automóvil. Forman parte esencial de los teléfonos móviles y, en mayor escala, sirven para gestionar miles de llamadas telefónicas en las centrales digitales. Son un elemento imprescindible para garantizar el suministro de energía eléctrica, el tráfico aéreo y la circulación de trenes, y para asegurar la calidad y la seguridad de incontables procesos industriales.

Definitivamente el valor agregado mayor que se espera obtener con esta implementación es la mejora de la Productividad y la reducción de defectos de Calidad en los productos finales de la Planta, reducir los indicadores y los re trabajos sin duda alguna son objetivos que persiguen todas las plantas manufactureras del mundo.

Poder contribuir con la reducción de costos, el manejo inteligente de la información y aportar con eficiencia ante la existencia de un error o una situación anómala dentro de la Planta, son factores fundamentales que justifican la inclusión de un sistema de reportes automáticos, bien administrados y orientados en la reducción de todos los indicadores negativos de calidad, el aumento de producción y el control y seguimiento de los problemas que día a día se presentan en una industria manufacturera.

La metodología a emplear será puramente estadística, con lo que podremos cuantificar varios indicadores propios del proceso a fin de determinar la eficacia del sistema de monitoreo y reportes.

Las mediciones a realizar, la recolección de datos y los cuadros comparativos aportarán a la mejora de este sistema a fin de conseguir mejores resultados día a día y no estancar la mejora en un solo punto referencial, sino mas bien, entregar una continua mejora gracias a la flexibilidad de crecimiento y aplicaciones a todos los procesos autónomos de control.



## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1. General

Implementar un sistema de control automático que permita mejorar la productividad y la calidad de los productos ofrecidos por la planta manufacturera de automóviles, en función de la capacidad de respuesta antes, durante y después de una falla de la maquinaria.

### 1.4.2. Específicos

- Cuantificar y registrar los tiempos de para de equipos críticos que afectan directamente a la productividad y a la calidad del proceso de manufactura de la Planta de Ensamble General.
- Establecer los parámetros adecuados para la medición de la mejora de la productividad y calidad. Asegurar que éstos parámetros sean medibles, realimentables y de fácil seguimiento.
- Aplicar todos los conceptos de Mantenimiento Productivo Total (TPM) a los equipos de planta ayudados por un sistema autónomo y medir su efectividad y mejora desde su desarrollo hasta su implementación.
- Verificar, tras la puesta en marcha del sistema, la reducción de tiempos de respuesta y el aumento de los indicadores de Planta en función del mejoramiento de la respuesta del personal de Mantenimiento.

## 1.5. TIPOS DE ESTUDIO

Para la elaboración de este proyecto se realizarán estudios de tipo descriptivo y correlacionales.

Los estudios descriptivos consisten en especificar cómo es y cómo se manifiesta un fenómeno. Buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos

comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Miden o evalúan diversos aspectos, componentes o dimensiones del fenómeno a investigar.

En los estudios descriptivos se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así describir lo que se investiga. Esto se hará en función del sistema de reportes a utilizar.

Los estudios correlacionales tienen como propósito medir el grado de relación que existe entre dos o más conceptos o variables en un contexto particular. Con esta metodología podríamos relacionar cuan efectivo puede ser la implementación del sistema de reportes en la mejora de los índices de productividad y calidad a través del grupo de Mantenimiento.

#### **1.5.1. Método de Investigación**

Dada la naturaleza de la investigación a plantear se utilizarán métodos lógicos y empíricos que encajan con la descripción y sustentan su base en el uso del presente trabajo. Los métodos propuestos son:

- **Método Lógico Inductivo:** Es el razonamiento que, partiendo de casos particulares, se eleva a conocimientos generales. Este método permite la formación de hipótesis, investigación de leyes científicas, y las demostraciones. La inducción puede ser completa o incompleta.
- **Método Histórico:** Está vinculado al conocimiento de las distintas etapas de los objetos en su sucesión cronológica.
- **Método Analítico:** Se distinguen los elementos de un fenómeno y se procede a revisar ordenadamente cada uno de ellos por separado. La física, la química y la biología utilizan este método; a partir de la experimentación y el análisis de gran número de casos se establecen leyes universales.
- **Experimentación Científica:** Implica alteración controlada de las condiciones naturales, de tal forma que el investigador creara modelos, reproducirá condiciones,

abstraerá rasgos distintivos del objeto o del problema. La experimentación depende del grado de conocimiento del investigador, a la naturaleza, a las circunstancias del objeto y al problema de investigación, es decir no siempre se podrá realizar experimentación.

- **Medición:** Se desarrolla con el objetivo de obtener la información numérica acerca de una propiedad o cualidad del objeto o fenómeno, donde se comparan magnitudes medibles y conocidas.

### **1.5.2. Análisis de la Información**

Se propone hacer un análisis directo en función de los indicadores descritos anteriormente (MTTR y MTBF) previo y luego de la implementación. Se apoyará en gráficos, curvas, matrices para el análisis de la información.

Presentación de la información utilizando técnicas gráficas (Tablas, Diagrama de Barras, Histogramas, Pasteles.)

## 2. LA EMPRESA

### 2.1. GENERALIDADES

General Motors del Ecuador es una de las empresas de vehículos más grande del mundo. Fundada en 1908, GM emplea hoy 204.000 personas en las regiones en las cuales opera. Con oficinas centrales en Detroit, GM fabrica sus vehículos en 34 países en los cuales los comercializa bajo las siguientes marcas: Buick, Cadillac, Chevrolet, FAW, GMC, GM Daewoo, Holden, Opel, Vauxhall y Wuling. Su mercado nacional más grande se encuentra en los Estados Unidos seguido por China, Brasil, Alemania, Reino Unido, Canadá e Italia. On Star, subsidiaria de GM, es el líder de la industria en seguridad vehicular y servicios de información.

En 1987, GM empezó sus operaciones en el Ecuador, convirtiéndose hasta hoy en el líder del mercado automotor, ensamblando y comercializando vehículos marca Chevrolet. General Motors del Ecuador, empresa orgullosamente ecuatoriana, se ha convertido en una de las compañías más grandes del país; además, ha alcanzado la participación de mercado más alta del mundo dentro de General Motors.

### 2.2. FILOSOFÍA CORPORATIVA

Misión:

Somos una empresa dedicada a producir y comercializar vehículos y productos relacionados, con niveles mundialmente competitivos en seguridad, calidad y oportuna capacidad de respuesta. Estamos comprometidos con el desarrollo de nuestra gente, el progreso de la comunidad y el entusiasmo de nuestros proveedores, clientes y accionistas.

Visión:

Diseñar, fabricar y vender los mejores vehículos del mundo.

Valores Corporativos:

Entusiasmo de cliente.

Mejora continua.

Integridad.

Trabajo en equipo.

Innovación.

Respeto y responsabilidad.

Prioridades culturales:

Responsabilidad.

Velocidad.

Toma de Riesgos.

Enfoque en el Cliente y los Productos.

Responsabilidad Social a 360 grados

El bienestar de los trabajadores y colaboradores de GM OBB es el centro de atención de la compañía.

- Capacitación
- Seguridad industrial
- Programas de desarrollo
- Compromiso con la gente y profundo respeto a la diversidad
- Buenas prácticas éticas
- Planes de bienestar social
- Salud ocupacional

Integración del núcleo familiar a través de:

- Campamentos vacacionales y de liderazgo para los hijos
- Visitas a la planta
- Talleres de relaciones interpersonales (familia, finanzas y fortalecimiento de la autoestima).

Proveedores y buenas prácticas

MGC Modelo de Gestión para la Competitividad. Compartimos con nuestros aliados, colaboradores y proveedores, la experiencia adquirida. Para ello aplica este Modelo, que es una compilación de nuestros mejores procesos y prácticas. El modelo implica:

- Mantener y generar más empleo y más divisas.
- Activar la transferencia de conocimientos globales al país.
- Ofrecer una mayor calidad en productos y servicios.
- Desarrollar nuevos modelos de competitividad.

Participación activa en Gremios:

- **Medio Ambiente**
- ISO 14001
- Procesos de reciclaje
- Ahorro de energía
- Disposición adecuada de residuos sólidos
- Tratamiento de agua

## 2.3. ESTRUCTURA

Internamente la empresa se encuentra dividida en dos áreas: Comercial y Manufactura. El área Comercial, dirigida por un Director, cuenta con varias Gerencias que se encargan de la planificación de las diferentes áreas estratégicas del negocio, entre ellas se pueden mencionar a Finanzas, Compras, Logística, RRHH, Postventa, Contraloría, etc. Cada gerencia y dependiendo de las necesidades cuenta con varias coordinaciones y estas a su vez con el personal operativo de cada área. La estructura básicamente es jerárquica de tipo árbol vertical, la empresa permite varias líneas de desarrollo personal y profesional.

El área de Manufactura, dirigida por un Director, cuenta con varias Gerencias destinadas específicamente a garantizar la producción y operación de la línea de automóviles. La Gerencia de Materiales coordina todo el abastecimiento del CKD y partes nacionales para el ensamblaje de vehículos así como partes y piezas de reposición para los diferentes equipos de Planta; la Gerencia de Ingeniería de Manufactura controla todos los desarrollos de nuevos proyectos, lanzamientos de nuevos modelos e implementación de Procesos Productivos de Planta; la Gerencia de Calidad controla todos los aspectos relacionados con la calidad del producto dentro y fuera de las instalaciones de la Planta; la Gerencia de Operaciones controla toda el área de manufactura de unidades, se encuentra subdividida en 3 Plantas: Suelta, Pintura, Ensamble. El área de Mantenimiento está jerárquicamente

integrada dentro de cada Planta y es la encargada de garantizar la correcta operación de los equipos y maquinaria a fin de garantizar el proceso productivo y cumplir con los volúmenes de venta designados por el área comercial.

## 2.4. LA PLANTA INDUSTRIAL

La Planta Ensambladora de vehículos se encuentra dividida en 3 sub plantas que realizan tareas específicas de la operación de armado de unidades, es una planta CKD que trabaja durante 3 turnos al día en el área de Pintura y 2 turnos en las áreas de Suelta y Ensamble General para abastecer la creciente demanda de vehículos tanto nacionales como de exportación.

“El Complete Knock Down (CKD) es un sistema logístico mediante el cual se consolidan en un almacén todas las piezas necesarias para construir un automóvil, y se envían según los programas de fabricación, (respetando modelos, extras, etc.) a fábricas en otros lugares del mundo.

Esto hace que las piezas sean tratadas en primer lugar como "importación de partes de automóvil", no computando así en los límites impuestos de importación de vehículos por algunos gobiernos, y con una segunda ventaja, que es la creación de empleo en el país de destino.”

El proceso productivo está basado en líneas continuas, líneas stop and go y líneas externas que abastecen al canal continuo de producción en la línea de proceso. En términos generales cada área es responsable de abastecer a la siguiente de vehículos para el ensamblaje. Adicionalmente a las 3 líneas principales de armado, existen “líneas externas” o áreas que brindan servicios especializados a Planta como el Área de Calidad, Manejo de Materiales, Mantenimiento e Ingeniería de Procesos y Proyectos, Seguridad Industrial, etc. Independientemente de la línea productiva y cadena de abastos funciona el área comercial donde se manejan todos los procesos contables y de mercadeo de Planta.

La figura 2.1. muestra un layout general de la Planta. El proceso productivo se describe brevemente a continuación. Es necesario mencionar que a lo largo de toda la Planta se ha implementado un diseño lean manufacturing y se han implementado varias buenas prácticas como 5s, Kaizen, Andon, ISO, etc.

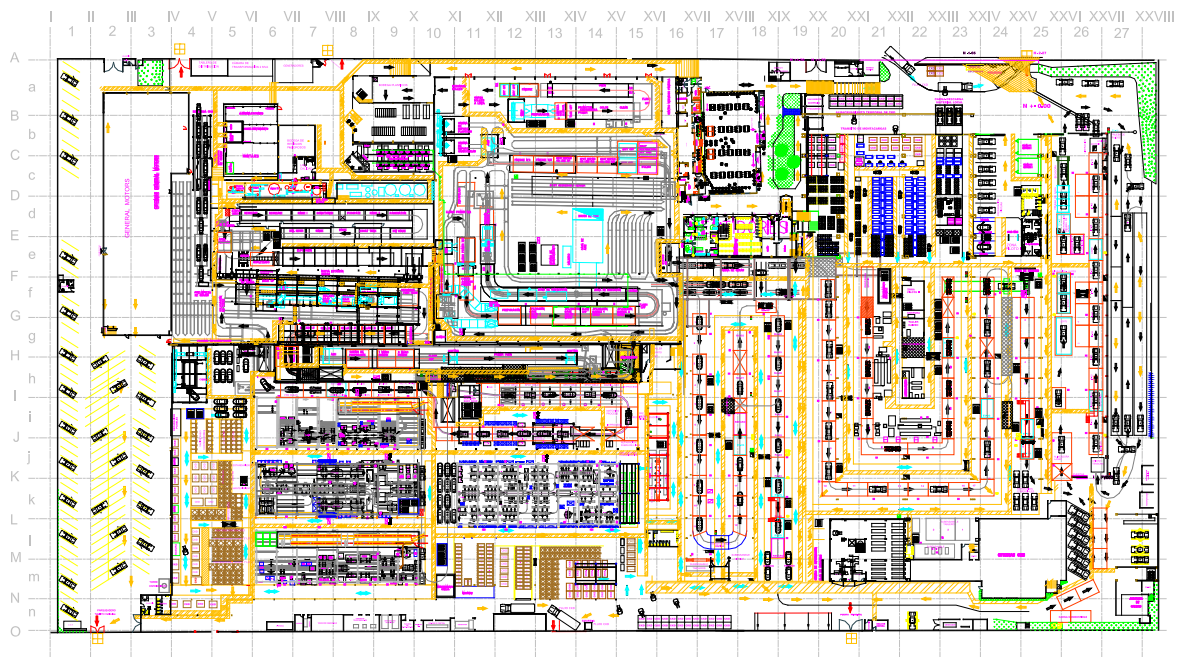


Figura 2.1. Layout General de Planta

### 2.4.1. Área de Suelta

El área de Suelta consta de 4 líneas estáticas conocidas como “celdas” en donde se ensambla un modelo diferente por cada una de ellas (Figura 2.2.). No todas las celdas trabajan a la vez, depende de la mezcla que está regida por la demanda del mercado para la producción. Cada celda cuenta con un molde maestro o jig principal que es el punto central donde llegan todos los pre ensamblados para dar la estructura final a las carrocerías. La figura 2.3 muestra uno de los moldes principales de suelta.

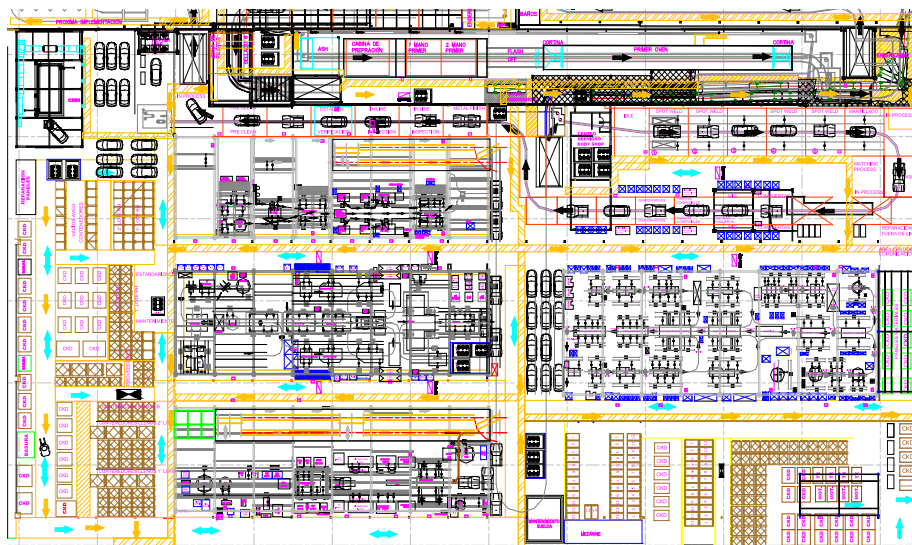


Figura 2.2 Planta de Suelta



Todos los modelos se mezclan en una línea stop & go que permite generar la combinación definida por lotes y que a su vez permite trasladar las unidades hacia una línea continua donde se rematan y se colocan los acabados metálicos de cada carrocería. Toda línea móvil en Planta consta con un sistema Andon que permite alertar a sobre diferentes situaciones en la línea productiva.



Figura 2.3. Molde Maestro Planta de Suelta

Una vez terminado el proceso de soldadura, las unidades quedan con todos sus componentes metálicos y de latonería listos para entrar al proceso de Pintura.

#### **2.4.2. Área de Pintura**

El área de Pintura cuenta con 3 naves dedicadas a la aplicación de anticorrosivos y pintura de las diferentes unidades.

El proceso de pintura inicia en la planta del Elpo donde se da un tratamiento químico a todas las unidades que llegan del proceso de suelta. Este proceso químico consiste en desengrasar las unidades, limpiar excesos de limallas y materiales corrosivos, la aplicación del recubrimiento anti oxidante mediante pintura electrostática y finalmente la curación de las unidades mediante un horno que “cocina” las unidades y garantiza la aplicación de la pintura anti corrosiva sobre la unidad. Terminado el proceso químico las unidades son selladas con material sellante en las juntas soldadas para pasar al siguiente proceso. Todo el proceso del Elpo, a excepción del sellado de unidades, se hace de forma autónoma sin la

ayuda de operadores debido al material utilizado durante el tratamiento, esta serie de procesos son controlados mediante PLCs y maquinaria especializada que se detalla más adelante. La figura 2.4. muestra una perspectiva del sistema Elpo.



Figura 2.4. Perspectiva Sistema Elpo

Las unidades selladas y con recubrimiento anticorrosivo pasan a la siguiente nave donde se aplica la base de color en el proceso denominado PRIMER. La aplicación de la base se hace de forma manual dentro de cabinas presurizadas. Una vez aplicada la base el automóvil ingresa nuevamente a un horno de curación para garantizar la correcta aplicación de la pintura base.

Las unidades se encuentran listas para avanzar al siguiente proceso conocido como ESMALTE, donde las unidades son pintadas con el color definitivo con el que van a salir a la venta. Las unidades son pintadas de forma manual en cabinas presurizadas y son nuevamente curadas dentro de un horno para garantizar la aplicación de la pintura.

Finalmente ingresan a la línea de FINESSE donde se da el pulimento y acabado final de la pintura, es el punto de control donde se realizan varias auditorías previas a la entrega al área de Ensamble para garantizar que la pintura de las unidades sea realizada en óptimas condiciones y cumpla con todos los estándares de calidad.

### **2.4.3. Área de Ensamble General**

Las unidades que llegan desde Pintura están listas para ser ensambladas con todos los componentes electro mecánicos para su operación. La planta de Ensamble General se subdivide en 3 naves que desempeñan funciones específicas.

En el área de Ensamble Pasajeros se procesan todos aquellos modelos que no tienen chasis. Pasajeros cuenta con una línea móvil denominada VESTIDURA donde se colocan todos los componentes de la parte interna del vehículo (paneles, vidrios, volante, parlantes, etc.), por ser una línea móvil esta cuenta con un sistema Andon que garantiza el no llevar defectos de una estación a otra, todo el proceso de ensamblaje se realiza de forma manual mediante operadores de línea. Luego la unidad es suspendida en una línea de tipo stop & go donde se colocan todas las partes exteriores bajo piso de la unidad (cañerías, tanques de combustible, ruedas, transmisión, etc.). A la par trabaja una línea externa de sub ensamblaje de motores que trabaja en secuencia con la línea productiva, cuando llega el modelo a su respectivo motor se ensamblan en un proceso conocido como matrimonio de caja-unidad. Una vez colocados todos los componentes del vehículo pasa a la línea de FINAL donde máquinas especializadas se encargan de cargar combustible, líquido de frenos, refrigerante, A/C, etc. a las unidades dejándolas prácticamente listas para la realización de pruebas. Al final de la cada sub línea existen estaciones de verificación que garantizan la calidad de cada unidad ensamblada.

La segunda nave es el área de Ensamble Comerciales donde se procesan todos los modelos que constan de un chasis. El funcionamiento del proceso es exactamente igual que la línea de Pasajeros, difiere únicamente en la adición de una sub línea donde se pre ensambla los chasises de las unidades, sin embargo ambas partes terminan juntándose en el matrimonio chasis-unidad.

La tercera y última línea es el área de inspección final que básicamente consiste de una serie de máquinas especializadas que realizan diferentes tipos de pruebas a las unidades. Estas pruebas consisten en la alineación de ruedas, alineación de luces, pruebas dinámicas del vehículo, prueba de filtraciones de agua y prueba de ruidos de carretera. Cada una de estas pruebas funciona a manera de una estación de verificación en la cual cada vez que se detecta un problema es retroalimentado aguas arriba e incluso el problema puede

desembocar al área de Suelda donde cada responsable tiene la obligación de hacer un barrido de todas las unidades una vez que se encuentra un inconveniente. Finalmente entra en la sub línea de apariencia y mutilaciones donde se verifica físicamente el estado de la unidad una vez cumplidas con todas las pruebas de calidad y electro mecánicas.

Todos los días durante los dos turnos productivos de la Planta de Ensamble General se seleccionan unidades al azar que pasan por un estricto proceso de Control de Calidad donde se auditan detalles desde apariencia hasta mecánicos de funcionamiento y con esto se garantiza y se cierra el lazo de verificación de unidades en piso.

La figura 2.5. muestra una pantalla desarrollada en Cimplicity donde se puede ver una perspectivas de la línea de Ensamble y de las estaciones del sistema Andon de Planta.

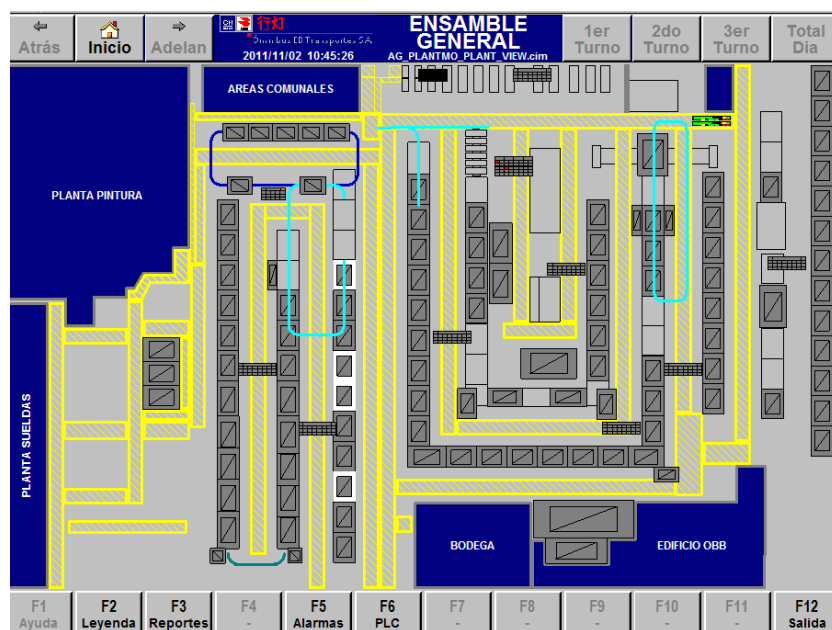


Figura 2.5. Vista Principal en Cimplicity de Ensamble General

## 2.5. EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

Dentro de la organización el área de Mantenimiento juega un papel fundamental. La labor del departamento de mantenimiento, está relacionada muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la maquinaria y herramienta, equipo de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgos en el área laboral

La necesidad de organizar adecuadamente el servicio de mantenimiento con la introducción de programas de mantenimiento preventivo y el control del mantenimiento correctivo hace ya varias décadas en base, fundamentalmente, al objetivo de optimizar la disponibilidad de los equipos productores.

Posteriormente, la necesidad de minimizar los costos propios de mantenimiento acentúa esta necesidad de organización mediante la introducción de controles adecuados de costos. Más recientemente, la exigencia a que la industria está sometida de optimizar todos sus aspectos tanto de costos como de calidad como de cambio rápido de producto, conduce a la necesidad de analizar de forma sistemática las mejoras que pueden ser introducidas en la gestión, tanto técnica como económica del mantenimiento. Todo ello ha llevado a la necesidad de manejar desde el mantenimiento una gran cantidad de información.

### **2.5.1. Objetivos del Mantenimiento**

El diseño e implementación de cualquier sistema organizativo y su posterior informatización debe siempre tener presente que está al servicio de unos determinados objetivos. Cualquier sofisticación del sistema debe ser contemplada con gran prudencia en evitar, precisamente, de que se enmascaren dichos objetivos o se dificulte su consecución.

En el caso del mantenimiento su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos:

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida de la máquina.
- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles o para de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.

- Balancear el costo de mantenimiento con el correspondiente al lucro cesante.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

### **2.5.2. Mantenimiento**

Es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones.

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas.

Decimos que algo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debe dar o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión.

### **2.5.3. Clasificación de las Fallas**

#### **2.5.3.1. Fallas tempranas**

Ocurren al principio de la vida útil y constituyen un porcentaje pequeño del total de fallas. Pueden ser causadas por problemas de materiales, de diseño o de montaje.

#### **2.5.3.2. Fallas adultas**

Son las fallas que presentan mayor frecuencia durante la vida útil. Son derivadas de las condiciones de operación y se presentan más lentamente que las anteriores (suciedad en un filtro de aire, cambios de rodamientos de una máquina, etc.).

#### **2.5.3.3. Fallas tardías**

Representan una pequeña fracción de las fallas totales, aparecen en forma lenta y ocurren en la etapa final de la vida del bien (envejecimiento de la aislación de un pequeño motor eléctrico, pérdida de flujo luminoso de una lámpara, etc.).

## **2.5.4. Tipos de Mantenimiento**

### **2.5.4.1. Mantenimiento para Usuario (OM)**

En este tipo de mantenimiento se responsabiliza del primer nivel de mantenimiento a los propios operarios de máquinas.

Es trabajo del departamento de mantenimiento es delimitar hasta donde se debe formar y orientar al personal, para que las intervenciones efectuadas por ellos sean eficaces.

### **2.5.4.2. Mantenimiento Correctivo**

Es aquel que se ocupa de la reparación una vez se ha producido el fallo y el paro súbito de la máquina o instalación. Dentro de este tipo de mantenimiento se podrían contemplar dos tipos de enfoques:

- Mantenimiento paliativo o de campo (de arreglo): Este se encarga de la reposición del funcionamiento, aunque no quede eliminada la fuente que provoco la falla.
- Mantenimiento curativo (de reparación): Este se encarga de la reparación propiamente pero eliminando las causas que han producido la falla.

### **2.5.4.3. Mantenimiento Preventivo**

Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de rebajar el correctivo y todo lo que representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados, si la segunda y tercera no se realizan, la tercera es inevitable.

Básicamente consiste en programar revisiones de los equipos, apoyándose en el conocimiento de la máquina en base a la experiencia y los históricos obtenidos de las mismas. Se confecciona un plan de mantenimiento para cada máquina, donde se realizarán las acciones necesarias, engrasan, cambian correas, desmontaje, limpieza, etc.

#### Ventajas:

- Si se hace correctamente, exige un conocimiento de las máquinas y un tratamiento de los históricos que ayudará en gran medida a controlar la maquinaria e instalaciones.
- El cuidado periódico conlleva un estudio óptimo de conservación con la que es indispensable una aplicación eficaz para contribuir a un correcto sistema de calidad y a la mejora de los continuos.
- Reducción del correctivo representará una reducción de costos de producción y un aumento de la disponibilidad, esto posibilita una planificación de los trabajos del departamento de mantenimiento, así como una previsión de los recambios o medios necesarios.
- Se concreta de mutuo acuerdo el mejor momento para realizar el paro de las instalaciones con producción.

#### Desventajas:

- Representa una inversión inicial en infraestructura y mano de obra. El desarrollo de planes de mantenimiento se debe realizar por técnicos especializados.
- Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad.
- Los trabajos rutinarios cuando se prolongan en el tiempo produce falta de motivación en el personal, por lo que se deberán crear sistemas imaginativos para convertir un trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción y compromiso, la implicación de los operarios de preventivo es indispensable para el éxito del plan.

#### **2.5.4.4. Mantenimiento Predictivo**

Este tipo de mantenimiento se basa en predecir la falla antes de que esta se produzca. Se trata de conseguir adelantarse a la falla o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas. Para conseguir esto se utilizan herramientas y técnicas de monitores de parámetros físicos.



Ventajas:

- La intervención en el equipo o cambio de un elemento.
- Obliga a dominar el proceso y a tener datos técnicos que comprometa con un método científico de trabajo riguroso y objetivo.

Desventajas:

- La implantación de un sistema de este tipo requiere una inversión inicial importante, los equipos y los analizadores de vibraciones tienen un costo elevado. De la misma manera se debe destinar un personal a realizar la lectura periódica de datos.
- Se debe tener un personal que sea capaz de interpretar los datos que generan los equipos y tomar conclusiones en base a ellos, trabajo que requiere un conocimiento técnico elevado de la aplicación.
- Por todo ello la implantación de este sistema se justifica en máquina o instalaciones donde los paros intempestivos ocasionan grandes pérdidas, donde las paradas innecesarias ocasionen grandes costos.

#### **2.5.5. Mantenimiento Productivo Total (T.P.M.)**

Mantenimiento productivo total es la traducción de TPM (MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL). El TPM es el sistema Japonés de mantenimiento industrial la letra M representa acciones de MANAGEMENT y Mantenimiento. Es un enfoque de realizar actividades de dirección y transformación de empresa. La letra P está vinculada a la palabra “Productivo” o “Productividad” de equipos pero hemos considerado que se puede asociar a un término con una visión más amplia como “Perfeccionamiento” la letra T de la palabra “Total” se interpreta como “Todas las actividades que realizan todas las personas que trabajan en la empresa”. Del TPM se hablará mas adelante con mucho detalle debido a que es la base de lo que se pretende demostrar en esta investigación.

#### **2.5.6. Evaluación y Medición del Equipo de Mantenimiento**

El mantenimiento dentro de la industria es el motor de la producción, sin mantenimiento no hay producción. Todo equipo está sujeto a normas constantes de mantenimiento, dando así alta confiabilidad a la industria.

El área de Mantenimiento es medida dentro de la organización bajo diferentes parámetros, se mide su desempeño en 6 categorías generales y cada una maneja sus propios indicadores: Se miden y evalúan diferentes parámetros en temas de Seguridad, Gente, Calidad, Respuesta, Costos y Ambiente.

Dentro de esta investigación se tratará de atacar indicadores directos dentro de las categorías de Gente, como el porcentaje de sugerencias implementadas con el nuevo sistema de reportes; DRL y Defectos cargados al equipo de Mantenimiento dentro de la categoría de Calidad; Tiempo de para (Down Time), MTTR y MTBF dentro de la categoría de Respuesta; Costos de reparación, material indirecto en la categoría de Costos.

Sobre estos indicadores se hablará a lo largo de los siguientes capítulos y se mostrará un detalle de cómo calcularlos, como controlarlos y la forma en que pueden ser afectados. Finalmente, en el capítulo VI, se podrá observar cuantitativamente el efecto de la implementación del sistema de reportes y el beneficio sobre cada indicador tomando ciertos puntos focales para el análisis.

## 3. CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD

### 3.1. CONCEPTOS BÁSICOS

#### 3.1.1. Calidad en la Historia

Dos ejemplos impresionantes ilustran cómo la calidad tiene un impacto tanto en los ingresos por ventas como en los costos.

Una organización internacional que proclamaba tener un fuerte servicio al cliente rehusó aceptar pedidos de ventas con entregas de menos de 48 horas (aun cuando la competencia cumplía con entregas de pedidos en 24 horas). Imaginemos los millones de dólares de ingresos por ventas perdidos cada año porque esta empresa no reconocía la necesidad de sus clientes. . (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 9-11)

El presidente de una compañía manufacturera de fundición especializada: “Este año nuestra chatarra y los costos de reprocesamiento fueron cinco veces lo que nuestras utilidades. Debido a estos costos, hemos tenido que aumentar nuestro precio de venta y, en consecuencia, hemos perdido participación en el mercado. La calidad ya no es un asunto técnico; es un asunto de negocios”.

¿Esta empresa tiene una reputación marginal por la calidad en el mercado? No. Los clientes la clasifican como la que tiene la mejor calidad disponible. Pero la vieja propuesta de inspección ha fracasado, y la compañía se ha embarcado en un nuevo enfoque.

Nuestros antepasados sabían, al igual que nosotros, que la calidad es importante. La metrología, las especificaciones, la inspección... todo se remonta a muchos siglos atrás.

Luego llegó el siglo XX. El ritmo se aceleró con una larga procesión de “nuevas” actividades e ideas lanzadas bajo una desconcertante colección de nombres: control de calidad, planificación de calidad, mejora continua de calidad, prevención de defectos, control estadístico de procesos, ingeniería de confiabilidad, análisis de costos de calidad, cero defectos, control de calidad total, certificación de proveedores, círculo de la calidad, auditoría de calidad, aseguramiento de la calidad, despliegue de función de calidad, métodos de Taguchi, benchmarking competitivo, Six sigma, etc.

Después de la Segunda guerra Mundial, surgieron dos fuerzas principales que tuvieron un profundo impacto en la calidad. . (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 13-16)

La primera de ellas fue la revolución japonesa en calidad. Antes de la Segunda Guerra Mundial, muchos productos japoneses se percibían en todo el mundo como de mala calidad. Para ayudar a vender sus productos en los mercados internacionales, los japoneses llevaron a cabo algunas medidas revolucionarias para mejorar la calidad:

1. Los gerentes de alto nivel se hicieron cargo personalmente de liderar la revolución.
2. Todos los niveles y funciones recibieron capacitaciones en las disciplinas de calidad.
3. Los proyectos de mejora de calidad se llevaron a cabo en una base continua, a un ritmo revolucionario.

El éxito japonés ha sido casi legendario.

La segunda fuerza importante que afectó la calidad fue la relevancia de la calidad de los productos en la mente del público. Diversas tendencias convergieron para destacar esta importancia: casos de desventaja de productos; la preocupación por el medio ambiente; algunos desastres mayores y casi catástrofes; presión por parte de las organizaciones de consumidores y la conciencia del papel de la calidad en el comercio, las armas y otras áreas de competencia internacional. Este énfasis en la calidad se ha acentuado más por la creación de premios nacionales como el Premio europeo de Calidad Baldrige y el Premio de Calidad Baldrige. . (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, pág. 14)

La calidad no está limitada al sector manufacturero. Sus conceptos se aplican a otros sectores tales como el cuidado de la salud, la educación, las organizaciones sin fines de lucro y los gobiernos. La calidad del producto no es el único enfoque. La calidad del servicio, la calidad del proceso y la calidad de la información ahora se miden, se controlan y se mejoran.

Durante el siglo XX surgió un conjunto importante de conocimientos para lograr la calidad superior. Muchos individuos contribuyeron a este conocimiento, y cinco apellidos merecen mención particular: Juran, Deming, Feigenbaum, Crosby e Ishikawa.

J. M. Jurán enfatiza la importancia de un enfoque equilibrado con el empleo de conceptos gerenciales, estadísticos y tecnológicos de calidad. Recomendaba un esquema operativo de tres procesos de calidad: planeación, control y mejora de la calidad.

W. Edwards Deming también poseyó una amplia visión de la calidad, la cual inicialmente resumió en 14 puntos dirigidos a la administración de una organización. Estos 14 puntos se basan en un sistema de “profundo conocimiento” que tiene cuatro partes: el enfoque de sistemas; la comprensión de la variación estadística; la naturaleza y el alcance del conocimiento, y la psicología para entender el comportamiento humano.

A. V. Feigenbaum enfatiza el concepto de control de calidad total en todas las funciones de una organización. Tal concepto en realidad significa planeación y control. Insta a crear un sistema de calidad para proporcionar procedimientos técnicos y gerenciales que aseguren la satisfacción del cliente y un costo económico de calidad.

Philip Crosby define la calidad estrictamente como “el cumplimiento de los requerimientos” y pone énfasis en que el único estándar de desempeño es el de cero defectos. Sus actividades demostraron que todos los niveles de empleados pueden ser motivados para buscar la mejora, pero que la motivación no tendrá éxito a menos que se proporcionen herramientas a las personas que les muestren cómo mejorar.

Kaoru Ishikawa mostró a los japoneses como integrar las muchas herramientas de mejora de calidad, particularmente las más sencillas de análisis y resolución de problemas. . (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 16-19)

Los enfoques de estas autoridades tienen semejanzas, así como diferencias; particularmente en el énfasis relativo a los elementos gerenciales, estadísticos, tecnológicos y de comportamiento. (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 9-11)

### **3.1.2. Definición de Calidad**

El diccionario ofrece numerosas acepciones para la palabra calidad. Una breve definición de calidad es “satisfacción y lealtad del cliente”. “Adaptabilidad de uso” es un breve significado alternativo. Aunque una definición breve como ésta tiene un enfoque, debe desarrollarse más para que ofrezca una base para la acción.

La revelación del significado comienza con la definición de la palabra cliente. Un cliente es “cualquiera que se ve afectado por el servicio, el producto o el proceso”.

1. Los clientes externos incluyen a los usuarios finales (reales y potenciales) y también a los procesadores intermedios, así como a los minoristas. Otros clientes que no son compradores tienen alguna conexión con el producto, por ejemplo, los

grupos regulativos gubernamentales, accionistas, proveedores, asociados, inversores, medios de comunicación y el público en general. Los clientes externos son claramente de importancia principal.

2. Los clientes internos incluyen otras divisiones de una empresa que reciben información o componentes para un ensamble, y también los departamentos o personas que se ofrecen productos entre sí. Así, cuando un departamento de compras recibe una especificación de otro de ingeniería para una adquisición, entonces ingeniería es el cliente interno de compras. De forma parecida, en un banco, el departamento de nóminas y el de operaciones son clientes internos uno del otro.

A estos clientes internos y externos a veces se les llama “participantes interesados”. Un producto es el resultado de cualquier proceso. Se pueden identificar tres categorías:

1. Bienes: por ejemplo, automóviles, tarjetas de circuitos, reactivos químicos.
2. Software: verbigracia, un programa de cómputo, un informe, una instrucción.
3. Servicios: por ejemplo, banca, seguros, transporte. Servicios también incluye las actividades de apoyo dentro de las empresas, por ejemplo, beneficios a los empleados, mantenimiento de las plantas, apoyo secretarial.

La satisfacción y lealtad de los clientes se logra a través de dos dimensiones: las características y la ausencia de diferencias. En la tabla 3.1. se muestran ejemplos de las categorías principales de estas dimensiones para las industrias manufacturera y de servicios. Se ven diferencias dramáticas dentro de las industrias manufactureras (ensambladoras frente a químicas) y dentro de las de servicios (restauranteras frente a bancarias). Cada organización debe identificar las dimensiones de calidad que son importantes para sus clientes. (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 13-14)

### Dos dimensiones de la calidad

| Industrias manufactureras  | Industrias de servicios  |
|--|--|
| Características  |  |
| Desempeño  | Exactitud  |
| Confiabilidad  | Puntualidad  |
| Durabilidad  | Totalidad  |
| Facilidad de uso   | Amabilidad y cortesía  |
| Capacidad de servicio  | Anticipación a las necesidades de los clientes                                       |
| Estética   | Conocimiento del servidor  |
| Disponibilidad de opciones y expansibilidad                                      | Apariencia de las instalaciones y del personal                                       |
| Reputación   | Reputación   |
| Ausencia de deficiencias   |  |
| Producto libre de defectos y errores en la entrega, durante el uso y el servicio | Servicio libre de errores durante las transacciones de servicio originales y futuras |
| Todos los procesos libres de líneas de retoques, redundancia y otros gastos      | Todos los procesos libres de líneas de retoques, redundancia y otros gastos          |

Tabla 3.1. Dos dimensiones de la calidad

-Elaborado por: GRYNA Frank, Método Juran para la Calidad PP: 76

Un examen más detallado de las dos dimensiones revela otras perspectivas:

1. Las características tienen un efecto importante en el ingreso por ventas (mediante participación de mercado, precios excelentes, etc.). En muchas industrias, la población total de clientes externos puede dividirse por el nivel o “grado” de calidad deseado. Por eso, el espectro de los clientes lleva de una demanda de hoteles de lujo a una de hoteles económicos, y de una de refrigeradores con muchas características especiales a una de otros de capacidad básica de refrigeración. Las características se refieren a la calidad del diseño. Aumentar la calidad del diseño generalmente lleva a mayores costos.
2. La ausencia de deficiencias tiene un efecto importante en los costos mediante reducciones de las sobras, reprocesamiento, quejas y otros resultados de deficiencias. Las “deficiencias” están establecidas en diferentes unidades, por ejemplo, errores, defectos, fracasos, especificaciones anuladas. La ausencia de diferencias se refiere a la calidad de cumplimiento. Aumentar esta última por lo general da como resultado menores costos. Además, un mayor cumplimiento significa menores quejas y, por lo tanto, una disminución del descontento de los clientes.

La figura 3.1. muestra cómo las características y la ausencia de deficiencias se interrelacionan y llevan a mayores beneficios.

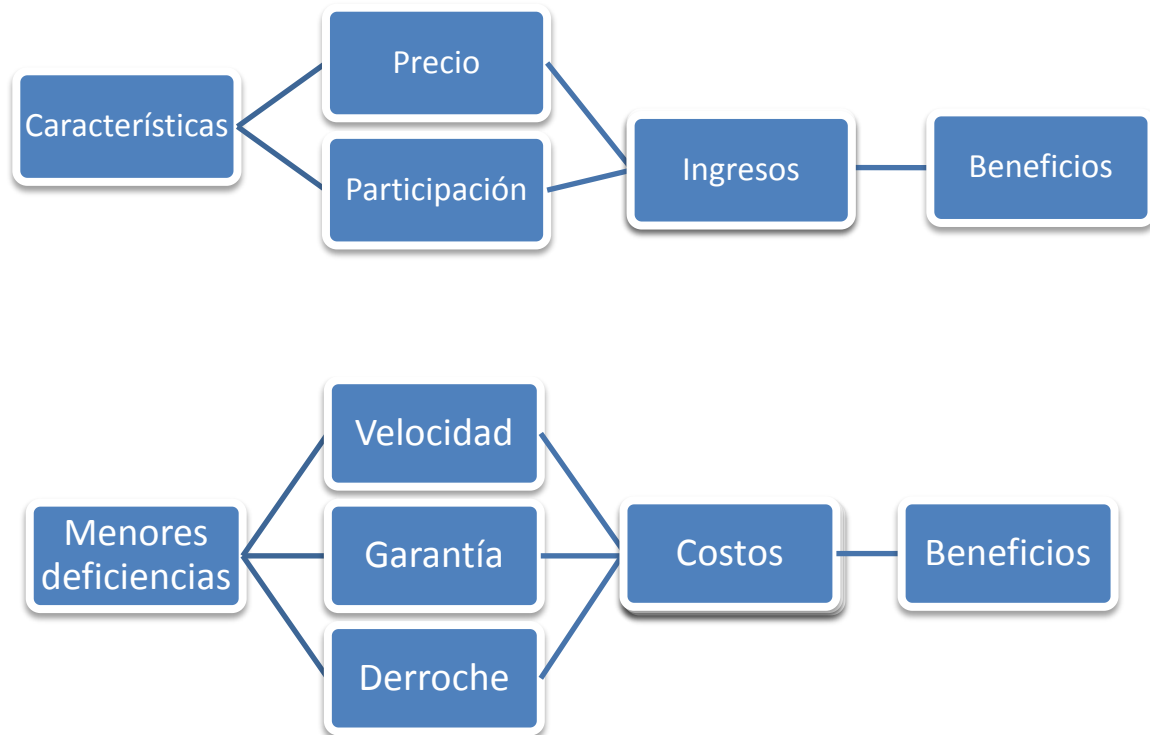


Figura 3.1. Calidad, participación de mercado y rendimiento sobre la inversión

Resumiendo, la calidad es definida por el cliente. Las características y la ausencia de deficiencias son los principales determinantes de la satisfacción. Por ejemplo, un cliente externo de un automóvil desea ciertas características de desempeño junto con un registro de pocos defectos y fallas. El departamento de manufactura, como cliente interno del desarrollo de los productos, quiere una especificación de ingeniería que se pueda producir en la tienda y que esté libre de errores u omisiones. Estos dos clientes buscan el “derecho a producir bien”. Los proyectos de diseño acrecientan las características, y los proyectos de mejora reducen las deficiencias. Se utilizan diferentes técnicas para cada uno. Por ejemplo, el diseño para Six Sigma (DMADV) y el enfoque de ingeniería sirven para mejorar las características, mientras que el Procesamiento de Mejoramiento Six Sigma (DMAIC) y la manufactura esbelta (lean) se emplean para disminuir las deficiencias.

Finalmente, es necesario apuntar que los expertos en calidad ofrecen diferentes definiciones taquigráficas sobre ésta: “adaptabilidad de uso” (Juran), “cumplimiento de las



especificaciones” (Crosby), “pérdida para la sociedad” (Taguchi), “grado predecible de uniformidad” (Deming). Estas acepciones son complementarias y ofrecen un significado operativo en las diferentes fases de las actividades de calidad. Para el registro, la Organización Internacional para la Estandarización (ISO), define la calidad como “la totalidad de características de una entidad que se relacionan con su capacidad para satisfacer las necesidades establecidas y las implícitas”. . (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 18-21)

### **3.2. RELACIONES: CALIDAD, PRODUCTIVIDAD, COSTOS, TIEMPOS DE CICLO Y VALOR**

Un énfasis en la calidad, ¿tiene un impacto positivo o negativo en la productividad, los costos, los tiempos de ciclo y el valor? La respuesta fácil es “positivo”, pero la realidad es que, aunque estos parámetros deberían ser mutuamente compatibles, pueden ser fuerzas de gran ayuda o contrarias.

#### **3.2.1. Calidad y Productividad**

La productividad es el cociente de producto vendible dividido entre los recursos utilizados. Los recursos incluyen mano de obra, materia prima y capital. Cualquiera de éstos (o el total) puede ser el denominador en la razón de productividad. Kaynak (1996) comenta definiciones alternativas de productividad y sus relaciones con la calidad (una conclusión clave: cuando la calidad aumenta, la productividad aumenta).

Una medida común de productividad es la productividad de mano de obra, por ejemplo, número de unidades vendibles por hora de mano de obra directa. Cuando la calidad mejora al identificar y eliminar las causas de los errores y del reprocesamiento, queda disponible un resultado más utilizable por la misma cantidad de factor de mano de obra. Por eso, la mejora en la calidad resulta directamente en un aumento de la productividad. Esta última es ahora un asunto clave en las decisiones de política económica nacional y, de esta manera, la definición y la medida de productividad son importantes para cualquier país. (Gutiérrez, 2008, págs. 22-25)

### **3.2.2. Calidad y Costos**

Cuando la calidad del diseño (características) aumenta, por lo general los costos también. Cuando la calidad del cumplimiento aumenta, la reducción en reprocesamiento, quejas, desechos y otras deficiencias dan como resultado una importante disminución de los costos. Una estrategia ideal exige usar los ahorros de dicha reducción de deficiencias para pagar cualquier aumento en las características sin aumentar el precio de venta, lo que redundaría en una mayor satisfacción del cliente y en un aumento de los ingresos por ventas. Muchas empresas ejemplares están siguiendo discretamente esta estrategia. (Gutiérrez, 2008, págs. 27-28)

### **3.2.3. Calidad y Tiempos de Ciclo**

Tanto en el sector manufacturero como en el de servicios, el tiempo de ciclo para completar las actividades requeridas por los clientes es ahora un parámetro clave. En las industrias de servicio, los clientes consideran el tiempo de ciclo para ofrecer una transacción como un parámetro de calidad. Ellos simplemente demandan una respuesta rápida. Así, cuando un esfuerzo de mejora de calidad reduce el reprocesamiento, las operaciones redundantes y otras deficiencias, ocurre simultáneamente una reducción en el tiempo de ciclo. (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, pág. 18)

### **3.2.4. Calidad y Valor**

El valor es la calidad dividida entre el precio. La realidad es que los clientes no separan la calidad del precio; consideran ambos parámetros simultáneamente. Las mejoras en la calidad que se pueden ofrecer a los clientes sin aumento en el precio resultan en un mejor “valor”. Como los clientes comparan fuentes de suministro, las organizaciones deben evaluar el valor que proporcionan en relación con la competencia. La publicidad ha trivializado la palabra valor, pero el concepto en sí mismo es acertado porque valor es lo que los clientes demandan.

La calidad, la productividad, los costos, el tiempo de ciclo y el valor están interrelacionados. Las actividades de calidad deben intentar detectar los problemas de calidad lo suficientemente pronto como para permitir la acción sin requerir un compromiso en el costo, el horario o la calidad. El énfasis debe estar en la prevención más que sólo en

la corrección de los problemas de calidad. Mejorar la calidad puede ser la fuerza impulsora para acrecentar los resultados de otros parámetros. (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, pág. 18)

### 3.3. ADMINISTRAR PARA LA CALIDAD

Administrar para la calidad es el proceso de identificar y manejar las actividades necesarias para lograr los objetivos impulsados por los clientes de una organización. Una forma útil de introducir el concepto de administración de calidad es relacionarlo con otro concepto de administración bien conocido, es decir, la administración financiera.

La administración financiera se logra por el uso de tres procesos gerenciales: planeación, control y mejora. Algunos elementos clave de estos tres procesos se muestran en la tabla 3.2. Los mismos tres procesos se aplican a la calidad. Los tres procesos financieros proporcionan un enfoque metódico para tratar las finanzas, mientras los tres procesos de calidad se ocupan de esta última. De particular importancia es que los tres procesos de calidad puedan definirse aún más en una secuencia universal de actividades. La tabla 3.3 resume estas secuencias.

| Proceso               | Algunos elementos           |
|-----------------------|-----------------------------|
| Planeación financiera | Preparación del presupuesto |
| Control financiero    | Medida de gastos            |
| Mejora financiera     | Reducción de costos         |

Tabla 3.2. Procesos Financieros

| Planeación   | Control                                    | Mejora   |
|--|--|--|
| Establecimiento del proyecto                                     | Elección de asuntos de control             | Prueba de la necesidad                                 |
| Identificación de los clientes                                   | Establecimiento de medidas                 | Identificación de proyectos                            |
| Descubrimiento de las necesidades de los clientes                | Establecimiento de estándares de desempeño | Organización de equipos de proyectos                   |
| Desarrollo del producto  | Medida del desempeño real                  | Diagnóstico de las causas                              |
| Desarrollo del proceso   | Comparación con los estándares             | Ofrecimiento de remedios y comprobación de efectividad |
| Desarrollo de controles de procesos, transferencia a operaciones | Desarrollo de acciones sobre la diferencia | Negociaciones con la resistencia a cambiar             |

Tabla 3.3. Proceso universal para administrar la calidad

Los tres procesos de la trilogía de Juran están interrelacionados. La figura 3.2 muestra la interrelación aplicada a uno de los dos componentes de la definición de calidad: la ausencia de deficiencias. Esta figura es de importancia extraordinaria. Por ejemplo, es de destacar la distinción gráfica entre el problema esporádico ruidoso y el gasto crónico silencioso. El problema esporádico se detecta y trata mediante el proceso de control. El problema crónico requiere un proceso diferente, llamado mejora. Las palabras claves son “cambio radical”, por lo que el Dr. Juran las definió como un medio para lograr un cambio en el desempeño de negocios a partir de desempeño histórico. Esta transformación no ocurre sola, requiere un “proceso de cambio sistemático” centrado en un enfoque de proyecto por proyecto para lograr cambios radicales. DeFeo y Barnard identifican seis tipos de cambio radicales (liderazgo, organización, desempeño actual, administración, adaptabilidad y cultura) como requisitos previos para lograr y sostener las mejoras en el desempeño de negocios. (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 19-20)

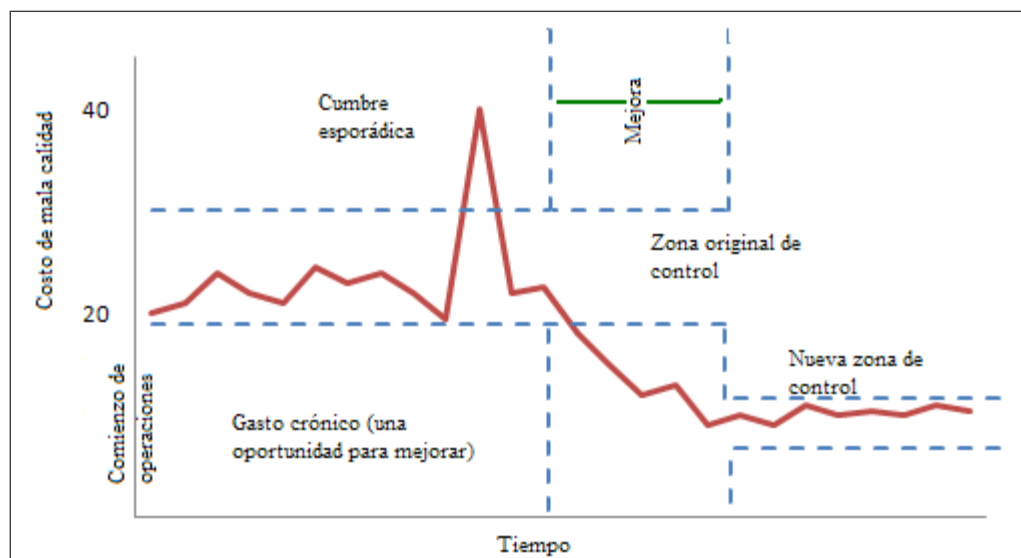


Figura 3.2. El diagrama de la Trilogía de Juran

### 3.4. DISEÑAR PARA LA CALIDAD

#### 3.4.1. Diseño para el Desempeño Orientado en el Tiempo (confiabilidad)

Los ingenieros de diseño se dan cuenta de que un producto debe tener una larga vida de servicio con pocas fallas. A medida que los productos se hacen cada vez más complejos, las fallas aumentan con el tiempo de operación. Los esfuerzos tradicionales del diseño, aunque necesarios, a menudo no son suficientes para lograr unos requerimientos de desempeño funcional y un índice bajo de fallas en el tiempo. Para evitar tales fallas, los especialistas han creado una colección de herramientas llamadas ingeniería de confiabilidad. La confiabilidad es calidad en el tiempo.

La confiabilidad es la capacidad de un producto para desempeñar una función requerida bajo condiciones determinadas durante un período establecido. (Más sencillamente, la confiabilidad es la posibilidad de que un producto funcione durante el tiempo requerido.)

Si se analiza minuciosamente esta definición, se hacen aparentes cuatro complicaciones:

1. La cuantificación de la confiabilidad en términos de una probabilidad.
2. Un enunciado que define el desempeño exitoso del producto.
3. Un enunciado que define el ambiente en el cual debe operar el equipo.
4. Un enunciado del tiempo requerido de operación entre fallas. (De otra manera, la probabilidad es un número sin sentido para los productos orientados a perdurar en el tiempo.)

Para lograr una alta confiabilidad, es necesario definir las tareas específicas requeridas. Esta definición de tareas se llama programa de confiabilidad. El primer desarrollo de los programas de confiabilidad enfatizaba la fase de diseño del ciclo de vida del producto. Sin embargo, pronto se hizo claro que las fases de fabricación y de uso en campo no podían manejarse por separado. Como resultado sugirieron programas de confiabilidad que abarcaban el ciclo total de vida del producto, es decir, “desde el principio hasta el final”.

Por lo general, un programa de confiabilidad incluye las siguientes actividades: establecimiento de los objetivos globales de confiabilidad; distribución de los objetivos de confiabilidad; análisis de los objetivos globales de confiabilidad; distribución de los objetivos de confiabilidad; análisis de estrés; identificación de partes críticas; modo de

fallas y análisis de efectos; predicción de la confiabilidad durante la fabricación; pruebas de confiabilidad, y sistemas de informes de fallas y de acciones correctivas.

Algunos elementos de un programa de confiabilidad son antiguos (por ejemplo, el análisis de tensión, la selección de partes). El nuevo aspecto significativo es la cuantificación de la confiabilidad. El hecho de la cuantificación hace de la confiabilidad un parámetro de diseño, como el peso y la fuerza tensora. Por consiguiente, la confiabilidad puede someterse a especificación y verificación. La cuantificación también ayuda a refinar ciertas tareas tradicionales de diseño como el análisis de tensión y la selección de partes. (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 323-324)

Para una visión general de las actividades claves de confiabilidad, véase la figura 3.3.

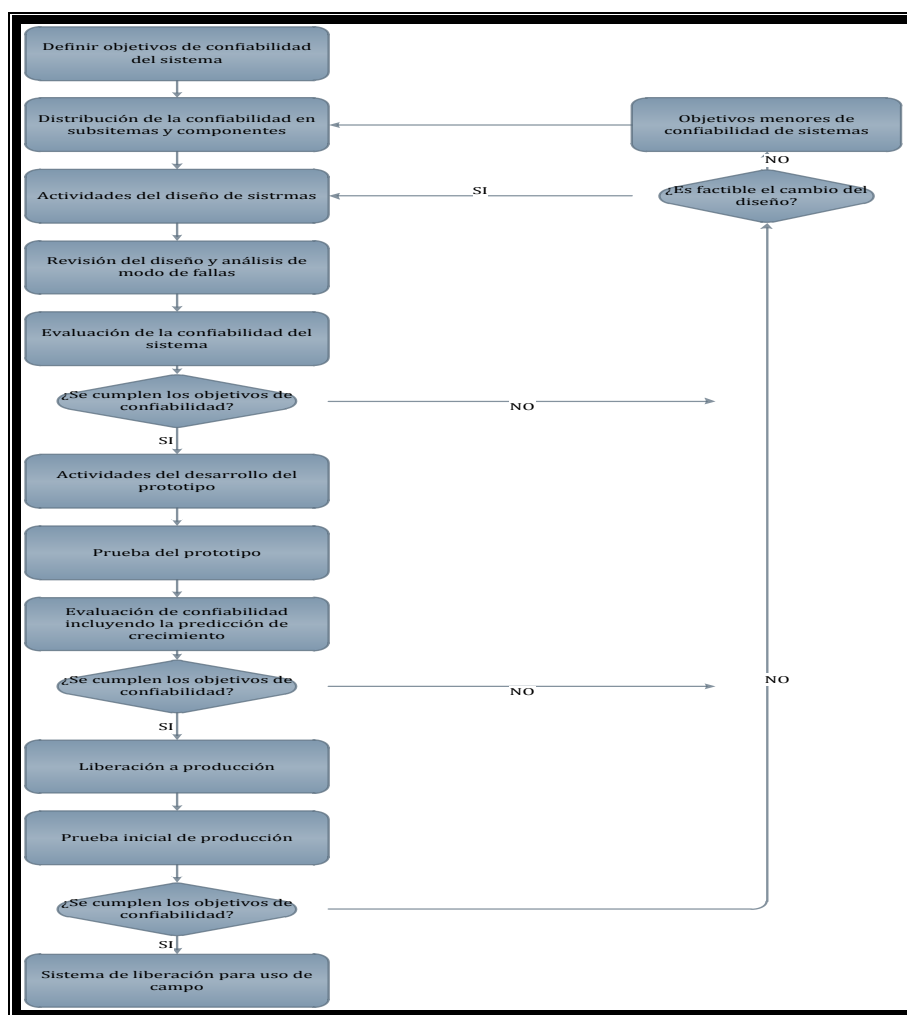


Figura 3.3. Algunas actividades clave de confiabilidad

### **3.4.2. Establecimiento de los objetivos globales de confiabilidad**

El desarrollo original de la cuantificación de la confiabilidad consistía en una probabilidad y en un tiempo de misión junto con una definición de desempeño y las condiciones de uso. Esta definición demostró ser confusa para muchas personas, así que el índice fue abreviado (usando una relación matemática) a tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés). Muchas personas creen que el MTBF es el único índice de confiabilidad, pero ningún índice sencillo aplica a la mayoría de productos. En la tabla 3.4 se presenta un resumen de los índices comunes (a menudo llamados factores de control).

A medida que se gana experiencia al momento de cuantificar la confiabilidad, muchas empresas están emprendiendo que es mejor crear un índice que cumpla únicamente con las necesidades de aquellos que lo usarán. Los usuarios del índice incluyen al personal técnico interno, al de mercadotecnia y a los usuarios del producto. A continuación dos ejemplos de índices y objetivos de confiabilidad:

1. Para un sistema telefónico. El máximo tiempo de indisponibilidad de cada centro de conmutación debe ser de 24 horas cada 40 años.
2. Para un fabricante de motores. El 60 por ciento de los motores producidos deben pasar por el período de garantía sin generar una queja. El número de fallas por motor defectuoso no debe exceder a una.

Fijar los objetivos globales de confiabilidad requiere una reunión de los juicios sobre: (1) la confiabilidad como un número, (2) las condiciones ambientales a las cuales aplican los números y (3) una definición de desempeño exitoso del producto. Esta tarea no se logra fácilmente. Sin embargo, el acto de requerir diseñadores para definir con precisión tanto las condiciones ambientales como el desempeño exitoso del producto obliga a aquellos a entender a fondo el diseño. . (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 22-24)

| <b>Factor de control</b>                   | <b>Significado</b>  |
|--|---|
| Tiempo medio entre fallas (MTBF)           | Tiempo medio entre fallas sucesivas de un producto reparable.   |
| Tasa de fallas                             | Número de fallas por unidad de tiempo.  |
| Tiempo medio para fallas (MTTF)            | Tiempo medio para fallas de un producto no reparable o para la primera falla de un producto reparable.          |
| Vida media                                 | Valor medio de vida ("vida" puede relacionarse con los gastos generales principales, tiempo de desgaste, etc.). |
| Tiempo medio para el primer fracaso (MTFF) | Tiempo medio para primera falla de un producto reparable.   |
| Tiempo medio entre mantenimientos (MTBM)   | Tiempo medio entre un tipo especificado de acción de mantenimiento.   |
| Longevidad                                 | Tiempo de desgaste para un producto.  |
| Disponibilidad                             | Tiempo de operación expresado como un porcentaje de tiempo de operación y reparación.                           |
| Efectividad del sistema                    | Grado al cual un producto logra los requerimientos del usuario.   |
| Vida b10                                   | Vida durante el cual el 10% de la población habría fallado.   |
| Reparaciones/100                           | Número de reparaciones por 100 horas de operación.  |

Tabla 3.4. Factores de control de la confiabilidad

### **3.4.3. Distribución, predicción y análisis de la confiabilidad**

Este proceso de cuantificación de confiabilidad implica tres fases:

1. Distribución (o presupuestación). El proceso de asignar (alinear) los objetivos de confiabilidad entre varios elementos que conforman colectivamente un producto de mayor nivel.
2. Predicción. El uso de datos anteriores de desempeño más la teoría de la probabilidad para calcular las tasas esperadas de fallas para varios circuitos, configuraciones, etc.
3. Análisis. La identificación de las partes fuertes y débiles del diseño para servir como base a las mejoras, intercambios y acciones similares.



Estas fases se ilustran en la tabla 3.5. En la sección superior de la tabla, un requerimiento global de confiabilidad del 95% para 1,45 horas es distribuido a los seis subsistemas de un misil. La segunda sección de la tabla distribuye el presupuesto del subsistema explosivo a las tres unidades dentro de él. La asignación para el sistema de circuitos eléctricos de fusibles es 0,998 o, en términos de MTBF, 725 horas. En la sección final de la tabla se analiza el diseño propuesto para el sistema de circuitos y se hace una predicción de confiabilidad, usando el método de añadir las tasas de fallas. A medida que la predicción indica un; TBF de 1398 horas cuando se compara con un presupuesto de 725 horas, el diseño propuesto es aceptable. La técnica de predicción ofrece una evaluación cuantitativa de un diseño o de un cambio de éste y también puede identificar las áreas de diseño que tienen el mayor potencial para la mejora de la confiabilidad. Por consiguiente, los pocos vitales se harán evidentes al observar los componentes con los mayores índices de fallas. En este ejemplo, los transistores, diodos y condensadores de bases metálicas químicas representan el 70% de las fallas de confiabilidad.

El enfoque de añadir índices de fallas para predecir la confiabilidad del sistema es análogo al control del peso en las estructuras aéreas, donde se mantiene un archivo corriente del peso según se van añadiendo diversas partes del diseño.

La predicción de la confiabilidad es un proceso continuo que empieza con las predicciones de papel basadas en el análisis de diseño, más la información histórica de los índices de fallas. La evaluación termina con la medición de la confiabilidad basada en los datos que provienen del uso que los clientes hacen del producto. La tabla 3.6 enumera algunas características de las diversas fases.

Aunque el resultado visible del procedimiento de predicción es cuantificar las cifras de confiabilidad, el proceso de predicción es, por lo general, tan importante como las cifras resultantes, porque la predicción no puede hacerse sin obtener bastante información detallada sobre las misiones del producto, sus ambientes, historias de los componentes críticos, etc. Adquirir esta información a menudo da al diseñador un conocimiento que no estaba disponible previamente. Incluso cuando el diseñador no puede asegurar la información necesaria, esta incapacidad identificará las áreas de ignorancia en las cuales él está obligado a trabajar. (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 324-329)

| Falla del sistema  |                        |   |  |                           |                           |
|--|------------------------|---|--|---------------------------|---------------------------|
| Subsistema   | Tipo de Operación      | Confiabilidad                                     | Falta de confiabilidad                                     | Índice de fallas por hora | Objetivo de confiabilidad |
| Marco de ventilación   | Continua               | 0,997   | 0,003  | 0,0021                    | 483                       |
| Motor del cohete   | De una vez             | 0,995   | 0,005  |                           | 1/200 operaciones         |
| Transmisor   | Continua               | 0,982   | 0,018  | 0,0126                    | 80,5 h                    |
| Receptor   | Continua               | 0,988   | 0,012  | 0,0084                    | 121 h                     |
| Sistema de control   | Continua               | 0,993   | 0,007  | 0,0049                    | 207 h                     |
| Sistema de explosivos  | De una vez             | <u>0,995</u>                                      | <u>0,005</u>   |                           | 1/200 operaciones         |
| SISTEMA  |                        | 0,95  | 0,05   |                           |                           |
| Falla del subsistema de explosivos   |                        |   |  |                           |                           |
| Unidad   |                        | Modo de operación                                 | Confiabilidad  | Falta de confiabilidad    | Objetivo de confiabilidad |
| Sistema de circuitos electrónicos de fusibles  |                        | Continuo  | 0,998  | 0,002                     | 725 h                     |
| Mecanismo de seguridad y armamento   |                        | De una vez  | 0,999  | 0,001                     | 1/1000 operaciones        |
| Cabeza nuclear   |                        | De una vez  | <u>0,998</u>   | <u>0,002</u>              | 2/1000 operaciones        |
| SUBSISTEMA EXPLOSIVOS  |                        |   | 0,995  | 0,005                     |                           |
| Falla de la unidad   |                        |   |  |                           |                           |
| Clasificación de las partes de los componentes del sistema de circuitos electrónicos de fusibles   | Número usado, <i>n</i> | Índice de fallas por partes, $\lambda$ (%/1000 h) | Índice total de de fallas de partes, $n\lambda$ (%/1000 h) |                           |                           |
| Transistores   | 93                     | 0,3   | 27,9   |                           |                           |
| Diodos   | 87                     | 0,15  | 13,05  |                           |                           |
| Resistencias de películas  | 112                    | 0,04  | 4,48   |                           |                           |
| Resistencias de los bobinados  | 29                     | 0,2   | 5,8  |                           |                           |
| Condensadores de papel   | 63                     | 0,04  | 2,52   |                           |                           |
| Condensadores de base química  | 17                     | 0,05  | 8,5  |                           |                           |
| Transformadores  | 13                     | 0,2   | 2,6  |                           |                           |
| Inductores   | 11                     | 0,14  | 1,54   |                           |                           |
| Ensamble de soldadura y cables   | 512                    | 0,01  | 5,12   |                           |                           |
| $MTBF = \frac{1}{\text{índice de fallas}} = \frac{1}{\sum n\lambda} = \frac{1}{0,0007151} = 1398h$ |                        |   |  | 71,51                     |                           |

Tabla 3.5. Establecimiento de objetivos de confiabilidad

|                | 1. Comienzo del diseño  | 2. Durante el diseño detallado  | 3. En el diseño final   | 4. De las pruebas de los sistemas   | 5. Del uso de los clientes  |
|----------------|---|---|---|---|---|
| Bases          | Predicción basada en informes aproximados de partes e índices de fallas de partes del uso anterior del producto; poco conocimiento de los niveles de tensión, redundancia, etc. | Predicción basada en las cantidades y tipos de partes, redundancias, niveles de tensión, etc. | Predicción basada en tipos y cantidades de índices de fallas de partes para niveles esperados de tensión, redundancias, ambientes externos, prácticas especiales de mantenimiento, efectos especiales de la complejidad del sistema, efectos cíclicos, etc. | Medición basada en los resultados de las pruebas de los sistemas complementos: los índices de confiabilidad apropiada se calculan a partir del número de fallas y del tiempo de operación | Igual que en el paso 4, excepto que los cálculos se basen en los datos del uso que hacen los clientes |
| Usos primarios | Evaluar la factibilidad de cumplir un requerimiento numérico propuesto. Ayudar a establecer un objetivo de confiabilidad para el diseño.  | Evaluar la confiabilidad global. Definir las áreas problemáticas.                             | Evaluar la confiabilidad global. Definir las áreas problemáticas.   | Evaluar la confiabilidad global. Definir las áreas problemáticas.   | Medir la confiabilidad lograda. Definir las áreas problemáticas. Obtener datos para diseños futuros.  |

Tabla 3.6. Etapas de predicción y medición de la confiabilidad

### **3.4.4. Evaluación de diseños mediante pruebas**

Aunque la predicción de la confiabilidad, la revisión del diseño y otras técnicas son valiosas como dispositivos de advertencia temprana, no pueden ser un sustituto para la última prueba, es decir, el uso del producto por parte del cliente. Sin embargo, la experiencia de campo llega demasiado tarde y debe ser precedida por algo que la supla: varias formas de probar los productos para simular el uso de campo.

Mucho antes de que se desarrollara la tecnología de la confiabilidad, se hacían varios tipos de pruebas (desempeño, medioambiental, tensión, vida) para evaluar un diseño. La llegada de la confiabilidad, de la capacidad de mantenimiento y de otros parámetros dio como resultado tipos adicionales de pruebas.

En la tabla 3.7 se da un resumen de los tipos de pruebas para evaluar un diseño. Los programas de pruebas a menudo utilizan un tipo de éstas para más de un propósito, por ejemplo, evaluar el desempeño y las capacidades ambientales.

Todas las pruebas proporcionan algún grado de aseguramiento del diseño. También implican el riesgo de ir por mal camino. Las fuentes principales de riesgo son:

1. Uso pretendido frente a uso real. Por lo general, el diseñador apunta a lograr la aptitud para el uso pretendido. Sin embargo, el uso real puede diferir del concepto del diseñador debido a las variaciones en el ambiente y a otras condiciones de uso. Además, algunos usuarios usarán o emplearán mal el producto.
2. Construcción del modelo frente a producción subsiguiente. Generalmente, los especialistas experimentados construyen los modelos bajo la supervisión de los diseñadores. La producción subsiguiente se realiza por los trabajadores de la fábrica menos experimentados, bajo supervisores que deben cumplir los estándares de productividad, así como de calidad. Además, los procesos de las fábricas rara vez poseen la flexibilidad de adaptación de la que dispone la tienda modelo.
3. Variabilidad debida a números pequeños. Normalmente el número de modelos contruidos es pequeño. (A menudo solamente hay uno.) Sin embargo, las pruebas en estos números pequeños se utilizan para juzgar la adecuación del diseño y hacer muchas unidades de producción, ejecutando algunas veces miles e incluso millones.
4. Evaluación de los resultados de las pruebas. Las presiones para liberar un diseño para producción pueden dar como resultado planes y evaluaciones de prueba que no

califiquen objetivamente la conformidad con los requerimientos de desempeño ni, mucho menos, la aptitud completa de uso. Una organización estudió el proceso de cualificar un nuevo diseño mediante un equipo independiente de revisión que analizó una muestra de los resultados de la “prueba de calificación” en diseños que habían sido aprobados para su liberación. Dos conclusiones fueron que:

- a. Las presiones para liberar los diseños causaron aprobaciones que más tarde dieron como resultado problemas de campo. La situación fue rastreada hasta: (1) prueba inadecuada inicial o (2) falta de verificación de los cambios hechos al diseño para corregir las fallas que surgieron en la prueba inicial.
- b. Más del 50 por ciento de los resultados aprobados de la prueba fueron rechazados porque el procedimiento de ésta no pudo evaluar los requerimientos establecidos por el equipo de desarrollo de productos.

| <b>Tipo de prueba</b>      | <b>Propósito</b>   |
|----------------------------|--|
| Desempeño                  | Determina la capacidad del producto para cumplir los requerimientos básicos de desempeño.  |
| Medioambiental             | Evalúa la capacidad del producto para resistir niveles ambientales definidos; determina los ambientes de intervalos generados por la operación del producto; verifica los niveles ambientales especificados. |
| Tensión                    | Determina los niveles de tensión que un producto puede resistir para fijar el margen de seguridad inherente al diseño; establece los modos de fallas que no están asociados al tiempo.                       |
| Confiabilidad              | Determina la confiabilidad del producto y compara los requerimientos; monitorea las tendencias.  |
| Capacidad de mantenimiento | Determina el tiempo requerido para hacer las reparaciones y comparar con los requerimientos.   |
| Vida                       | Determina el tiempo de desgaste para un producto y los modos de fallas asociados con el tiempo.  |
| Corrida piloto             | Determina si los procesos de aplicación y ensamble son capaces de cumplir con los requerimientos del diseño; establece si se degradará la confiabilidad  |
| Cliente (“beta”)           | Determina si el producto funciona adecuadamente bajo las condiciones de uso de los clientes.   |

Tabla 3.7. Resumen de las pruebas utilizadas para evaluar un diseño

(Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 333-334)

### 3.5. DISPONIBILIDAD

“Un parámetro importante de aptitud para el uso es la disponibilidad. La disponibilidad es la capacidad de un producto, cuando se usa bajo condiciones determinadas, para desempeñarse satisfactoriamente cuando se apela a él. El tiempo total en el estado operativo (también llamado tiempo de operación) es la suma del tiempo consumido en el uso activo y en el estado de espera. El tiempo total en el estado no operativo (también llamado tiempo de indisponibilidad) es la suma del tiempo gastado bajo la reparación activa y la espera por las piezas de repuesto, el papeleo, etc. La cuantificación de la disponibilidad y de la falta de disponibilidad dramatiza la magnitud de los problemas y de las áreas para las mejoras potenciales.

La proporción del tiempo que un producto está disponible para el uso depende de: (1) la ausencia de fallas, es decir de la confiabilidad, y (2) la facilidad con la cual el servicio puede restaurarse después de una falla. El último factor lleva hacia el tema de la capacidad de mantenimiento.” (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, pág. 336)

#### 3.5.1. Diseñar para la capacidad de mantenimiento

Las herramientas para asegurar la capacidad de mantenimiento siguen el mismo modelo básico que aquellas para asegurar la confiabilidad, es decir, hay herramientas para especificar, predecir, analizar y medir la capacidad de mantenimiento. Tales herramientas aplican al mantenimiento preventivo (para reducir el número de fallas) y al correctivo (para restituir un producto a la condición operable). A continuación se analizan algunas de esas herramientas básicas.

La capacidad de mantenimiento a menudo se especifica de manera cuantitativa, como el tiempo promedio de reparación (MTTR, por sus siglas en inglés). El MTTR es el tiempo promedio necesario para realizar el trabajo de reparación suponiendo que hay disponibles piezas de recambio y un técnico; por ejemplo, un conjunto de pruebas puede tener un MTTR especificado de 2,5. Al igual que con la confiabilidad, no hay ningún índice de la capacidad de mantenimiento que aplique a la mayoría de los productos. Otros ejemplos de índices son el porcentaje de tiempo de indisponibilidad debido a las fallas del hardware, el

que se debe a los errores del software y el tiempo promedio entre los mantenimientos preventivos.

Siguiendo al enfoque utilizado en la confiabilidad, un objetivo de la capacidad de mantenimiento para un producto puede distribuirse en los diversos componentes de éste. La capacidad de mantenimiento se puede predecir basándose en un análisis de diseño.

Los enfoques para mejorar la capacidad de mantenimiento de un diseño son generales y específicos. Los enfoques generales incluyen:

- Confiabilidad frente a capacidad de mantenimiento. Por ejemplo, dado un requisito de disponibilidad, ¿debería ser la respuesta una mejora en la confiabilidad o en la capacidad de mantenimiento?
- Construcción modular frente a no modular. El diseño modular requiere agregar el esfuerzo del diseño, pero reduce el tiempo requerido para el diagnóstico y el remedio en el campo. Solamente necesita localizarse la falla en el nivel del módulo, después de lo cual el módulo defectuoso simplemente se desconecta y reemplaza. Este concepto también se aplica a los productos de consumo como los aparatos de televisión.
- Reparaciones frente a desechables. Para algunos productos o módulos, el costo de la reparación de campo supera el de producir nuevas unidades en la fábrica. En casos así, el diseño desechable es una mejora económica en la capacidad de mantenimiento.
- Equipo de prueba incluido vs externo. Las características de la prueba incluida reducen el tiempo de diagnóstico, pero generalmente a cambio de una inversión extra.
- Persona vs máquina. Por ejemplo, ¿debe ser la función de operación/mantenimiento del todo dirigida con instrumentación especial e instalaciones para reparaciones, o debe dejarse a técnicos expertos con un equipo de uso general?

Los enfoques específicos se basan en listas de control detalladas usadas como guías para el buen diseño de la capacidad de mantenimiento.

La capacidad de mantenimiento también puede demostrarse al probarla. La demostración consiste en medir el tiempo necesario para localizar y reparar funcionamientos defectuosos

o para realizar tareas de mantenimiento seleccionadas. . (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 336-337)

### 3.6. DEFINICIÓN ESTADÍSTICA DE LOS INDICADORES DE CALIDAD

#### 3.6.1. Fórmula Exponencial de la Confiabilidad

La distribución del tiempo entre fallas (TBF) indica la posibilidad de una operación libre de fallas para un período específico. La posibilidad de obtener una operación libre de fallas para un período específico o más largo se puede mostrar cambiando la distribución TBF a una que muestre el número de intervalos igual o mayor a un tiempo específico (figura 3.4.). si las frecuencias se expresan como frecuencias relativas, se convierten en estimados de la probabilidad de supervivencia. Cuando el índice de fallas es constante, la probabilidad de supervivencia (o confiabilidad) es:

$$Ps = R = e^{-t/\mu} = e^{-t\lambda}$$

Donde Ps = R = probabilidad de operación libre de fallas para un período igual o mayor a t

e = 2,718

t = período específico de operación libre de fallas

$\mu$  = media de tiempo entre fallas (la media de la distribución TBF)

$\lambda$  = índice de fallas (el recíproco de  $\mu$ )

Es necesario indicar que esta fórmula es simplemente la distribución exponencial de probabilidad replanteada en términos de confiabilidad.

EJEMPLO: Una lavadora requiere 30 minutos para limpiar una carga de ropa. La media de tiempo entre fallas de la máquina es de 100 horas. Asumiendo un índice constante de fallas, ¿cuál es la probabilidad de que esta máquina complete un ciclo sin falla?

$$R = e^{-t/\mu} = e^{-0,5/100} = 0,995$$

Existe un 95 por ciento de probabilidad de completar un ciclo de lavado.



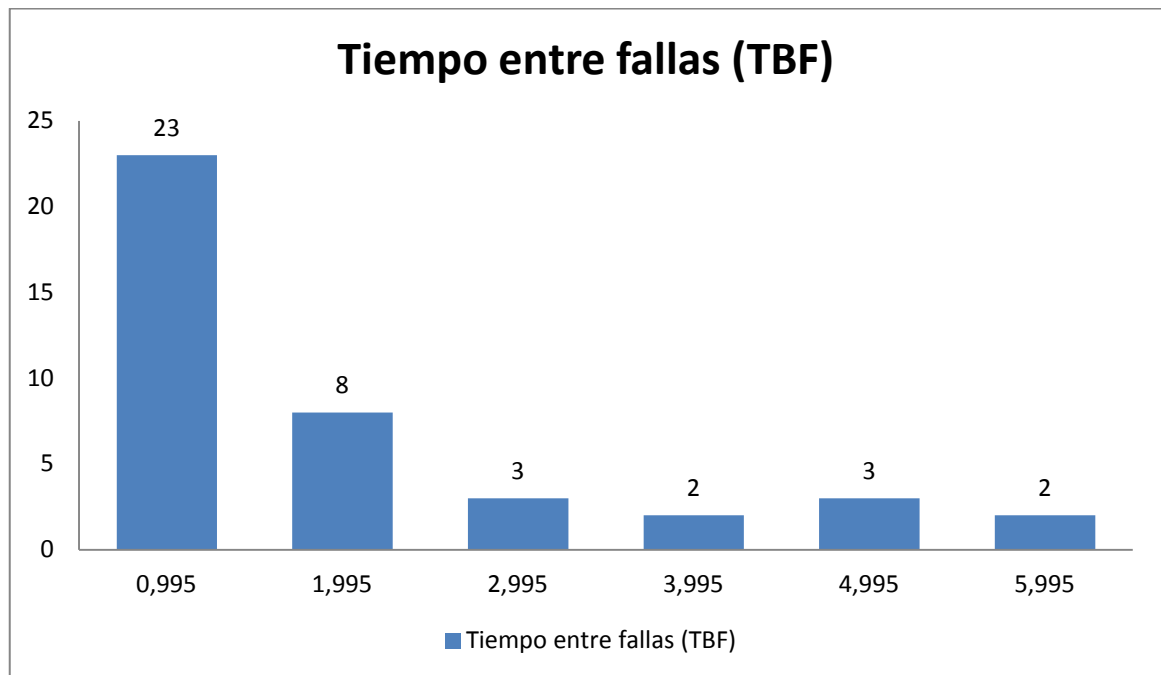


Figura 3.4. (a) Histograma de TBF

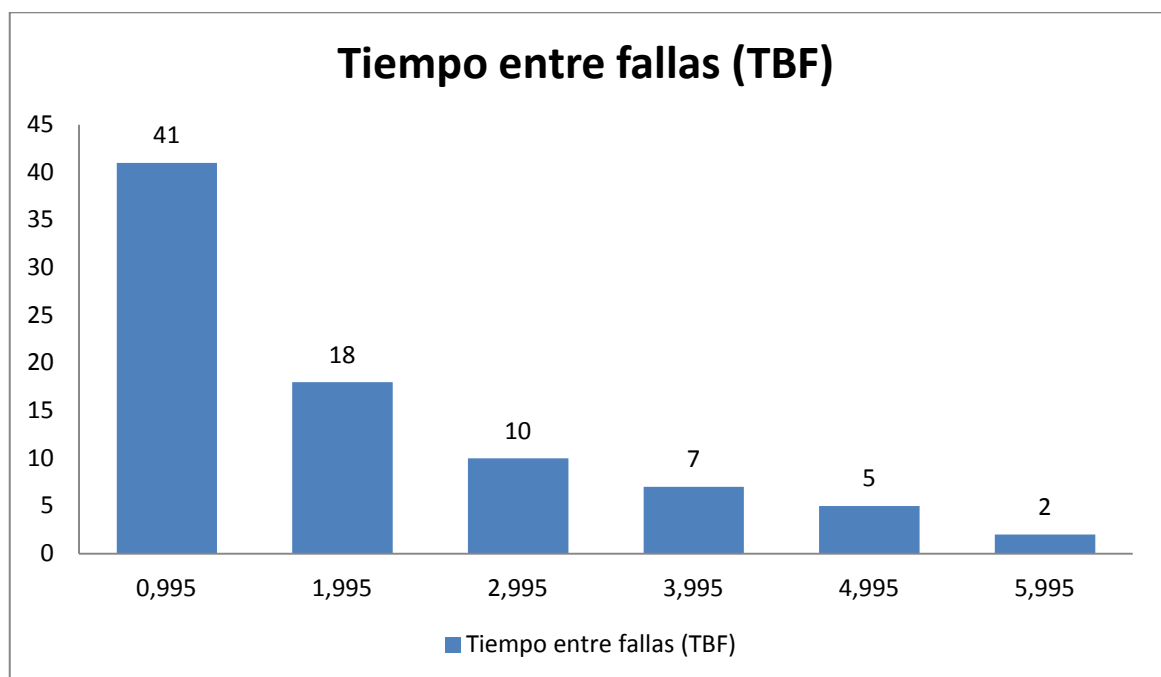


Figura 3.4. (b) Histograma acumulativo de TBF

### 3.6.2. Significado de la Media de Tiempo Entre Fallas

Existe cierta confusión en torno al significado de la media de tiempo entre fallas (MTBF). A continuación se dan explicaciones adicionales.

1. La MTBF es la media (o promedio) de tiempo entre fallas sucesivas de un producto. Esta definición asume que el producto en cuestión se puede reparar y poner de nuevo en operación después de cada falla. Para productos no reparables, se usa el término medio de tiempo hasta la falla (MTTF, por sus siglas en inglés).
2. Si el índice de fallas es constante, la probabilidad de que el producto opere sin fallas durante un tiempo mayor o igual a su MTBF es de sólo 37 por ciento. Este resultado se basa en la distribución exponencial. ( $R$  es igual a 0,37 cuando  $t$  es igual al MTBF). El resultado es contrario a la sensación intuitiva de que existe una posibilidad de 50-50 de exceder el MTBF.
3. La MTBF no es lo mismo que “vida operativa”, “vida de servicio” u otros índices, los cuales generalmente se refieren al tiempo de reparación total o reemplazo.
4. Un incremento en la MTBF no da como resultado un incremento proporcional en la confiabilidad (la probabilidad de supervivencia). Si  $t = 1$  hora, la tabla siguiente muestra el MTBF requerido para obtener diferentes niveles de confiabilidad:

| MTBF | R    |
|------|------|
| 5    | 0,82 |
| 10   | 0,90 |
| 20   | 0,95 |
| 100  | 0,99 |

Se requiere quintuplicar el MTBF, de 20 a 100 horas, para incrementar la confiabilidad en cuatro puntos porcentuales, en comparación con duplicar el MTBF de 5 a 10 horas para obtener un incremento de ocho puntos porcentuales en la confiabilidad. (Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 639-641)

### 3.6.3. Disponibilidad

La disponibilidad se ha definido como la probabilidad de que un producto, cuando se usa bajo determinadas condiciones, tenga un desempeño satisfactorio cuando se lo pida. La disponibilidad considera el tiempo de operación del producto y el necesario para reparaciones. El tiempo muerto, durante el cual el producto no es necesario, se excluye.

La disponibilidad se calcula como la proporción del tiempo de operación, con el tiempo de operación más el tiempo muerto. Sin embargo, el tiempo muerto puede ser considerado de dos maneras:

1. Tiempo muerto total. Este período incluye la reparación activa (diagnóstico y tiempo de reparación), y el tiempo de mantenimiento preventivo y de logística (tiempo que se pasa esperando al personal, refacciones, etc.). Cuando se usa el tiempo muerto total, la proporción resultante se llama disponibilidad operativa ( $A_o$ ).
2. Tiempo de reparación activa. La proporción resultante se llama disponibilidad intrínseca ( $A_i$ ). Bajo ciertas condiciones, la disponibilidad se puede calcular como:

$$A_o = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \quad y \quad A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde, MTBF = media de tiempo entre fallas

MDT = media de tiempo muerto

MTTR = media de tiempo para la reparación

Ésta se conoce como la fórmula de estado estable.

Garrick y Mulvihill (1974) presentan datos sobre ciertos subsistemas de un sistema mecanizado correo masivo (ver tabla 3.8.). Si se pueden estimar la confiabilidad y el sostenimiento durante el proceso de diseño, la disponibilidad se puede evaluar antes de que el diseño sea entregado a producción.

La fórmula de estado estable para la disponibilidad tiene la virtud de la simplicidad. Sin embargo, ésta se basa en diversas presunciones que no siempre se cumplen en el mundo real. Las presunciones son:

- El producto está operando en un período de índice constante de fallas de la vida en general. Así, la distribución del tiempo de fallas es exponencial.
- La distribución del tiempo muerto y el de reparación es exponencial.
- Los intentos para ubicar las fallas del sistema no cambian el índice de fallas generales del sistema.
- No hay crecimiento de confiabilidad.
- El mantenimiento preventivo está programado fuera del marco de tiempo incluido en los cálculos de disponibilidad.

| <b>Equipo</b>                   | <b>MTBF, h</b> | <b>MTTR, h</b> | <b>Disponibilidad (%)</b> |
|---------------------------------|----------------|----------------|---------------------------|
| Clasificador de costales        | 90             | 1,620          | 98,2                      |
| Clasificador de paquetes        | 160            | 0,8867         | 99,4                      |
| Cinta transportadora, inducción | 17900          | 1,920          | 100,0                     |
| Desviador, transporte           | 3516           | 3,070          | 99,9                      |

Tabla 3.8. Datos de disponibilidad para equipos de sistema de correo

(Gryna, Frank; Richard, Chua, 2007, págs. 648-650)

## 4. TPM – MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

### 4.1. DEFINICIÓN

Actividades que maximizan la productividad del equipo, herramienta y maquinaria a través de compartir las responsabilidades estandarizadas de mantenimiento entre mantenimiento, producción e ingeniería.

El TPM es una filosofía de vida que se implementó originalmente en las empresas japonesas para afrontar la recesión económica que se estaba desarrollando en la década de los 70 y la competencia que se avecinaba de occidente. El TPM busca agrupar a toda la cadena productiva con miras a cumplir objetivos específicos y cuantificables. Uno de los objetivos que se busca cumplir en el TPM es la reducción de las pérdidas. En TPM se destacan seis grandes pérdidas:

- Pérdida por avería en los equipos.
- Pérdidas debidas a preparaciones.
- Pérdidas provocadas por tiempo de ciclo vacío y paradas cortas.
- Pérdidas por funcionamiento a velocidad reducida.
- Pérdidas por defecto de calidad, recuperaciones y reprocesado.
- Pérdidas en funcionamiento por puesta en marcha del equipo.

(Suzuki, 1994, págs. 2-3)

Por ser el TPM una metodología TOP-DOWN, esta busca integrar todas las áreas de la empresa desde el nivel más bajo hasta la gerencia o ramas administrativas. El TPM involucrando a los niveles más bajos de la cadena productiva, busca que estos se den cuenta que tan importante es el proceso y como sus esfuerzos llevan al cumplimiento de las metas. Asignándoles responsabilidades para lograr la obtención de las metas fijadas. Cuando la junta directiva de la empresa o la gerencia general deciden implementar TPM en la empresa debe estar consciente que el camino es largo y no es fácil, la implementación del TPM, como la mayoría de las metodologías, conllevan a seguir una serie de pasos establecidos y el éxito o fracaso de la implementación del TPM depende de la constancia y la rigurosidad con que las empresas practiquen la filosofía. Cabe destacar que el TPM es un camino largo, que debe ser alimentado todos los días con disciplina y constancia este

camino no es sencillo, pero si las empresas logran implementar esta metodología los resultados obtenidos serán satisfactorios y marcarán la diferencia con la competencia.

TPM se puede mirar como una estrategia de mejora que involucra no solo a la alta dirección sino también a todos los empleados y que utiliza herramientas como el liderazgo, la perseverancia y la disciplina para lograr que este recurso humano se vea involucrado en un mejoramiento continuo.

En la implementación de un programa de TPM se deben enfrentar varios retos como el compromiso por parte de toda la organización, la adaptación de las personas para los cambios que traerán mejoras en la producción, el mantenimiento, los equipos, la calidad, la satisfacción del cliente, los empleados, la seguridad, el medio ambiente, etc. Para lograrlo se deben romper aquellas barreras ideológicas y culturales, además empezar a ver a mantenimiento como una gran inversión mas no como un gasto.

(Suzuki, 1994, pág. 4)

Esta estrategia gerencial de origen oriental permite la eliminación rigurosa y sistemática de las pérdidas, el logro de cero accidentes, alta calidad en el producto final con cero defectos y reducción de costos de producción con cero averías o fallas. TPM necesita del trabajo en grupos, que sean autónomos y permitan consolidar tareas específicas, en lo administrativo, productivo y en la gestión de mantenimiento que conlleven a procesos más eficaces para contribuir al objetivo general de la empresa. TPM es orientado a la mejora de la efectividad global de las operaciones para ser más competitivos, transforma los lugares de trabajo hasta proyectarlos de buena apariencia elevando el nivel de conocimiento y capacidad de los trabajadores de Mantenimiento y Producción e involucrando al 100% el personal. Con la participación del personal se tiene más motivación, sugerencias de mejora y deseos de éxito, debido al cambio de pensamiento que se da al interior de la organización. El TPM es una cultura que aprovecha y multiplica las ventajas que dan las destrezas habilidades, liderazgo y compromiso de todos los miembros de la organización.

El TPM es una nueva dirección para la producción. En esta época, cuando los robots producen robots y es una realidad la producción automatizada de 24 horas, la fábrica sin manipulaciones manuales es una posibilidad realista. Al describir el control de calidad, a menudo se dice que la calidad depende del proceso, Ahora, con la creciente robotización y

automatización, puede ser más apropiado decir que la calidad depende del equipo. Productividad, coste, stock, seguridad, y bienestar, y output de producción -así como la calidad- todo depende del equipo. El equipo de producción está llegando a ser inimaginablemente sofisticado. Vemos equipos de automatización, tales como robots y producción sin manipulación humana; vemos también equipo para proceso súper preciso de artículos del tamaño de micrones y procesamiento que exige velocidad, presión, y temperaturas que desafían a la tecnología actual. El incremento de la automatización y la producción sin manipulación de personas no acabarán con la necesidad de tareas humanas -solamente las operaciones se automatizan; el mantenimiento aún depende pesadamente del input humano. Sin embargo, la automatización y el equipo de tecnología avanzada requiere conocimientos que están más allá de la competencia del supervisor o trabajador de mantenimiento medios, y para un uso efectivo requieren una organización de mantenimiento apropiada. El TPM, que organiza a todos los empleados desde la alta dirección a los trabajadores de la línea de producción, es un sistema de mantenimiento del equipo a nivel de compañía que puede apoyar las instalaciones de producción sofisticadas.

La meta dual del TPM es cero averías y cero defectos. Cuando se eliminan las averías y defectos, las tasas de operación del equipo mejoran, los costes se reducen, el stock puede minimizarse y, como consecuencia, la productividad del personal aumenta.

(Suzuki, 1994, pág. 5)

## 4.2. ORIGEN Y DESARROLLO DEL TPM

Mientras que las industrias de procesos se enfocaban en el mantenimiento preventivo y productivo, las industrias de fabricación y ensamblaje invertían fuertemente en nuevos equipos y se esforzaban por hacer sus tareas menos intensivas. El equipo utilizado por estas industrias se ha vuelto complejamente autónomo y sofisticado, y Japón es ahora el líder mundial en el uso de robots industriales. Este enfoque hacia la automatización, combinado con la orientación hacia la producción Just In Time, han generado un interés alto en mejorar la gestión del mantenimiento en las industrias de fabricación y ensamblaje. Esto dio origen a una filosofía conocida como Mantenimiento Productivo Total (TPM), una forma de involucrar a todos los empleados en el esquema del mantenimiento productivo. (Suzuki, 1994, pág. 5)

#### 4.2.1. Esparcimiento del TPM

TPM fue adoptado inicialmente en la industria automotriz y rápidamente fue parte de la cultura corporativa en compañías como Toyota, Nissan y Mazda así como de sus proveedores y afiliados. Hoy en día ha sido introducido en otras industrias como microelectrónica, herramientas, plásticos, películas, entre otras.

Una vez introducido el mantenimiento preventivo, las industrias de proceso empezaron a implementar TPM. Un creciente número de plantas de proceso han adoptado el TPM en los últimos años, industrias como las dedicadas a alimentos, gomas, aceite y petróleo, químicas, gas, cemento, fabricación de papel, acero e impresión.

Inicialmente, las actividades del TPM fueron limitadas al departamento directamente afectado o que involucraba a sus equipos, como producción. Como se muestra en la figura 4.1. , sin embargo, los departamentos administrativos y de soporte, ejercen roles determinantes en el TPM, de hecho el TPM puede ser adoptado y adaptado para las áreas administrativas, ventas e incluso desarrollo e ingeniería. (Suzuki, 1994, págs. 7-9)

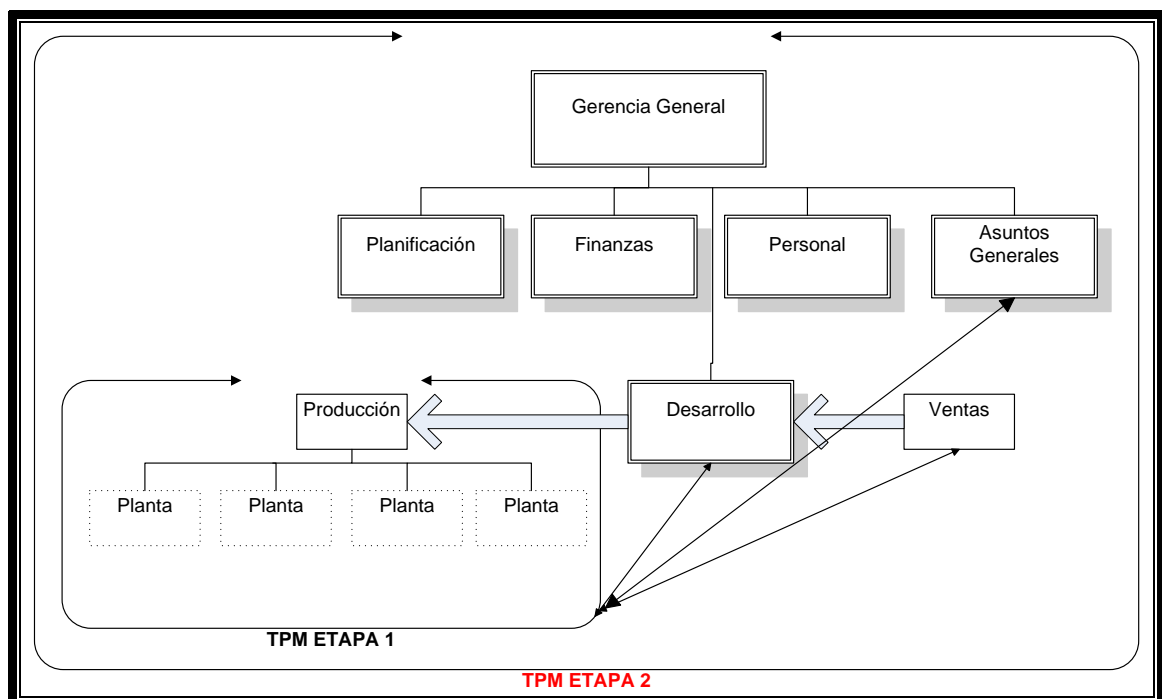


Figura 4.1. Desde el Departamento de Producción a una Compañía TPM

Esta última tendencia muestra el incremento de interés en considerar los procesos de producción y equipos en la fase de desarrollo de producto en un esfuerzo por simplificar la



producción, mejorar la calidad y reducir los períodos de lanzamiento de nuevos productos. Todos estos deseos son una particular preocupación hoy en día en las industrias de procesos como parte de su plan de diversificación de productos y las tendencias cambiantes del consumidor para mantener los ciclos de vida de los productos cada vez más cortos.

El interés por el TPM fuera de Japón también se ha incrementado en los últimos años. Muchas compañías en Estados Unidos, Europa, Asia y Sudamérica están planificando o están ya inmersas en las actividades que contemplan el TPM. (Suzuki, 1994, págs. 10-13)

#### **4.2.2. ¿Por qué el TPM es tan popular?**

Existen tres razones fundamentales para el esparcimiento acelerado del TPM en las industrias Japonesas y fuera de ellas: TPM garantiza resultados dramáticos, visiblemente transforma el sitio de trabajo, e incrementa el nivel de conocimiento y habilidades de los operarios de producción y mantenimiento.

##### **4.2.2.1. Resultados Tangibles Significativos**

Las compañías que practican TPM pueden palpar resultados iniciales, principalmente en la reducción de fallas de equipos, minimizan impactos y minimizan las paradas, disminuyen los defectos de la calidad, incrementan la productividad, reducen tareas y costos, reducen el inventario, cortan los accidentes y promueven el desempeño de los empleados (Como se puede observar en la tabla 4.1. donde se muestra el incremento de las sugerencias de los empleados). (Suzuki, 1994, pág. 14)

| BENEFICIOS TANGIBLES   |  |
|------------------------|--|
| <b>P...</b>            | Productividad neta hasta 1.5 – 2 X   |
|                        | Número de apagones repentinos  |
|                        | Efectividad promedio de Planta   |
| <b>Q...</b>            | Tasa de defectos de procesos 90%   |
|                        | Disminución de reclamos de clientes 75%  |
| <b>C...</b>            | Reducción de costos de producción 30%  |
| <b>D...</b>            | Ahorros en inventarios de producción y trabajos en línea   |
| <b>S...</b>            | Accidentes 0   |
|                        | Contaminación 0  |
| <b>M...</b>            | Sugerencias implementadas 5-10 X   |
| BENEFICIOS INTANGIBLES |  |
|                        | Eliminar paras y defectos y mejora en la actitud poder-hacer   |
|                        | Hacer de los espacios sucios lugares irreconocibles llenos de limpieza, brillantes.                            |
|                        | Dar a los visitantes de la Planta una imagen mejor de la compañía y por lo tanto ganar más órdenes de trabajo. |

Tabla 4.1. Ejemplos de resultados de TPM

#### 4.2.2.2. Transformando el Ambiente de Planta

A través del TPM, una planta llena de aceite, desperdicios, grasa y líquidos goteando puede renacer como un lugar placentero y seguro para trabajar. Clientes y otros visitantes siempre se impresionan con los cambios y eso genera una confianza mayor en los productos.

#### 4.2.2.3. Transformando a los Trabajadores de Planta

A medida que las actividades del TPM empiezan a dar resultados (mejorando el ambiente laboral, minimizando las paras, mejorando la calidad, reduciendo tiempos de cambios, etc.), los trabajadores se sienten más motivados, incrementa el desempeño y se evidencia una creciente de sugerencias para mejorar la Planta. Las personas empiezan a pensar en el TPM como parte de su trabajo.

El TPM ayuda a los operadores a entender su equipo y a establecer un rango de mantenimiento y otras tareas que pueden manejar. Esto les permite a ellos hacer nuevos “descubrimientos”, adquirir conocimiento fresco y disfrutar de experiencias nuevas. Genera motivación, genera interés y preocupación en sus equipos e incrementa el deseo de mantener el equipo en condiciones óptimas de funcionamiento.

### 4.3. IMPLEMENTACION DEL TPM

TPM normalmente es implementado en 4 fases (preparación, introducción, implementación y consolidación), las cuales pueden ser subdivididas en 12 pasos. (Tabla 4.2).

| Paso   | Punto Clave   |
|--|---|
| <b>Preparación</b>   | La Gerencia General anuncia en una reunión puertas adentro la decisión de adoptar TPM   |
| 1. Anunciar formalmente la decisión de introducir TPM                  |   |
| 2. Conducir una educación introductoria a TPM y campañas de publicidad | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo general: entrenamiento grupal para manejo específico de niveles</li> <li>• Empleados: presentaciones</li> </ul> |
| 3. Crear una promoción organizacional para TPM                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crear comités y subcomités especialistas</li> <li>• Oficina de promoción TPM</li> </ul>                                |
| 4. Establecer la política básica de TPM y metas                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer una línea base</li> <li>• Efectos de presupuesto</li> </ul>   |
| 5. Delinear un Plan Maestro para la implementación de TPM              | Desde la fase de preparación a la aplicación del PM   |
| <b>Introducción</b>  | Invitar clientes, afiliados y subcontratistas   |
| 6. Kick-off TPM  |   |
| <b>Implementación</b>  | Agilizar la efectividad de la producción  |
| 7. Construir una constitución  |   |

|  |  |
|--|--|
| corporativa diseñada para maximizar la efectividad de la producción        |  |
| 7.1. Conducir actividades enfocadas en la mejora                           | Actividades de proyectos y actividades grupales pequeñas   |
| 7.2. Establecer e implementar un programa de mantenimiento autónomo        | Proceder paso a paso, con auditorías y certificando cada paso.   |
| 7.3. Implementar un plan de mantenimiento planeado                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento correctivo</li> <li>• Mantenimiento de apagado de planta</li> <li>• Mantenimiento predictivo</li> </ul>                   |
| 7.4. Entrenamiento en correcta operación y habilidades de mantenimiento    | Educación grupal para líderes de grupo quienes a su vez escalonarán el entrenamiento a los miembros de su equipo   |
| 8. Construir un sistema de manejo temprano para nuevos productos y equipos | Desarrollar productos que sean fáciles de usar y equipo fácil de usar  |
| 9. Construir un sistema de mantenimiento en calidad                        | Establecer, mantener y controlar condiciones para cero defectos.   |
| 10. Construir una administración efectiva y equipo de soporte              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incrementar la efectividad en el soporte a producción</li> <li>• Mejorar las funciones administrativas y ambientes laborales</li> </ul> |
| 11. Implementar un sistema de manejo seguro, saludable y ambiental         | Asegurar un ambiente libre de accidentes y libre de polución   |
| <b>Consolidación</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar premios PM</li> </ul>   |
| 12. Sustentar la implementación del TPM e incrementar los niveles          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivar para alcanzar objetivos más altos</li> </ul>   |

Tabla 4.2. Los doce pasos para la implementación del TPM

#### **4.3.1. Fase de preparación (pasos 1-5)**

Es vital presentar los fundamentos del programa del TPM cuidadosamente y a fondo. Si la planeación se descuida, repetidas modificaciones y correcciones pueden ser necesarias durante la implementación. La fase de preparación empieza con el anuncio de la Gerencia General de su decisión de introducir TPM y está completa cuando el Plan Maestro (Máster Plan) de TPM ha sido generado. (Suzuki, 1994, pág. 21)

##### **4.3.1.1. Paso 1: Gerencia General Anuncia su Decisión de Implementar TPM**

Todos los empleados deben entender por qué su compañía está introduciendo TPM y deben estar muy claros de su necesidad. El aumento de las materias primas, la caída de los precios de los productos, y otros trastornos en el ambiente del negocio están forzando a la industria a organizarse más efectivamente. Muchas compañías están adoptando TPM como una forma de resolver sus complejos problemas internos y encaminándose a salir de la tormenta económica. Esta por demás decir que la alta gerencia debe considerar estos puntos cuidadosamente antes de anunciar su decisión de implementar TPM.

Cuando la alta gerencia realiza esta reunión, se debe anunciar el plan de TPM de inicio a fin. Esto informa a todos los empleados e interesados externos que la gerencia entiende el valor a largo plazo del TPM y que deberá proveer todo el soporte físico y organizacional necesario para resolver los diversos problemas que puedan salir a flote durante la implementación. La preparación para el TPM empieza formalmente cuando el anuncio ha sido hecho. (Suzuki, 1994, pág. 21)

##### **4.3.1.2. Paso 2: Educación Introductoria a TPM**

Antes de que un programa de TPM pueda ser implementado debe ser entendido. Para conseguir esto, algunas personas claves deberán participar de seminarios externos, y entrenamiento in-house para la planeación y la implementación. (Suzuki, 1994, pág. 22)

#### **4.3.1.3. Paso 3: Crear una Organización Promocional para TPM**

TPM es promovido a través de una estructura de superposición de grupos pequeños. Como se muestra en la figura 4.2, en este sistema los líderes de grupos pequeños en cada nivel organizacional son miembros de grupos pequeños del siguiente nivel superior. Gerencia General como tal es parte también de un grupo pequeño. El sistema es extremadamente efectivo para desarrollar las políticas de la alta gerencia y metas a través de la organización.

Establecer una oficina promocional para el TPM para desarrollar y cumplir con una estrategia efectiva de promoción. Para ser efectiva, esta oficina debe correr con un staff permanente, de tiempo completo, asistido por varios comités y subcomités. Sus funciones incluyen la preparación del Plan Maestro del TPM y coordinar su implementación, elaborar vías para garantizar el desarrollo de todas las actividades del TPM, organizar campañas puntuales y focales, diseminar la información, y organizar la publicación de resultados. La oficina promocional juega un rol específico importante en el manejo de la implementación del mantenimiento autónomo y la mejora de actividades. (Suzuki, 1994, pág. 21)

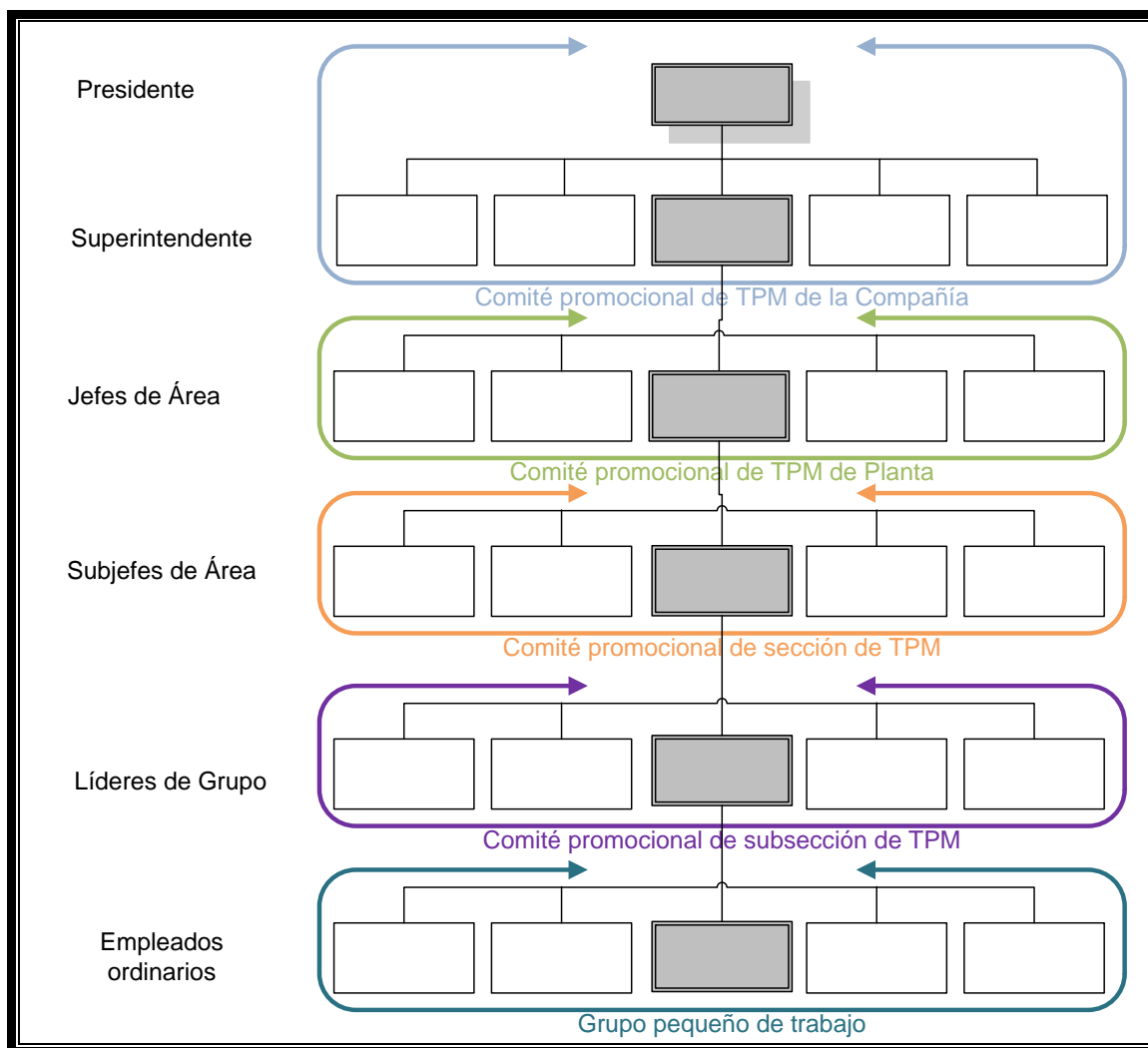


Figura 4.2. Creando actividades de grupos pequeños

#### 4.3.1.4. Paso 4: Establecer una Política y Metas Básicas para TPM

Una política básica de TPM en la compañía debe ser parte integral de su política general y debería indicar las metas y direcciones de las actividades a ser alcanzadas. (Ver Figura 4.3) Las metas del TPM deberían tener relación con las metas de la compañía a corto y mediano plazo y solamente deberían ser decididas luego de un completo consenso entre todos los involucrados, incluyendo la alta gerencia. El programa de TPM debería durar lo necesario para alcanzar todos los objetivos.

Expresar las metas numéricamente tanto como sea posible. Para establecer las metas, se debe iniciar estableciendo una clara línea de base. Esto debe proveer una fotografía de la situación actual y ser expresada en partes cuantitativas y cualitativas. Establecer una meta significa tener claro el objetivo de un nivel deseado de un logro en una línea de base

particular. Decidir qué tan lejos sobre la línea de base se debe establecer el objetivo siempre es la pregunta más difícil. Las metas deben ser muy retadoras, pero también alcanzables.

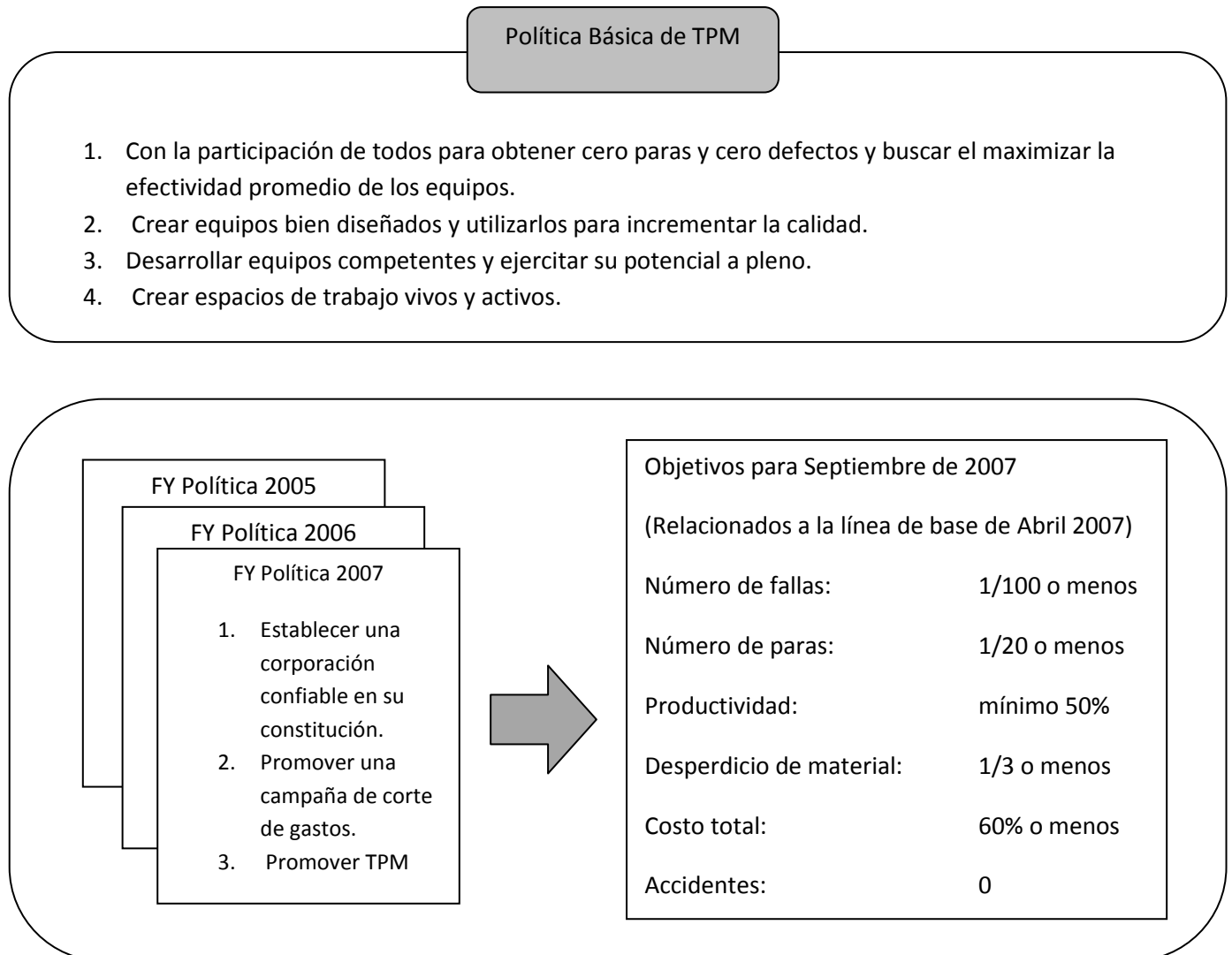


Figura 4.3. Ejemplo de Política Básica de TPM y Objetivos  
(Suzuki, 1994, págs. 22-23)

#### 4.3.1.5. Paso 5: Generar el Máster Plan de TPM

Para formular un plan maestro para la implementación, primero se debe decidir cuales actividades deben ser perseguidas para alcanzar los objetivos del TPM. Este es un paso fundamental, porque esto hace que la gente busque las formas más eficientes para minimizar el hueco existente entre la línea de base y las metas.

Las ocho fundamentales actividades del TPM son:



- Mejoramiento Focalizado.
- Mantenimiento autónomo.
- Mantenimiento planificado.
- Educación y entrenamiento.
- Gerenciamiento a tiempo.
- Mantenimiento de Calidad.
- Actividades administrativas y de soporte.
- Gerenciamiento en seguridad y ambiente.

Otras actividades importantes incluyen:

- Mantenimiento predictivo y de diagnóstico.
- Manejo de equipo.
- Desarrollo en el producto y diseño de equipos y construcción.

Estas actividades necesitan presupuestos y deben ser supervisadas. Un cronograma debe ser desarrollado para cada actividad e integrado al plan maestro. (Suzuki, 1994, pág. 23)

#### **4.3.2. Fase de Introducción**

##### **4.3.2.1. Paso 6: Kick Off de Iniciativas TPM**

Una vez que el plan maestro ha sido aprobado, el kick-off para el TPM puede iniciar. El kick-off debe ser diseñado para cultivar una atmósfera que realce la moral e inspire dedicación. En Japón, normalmente es una reunión de toda la empresa en la cual los clientes, afiliados y subcontratistas están invitados. En la reunión, Gerencia General reconfirma su compromiso de implementar TPM y de reportar sobre los planes desarrollados y el trabajo cumplido durante la fase de preparación. (Suzuki, 1994, pág. 23)

#### **4.3.3. Fase de Implementación**

Las compañías deben seleccionar e implementar actividades que alcancen los objetivos del TPM efectiva y eficientemente. Aunque diferentes compañías pueden escoger diferentes actividades, las ocho descritas a continuación son las más comunes. Estas han sido

mostradas para alcanzar excelentes resultados cuando son llevadas adecuadamente, y son la base y el soporte de cualquier desarrollo de programas de TPM. (Suzuki, 1994, pág. 23)

#### **4.3.3.1. Paso 7-1: Mejoramiento Focalizado**

Mejoramiento focalizado es una actividad de mejora desarrollada por equipos de proyectos funcionalmente cruzados con gente como ingenieros, personal de mantenimiento y operadores. Estas actividades están diseñadas para minimizar las pérdidas que han sido cuidadosamente medidas y evaluadas.

Adicionalmente a las 7 mayores pérdidas en la industria de ensamble y fabricación, las industrias de procesos tienen tres tipos de pérdidas adicionales: pérdidas relacionadas al personal como pérdidas de trabajo y pérdidas de operaciones; pérdidas de manejo de materiales como retardos, consumos excesivos y pérdidas por reciclaje; pérdidas de manejo como apagados de planta por mantenimiento y pérdidas de energía.

En las industrias de procesos, las actividades del mejoramiento focalizado se orientan a un objeto específico como un proceso, un sistema de flujo, un ítem de un equipo, o un proceso operativo. Por ejemplo, diseño de proceso debe ser una parte integral del desarrollo del producto y mejoramiento. Un proyecto de mejoramiento focalizado puede direccionar ítems relacionados como establecer un criterio para seleccionar procesos y sus condiciones, descubrir deficiencias en las condiciones del proceso y encontrar y cerrar huecos entre condiciones de proceso actuales e ideales.

Cuando el enfoque es estrictamente un equipo, los equipos de proyectos siguen una aproximación similar a la que se realiza en la fabricación y ensamblaje del mismo. Ellos documentan y analizan la mayor cantidad de pérdidas relacionadas al equipo, luego se estudia el equipo cuidadosamente para identificar las condiciones de proceso que son requeridas para proveer y asegurar que pueden cumplir con los requerimientos.

No importa cuál sea el objetivo: proceso, flujo, equipo o procedimiento operativo. El mejoramiento focalizado se fundamenta en el uso de métodos de análisis como los 5 por qué o análisis P-M. (Suzuki, 1994, pág. 24)

#### **4.3.3.2. Paso 7-2: Mantenimiento Autónomo**

El mantenimiento autónomo es una de las actividades más distintivas dentro del TPM. Luego de que el mantenimiento preventivo fue introducido en Japón desde América, las operaciones y el mantenimiento fueron formalmente separados. A medida que los operadores perdieron su sentido de pertenencia de su equipo, ellos fueron perdiendo gradualmente su sentido de responsabilidad en mantenerlo.

El mantenimiento autónomo practicado en el TPM pretende revertir esta tendencia. Los operadores se ven envueltos en el mantenimiento rutinario y actividades de mejoras que previenen el deterioro acelerado, controlan la contaminación, y ayudan a prevenir los problemas de los equipos. Debido a que las plantas de proceso utilizan un pequeño número de operadores en relación al número y tamaño de los equipos, las estrategias para alcanzar las metas del mantenimiento deben ser adaptadas de alguna forma del acercamiento tradicional utilizado en las industrias de fabricación y ensamblaje. Cuando implementamos el mantenimiento autónomo a ambientes de proceso individuales, los equipos de planeación deben:

- Considerar como los pasos del mantenimiento autónomo pueden ser conducidos más eficientemente en los diferentes equipos.
- Investigar la importancia relativa de diferentes equipos y determinar las estrategias de mantenimiento apropiadas.
- Priorizar las actividades de mantenimiento.
- Delinear apropiadamente las responsabilidades entre producción y personal especializado de mantenimiento.

Las actividades del mantenimiento autónomo son implementadas en pasos y son efectivas solo si la progresión de un paso a otro es estrictamente controlada. Para manejar esto, es recomendable generar equipos auditores y establecer parámetros para aprobación y rechazo. El Gerente debería dar la aprobación final para dar el visto bueno para pasar de un paso a otro.

¿Por qué el control tan cercano es tan importante? La limpieza inicial (Paso 1), por ejemplo, involucra mucha más que simplemente limpiar y arreglar el equipo y áreas

adyacentes. Si los esfuerzos del equipo no están orientados en identificar y resolver problemas encontrados durante el paso de limpieza, las metas de eliminar y controlar la deterioración no pueden ser alcanzadas.

De manera similar, dependiendo de la ubicación de la planta, lluvia, nieve, y así por el estilo, pueden corroerse los equipos y erosionar sus cimientos. Productos como polvos, líquidos, sólidos, gases, pueden acelerar el deterioro de los equipos. Sin embargo, si el paso 2 del mantenimiento autónomo (acciones contra las fuentes de contaminación y sitios inaccesibles) no está apropiadamente implementada, el programa puede abruptamente retornar al paso 1. Las auditorías paso a paso de las actividades del equipo ayudan a mantener el enfoque apropiado en lo esencial para una implementación exitosa del mantenimiento autónomo. Todos estos parámetros y pasos se verán más adelante en esta investigación. (Suzuki, 1994, pág. 27)

#### **4.3.3.3. Paso 7-3: Mantenimiento Planificado**

El mantenimiento planificado abarca tres formas de mantenimiento: correctivo, preventivo y predictivo. Así como otras actividades del TPM, construir un sistema planificado de mantenimiento debe ser hecho sistemáticamente, un paso a la vez.

El propósito de implementar el mantenimiento predictivo el preventivo es eliminar fallas, pero incluso cuando existe una práctica sistemática de mantenimiento, pueden ocurrir fallas inesperadas. Estas fallas reflejan inconsistencias en la planificación y contenido de los planes de mantenimiento y vuelve inoperantes las medidas de prevención del mantenimiento. En el TPM, el mantenimiento planeado enfatiza el monitoreo del tiempo medio entre fallas (MTBF) y utiliza este análisis para especificar los intervalos para las tareas de forma anual, mensual y semanal de mantenimiento.

Un ejemplo clásico de una actividad de mantenimiento planeado es el mantenimiento con planta apagada. Para hacerlo más efectivo, las compañías se están preparando para los apagados de planta con mas y mas anticipación. El objetivo es elaborar planes contundentes antes de que el trabajo empiece. Debido a que el trabajo mantiene un patrón establecido siempre es conveniente utilizar un diagrama de estructura de seguimiento de trabajo (WBS). Este diagrama facilita la estimación de la precisión de las tareas a ser

realizadas durante el mantenimiento de planta apagada. Este puede ser utilizado para comprometer al staff, para revisar las necesidades de materiales y para monitorear el presupuesto y el cumplimiento de los objetivos. (Suzuki, 1994, pág. 28)

#### **4.3.3.4. Paso 7-4: Entrenamiento**

Los trabajadores de la empresa son un activo invaluable para cada compañía, por lo tanto todas las compañías deben entrenar a sus empleados sistemáticamente. Los trabajadores de una industria de procesos son más escasos, se vuelven más de élite y mas multidisciplinarios, por lo tanto el entrenamiento debe ser una parte integral de un sistema de desarrollo de carrera. Se debe visualizar el tipo de gente que los programas de entrenamiento van a producir. En otras palabras, identificar el conocimiento específico, habilidades, y aptitudes gerenciales que se desea que ellos obtengan y luego diseñar el plan de entrenamiento para alcanzar esta visión.

El entrenamiento debe estar hecho a medida de las necesidades individuales. Evaluar cada persona para medir su comprensión del conocimiento requerido y competencias e identificar sus necesidades, luego utilizar los resultados para elaborar el entrenamiento general más efectivo. Trabajadores y supervisores deben discutir el resultado de sus evaluaciones anualmente y utilizarlos para establecer los objetivos del siguiente año y planificar la siguiente fase.

Además se debe establecer cronogramas de cumplimiento de objetivos. Decidir el tipo de personas que quiere tener en cierto tiempo definido, el borrador de los planes de entrenamiento dentro de la compañía y fuera de ella (seminarios y cursos) diseñados para alcanzar los objetivos. (Suzuki, 1994, pág. 28)

#### **4.3.4. Paso 8: Manejo temprano**

Manejo temprano incluye al manejo temprano de la producción y manejo temprano del equipo. El propósito de estas actividades es alcanzar –rápida y económicamente- productos que sean fáciles de hacer y equipo que se fácil de usar.

El manejo temprano del equipo involucra a los usuarios de los equipos, compañías de ingeniería y fabricantes de equipos, y básicamente involucra las siguientes áreas:

- Planificación en investigación de equipos.
- Diseño de procesos.
- Diseño de equipos, fabricación y construcción.
- Pruebas de operación.
- Manejo de arranques.

Todas las actividades desde el diseño inicial de una pieza de un equipo hasta su instalación y pruebas de operación pueden ser vistas como un único y solo proyecto. El proyecto inicia con el diseño del proceso, diseño básico de planta, y diseño de detalle, presupuestos, fabricación, construcción y pruebas de operación. En planificación como un proyecto, el equipo de proyectos determina los niveles de requerimiento técnico de planta y equipo y luego establece presupuestos y cronogramas para alcanzar los objetivos.

Cuando se diseña una planta, varios diseños son desarrollados simultáneamente: diseño funcional, diseño de confiabilidad y diseño de mantenibilidad, diseño de seguridad, diseño económico. Estableciendo un mantenimiento preventivo (MP), especificaciones e implementando diseño de MP, en particular, ayuda a asegurar que la planta y el equipo sean confiables y de fácil mantenimiento. Muchas revisiones de diseño deben ser realizadas en el transcurso del diseño, fabricación y construcción de la planta.

Luego de completadas estas actividades, los equipos instalan los instrumentos, realizan pruebas de operación, e inician la fase de puesta en marcha. La fase de puesta en marcha es una actividad diseñada para alcanzar las condiciones operativas lo más rápido posible, esto es, condiciones que habiliten a la planta para iniciar la producción garantizando la calidad

del producto con cero fallas. En TPM este acercamiento eficiente hacia la estabilidad y producción a plena escala es conocido como “arranque vertical”. (Suzuki, 1994, pág. 32)

#### **4.3.5. Paso 9: Mantenimiento de la Calidad**

El mantenimiento de la calidad (QM) es un método para construir calidad y prevenir defectos de calidad a través del proceso y a través del equipo. En el mantenimiento de la calidad, la variabilidad en las características de la calidad de un producto es controlada mediante seguimiento de los componentes de un equipo que pueden afectar la calidad.

Las características de la calidad son muy influenciadas por las cuatro entradas de producción: equipo, materiales, habilidades de los operadores, y método usado. El primer paso en el mantenimiento de la calidad es clarificar la relación entre estos factores y las características de la calidad de un producto analizando los defectos de calidad. En las industrias de procesos, el efecto del equipo en la calidad es muy importante.

En las industrias de procesos, el proceso determina el tipo de equipo necesario. Por lo tanto, los equipos deben enfocarse primero en el proceso, luego en el equipo. En otras palabras, primero clarificar las relaciones entre la calidad del producto y las condiciones del proceso y predecir las condiciones de proceso requeridas para producir productos perfectos.

Para aplicar QM en equipos o diseños, los trabajadores empiezan identificando los componentes que afectarán las características de la calidad de un producto. Estos son llamados “componentes de la calidad”. Luego, ellos identifican las condiciones del componente de la calidad requeridas para mantener las características de la calidad. (Suzuki, 1994, pág. 33)

#### **4.3.6. Paso 10: TPM en Departamentos Administrativos y de Soporte**

Los departamentos administrativos y de soporte juegan un rol importante en respaldar las actividades de producción. La calidad y oportunidad de la información entregada por los departamentos administrativos y de soporte tienen un impacto mayor en estas actividades.

Las actividades desarrolladas para el TPM por los departamentos administrativo y de soporte no deben soportar únicamente al TPM en el sitio de trabajo, estas además deben fortalecer las funciones de sus mismos departamentos mejorando su propia organización y cultura. Comparado con producción, no es tan fácil para los departamentos administrativos y de soporte el medir los efectos de sus actividades. Un programa de TPM en tales departamentos debe ser capaz de crear una “fábrica de información” y aplicar análisis de procesos para agilizar el flujo de información. Pensar en los departamentos administrativos y de soporte como plantas de procesos cuyas principales tareas sean recolectar, procesar, y distribuir información. Este entendimiento, hace más fácil promover y medir el mantenimiento autónomo, mejoramiento centralizado y otras actividades importantes del TPM.

El mantenimiento autónomo en departamentos administrativos permite la ejecución eficiente desde dos ángulos: funciones administrativas y ambiente administrativo. Implementado paso a paso, el primer grupo de actividades reduce los costos e incrementa la eficiencia mejorando los procesos administrativos. El segundo set de actividades remueve obstáculos para un trabajo efectivo que están escondidos en el ambiente físico y psicológico.

El mejoramiento focalizado de las tareas administrativas permite mejorar su eficiencia y velocidad y reduce el número de personal requerido. Para conseguir esto, es necesario automatizar la oficina e instalar una central de procesamiento de sistemas. Al mismo tiempo, incrementa la eficiencia administrativa para soportar la planificación y la toma de decisiones de los ejecutivos y gerentes. (Suzuki, 1994, pág. 33)

#### **4.3.7. Paso 11: Gerenciamiento en Seguridad y Medio Ambiente**

Asegurar la seguridad y prevenir los impactos ambientales adversos son tareas importantes en las industrias de procesos. Estudios de operabilidad combinados con entrenamientos enfocados en la prevención de accidentes son formas efectivas de direccionar estas preocupaciones. La seguridad es promovida sistemáticamente como parte de las actividades del TPM. Tal y como el resto de actividades del TPM, ésta también se la debe implementar paso a paso.



Algunas tareas son de particular importancia en el ambiente del proceso. Por ejemplo, es particularmente importante incorporar mecanismos seguros ante una falla, esto es, diseñar equipos que mantengan su condición segura incluso cuando las personas no toman las precauciones adecuadas. Asegurar la seguridad durante un mantenimiento de planta apagada también es importante. En las industrias de procesos, los mantenimientos de planta apagada requieren una asistencia considerable de subcontratistas exteriores, en operaciones tales como limpieza y demás. Esto hace doblemente importante el asegurar la seguridad durante tales operaciones. Revisar las habilidades y conocimientos de los trabajadores del subcontratista es fundamental antes de iniciar las tareas. Se debe tomar cualquier paso aplicable para asegurar la seguridad. (Suzuki, 1994, pág. 34)

#### **4.3.8. Fase de Consolidación**

##### **4.3.8.1. Paso 12: Sustentar la Implementación del TPM y mejorar su nivel.**

Hay muchas maneras de mantener los niveles del TPM una vez que hayan sido alcanzados. Construir equipos fuertes a todo nivel e implementar una organización promocional ayudan a integrar el TPM en el trabajo diario. Seguir los paso a paso sistemáticamente recomendados para las actividades del TPM ayuda a asegurar los resultados. Enfatizar en la mejora continua mediante el ciclo PHVA, revisar continuamente las metas, establecer nuevos objetivos también resulta ser beneficioso. Empezar con una clara línea de implementación y documentar los resultados de la mejora de forma regular y detallada. Utilizar indicadores gerenciales que muestren a todos (a todo nivel) el progreso concreto que se está haciendo y motivar su continuidad. (Suzuki, 1994, pág. 35)

## 4.4. MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

El TPM mejora los resultados corporativos del negocio y crea lugares placenteros y productivos para trabajar cambiando la forma en la que la gente piensa y trabaja con los equipos de la compañía. El mantenimiento autónomo (mantenimiento realizado por el departamento de producción) es uno de los más importantes pilares básicos del programa de TPM. (Suzuki, 1994, pág. 86)

### 4.4.1. Desarrollando un programa de mantenimiento autónomo

Dos claves para desarrollar un programa exitoso de mantenimiento autónomo son el enfoque y la continuidad. Otro factor decisivo es la integración con otros dos elementos fundamentales del TPM, el mejoramiento focalizado y la educación y entrenamiento. (Suzuki, 1994, pág. 86)

#### 4.4.1.1. Las metas del mantenimiento autónomo.

La misión del departamento de producción es producir buenos productos tan baratos y tan rápidos como sea posible. Uno de sus roles más importantes es detectar y corregir las anomalías de los equipos prontamente, lo cual es el objetivo del buen mantenimiento. El mantenimiento autónomo incluye cualquier actividad desarrollada por el departamento de producción que tiene una función de mantenimiento y cuyo objetivo es mantener a la planta operativa eficiente y establemente para cumplir con los planes de producción. Las metas del programa de mantenimiento autónomo son:

- Prevenir la deterioración de los equipos a través de la correcta operación y chequeos diarios.
- Traer al equipo a su estado ideal a través de la restauración y manejo apropiado.
- Establecer las condiciones básicas necesarias para mantener al equipo bien mantenido.

(Suzuki, 1994, pág. 87)

#### **4.4.1.2. La necesidad del mantenimiento autónomo.**

En el pasado, los operadores de planta en industrias de proceso debían mantener a su equipo trabajando chequeando regularmente y realizando servicios menores.

Durante la era de los 50 y 60, sin embargo, los equipos se volvieron más sofisticados y complejos así como las plantas que crecieron en tamaño y producción. Con la introducción del mantenimiento preventivo, el equipo de mantenimiento se volvió muy especializado. Al mismo tiempo, muchas compañías fueron haciendo significantes avances tecnológicos en automatización y centralización. Muchas compañías redujeron su capital humano tratando de obtener una reducción de costos. Por muchos años, los departamentos de producción han jugado un rol exclusivamente de supervisión, concentrándose en la producción y dejando al mantenimiento exclusivamente a los especialistas. Esto obedece a un síndrome negativo de las actuales empresas conocido como “Yo hago – tu arreglas”.

El futuro es incierto, sin embargo, muchas compañías esperan sobrevivir reduciendo sus costos volviéndose más competitivas. Como resultado, el mantenimiento autónomo se ha vuelto un programa indispensable en el intento de eliminar pérdidas y desperdicios del piso productivo y maximizar la eficiencia de los equipos existentes.

Avances en hardware de computación y software están intensificando el camino hacia la automatización y la operación no atendida. Un obstáculo mayor, sin embargo, es la gran cantidad de trabajo manual requerido para mantener los numerosos sensores que la automatización requiere y a su vez lidiar con goteos, ajustes y otros problemas característicos de las industrias de procesos. La mejor gente para resolver estos problemas es aquella que está involucrada más de cerca con el equipo (los operadores), por lo tanto la necesidad de del mantenimiento autónomo es mayor. (Suzuki, 1994, págs. 86-88)

#### 4.5. CLASIFICANDO Y ASIGNANDO LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

Actividades diseñadas para alcanzar condiciones óptimas de equipos y maximizar la efectividad de su funcionamiento. Las actividades de mantenimiento tienen por objetivo mantener al equipo en un estado deseado previniendo y corrigiendo fallas. La tabla 4.3. resume algunas actividades y técnicas específicas de mantenimiento.

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>Operación Normal</b>         | Operación correctiva, ajuste correctivo, seteos correctivos (prevención de errores humanos)   |
| <b>Mantenimiento Preventivo</b> | Mantenimiento diario (condiciones básicas del equipo, chequeo, servicios menores)<br>Mantenimiento periódico (chequeo periódico, correcciones periódicas, servicio periódico) |
| <b>Mantenimiento Predictivo</b> | Monitoreo de condiciones, servicio de medio intervalo y largo intervalo.  |
| <b>Mantenimiento Correctivo</b> | Detección de anomalías, reparaciones emergentes, prevención recurrente.   |

Tabla 4.3. Técnicas y Actividades de Mantenimiento

Las actividades de mejora, por otro lado, extienden la vida del equipo y acortan el tiempo requerido para realizar mantenimiento. El mantenimiento correctivo, por ejemplo, se enfoca en la confiabilidad y la mejora del mantenimiento en equipos existentes. Las actividades de prevención del mantenimiento promueven el diseño de nuevos equipos de forma fácil y menos costosa de operar y mantener así como el encendido vertical luego de la instalación o arranque de un paso luego de un apagado de planta.

Estas actividades de mantenimiento y mejora son llevadas simultáneamente en tres áreas: prevención, medición y recuperación de deterioros. Cero fallas no pueden ser alcanzadas si alguna de las áreas no coopera entre sí. Por lo tanto, el primer paso en la creación del sistema de mantenimiento es clarificar las responsabilidades de los departamentos de producción y mantenimiento en cada una de estas áreas y asegurar la integridad de los

programas. Toma particular importancia en la prevención de la deterioración (la actividad básica del mantenimiento) el construir una fuerte y planificada estrategia de mantenimiento. (Figura 4.4.) (Suzuki, 1994, págs. 89-92)

#### **4.5.1. Actividades del Departamento de Producción.**

El departamento de producción se debe enfocar en prevenir la deterioración. Esto debe construir su propio programa de mantenimiento autónomo alrededor de los tres tipos de actividades siguientes:

1. Prevención de la deterioración:

- Corregir la operación – previniendo errores humanos.
- Ajuste correctivo – previniendo defectos de proceso (defectos de calidad)
- Limpieza básica (estableciendo condiciones básicas de equipos) – limpieza, lubricación, iluminación.
- Predicción temprana y detección temprana de anomalías – previniendo fallas y accidentes.
- Manteniendo los registros de mantenimiento – retroalimentando información de prevenciones recurrentes y diseño de mantenimiento preventivo.

2. Midiendo la deterioración:

- Inspección diaria – chequeos de cinco sentidos durante la operación.
- Inspección periódica – parte de la revisión durante los apagados de planta o mantenimientos de apagado.

3. Prediciendo la deterioración:

- Servicios menores – mediciones emergentes cuando se presentan condiciones anormales y reemplazos simples de partes.
- Reporte preciso de fallas y problemas.
- Asistencia en reparación de fallas inesperadas.

Todas estas actividades enlistadas son importantes, pero establecer condiciones básicas de equipos (limpieza, lubricación, iluminación) es esencial para prevenir la acelerada deterioración. Juntos con el chequeo diario utilizando los cinco sentidos, generan una fuerza imprescindible dentro del mantenimiento autónomo. (Suzuki, 1994, págs. 93-97)

#### **4.5.2. Actividades del Departamento de Mantenimiento.**

El departamento de mantenimiento es el jugador clave en el mantenimiento de un equipo. Debe enfocar todos sus esfuerzos en planificar el mantenimiento, mantenimiento predictivo y mantenimiento correctivo, concentrarse en medir y corregir la deterioración. Debe reconocer que no son un departamento de corrección de problemas. Como una organización de especialistas, su verdadera tarea es incrementar la mantenibilidad, operabilidad, y seguridad a través de actividades diseñadas para identificar y alcanzar condiciones óptimas de los equipos. Esto requiere habilidades avanzadas de mantenimiento y tecnología de equipos, por lo tanto los departamentos de mantenimiento deben estar constantemente preocupados en incrementar su conocimiento técnico. (Suzuki, 1994, pág. 98)

#### **4.5.3. Soporte para el Mantenimiento Autónomo.**

Una apropiada guía y soporte del departamento de mantenimiento son indispensables para establecer las actividades del mantenimiento autónomo y hacerlas parte efectiva del programa de mantenimiento. Las tareas más importantes son:

- Instruir y proveer habilidades para la inspección y ayudar a los operadores a preparar estándares de inspección.
- Proveer instrucción en técnicas de lubricación, estandarizar los diferentes tipos de lubricantes y ayudar a los operadores a formular estándares para la operación.
- Actuar rápidamente con la deterioración, fallas menores en las condiciones de los equipos y deficiencias en las condiciones de los equipos.
- Contribuir con asistencia técnica en actividades de mejora como eliminar las fuentes de contaminación, hacer áreas más accesibles para la limpieza, lubricación e inspección de la efectividad de los equipos.
- Organizar actividades rutinarias (reuniones, rondas para tomar órdenes de mantenimiento, etc.).

El equipo de mantenimiento siempre debe actuar, pensar y planificar en función del departamento de producción con todo lo relacionado a sus equipos y su funcionamiento. (Suzuki, 1994, págs. 99-100)

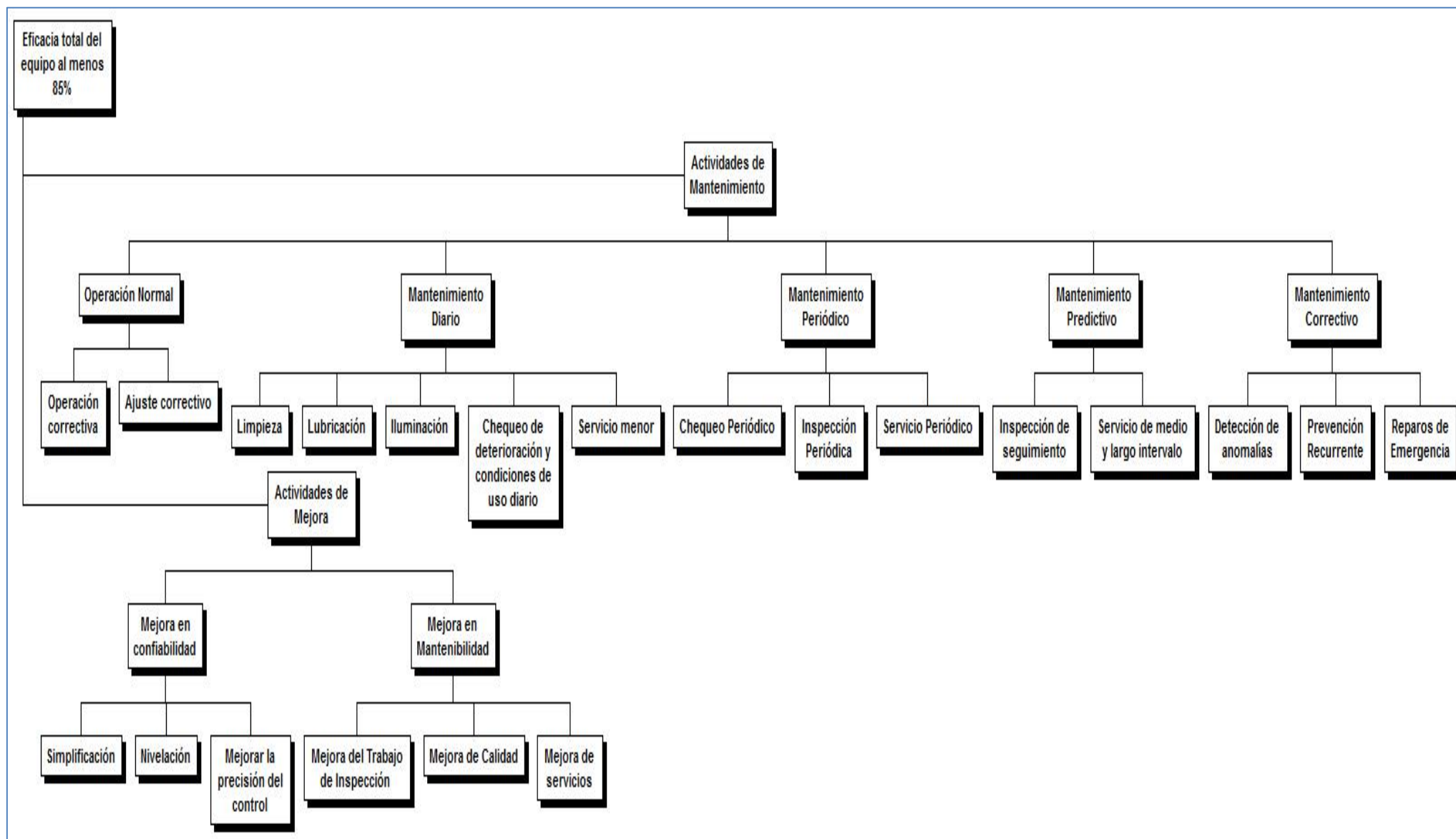


Figura 4.4. Clasificación de las actividades de Mantenimiento

## 4.6. MEDICIÓN DE LA EFECTIVIDAD DEL TPM

Cuando las personas no entienden exactamente como el TPM está ayudando a su compañía su manejo pierde enfoque y dirección. Medir la efectividad del TPM es esencial para mantener el seguimiento de los esfuerzos del programa. Medirlos periódicamente durante el desarrollo del programa de TPM y utilizar los descubrimientos para trabajar en nuevas estrategias para alcanzar los objetivos.

Las industrias de procesos emplean una gran variedad de equipos para medir la efectividad del TPM. Las industrias químicas, particularmente, usan numerosas unidades estáticas como columnas y tanques. Los equipos son generalmente muy grandes y están conectados entre sí por complejas tuberías y sistemas de instrumentación para formar procesos continuos.

Normalmente cuando se implementa un plan de TPM los resultados no son inmediatos. Sin embargo, la efectividad de los indicadores debe reflejar de manera acertada el esfuerzo realizado en el plan. (Suzuki, 1994, págs. 363-364)

### 4.6.1. Tipos de Indicadores

Los indicadores de la efectividad del TPM pueden ser clasificados en siete tipos: gerenciales; efectividad de planta; calidad; ahorro de energía; mantenimiento; salud, seguridad y ambiente; y finalmente entrenamiento.

Para efectos de esta investigación solo analizaremos los que competen y se ven afectados directamente con la generación del plan propuesto. (Suzuki, 1994, pág. 365)

#### 4.6.1.1. Calidad.

Los indicadores de calidad son claves para evaluar el resultado de un programa de TPM. En las industrias de procesos, el tratamiento del equipo como unidad clave de consumo se relaciona directamente con los costos.



Tres de los más importantes indicadores de calidad son el número y valor de los reclamos por garantía de los clientes y el rendimiento general. La tabla 4.4 muestra algunos indicadores claves de calidad. (Suzuki, 1994, págs. 366-367)

#### **4.6.1.2. Mantenimiento.**

Evaluar dos aspectos de mantenimiento. Primero, evaluar mejoras en la confiabilidad de los equipos y mantenibilidad y ver como esto nos ayuda a incrementar la eficiencia de planta y calidad del producto. Segundo, evaluar la eficiencia del trabajo de mantenimiento. En las industrias de procesos, es importante sistematizar y agilizar los mantenimientos de planta apagada para solventar de manera adecuada los problemas en los arranques y puesta en marcha. Para evaluar la efectividad del presupuesto asignado a mantenimiento es necesario revisar a detalle las formas más económicas para mejorar el control. Las tablas 4.5., 4.6, 4.7 y 4.8, muestra algunos indicadores de Mantenimiento. (Suzuki, 1994, págs. 368-377)

| Indicador                              | Fórmula  | Objetivo    | Intervalo    | Detalles  |
|--|--|-------------|--------------|---|
| <b>Tasa de defectos de Proceso</b>     | $\frac{RC + OS + scrap}{Volumen\ de\ produccion}$                                      | 0,1 o menos | Mensualmente | Tasa de generación de productos reciclados (RC), Producción fuera de especificación (OS), desperdicio (scrap) |
| <b>Costo de defectos de proceso</b>    | Costo total de las pérdidas actuales generadas por cada tipo de producto               | Mínimo      | Mensualmente | Costos de reciclaje, pérdidas por degradación, valor del costo por srcap                                      |
| <b>Número de defectos entregados</b>   | Número de defectos entregados al siguiente proceso                                     | 0           | Mensualmente | Errores muestrales, errores de inspecciones intermedias, etc.   |
| <b>Número de reclamos por garantía</b> | Número actual de reclamos de clientes  | 0           | Mensualmente | Número: 0,1 o menos.<br>Tasa: 30-100 ppm  |
| <b>Rendimiento global</b>              | $\frac{Producción\ total\ embarcada\ (t)}{Total\ de\ materia\ prima\ utilizada\ (wt)}$ | Máximo      | Mensualmente | Rendimiento global de cada tipo de producto.  |

Tabla 4.4. Indicadores de Calidad

| Indicador                              | Fórmula  | Objetivo      | Intervalo    | Detalles  |
|--|--|---------------|--------------|---|
| <b>Frecuencia de fallos</b>            | $\frac{\text{Número total de paras debido a fallas}}{\text{Tiempo}}$           | 0,1% o menos  | Mensualmente | Paras de 10 o más minutos                                     |
| <b>Tasa de severidad de fallos</b>     | $\frac{\text{Tiempo total de paras debido a fallas}}{\text{Tiempo}}$           | 0,15% o menos | Mensualmente | Tiempo total de paras en 1h/mes                               |
| <b>Tasa de mantenimiento emergente</b> | $\frac{\text{Número de trabajos EM}}{\text{Número total de trabajos EM y PM}}$ | 0,5% o menos  | Mensualmente | PM: Mantenimiento preventivo<br>EM: Mantenimiento emergente   |
| <b>Costo de paras debido a fallas</b>  | Tiempo de para X Costo por unidad  | Mínimo        | Mensualmente | Incluye pérdidas de producción y paras de menos de 10 minutos |
| <b>Tiempos muertos y paras menores</b> | Medición de tiempos muertos y paras menores                                    | 0             | Mensualmente | Conteo total de tiempos muertos y paras menores a 10 minutos  |
| <b>MTBF</b>                            | $\frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número de paras}}$              | 2 – 10 veces  | Mensualmente | Intervalo promedio de fallas                                  |

Tabla 4.5. Indicadores de Mantenimiento: Confiabilidad y Mantenibilidad

| Indicador   | Fórmula  | Objetivo                        | Intervalo  | Detalles  |
|---|--|---------------------------------|------------|---|
| <b>Reducción en el número de días de apagado de mantenimiento (SMD)</b> | $\frac{SMD \text{ Previos}}{SMD \text{ Actuales}}$ | De acuerdo a objetivos anuales  | Anualmente | La meta es extender el número de días de producción continua  |
| <b>Seguimiento de CM</b>  | Seguimiento de los objetivos de CM                 | Al menos 10 por persona por año | Anualmente | Nivel de mantenimiento correctivo (CM) indica la habilidad técnica del departamento de mantenimiento. |
| <b>Tasa de reducción de personal de Mantenimiento</b>                   | Disminución del personal de ;Mantenimiento         | De acuerdo a objetivos anuales  | Anualmente |   |

Tabla 4.6. Indicadores de Mantenimiento: Eficiencia de mantenimiento

| Indicador                                      | Fórmula   | Objetivo                       | Intervalo   | Detalles   |
|--|---|--------------------------------|-------------|--|
| <b>Tasa promedio de costo de mantenimiento</b> | $\frac{\text{Costo total de mantenimiento}}{\text{Costo total de producción}}$                            | De acuerdo a objetivos anuales | Dos por año | Indica la proporción del costo total gastado por mantenimiento |
| <b>Costo de mantenimiento por unidad</b>       | $\frac{\text{Costo de mantenimiento}}{\text{Volumen de producción}}$                                      | De acuerdo a objetivos anuales | Dos por año | Costo de mantenimiento por unidad producida                    |
| <b>Costo por fallas inesperadas</b>            | Seguimiento de fallas inesperadas de equipos  | De acuerdo a objetivos anuales | Dos por año |  |
| <b>Tasa de costo de Mantenimiento</b>          | $\frac{\text{Costo total de mantenimiento} + \text{Péridas por paras}}{\text{Costo total de producción}}$ | De acuerdo a objetivos anuales | Dos por año | Comparado con indicadores anteriores de TPM                    |

Tabla 4.7. Indicadores de Mantenimiento: Costo de Mantenimiento

| Indicador                                | Fórmula  | Objetivo                       | Intervalo    | Detalles                                    |
|--|--|--------------------------------|--------------|---|
| <b>Tasa mantenimiento correctivo (1)</b> | Extender debido a la falta de conocimiento y tecnología                              | De acuerdo a objetivos anuales | Anualmente   | Comparado con indicadores anteriores de TPM |
| <b>Tasa mantenimiento correctivo (2)</b> | Extender necesidad de absorber la escasez de capacidad                               | De acuerdo a objetivos anuales | Anualmente   | Comparado con indicadores anteriores de TPM |
| <b>Tasa de renovación</b>                | Proporción de equipos obsoletos  | De acuerdo a objetivos anuales | Anualmente   | Modernización de equipos obsoletos          |
| <b>Desarrollos casa adentro</b>          | Seguimiento en número de equipos desarrollados casa adentro                          | De acuerdo a objetivos anuales | Anualmente   | Incluir equipos remodelados                 |
| <b>Tasa de fallas indirectas</b>         | Tasa de fallas por análisis X Tasa de implementación X Tasa de prevención recurrente | De acuerdo a objetivos anuales | Mensualmente |   |

Tabla 4.8. Indicadores de Mantenimiento: Otros indicadores de Mantenimiento

## 4.7. EVALUANDO EL TPM

La evaluación de TPM involucra los alcances que la compañía ha alcanzado en su política y objetivos y de sus beneficios implícitos en su inclusión.

Naturalmente, es esencial el establecer objetivos cada vez más altos en las áreas en donde la compañía encontró grandes beneficios y alcanzó los objetivos originales. En áreas donde la compañía encontró pequeños beneficios y perdió sus objetivos, plantear los problemas, pensar en nuevos objetivos y plantearse nuevas metas.

### 4.7.1. Midiendo los Beneficios del TPM

Los beneficios del TPM pueden ser tangibles e intangibles. Mientras que los beneficios tangibles pueden ser expresados cuantitativamente, los beneficios intangibles, como cambios en la fuerza laboral, puestos de trabajo gratificantes, o pueden ser cuantificados. Los beneficios intangibles son tal vez más importantes y no deberían ser subvalorados. Se debe asegurar la evaluación de los beneficios intangibles porque son requerimientos esenciales en el mundo laboral. La figura 4.5 muestra los beneficios tangibles e intangibles alcanzados por la Planta Nihon Butyl's Kagoshima. (Suzuki, 1994, págs. 380-382)

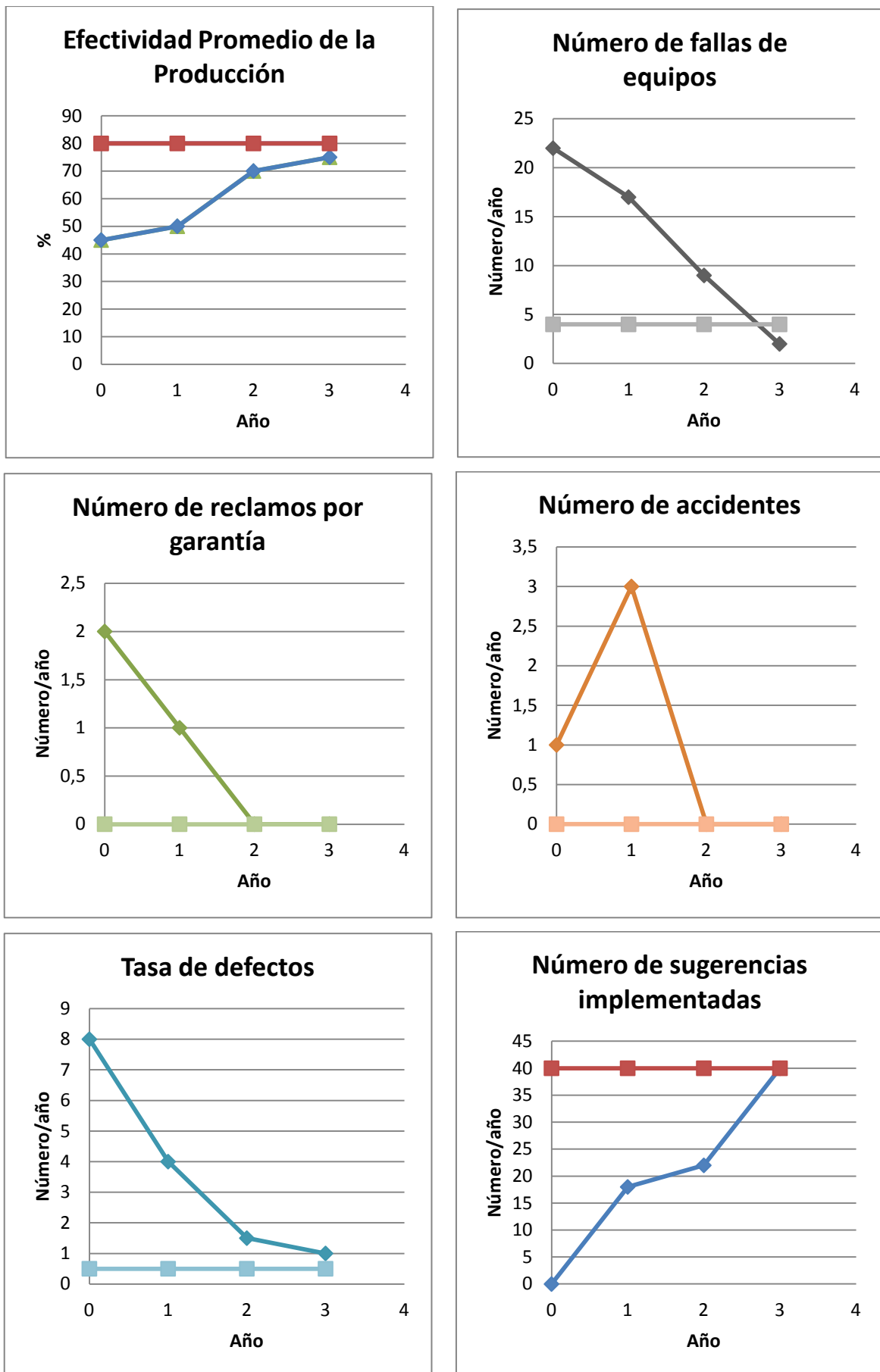


Figura 4.5. Ejemplos de beneficios de TPM

## 5. SISTEMA AUTOMÁTICO DE REPORTES

### 5.1. CONCEPTOS TÉCNICOS GENERALES

#### 5.1.1. Sistema SCADA

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition) son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos.

Se trata de una aplicación de software, especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Cada uno de los ítems de un SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de datos) involucran muchos subsistemas, por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado, otra forma podría ser que una computadora realice la adquisición vía un hardware especializado y luego esa información la transmita hacia un equipo de radio, y así existen muchas otras alternativas.

Las tareas de Supervisión y Control generalmente están más relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc. Además permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real.

Generalmente se vincula el software al uso de una computadora o de un PLC, la acción de control es realizada por los controladores de campo, pero la comunicación del sistema con el operador es necesariamente vía computadora. Sin embargo el operador puede gobernar el proceso en un momento dado si es necesario.

Un software SCADA debe ser capaz de ofrecer al sistema:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de datos históricos de las señales de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómata, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.

Existen diversos tipos de sistemas SCADA dependiendo del fabricante y sobre todo de la finalidad con que se va a hacer uso del sistema, por ello antes de decidir cuál es el más adecuado hay que tener presente si cumple o no ciertos requisitos básicos:

- Todo sistema debe tener arquitectura abierta, es decir, debe permitir su crecimiento y expansión, así como deben poder adecuarse a las necesidades futuras del proceso y de la planta.
- La programación e instalación no debe presentar mayor dificultad, debe contar con interfaces gráficas que muestren un esquema básico y real del proceso.
- Deben permitir la adquisición de datos de todo equipo, así como la comunicación a nivel interno y externo (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables para el usuario.



La figura 5.1. muestra un ejemplo de pantalla de un sistema SCADA. Sobre la misma se puede visualizar el estado de los cilindros de un molde electro-neumático para la soldadura de punto de unidades. En funcionamiento normal, esta pantalla alerta a los operadores y técnicos de mantenimiento la secuencia de operación, el funcionamiento estático y dinámico y en caso de existir, las averías del sistema relacionado.

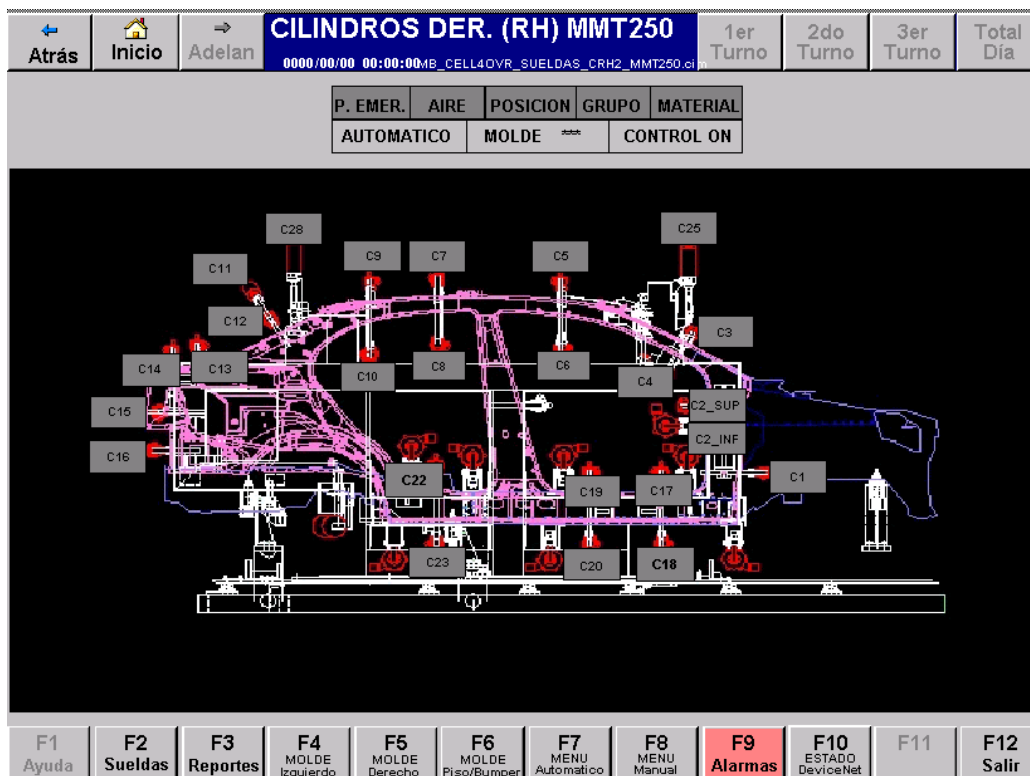


Figura 5.1. SCADA de un molde de soldadura de punto

### 5.1.2. Programador Lógico Controlable (PLC)

Los controladores lógicos programables o PLC (Programmable Logic Controller en sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos muy usados en automatización industrial.

Como su mismo nombre lo indica, se han diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

Se puede pensar en un PLC como un pequeño computador industrial que ha sido altamente especializado para prestar la máxima confianza y máximo rendimiento en un ambiente

industrial. En su esencia, un PLC mira sensores digitales y analógicos y switches (entradas), lee su programa de control, hace cálculos matemáticos y como resultado controla diferentes tipos de hardware (salidas) tales como válvulas, luces, relés, servomotores, etc. en un marco de tiempo de milisegundos.

Los PLC sirven para realizar automatismos, se puede ingresar un programa en su disco de almacenamiento, y con un microprocesador integrado, corre el programa, se tiene que saber que hay infinitudes de tipos de PLC. Los cuales tienen diferentes propiedades, que ayudan a facilitar ciertas tareas para las cuales se los diseñan.

Para que un PLC logre cumplir con su función de controlar, es necesario programarlo con cierta información acerca de los procesos que se quiere secuenciar. Esta información es recibida por captadores, que gracias al programa lógico interno, logran implementarla a través de los accionadores de la instalación.

Un PLC es un equipo comúnmente utilizado en maquinarias industriales de fabricación de plástico, en máquinas de embalajes, entre otras; en fin, son posibles de encontrar en todas aquellas maquinarias que necesitan controlar procesos secuenciales, así como también, en aquellas que realizan maniobras de instalación, señalización y control.

Dentro de las funciones que un PLC puede cumplir se encuentran operaciones como las de detección y de mando, en las que se elaboran y envían datos de acción a los pre-accionadores y accionadores. Además cumplen la importante función de programación, pudiendo introducir, crear y modificar las aplicaciones del programa.

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentra que, gracias a ellos, es posible ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales. Por otra parte, son de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo, además permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo. Sin embargo, y como sucede en todos los casos, los controladores lógicos programables, o PLC's, presentan ciertas desventajas como es la necesidad de contar con técnicos calificados y adiestrados específicamente para ocuparse de su buen funcionamiento.

Su historia se remonta a finales de la década de 1960, cuando la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional.

Hoy en día, los PLC's no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores PID (Proporcional Integral y Derivativo).

Los PLC's actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.

La figura 5.2 muestra los componentes esenciales de un PLC.

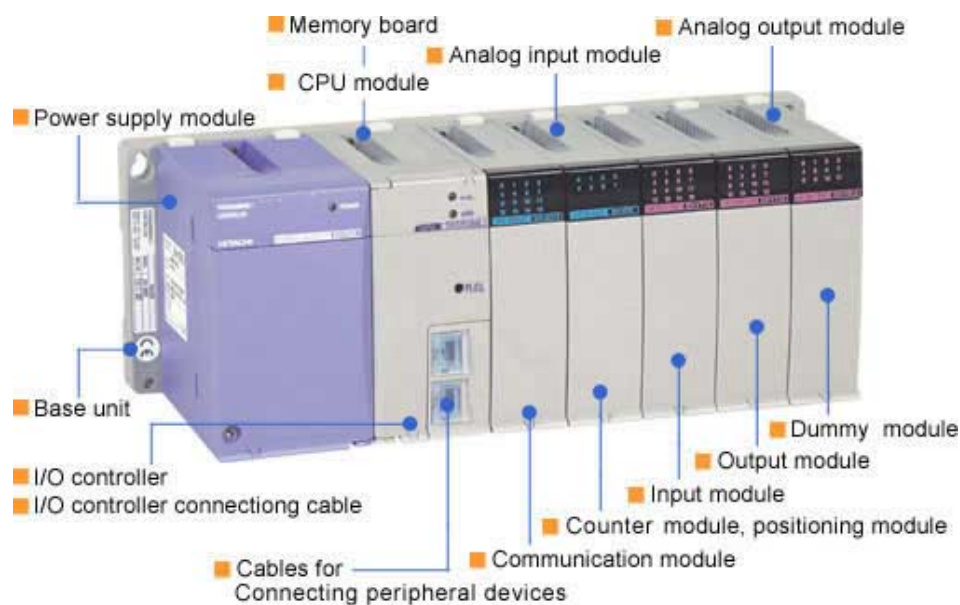


Figura 5.2. Componentes esenciales de un PLC

### 5.1.3. Base de Datos

Una base de datos es un “almacén” que nos permite guardar grandes cantidades de información de forma organizada para que luego podamos encontrar y utilizar fácilmente.

El término de bases de datos fue escuchado por primera vez en 1963, en un simposio celebrado en California, USA. Una base de datos se puede definir como un conjunto de información relacionada que se encuentra agrupada ó estructurada

Desde el punto de vista informático, la base de datos es un sistema formado por un conjunto de datos almacenados en discos que permiten el acceso directo a ellos y un conjunto de programas que manipulen ese conjunto de datos. Cada base de datos se compone de una o más tablas que guarda un conjunto de datos. Cada tabla tiene una o más columnas y filas. Las columnas guardan una parte de la información sobre cada elemento que queramos guardar en la tabla, cada fila de la tabla conforma un registro.

Entre las principales características de los sistemas de base de datos podemos mencionar:

- Independencia lógica y física de los datos.
- Redundancia mínima.
- Acceso concurrente por parte de múltiples usuarios.
- Integridad de los datos.
- Consultas complejas optimizadas.
- Seguridad de acceso y auditoría.
- Respaldo y recuperación.
- Acceso a través de lenguajes de programación estándar.

Ventajas de las bases de datos:

- Control sobre la redundancia de datos.
- Consistencia de datos.
- Compartición de datos.
- Mantenimiento de estándares.
- Mejora en la integridad de datos.
- Mejora en la seguridad.

- Mejora en la accesibilidad a los datos.
- Mejora en la productividad.
- Mejora en el mantenimiento.
- Aumento de la concurrencia.
- Mejora en los servicios de copias de seguridad.

Desventajas de las bases de datos:

- Complejidad.
- Coste del equipamiento adicional.
- Vulnerable a los fallos.

#### **5.1.4. Cimplicity**

CIMPLICITY es una interfaz humano máquina (HMI), desarrollada por General Electric para proveer una solución de integración entre dispositivos de campo (PLCs, actuadores, etc.) y sistemas SCADA.

CIMPLICITY es una solución de visualización y control basada en cliente/servidor que ayuda a visualizar operaciones, realizar la automatización de la supervisión y ofrecer información fiable a aplicaciones analíticas de mayor nivel. Dentro de las funcionalidades que CIMPLICITY ofrece, se incluye un poderoso motor de gráficos, manejo dinámico de variables y de tiempo.

Los operadores e ingenieros tienen el poder y seguridad de monitorizar y controlar con precisión todos los aspectos de su entorno, equipos y recursos. Los resultados: mayor capacidad de respuesta, reducción de costes y aumento de la rentabilidad.

CIMPLICITY permite a sus operadores y equipos de gestión tomar decisiones de manera más informada con su tecnología de visibilidad en tiempo real, y realizar cambios a través de su motor de control acreditado y robusto. Todo el equipo puede gestionar ciertas partes de una fábrica, toda una planta, o globalmente, desde cualquier ubicación. CIMPLICITY también proporciona un poderoso registrador añadido de Repetición gráfica digital (DGR) que permite prácticamente retroceder en el tiempo y analizar gráficamente eventos que se

produjeron en el pasado. CIMPLICITY ofrece un gran valor gracias a la facilidad de uso para dominios de fabricación y procesamiento.

CIMPLICITY es una solución escalable y acreditada para cualquier entorno.

- La funcionalidad añadida de Repetición gráfica digital proporciona la capacidad de volver a reproducir eventos históricos y solucionar problemas con mayor rapidez
- Gran variedad de opciones incluyendo SPC
- Una larga historia de suministro de herramientas facilitadoras para actualizar aplicaciones heredadas
- Soporte para centenares de servidores en la arquitectura
- Capacidad de tareas de primer y segundo plano
- Gran variedad de drivers originales
- Integración de históricos
- Visualizador web de configuración cero

CIMPLICITY ofrece:

- Potentes interfaces de cliente con todas sus funcionalidades
- Capacidad para ampliar el sistema fácilmente
- Integración con ERP y con otros sistemas externos
- Poderoso lenguaje de estilo básico visual
- Capacidad para utilizar infraestructura de TI existente
- Capacidad para mapear usuarios de dominio para roles y recursos en CIMPLICITY
- Reducción de la administración a través de funcionalidades innovadoras
- Drivers originales y conectividad de dispositivos OPC

## 5.2. PROPÓSITO Y ALCANCE

El sistema automático de reportes está realizado en Cimplicity y es un sistema SCADA enlazado a una gran cantidad de PLC industriales dentro de la Planta. El software Cimplicity ha sido previamente instalado en un servidor industrial enlazado a una base de datos que permitirá la realización de los reportes que servirán como análisis para la investigación.

El propósito principal del sistema automático de reportes es el poder entender qué tipo de fallas afectan a un grupo de máquinas, establecer frecuencias reales de fallo a través del PLC de control principal y generar acciones correctivas definitivas que disminuyan el tiempo de paros y pérdidas generadas por la maquinaria y así generar mejoras en varios parámetros de calidad, productividad y poder aplicar varios conceptos de TPM para su desenvolvimiento cotidiano.

Como antecedente es necesario indicar que actualmente, cuando existe alguna avería de la maquinaria, el personal de mantenimiento muchas veces no se toma el tiempo necesario para evaluar el fallo y simplemente pone a funcionar nuevamente los equipos ocasionando que no se retroalimente el problema y no se de un seguimiento adecuado ante un problema generado en el proceso productivo. Esta falta de seguimiento tiene varias consecuencias dentro de la Planta manufacturera:

1. Se reduce el tiempo de vida útil de los equipos al no dar un mantenimiento adecuado al equipo que genera una falla.
2. No se tiene un registro histórico del problema y por lo tanto no se tiene un seguimiento de la solución real que afecta a una maquina.
3. Incremente de manera excesiva la probabilidad de que la maquinaria presente un problema mayor a futuro ya que no se ataca de manera efectiva la causa-raíz de un problema.
4. Existe una consecuencia directa para los tiempos productivos reales debido a que muchas veces se esconden problemas de balanceo de equipos y paredes de operación ya que en muchas ocasiones una para de una maquinaria de 5 minutos, por ejemplo, termina registrando una para de 10 minutos que son cargados por el personal de producción ya que no existe un registro real de un paro de maquinaria y esto a la larga produce un impacto negativo en la productividad de la Planta.

El sistema automático de reportes será generado para todos los equipos enlazados a un PLC en Planta y que tengan conectividad con el servidor central que recopilará la información, sin embargo, para efectos del análisis y del estudio planteado se tomará como referencia únicamente la Planta de Ensamble General ya que, como se indicó en el capítulo 2, es la zona que realiza las entregas finales del producto. El sistema automático de reportes es parte integral de un sistema SCADA central, es importante indicar que no solo los reportes generarán una mejora en calidad y productividad, sino que también el sistema

de visualización será enlazado al análisis del problema para un mejor entendimiento de los resultados finales.

### 5.3. RELACIÓN DIRECTA CON TPM, CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD

En cuanto a Calidad y Productividad, en el capítulo III se revisaron algunos aspectos relacionados a la confiabilidad. Tomando en cuenta que la confiabilidad es la posibilidad de que un producto funcione durante un tiempo requerido, se tomará esta definición como base para intentar mejorar la confiabilidad de los equipos de la Planta de Ensamble General.

Para la evaluación de la efectividad del sistema automático de reportes se tomarán como referencia dos indicadores claves relacionados con la confiabilidad: el MTTR (Tiempo medio para fallas de una máquina) y el MTBF (Tiempo medio entre fallas sucesivas de una máquina reparable)

De la misma forma se utilizará el concepto de disponibilidad para el análisis de los resultados finales. Dado que la disponibilidad es la probabilidad de que una máquina se use bajo determinadas condiciones y tenga un desempeño satisfactorio cuando se la necesita. Es necesario indicar que con el sistema automático de reportes se podrá evaluar tanto el tiempo de funcionamiento de una máquina como el tiempo necesario para su reparación; aspectos fundamentales del concepto general de disponibilidad.

En cuanto a Mantenimiento Productivo Total, en el capítulo IV se analizaron algunos conceptos que serán enlazados a la aplicación del sistema automático de reportes. El sistema de monitoreo y control (SCADA) y el sistema automático de reportes estarán visible para todos los usuarios de la Planta y esto se alinea a uno de los pasos indispensables para la implementación de un TPM adecuado, Mantenimiento Autónomo. El Mantenimiento Autónomo es una técnica que pretende que los operadores se empoderen de su equipo y de su maquinaria y que sean responsables de poder resolver un problema para beneficio de la disponibilidad de los equipos. El Mantenimiento Autónomo dará como resultado un incremento en la productividad de Planta en general.



De la misma forma al tener un control acertado de los problemas que afectan al equipo y su tiempo real de para, se podrá establecer de mejor manera un Mantenimiento Planificado, otro de los conceptos fundamentales del TPM, que permitirá establecer con mejor frecuencia los períodos de mantenimiento de un equipo de forma preventiva y así alargar la vida útil de los mismos. Como parte del Mantenimiento Gerencial también se podrá ver una mejora ya que el sistema estará al alcance de la parte gerencial para la toma de decisiones.

Se podrá analizar una variación en cuanto al número de defectos entregados. Esto se podrá realizar mediante las estaciones de verificación que posee la Planta (Capítulo II) y de esa forma se podrá evaluar que tan efectiva fue la implementación del sistema de reportes en cuanto a indicadores de calidad.

Finalmente el sistema automático de reportes pretende generar una mejora en cuanto a los costos de mantenimiento del equipo. Al dar un seguimiento continuo de los problemas y establecer la causa-raíz de los problemas se pueden generar mantenimientos efectivos que a la larga generarán un ahorro considerable en la mantenibilidad de los equipos. Para esto se revisarán indicadores como la tasa promedio de costo de mantenimiento y el costo de mantenimiento por unidad (Capítulo IV).

Adicionalmente se podrá evaluar el crecimiento de índice de sugerencias en las máquinas en donde se ha instalado el sistema SCADA y el sistema autónomo de reportes. Debido a que al tener una visión más puntual del funcionamiento y las fallas que afectan a la maquinaria, los operadores podrán generar sugerencias que aporten al funcionamiento continuo de los equipos y maquinaria.

#### 5.4. CONSTRUCCIÓN DE REPORTES

Para la construcción de reportes se ha establecido un estándar sencillo el cual pueda ser manejado fácilmente por un utilitario de uso común. El reporte básicamente indica el problema, la hora de ocurrencia del problema y el tiempo exacto de duración del problema.

Para la construcción del reporte es necesario indicar que se puede generar una anomalía a todo equipo que esté enlazado a un PLC y que su falla pueda ser monitoreable a través del

sistema SCADA. La confiabilidad del sistema es altamente elevada debido a que todo tipo de falla debe ser procesada mediante el PLC, por lo tanto toda falla y evento será completamente evaluado para que se tomen las acciones necesarias.

La figura 5.3. muestra un ejemplo de reporte a desarrollar, el reporte contiene información sencilla que se refleja cada vez que haya un cambio de estado en una de las variables controladas por el PLC. El reporte luego podrá ser procesado para generar datos aun más complejos para el análisis de los resultados, la frecuencia de extracción es indiferente del usuario y de la necesidad puntual de cada zona de la Planta, el reporte se genera cada vez que se envía una solicitud de consulta a la base de datos y almacena información de hasta 2 años de anterioridad con el fin de poder establecer parámetros comparativos a través del tiempo. El usuario que genera la consulta, puede establecer la frecuencia de los reportes en función de lo que el sistema SCADA muestrea en pantalla o simplemente puede generar el reporte luego de haber establecido un parámetro comparativo racional.

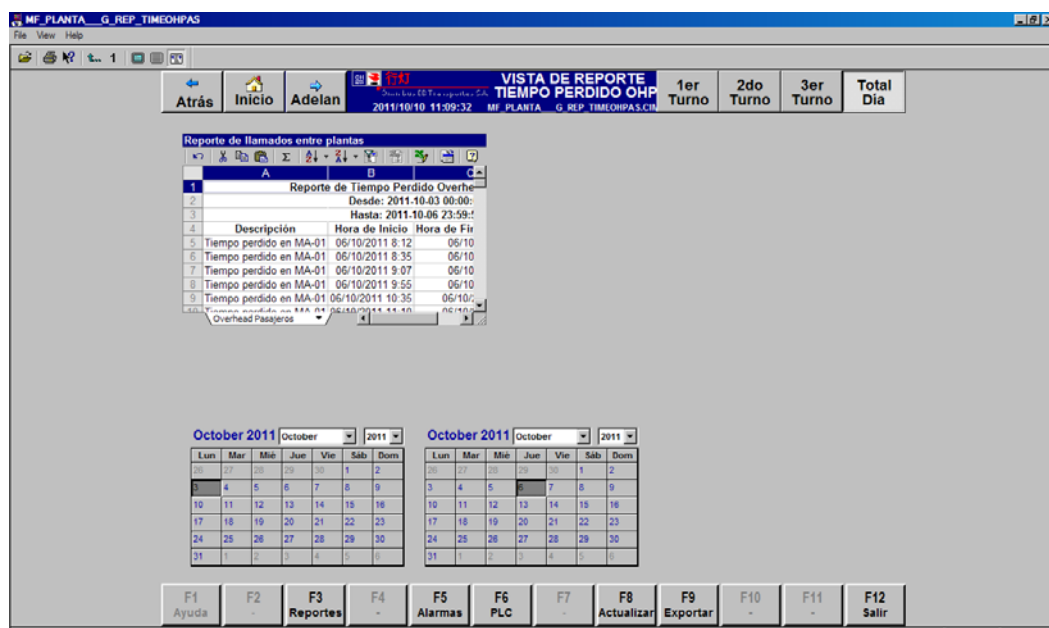


Figura 5.3. Reporte generado para el control de paras de Ensamble

El reporte al ser generado en una tabla de Excel puede ser fácilmente manipulado para poder entregar los parámetros necesarios para el cálculo de los índices de calidad o productividad descritos anteriormente.

## 5.5. RESULTADOS ESPERADOS

La tabla 5.1 resume los indicadores a evaluar con el sistema de reportes. En si es una aplicación muy simple del sistema SCADA pero la utilidad es sumamente importante a la hora de tomar decisiones gerenciales para el beneficio de la Planta. En el siguiente capítulo se revisarán ejemplos de reportes y su forma de procesamiento para alcanzar cada objetivo planificado y se revisará la operabilidad del sistema SCADA en función de los resultados a obtener.

| Indicador                            | Media Actual | Objetivo |
|--------------------------------------|--------------|----------|
| <b>Frecuencia de fallos</b>          | 32           | 10       |
| <b>MTBF</b>                          | 227          | 250      |
| <b>Seguimiento de CM</b>             | 75%          | 98%      |
| <b>Número de defectos entregados</b> | 8            | 3        |
| <b>Productividad total</b>           | 2,27 HPV     | 1,25 HPV |
| <b>DRL</b>                           | 45           | 18       |
| <b>Número de accidentes</b>          | 1            | 0        |
| <b>Sugerencias por empleado</b>      | 5            | 6        |
| <b>% implementación de OM</b>        | 60%          | 100%     |

Tabla 5.1. Indicadores a evaluar

## 6. ANÁLISIS EN TÉRMINOS DE PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD

### 6.1. OBJETO DE ANÁLISIS

El sistema supervisorio de reportes y de control ha sido instalado a lo largo de toda el área productiva para realizar el control y análisis de los parámetros establecidos. Debido a la naturaleza propia de los procesos, los resultados van a ser diferentes en cada planta y en cada proceso, al final de este capítulo se mostrará un cuadro resumen con algunos de los resultados obtenidos a lo largo de toda la planta, sin embargo, para efectos del análisis y determinar el efecto real del sistema supervisorio y de reportes se ha seleccionado el área de Ensamble General y dentro de ella el Sistema de Transporte Aéreo.

### 6.2. FUNCIONAMIENTO ACTUAL DEL PROCESO SELECCIONADO

La figura 6.1. muestra el layout del proceso productivo. Básicamente la línea consta de cuatro sub líneas que operan de forma independiente pero siempre sincronizada y es ahí donde la mayoría de problemas se generan. Las cuatro sub líneas son: vestidura, ensamble bajo piso, sub ensamble de motores y línea final.

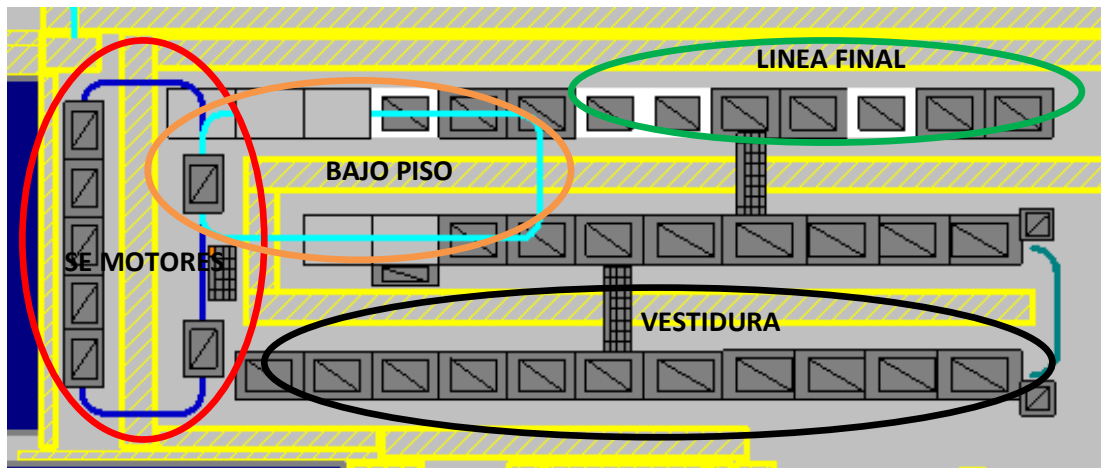


Figura 6.1. Vista general Planta Ensamble

Vestidura es un proceso continuo conformado por 20 estaciones de trabajo, cada estación tiene una longitud constante que garantiza el mismo tiempo de operación en cada una de sus estaciones. Esta línea cuenta con llamados Andon para alertar de la existencia de un problema, cuando un problema no puede ser resuelto o contenido dentro de la estación la

línea automáticamente se detiene garantizando así la contención de un problema evitando que sea entregado hacia adelante; cuando la línea se detiene, ya sea por un llamado de Andon (por daño en un equipo, falta de materiales), por una situación de emergencia o por falta de unidades entregadas del proceso anterior, las otras tres sub líneas no se detienen generando “huecos” o espacios vacíos que a la larga se traduce en pérdida de unidades debido a la desincronización que este efecto genera. En vestidura se colocan todos los componentes internos del vehículo como volante, asientos, tapicería, conexiones eléctricas, tablero de mando, etc. Es necesario mencionar que este es el primer paso luego de recibir las unidades pintadas.

Ensamble bajo piso es un proceso de tipo stop & go, esto significa que la línea no es continua en operación, depende de un tiempo de trabajo propio por estación y es el operador quien da la señal de validación para que la unidad avance hasta el siguiente proceso productivo. El principal problema de esta línea es que el tiempo varía dependiendo del modelo, de la habilidad del operador y de los componentes a montar, esto genera que en ocasiones la línea se satura generando paros hacia las otras tres sub líneas y en otras ocasiones la línea fluye tan rápido que los operadores tienen largos espacios de tiempo entre unidades generando tiempos ociosos de operación. Cuando esta línea para ya sea por un llamado de Andon, un paro de emergencia, etc. genera un paro hacia la línea de vestidura y deja de abastecer unidades hacia los dos siguientes sub líneas; Aquí se genera también un efecto sumamente interesante de operación: la línea de ensamble bajo piso se encuentra con la línea de sub ensamble de motores en la mitad de su proceso, como indica la figura 6.2, cuando existe un problema hacia atrás del punto de acople (matrimonio) la línea de vestidura detiene su operación por no tener un punto de descarga de unidades pero hacia adelante del punto de acople la línea puede fluir con normalidad durante otros 4 ciclos de proceso hasta que ensamble bajo piso haya quedado completamente desabastecido, esto provoca que las paradas generadas eventualmente son absorbidas en otras partes del proceso generando una lectura errónea de dónde se ha generado un problema y esto complica el análisis en varias ocasiones de la causa-raíz de un problema. En ensamble bajo piso se colocan todos los componentes que están en la parte inferior del vehículo como ruedas, transmisión, motor, caja de transmisión, tanque de gasolina, etc.

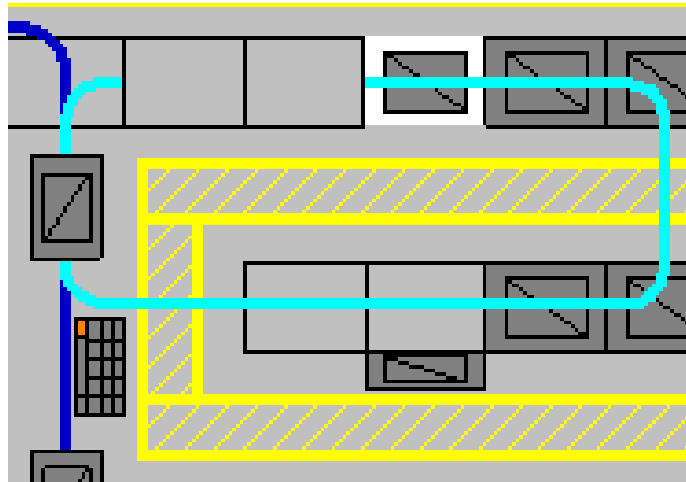


Figura 6.2. Línea de Ensamble Bajo Piso

Sub ensamble de motores es una línea continua que mantienen una autonomía operativa con relación a las otras dos sub líneas, sin embargo presenta un punto de encuentro conocido como matrimonio motor-chasis. Es una línea crítica ya que tiene un tiempo de proceso propio que debe garantizar el abastecimiento siempre de un motor en una estación de espera para que pueda ser abastecido hasta el matrimonio, además es necesario que esta línea mantenga la sincronía de modelos ya que cada cambio de lote exige a los operadores de esta línea el mantener un abastecimiento continuo. Su ensamble de motores es un proceso sumamente complejo en cuanto a equipos se refiere, cada vez que un motor de transferencia de movimiento se detiene genera un paro en el abastecimiento de motores que lógicamente genera una parada total del proceso de ensamble de motores hacia atrás, deteniendo por completo la línea de ensamble bajo piso y por consiguiente la línea de vestidura. En esta línea se ensamblan los componentes internos de los motores y de las transmisiones.

La línea de final constituye el último tramo previo a la entrega de los vehículos al área de inspección de calidad. Inspección final es una línea continua conformada por 8 estaciones de trabajo, su funcionamiento es similar al de la línea de vestidura, posee también el mismo tipo de paros ya sea por Andon o por emergencias y adicionalmente se incluye un paro de línea ocasionado por problemas de calidad; cuando se detecta algún problema de ensamblaje en las unidades, la línea final tiene la capacidad de hacer un llamado aguas arriba para que el responsable compre el defecto y verifique que no se repita en todas las

unidades hacia atrás hasta llegar a su estación. Una para de este proceso puede ocasionar una detención de todas las 3 líneas anteriores. En línea final se realiza la verificación del proceso de ensamblaje y es el sitio donde se llena de todos los fluidos al vehículo (líquido de frenos, A/C, gasolina, diesel, etc.), es el punto donde por primera vez se enciende el vehículo.

### 6.3. PROBLEMAS A RESOLVER Y CUANTIFICAR

Dependiendo del proceso los problemas varían y se comportan de diferente manera, sin embargo la esencia del planteamiento se mantiene para cualquier punto de la línea. Para el ejemplo que sirve como objeto de análisis y luego de haber entendido en detalle las operaciones del proceso los principales problemas a solventar, utilizando el sistema supervisorio y de reportes, son los siguientes:

- En vestidura:
  1. Cuando existe un llamado por Andon ya sea a materiales por falta de abastecimiento o a mantenimiento por daño de un equipo, no se puede cuantificar el tiempo exacto de duración de los mismos.
  2. Cuando la línea para es necesaria la presencia de un operario que tome los tiempos en los cuales la línea está detenida, esto ocasiona que las medidas no sean reales y exige la presencia de un operario continuamente realizando un trabajo repetitivo que no agrega valor a la producción del vehículo.
  3. Es imposible tener un resumen ya sea diario, semanal o mensual de los paros generados en la línea de producción lo que genera que los análisis de causa-raíz de los problemas muchas veces sean orientados a equipos incorrectos y que no agregan valor a la operación.
  4. Cuando es requerido hacer una lectura de la velocidad de la línea es necesario que un operario físicamente entre a zonas de riesgo inherente para la integridad personal.
  5. Cuando existe un daño de un equipo es necesario revisar todo el conjunto en general del equipo afectado ya que no se puede determinar con certeza y en corto tiempo el equipo afectado.

6. De la misma forma que con los equipos productivos y de planta los equipos de mantenimiento también requieren realizar un análisis causa-raíz de sus problemas para mejorar la calidad de los equipos.
- En ensamble bajo piso:
    1. Los operadores no tienen un control visual que les indique cuánto tiempo están trabajando en sus actividades.
    2. No se tiene una forma precisa de detectar desbalanceos en las estaciones, entendiéndose por desbalanceo a casos en los que en una estación productiva se demoren la mitad del tiempo que requieren para la operación y en otra se demoren más del tiempo asignado para la operación.
    3. Al ser un proceso de tipo stop & go resulta sumamente complicado determinar cuál es la estación que más aporta con un paro de planta ya que pueden ser absorbidos por otros puntos del proceso.
    4. Para resolver un problema de la maquinaria es necesario que una persona con conocimiento técnico específico pueda detectar el problema lo que resulta una pérdida de tiempo para quienes no tienen este conocimiento o peor aún imposibilita la resolución de un problema cuando el técnico especialista no se encuentra en su horario laboral.
    5. No se detectan con claridad la causa de los problemas. Cuando existe un problema de mantenimiento el tiempo asignado o cargado hacia el equipo muchas veces es mayor que lo ocurrido realmente justamente porque los tiempos “escondidos” que no pueden detectarse terminan absorbiéndolo el daño generado por un equipo.
  - En sub ensamble de motores:
    1. Al ser un sistema complejo en cuanto a equipamiento electromecánico resulta sumamente difícil encontrar con facilidad el origen de un daño, ocasionando pérdidas constantes de volumen de producción.
    2. Es necesario determinar, al igual que en la línea de vestidura, los tiempos exactos en los cuales se genera un llamado de Andon provocando paros en la línea productiva.
    3. El matrimonio motor-chasis es el punto más importante de la operación por lo tanto es necesario conocer el estado de todos los componentes técnicos



para tomar decisiones acertadas a la hora de resolver un problema y al momento de realizar análisis de causa-raíz de los mismos.

- En línea final:
  1. Cuando existe un llamado por Andon ya sea a materiales por falta de abastecimiento o a mantenimiento por daño de un equipo, no se puede cuantificar el tiempo exacto de duración de los mismos.
  2. Cuando la línea para es necesaria la presencia de un operario que tome los tiempos en los cuales la línea está detenida, esto ocasiona que las medidas no sean reales y exige la presencia de un operario continuamente realizando un trabajo repetitivo que no agrega valor a la producción del vehículo.
  3. Es imposible tener un resumen ya sea diario, semanal o mensual de los paros generados en la línea de producción lo que genera que los análisis de causa-raíz de los problemas muchas veces sean orientados a equipos incorrectos y que no agregan valor a la operación.
  4. Resulta sumamente complicado determinar el daño de los equipos especializados de esta línea (cargadoras de fluidos) lo cual exige un excesivo tiempo en la resolución de un problema.

Bajo esta perspectiva es necesario indicar que todos los problemas anteriormente señalados afectan directamente al volumen de producción y por lo tanto a la productividad de planta y lógicamente afectan también a la calidad final del producto. Para todos los problemas citados se puede implementar una solución mediante el sistema supervisorio y de reportes, claro está que la información desplegada nos es nada más que eso simple información que debe ser procesada, entendida y administrada correctamente a fin de explotar en toda su dimensión la ayuda a implementar.

## 6.4. SOLUCIÓN PRÁCTICA MEDIANTE EL SISTEMA SUPERVISORIO Y DE REPORTES

El sistema supervisorio ha sido implementado en dos diferentes aplicaciones:

- La aplicación del Sistema Andon que permite de forma visual ver en que estación específica se ha iniciado un llamado de cualquier tipo y a su vez permite guardar un registro histórico y generar reportes del llamado. Estos reportes se pueden almacenar hasta por un lapso de un año.
- La aplicación del Sistema de Monitoreo y Control que permite de forma visual evidenciar un daño en una maquina y almacenar la información del daño en la base de datos de forma que se generen reportes históricos para el posterior análisis. Además permite realizar controles visuales del proceso como por ejemplo tiempos de permanencia en cada estación.

### 6.4.1. Soluciones Mediante la Aplicación del Sistema Andon

La aplicación del sistema Andon permite a los líderes de la Planta verificar la existencia de un llamado y poder acudir de forma inmediata a resolver un problema. Antes de la implementación de la aplicación supervisora y debido a la magnitud de la planta industrial resultaba sumamente difícil y demoroso identificar la estación que ha generado un llamado y aún más difícil resultaba llevar un control de los llamados y lógicamente poder poner planes de acción efectivos ante una eventualidad. La figura 6.3. muestra una vista general de la Planta de Ensamble con algunos llamados de diferente tipo activos del sistema Andon.

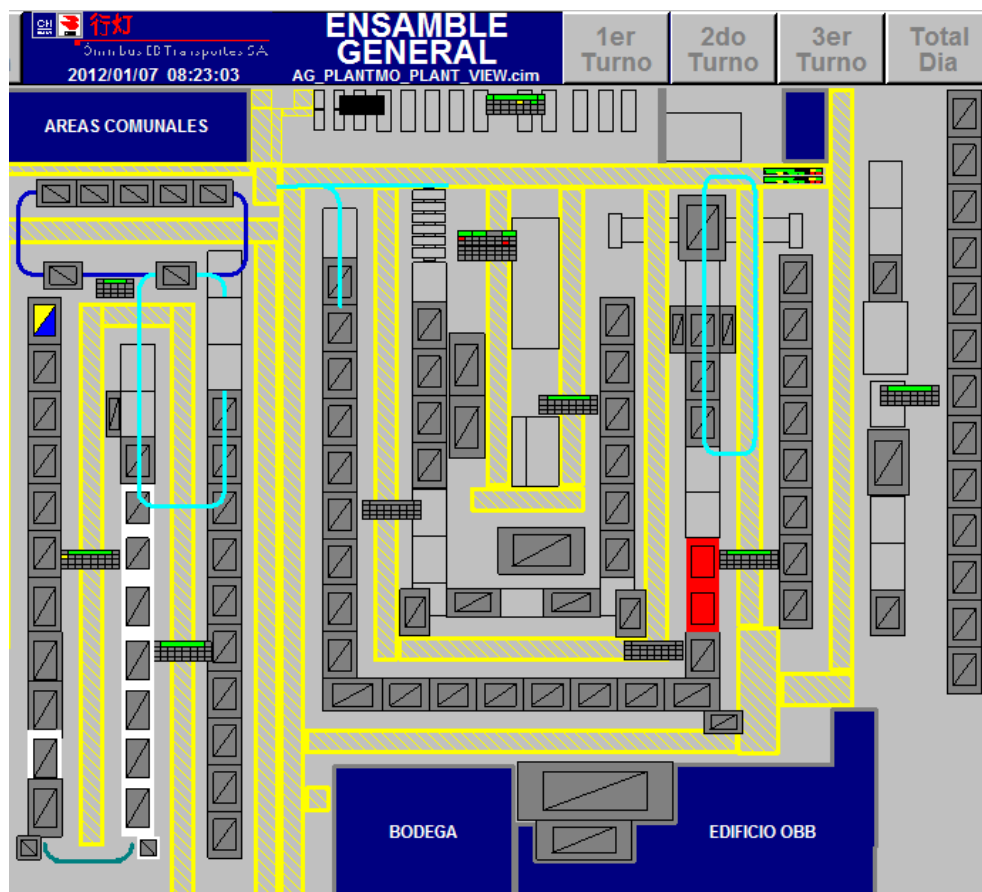


Figura 6.3. Vista Ensamble General con llamados Andon activos

La tabla 6.1. muestra datos estadísticos levantados antes y después de la implementación de la aplicación del sistema Andon. Esta muestra una media del tiempo que tomaba resolver un problema y la media que toma hoy en día.

| MUESTREO DE LLAMADAS POR TIEMPO |                           |                          |                                  |                      |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------|
| SEMANA                          | Llamado a Líder de Equipo | Llamado a Líder de Grupo | Llamado a Líder de Mantenimiento | Llamado a Materiales |
| 1                               | 12:25:00                  | 1:25:00                  | 14:17:00                         | 8:20:00              |
| 2                               | 13:40:00                  | 2:15:00                  | 13:50:00                         | 9:12:00              |
| 3                               | 12:12:00                  | 2:12:00                  | 14:00:00                         | 9:00:00              |
| 4                               | 11:50:00                  | 1:55:00                  | 13:10:00                         | 8:50:00              |
| 5                               | 13:25:00                  | 2:05:00                  | 14:25:00                         | 8:40:00              |
| 6                               | 12:40:00                  | 1:50:00                  | 13:45:00                         | 9:05:00              |
| <b>PROMEDIO 6 SEMANAS</b>       | 12:42:00                  | 1:57:00                  | 13:54:30                         | 8:51:10              |

| SEMANA                        | Llamado a Líder de Equipo | Llamado a Líder de Grupo | Llamado a Líder de Mantenimiento | Llamado a Materiales |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 1                             | 7:45:32                   | 0:51:57                  | 2:36:57                          | 8:41:13              |
| 2                             | 6:50:25                   | 0:45:17                  | 2:10:10                          | 7:50:20              |
| 3                             | 7:35:54                   | 0:25:12                  | 2:05:01                          | 8:12:24              |
| 4                             | 7:20:42                   | 0:19:00                  | 1:35:17                          | 8:19:25              |
| 5                             | 6:15:38                   | 0:32:08                  | 2:25:19                          | 8:35:17              |
| 6                             | 7:32:21                   | 0:40:12                  | 2:18:15                          | 7:55:12              |
| <b>PROMEDIO<br/>6 SEMANAS</b> | 7:13:25                   | 0:35:38                  | 2:11:50                          | 8:15:39              |

Tabla 6.1. Media de tiempo para resolución de problemas

De los datos obtenidos se pueden sacar algunas conclusiones:

- La implementación del sistema supervisorio permite visualizar el lugar donde se genera un llamado de cualquier tipo y esto a su vez permite a los líderes de la Planta acudir de forma casi instantánea al lugar de ocurrencia de un evento.
- Los datos obtenidos muestran una disminución drástica del tiempo de respuesta ante un llamado, sin embargo se puede observar que durante las seis semanas de muestreo y en las semanas siguientes el tiempo de solución promedio no disminuyó creando una tendencia casi que constante a lo largo de las semanas, esto se debe a la naturaleza propia de los procesos productivos y la complejidad de cada operación dentro de la línea.
- Se puede observar que a partir de la tercera semana de nuestro los tiempos promedios de resolución de problemas disminuyen, no en forma significativa pero al fin de cuentas disminuyen esto se debe a que con la información de las dos primeras semanas los líderes de la Planta pudieron determinar que la pared de balanceo de líneas podía ser mejorada ya que pudieron entender cual estación presentaba mayores tiempos en sus problemas lo cual indicaba un claro caso de paredes de balanceo mal hechas.

La tabla 6.2 muestra un ejemplo de los reportes generados en la aplicación del sistema Andon. Esta tabla muestra con exactitud la hora de ocurrencia de un evento y el tiempo

que toma el resolver un llamado una vez generado. Con esta información se logran resolver gran cantidad de los problemas levantados en la sección anterior.

| Vestidura Pasajeros |               |                 |                    |                |
|---------------------|---------------|-----------------|--------------------|----------------|
| Desde: 2012-01-16   |               |                 |                    |                |
| Hasta: 2012-01-21   |               |                 |                    |                |
| Equipo              | Estación      | Tipo de Llamada | Número de llamadas | Duración Total |
| 1                   | TA-01         | CAL             | 71                 | 1:32:49        |
|                     |               | LET             | 149                | 4:33:51        |
|                     |               | LGT             | 1                  | 0:02:41        |
|                     |               | MAT             | 10                 | 0:13:55        |
|                     |               | MNT             | 5                  | 0:13:35        |
|                     |               | PA_             | 32                 | 0:50:32        |
|                     |               | PE_             | 1                  | 0:00:54        |
|                     | TA-03         | CAL             | 71                 | 1:32:49        |
|                     |               | LET             | 84                 | 1:30:56        |
|                     |               | MAT             | 27                 | 0:30:57        |
|                     |               | PA_             | 10                 | 0:05:00        |
|                     | TA-04         | CAL             | 87                 | 1:49:49        |
|                     |               | LET             | 7                  | 0:01:45        |
|                     |               | PE_             | 2                  | 0:05:53        |
| 2                   | TA-05         | CAL             | 87                 | 1:49:49        |
|                     |               | LET             | 115                | 2:42:43        |
|                     |               | LGT             | 1                  | 0:00:03        |
|                     |               | MAT             | 45                 | 0:50:44        |
|                     |               | MNT             | 1                  | 0:02:32        |
|                     |               | PA_             | 18                 | 0:17:20        |
|                     | TA-06         | CAL             | 87                 | 1:49:49        |
| 3                   | MA-01         | LET             | 137                | 5:29:51        |
|                     |               | MAT             | 14                 | 0:33:03        |
|                     |               | MNT             | 10                 | 0:16:26        |
|                     |               | PA_             | 83                 | 2:48:11        |
|                     |               | PE_             | 4                  | 0:11:08        |
|                     | Sub Tapicería | CAL             | 71                 | 1:32:49        |
|                     | TA-07         | CAL             | 51                 | 0:57:36        |
|                     |               | LET             | 72                 | 1:46:13        |

|    |           |       |     |     |         |
|----|-----------|-------|-----|-----|---------|
| 12 | EV-ETP-01 | TA-08 | LGT | 1   | 0:00:25 |
|    |           |       | MAT | 9   | 0:11:00 |
|    |           |       | MNT | 1   | 0:00:07 |
|    |           |       | PA_ | 15  | 0:11:51 |
|    |           | TA-09 | CAL | 51  | 0:57:36 |
|    |           |       | LET | 89  | 1:49:19 |
|    |           |       | LGT | 11  | 0:32:09 |
|    |           |       | MAT | 8   | 0:06:03 |
|    |           |       | PA_ | 17  | 0:16:02 |
|    |           | TA-10 | CAL | 51  | 0:57:36 |
|    |           |       | LET | 108 | 2:07:10 |
|    |           |       | LGT | 7   | 0:18:48 |
|    |           |       | MAT | 14  | 0:18:28 |
|    |           | TA-12 | MNT | 1   | 0:00:09 |
|    |           |       | PA_ | 28  | 0:17:03 |
|    |           |       | CAL | 81  | 2:51:29 |
|    |           |       | LET | 46  | 2:11:29 |
|    |           | TA-10 | LGT | 1   | 0:00:04 |
|    |           |       | MAT | 15  | 0:24:07 |
|    |           |       | PA_ | 15  | 0:40:53 |
|    |           |       | CAL | 81  | 2:51:29 |
|    | EV-ETP-01 | TA-12 | CAL | 145 | 2:20:18 |
|    |           |       | LET | 131 | 3:38:51 |
|    |           |       | LGT | 1   | 0:00:03 |
|    |           |       | MAT | 10  | 0:10:01 |
|    |           |       | MNT | 2   | 0:01:31 |
|    |           |       | PA_ | 23  | 0:14:47 |

Tabla 6.2. Ejemplo de reporte sistema Andon

#### 6.4.2. Soluciones Mediante la Aplicación del Sistema de Monitoreo y Control

Con el sistema de monitoreo y control se logró dar un seguimiento casi que al 100% de varios indicadores claves para el negocio y se le dio al equipo de mantenimiento una herramienta formidable que contribuye de manera directa a la disminución del tiempo de solución de problemas por errores en la maquinaria.

La figura 6.4. muestra el sistema transportador de ensamble bajo piso. En esta figura se puede identificar cuando un transportador está posicionado físicamente sobre una estación y cuando una estación se encuentra desocupada. Debido a la naturaleza del proceso y al ser estaciones que necesitan la decisión de los operadores para avanzar hacia adelante se incluyó una tabla dinámica que se actualiza en tiempo real marcando el ritmo de operación.

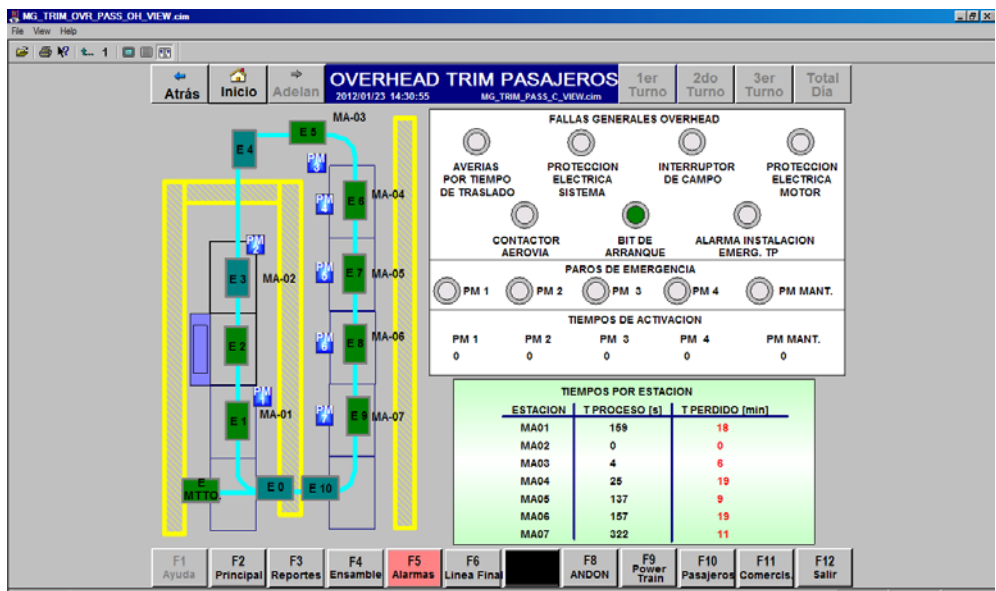


Figura 6.4. Sistema Transportador de Ensamble Bajo Piso

Cada estación tiene un ATT (tiempo de proceso) que una vez alcanzado cambia de color alertando al líder que algo ha ocurrido en esta estación provocando un retraso en la conclusión de la tarea de un operador, esta información es almacenada en la base de datos y generan un reporte diario como el que se muestra en la tabla 6.3. en la cual se puede determinar con exactitud cuál de las estaciones aporta con más minutos de pérdida en el día y con esto se pueden tomar decisiones sumamente importantes para la subsiguientes operaciones

| Reporte de Tiempo Perdido Transportador Ensamble Pasajeros |                  |                      |          |
|--|------------------|----------------------|----------|
| Desde: 2011-11-14 00:00:01                                 |                  |                      |          |
| Hasta: 2011-11-14 23:59:59                                 |                  |                      |          |
| Descripción  | Hora de Inicio   | Hora de Finalización | Duración |
| Tiempo perdido en MB10                                     | 14/11/2011 8:04  | 14/11/2011 8:05      | 0:00:42  |
| Tiempo perdido en MB10                                     | 14/11/2011 8:12  | 14/11/2011 8:12      | 0:00:26  |
| Tiempo perdido en MB10                                     | 14/11/2011 8:19  | 14/11/2011 8:19      | 0:00:07  |
| Tiempo perdido en MB10                                     | 14/11/2011 8:27  | 14/11/2011 8:28      | 0:00:23  |
| Tiempo perdido en MB10                                     | 14/11/2011 10:22 | 14/11/2011 10:23     | 0:00:50  |
| Tiempo perdido en MB10                                     | 14/11/2011 10:47 | 14/11/2011 10:50     | 0:03:22  |
| Tiempo perdido en MB20                                     | 14/11/2011 8:12  | 14/11/2011 8:12      | 0:00:22  |
| Tiempo perdido en MB20                                     | 14/11/2011 9:35  | 14/11/2011 9:35      | 0:00:07  |
| Tiempo perdido en MB20                                     | 14/11/2011 10:22 | 14/11/2011 10:22     | 0:00:17  |
| Tiempo perdido en MB20                                     | 14/11/2011 10:47 | 14/11/2011 10:51     | 0:04:31  |
| Tiempo perdido en MB30                                     | 14/11/2011 8:19  | 14/11/2011 8:19      | 0:00:02  |
| Tiempo perdido en MB30                                     | 14/11/2011 9:35  | 14/11/2011 9:35      | 0:00:10  |
| Tiempo perdido en MB30                                     | 14/11/2011 10:22 | 14/11/2011 10:23     | 0:01:13  |
| Tiempo perdido en MB30                                     | 14/11/2011 10:47 | 14/11/2011 10:51     | 0:04:49  |
| Tiempo perdido en MB30                                     | 14/11/2011 11:18 | 14/11/2011 11:19     | 0:00:07  |
| Tiempo perdido en SHUTTLE                                  | 14/11/2011 7:51  | 14/11/2011 7:51      | 0:00:06  |
| Tiempo perdido en SHUTTLE                                  | 14/11/2011 8:06  | 14/11/2011 8:06      | 0:00:03  |
| Tiempo perdido en UB10                                     | 14/11/2011 7:17  | 14/11/2011 7:27      | 0:09:26  |
| Tiempo perdido en UB20                                     | 14/11/2011 7:50  | 14/11/2011 7:50      | 0:00:22  |
| Tiempo perdido en UB20                                     | 14/11/2011 8:12  | 14/11/2011 8:12      | 0:00:39  |
| Tiempo perdido en UB20                                     | 14/11/2011 9:21  | 14/11/2011 9:21      | 0:00:06  |
| Tiempo perdido en UB20                                     | 14/11/2011 10:22 | 14/11/2011 10:23     | 0:00:59  |
| Tiempo perdido en UB30                                     | 14/11/2011 8:12  | 14/11/2011 8:12      | 0:00:22  |
| Tiempo perdido en UB30                                     | 14/11/2011 10:22 | 14/11/2011 10:24     | 0:02:00  |
| Tiempo perdido en UB30                                     | 14/11/2011 10:31 | 14/11/2011 10:31     | 0:00:06  |
| Tiempo perdido en UB30                                     | 14/11/2011 10:47 | 14/11/2011 10:50     | 0:03:27  |
| Tiempo perdido en UB30                                     | 14/11/2011 10:58 | 14/11/2011 10:59     | 0:00:05  |

Tabla 6.3. Minutos de pérdida por estación

Dentro de esta pantalla se ha incluido también una visualización de la ocurrencia de un defecto en la maquinaria y estos eventos son enlazados también a la base de datos generando un reporte alternativo al mostrado en la tabla anterior. Con esta información se puede determinar información sumamente importante como el que se muestra en la figura 6.5. En la figura se han recopilado datos correspondientes a 1 semana de trabajo.



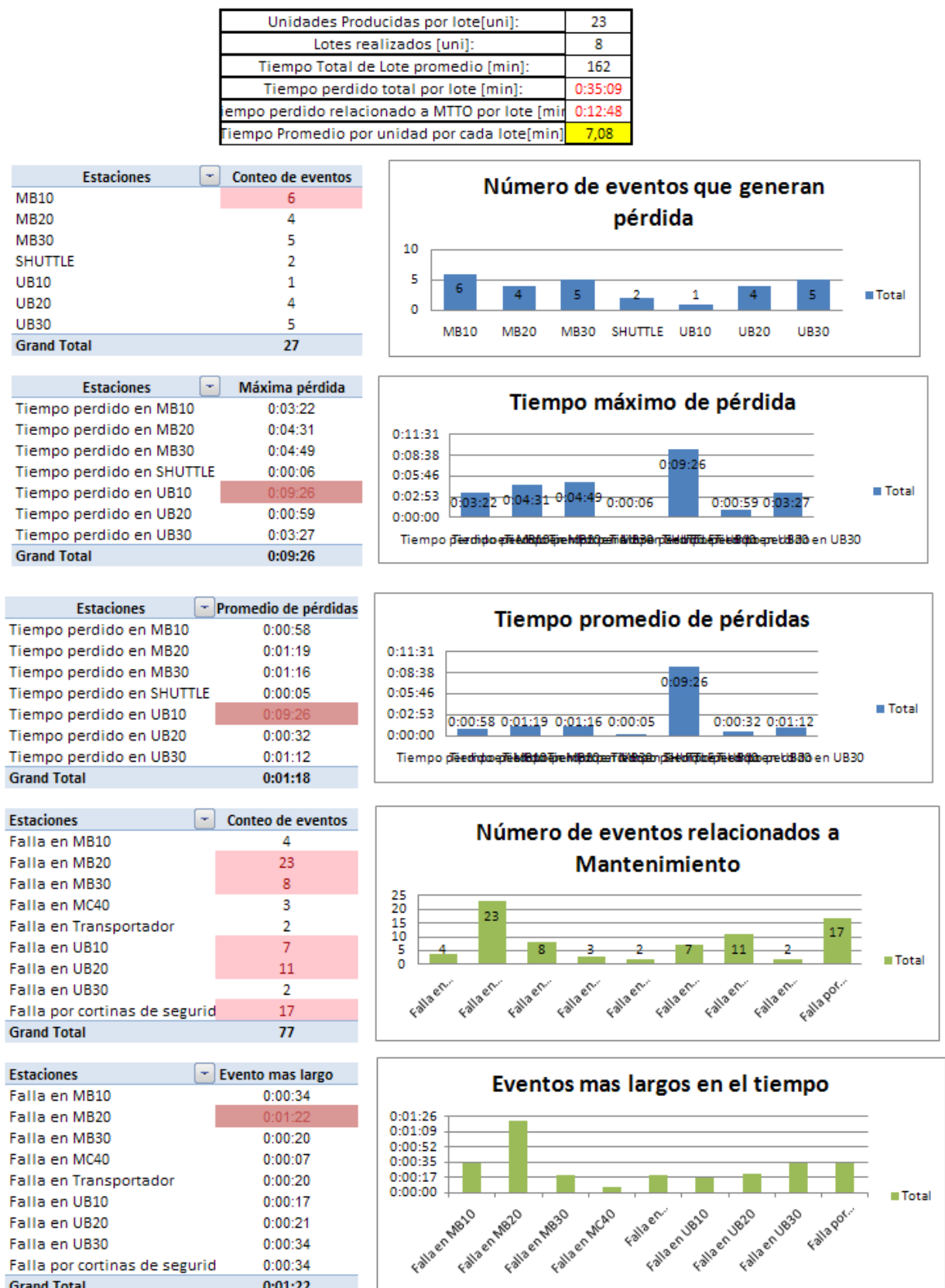


Figura 6.5. Fotografía inicial del sistema

Los datos obtenidos inicialmente dieron una fotografía general de la situación del sistema productivo. Con esta información se implementaron los siguientes planes de acción que se muestran en la tabla 6.4.

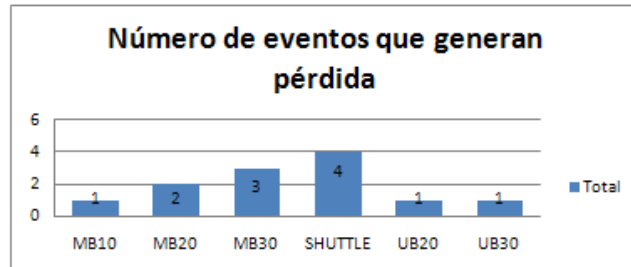
| DECISIONES TOMADAS  | RESPONSABLE   | FECHA COMPROMISO | ESTATUS |
|---|---------------|------------------|---------|
| Implementar sistema de purificación de aire para MB30   | Mantenimiento | 1 semana         | 100%    |
| Levantamiento de sensores de sistema descalibrados para revisión y ajuste                       | Mantenimiento | 1 semana         | 100%    |
| Reprogramación de sistema de control para apertura rápida de transportadores y mesas            | Mantenimiento | 1 semana         | 100%    |
| Reemplazo de sensores tipo fin de carrera por sensores inductivos                               | Mantenimiento | 1 semana         | 90%     |
| Implementación de sistema visual y auditivo para evitar interferencias en cortinas de seguridad | Mantenimiento | 3 días           | 100%    |
| Revisión de balanceo de carga de trabajo en UB20  | Producción    | 1 semana         | 100     |
| Reubicación de partes y accesorios para alcance rápido de operadores en MB20                    | Producción    | 1 semana         | 75%     |
| Ajuste de velocidad de línea en tiempos muertos   | Mantenimiento | 2 días           | 100%    |
| Capacitación a operadores sobre uso de sistema transportador                                    | Producción    | 2 días           | 100%    |
| Revisión de secuencia de proceso para optimización de tiempos de todas las estaciones           | Producción    | 3 días           | 100%    |

Tabla 6.4. Planes de acción levantados luego del primer análisis

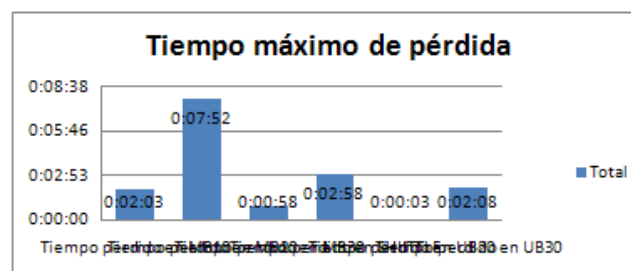
Estos planes de trabajo, como se puede observar, tienen una relación directa con la fotografía inicial de Planta (figura 6.5.) los planes fueron trabajados por todo el equipo de planta y luego de su finalización y al cabo de una semana se obtuvieron los siguientes resultados (figura 6.6.). Con esto podemos evidenciar nuevamente la utilidad del primer reporte y por supuesto el resultado esperado:

|   |         |
|---|---------|
| Unidades Producidas por lote[uni]:                | 24      |
| Lotes realizados [uni]:                           | 8       |
| Tiempo Total de Lote promedio [min]:              | 123     |
| Tiempo perdido total por lote [min]:              | 0:19:24 |
| Tiempo perdido relacionado a MTTO por lote [min]: | 0:06:10 |
| Tiempo Promedio por unidad [min]:                 | 5,125   |

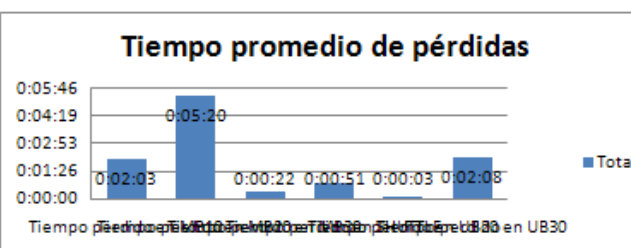
| Estaciones         | Conteo de eventos |
|--------------------|-------------------|
| MB10               | 1                 |
| MB20               | 2                 |
| MB30               | 3                 |
| SHUTTLE            | 4                 |
| UB20               | 1                 |
| UB30               | 1                 |
| <b>Grand Total</b> | <b>12</b>         |



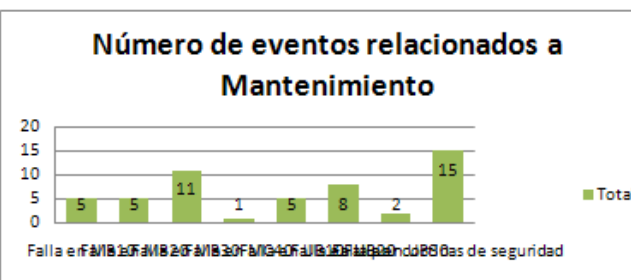
| Estaciones                | Máxima pérdida |
|---------------------------|----------------|
| Tiempo perdido en MB10    | 0:02:03        |
| Tiempo perdido en MB20    | 0:07:52        |
| Tiempo perdido en MB30    | 0:00:58        |
| Tiempo perdido en SHUTTLE | 0:02:58        |
| Tiempo perdido en UB20    | 0:00:03        |
| Tiempo perdido en UB30    | 0:02:08        |
| <b>Grand Total</b>        | <b>0:07:52</b> |



| Estaciones                | Promedio de pérdidas |
|---------------------------|----------------------|
| Tiempo perdido en MB10    | 0:02:03              |
| Tiempo perdido en MB20    | 0:05:20              |
| Tiempo perdido en MB30    | 0:00:22              |
| Tiempo perdido en SHUTTLE | 0:00:51              |
| Tiempo perdido en UB20    | 0:00:03              |
| Tiempo perdido en UB30    | 0:02:08              |
| <b>Grand Total</b>        | <b>0:01:37</b>       |



| Estaciones                      | Conteo de eventos |
|---------------------------------|-------------------|
| Falla en MB10                   | 5                 |
| Falla en MB20                   | 5                 |
| Falla en MB30                   | 11                |
| Falla en MC40                   | 1                 |
| Falla en UB10                   | 5                 |
| Falla en UB20                   | 8                 |
| Falla en UB30                   | 2                 |
| Falla por cortinas de seguridad | 15                |
| <b>Grand Total</b>              | <b>52</b>         |



| Estaciones                      | Evento mas largo |
|---------------------------------|------------------|
| Falla en MB10                   | 0:00:57          |
| Falla en MB20                   | 0:00:33          |
| Falla en MB30                   | 0:00:56          |
| Falla en MC40                   | 0:00:02          |
| Falla en UB10                   | 0:00:03          |
| Falla en UB20                   | 0:00:07          |
| Falla en UB30                   | 0:00:06          |
| Falla por cortinas de seguridad | 0:00:25          |
| <b>Grand Total</b>              | <b>0:00:57</b>   |



Figura 6.6. Resultados luego de planes de acción

Por supuesto todos estos planes de trabajo y todos estos excelentes resultados no podían ser alcanzados si no se trabajaba en conjunto a todos los niveles gerenciales. Es necesario recordar que esta aplicación forma parte del TPM y como principio fundamental para su buen funcionamiento está el involucrar a todos los niveles en la toma de decisiones, de ahí la importancia de la base teórica de los capítulos anteriores.

Gran parte del tiempo de para de la Planta es generado por las distintas máquinas que componen el complejo industrial. El ejemplo que se muestra a continuación evidencia el aporte del sistema supervisorio y de control a la reducción de tiempos de para en la Planta industrial.

La figura 6.7. muestra una vista general del sistema de sub ensamble de motores. Este sistema es sumamente complejo en cuanto a maquinaria se refiere; este sistema posee sensores, variadores de frecuencia, motores, bombas, etc., la gran cantidad de equipos hace que determinar el sitio exacto de un problema resulte un verdadero dolor de cabeza. En la figura se puede ver al sistema trabajando con un componente en falla, esta falla (en color rojo) es claramente identificable por el equipo de mantenimiento. Previa a la implementación del sistema supervisorio ante la ocurrencia de un problema, el operador de mantenimiento debía acudir a la zona del daño a investigar cuál era la causa del problema, resolvía el inconveniente en tiempos sumamente altos y regularmente no se tomaban acciones correctivas a largo plazo debido fundamentalmente a que no existía un registro real y continuo del aporte de paras de la maquinaria. Con la implementación del sistema supervisorio se decidió cambiar un poco la estructura de trabajo de los equipos para evidenciar su efectividad: a un operador se le asignó un computador en el cual podía observar el momento que se generaba una falla, el avisaba de forma inmediata sobre la ocurrencia de un problema a un compañero en piso y este acudía a resolver el problema.

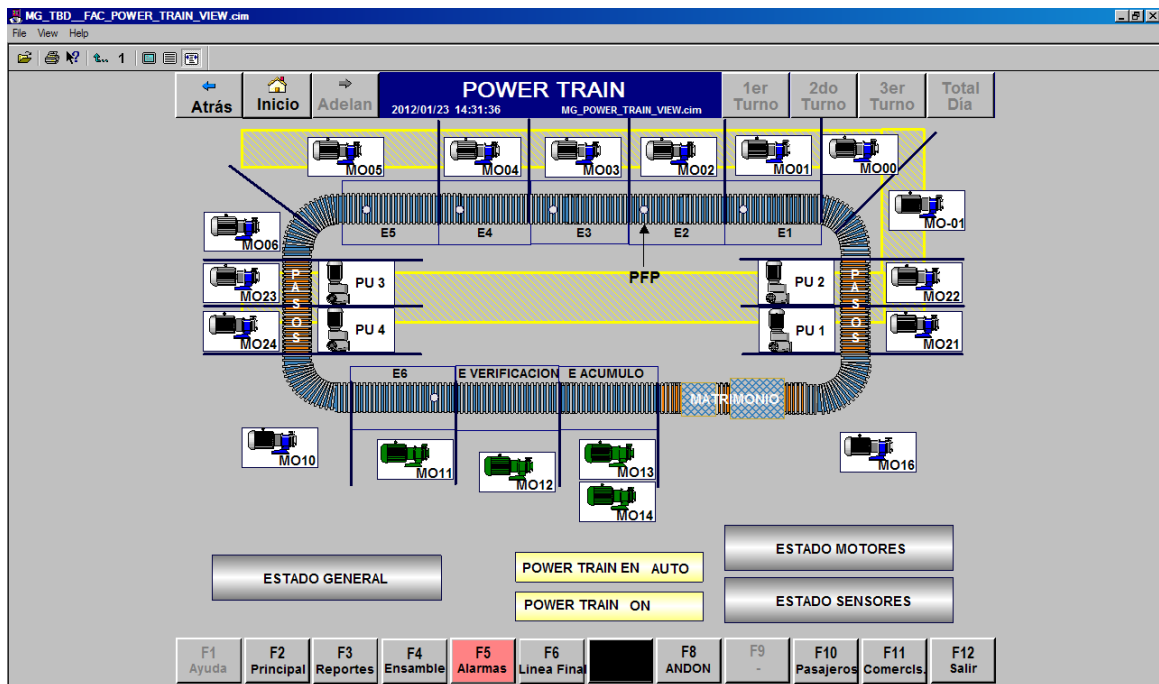


Figura 6.7. Vista general del sistema de sub ensamble de motores

Para efectos de pruebas y evaluación de resultados, se realizó el estudio únicamente el segundo turno de producción, los resultados fueron inmediatos. Esta variación en la forma de trabajo provocó una reducción realmente impresionante del tiempo de reacción del equipo de mantenimiento ante las fallas tal y como se muestra en la figura 6.8.

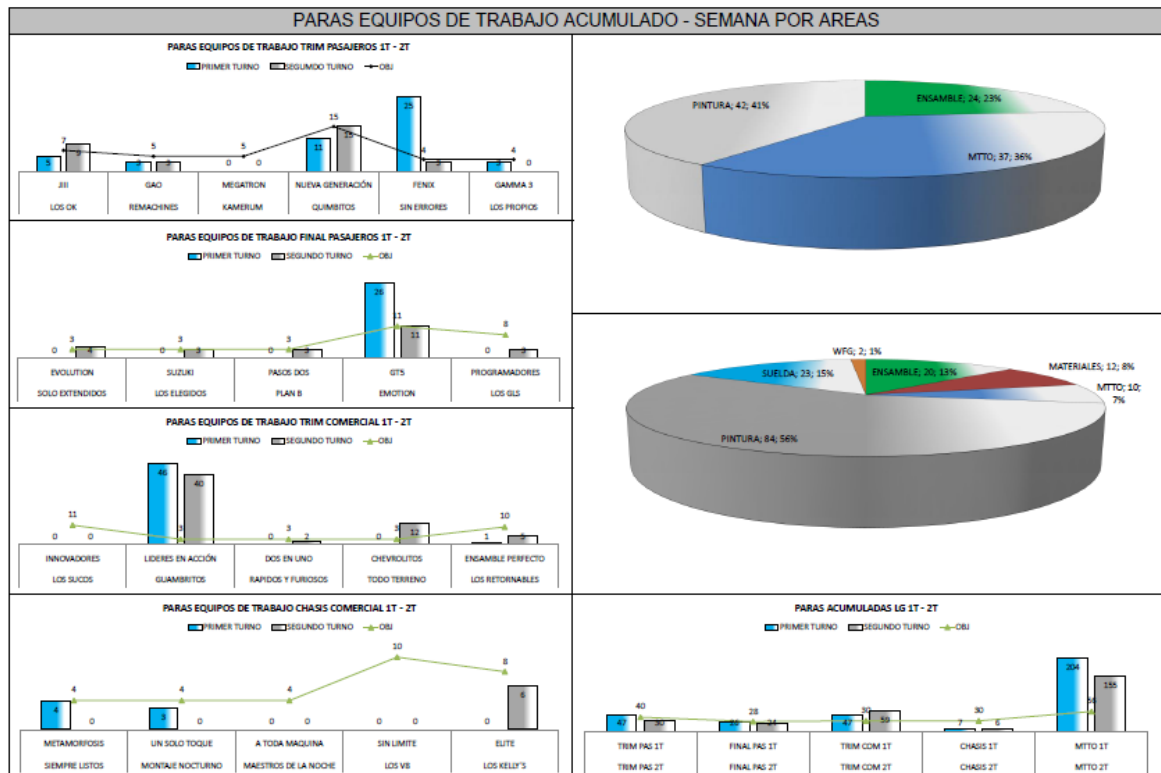
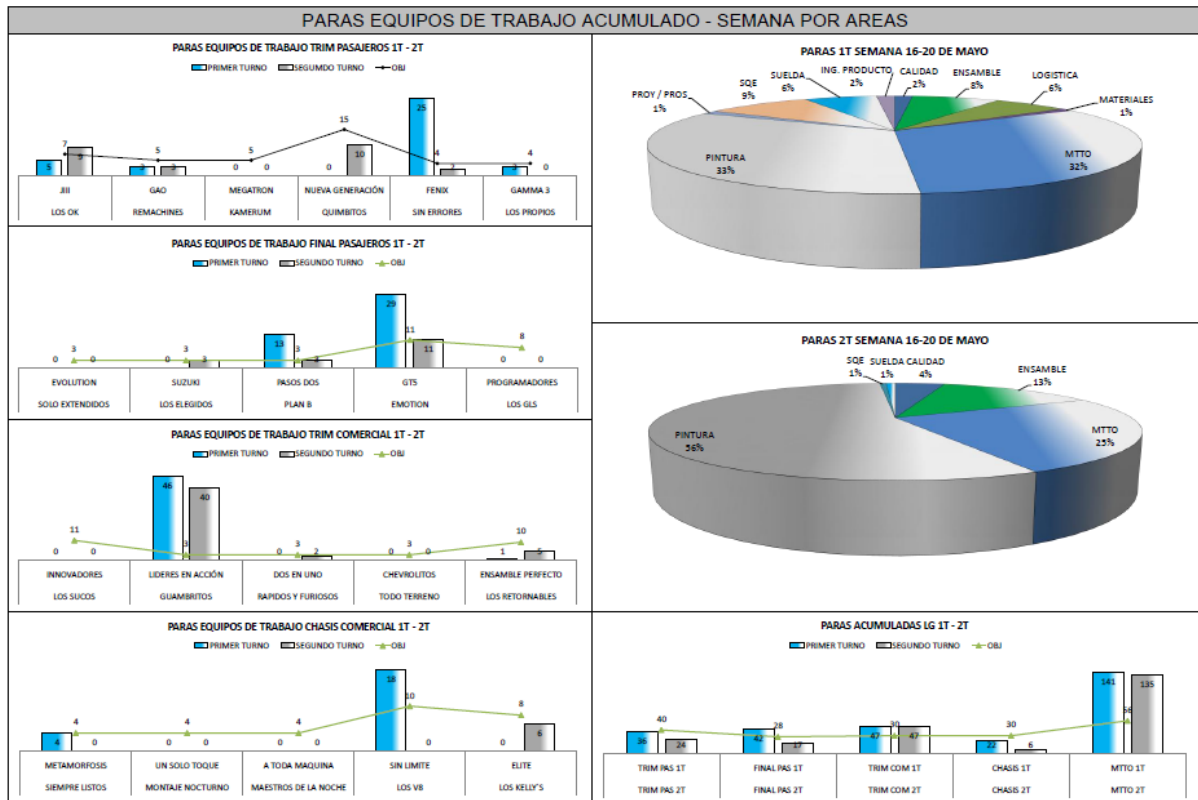


Figura 6.8. Reducción de tiempos de respuesta con sistema supervisorio

Toda la información de paros en la maquinaria se almacenó en la base de datos y al igual que en el ejemplo mostrado en el sistema transportador. No solo que el tiempo de reacción ante un evento se disminuyó sino también que permitió al equipo de mantenimiento poner planes de acción efectivos como los mostrados en la tabla 6.5.

| DECISIONES TOMADAS  | RESPONSABLE                | FECHA COMPROMISO | ESTATUS |
|---|----------------------------|------------------|---------|
| Realizar cambio de velocidades de sistema transportador para garantizar tiempos de traslado                                   | Mantenimiento              | 1 semana         | 100%    |
| Enlazar fallas de sistema transportador con sistema Andon para acudir de forma inmediata a resolver un problema               | Mantenimiento              | 1 semana         | 100%    |
| Implementar Mantenimiento Autónomo para la revisión y ajuste de sensores del sistema transportador                            | Mantenimiento / Producción | 4 semanas        | 100%    |
| Implementar pantalla de monitoreo y control para zona de líderes para revisión y evaluación continua de sistema transportador | Mantenimiento              | 1 semana         | 100%    |
| Calibración de sensores posicionadores para garantizar censado de partes  | Mantenimiento              | 5 días           | 100%    |
| Cambio de frecuencia de mantenimiento de motores 2, 5 y 7. (Recurrentes problemas de mantenimiento)                           | Mantenimiento              | Continuamente    | ----    |
| Revisión de planes de trabajo de variadores de frecuencia por continuas alertas de sobrecalentamiento de pastillas            | Mantenimiento              | Continuamente    | ----    |
| Limpieza de rodillos por alertas de desgaste de sistema motriz  | Mantenimiento              | 6 días           | 100%    |
| Revisión de fallas recurrentes de elevadores por posicionamiento de émbolos posicionadores                                    | Mantenimiento              | Continuamente    | ----    |
| Implementación de alertas visuales para ayuda de operadores   | Mantenimiento / Producción | 1 semana         | 100%    |

Tabla 6.5. Planes de acción levantados para sistema de sub ensamble de motores

Dentro de los planes de trabajo podemos verificar que el tercer plan tiene una relación directa con uno de los principios del TPM, el mantenimiento autónomo. La información

arrojada por el sistema supervisorio permitió establecer con certeza dónde y cómo se debía implementar esta herramienta, el resultado a largo plazo fue la disminución paulatina de la frecuencia de fallos de la maquinaria intervenida (MTBF) y el incremento sustancial del aporte en sugerencias de los operadores debido a la profundización en conocimientos de sus propios equipos.

## 6.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante toda la sección anterior se ha ido analizando puntualmente todos los problemas levantados en la sección dos. A continuación en la tabla 6.6. se puede ver un cuadro comparativo con las soluciones encontradas y los resultados reales.



| Línea     | Problema  | Solución   | Resultado anterior  | Resultado actual   |
|-----------|---|--|---|--|
| Vestidura | Cuando existe un llamado por Andon no se puede cuantificar el tiempo exacto de duración de los mismos.  | Se implementó un reporte con datos exactos de ocurrencia de un problema y duración de solución para los diferentes líderes de la Planta                          | <b>T prom</b> de solución de problemas =<br><b>13:54:30</b> | <b>T prom</b> de solución de problemas =<br><b>02:11:50</b>                        |
|           | Cuando la línea para es necesaria la presencia de un operario que tome los tiempos en los cuales la línea está detenida                                       | Se implementa un reporte de tiempos de para de la línea productiva.  | Se necesita un controlador para que tome tiempos de proceso | Se elimina un trabajo repetitivo y se reasignan nuevas funciones al controlador    |
|           | Es imposible tener un resumen ya sea diario, semanal o mensual de los paros generados en la línea de producción.  | Se implementa un reporte de paros ocasionados por la maquinaria dentro de la línea productiva.   | No se realizaban seguimientos históricos de los problemas   | Se realizan análisis causa/raíz efectivos y se generan planes de acción adecuados. |
|           | Cuando es requerido hacer una lectura de la velocidad de la línea es necesario que un operario entre a zonas de riesgo inherente para la integridad personal. | Se implementa una pantalla para visualización en tiempo real de la velocidad de la línea productiva y un registro histórico del cambio de velocidad de la misma. | <b>Accidentes con primeros auxilios = 3</b>                 | <b>Accidentes con primeros auxilios = 0</b>  |

| Línea                         | Problema  | Solución  | Resultado anterior   | Resultado actual  |
|-------------------------------|---|---|--|---|
| <b>Ensamble<br/>Bajo Piso</b> | Los operadores no tienen un control visual que les indique cuánto tiempo están trabajando en sus actividades.   | Se implementó un control visual que indica al operador cuando su ATT está próximo a terminar y se registra en una base de datos los resultados hora a hora de la operación. | <b>T total</b> de procesamiento de un lote = <b>02:47:00</b>         | <b>T total</b> de procesamiento de un lote = <b>02:29:00</b>        |
|                               | No se tiene una forma precisa de detectar desbalanceos en las estaciones  | Se implementa un reporte que permite determinar cuál es la estación que más demora sus actividades para la toma de decisiones posteriores.                                  | Estaciones desbalanceadas = 3  | Estaciones desbalanceadas = 0                                       |
|                               | Al ser un proceso de tipo stop & go resulta sumamente complicado determinar cuál es la estación que más aporta con un paro de planta ya que pueden ser absorbidos por otros puntos del proceso. | Se implementa un reporte que permite cuantificar el número de incidencias de eventos relacionados a pérdida de tiempo.  | <b>La estación MB10 aporta con un promedio de 6 eventos por lote</b> | <b>La estación MB10 aporta con un promedio de 1 evento por lote</b> |
|                               | No se puede identificar el equipo que genera mayores defectos en la operación   | Se implementa un reporte que permite cuantificar el número de incidentes relacionados a la maquinaria. Se generan mantenimientos preventivos para dichos equipos.           | <b>Eventos de daños por lote en MB20 = 23<br/>MP = 0</b>             | <b>Eventos de daños por lote en MB20 = 0<br/>MP = 6</b>             |

| Línea                  | Problema   | Solución  | Resultado anterior                                    | Resultado actual                                  |
|------------------------|--|---|---|---|
| Subensamble de Motores | Al ser un sistema complejo en cuanto a equipamiento electromecánico resulta sumamente difícil encontrar con facilidad el origen de un daño.  | Se implementa un control visual que permite identificar de manera inmediata el origen de un problema y así acudir a solucionar el inconveniente evitando los paros de línea.  | <b>% de aporte de paros de Mantenimiento = 37,36%</b> | <b>% de aporte de paros de Mantenimiento = 7%</b> |
|                        | Es necesario determinar los tiempos exactos en los cuales se genera un llamado de Andon provocando paros en la línea productiva.   | Se implementó un reporte con datos exactos de ocurrencia de un problema y duración de solución para los diferentes líderes de la Planta.  | <b>T prom de solución de problemas = 13:54:30</b>     | <b>T prom de solución de problemas = 02:11:50</b> |
|                        | El matrimonio motor-chasis es el punto más importante de la operación por lo tanto es necesario conocer el estado de todos los componentes técnicos para tomar decisiones acertadas a la hora de resolver un problema y al momento de realizar análisis de causa-raíz de los mismos. | Se implementa un control visual que permite identificar de manera inmediata el origen de un problema y así acudir a solucionar el inconveniente evitando los paros de línea. Se enlazan los eventos a una base de datos para la toma de decisiones. | <b>MTBF = 220</b>                                     | <b>MTBF = 278,83</b>                              |

Tabla 6.6. Resultados obtenidos

La figura 6.9. muestra, finalmente, un cuadro resumen con los datos de la planta de Ensamble General del último mes previo a la implementación del sistema de reportes y los datos de desempeño 2 meses después da la implementación final.



Figura 6.9. Resultados finales

## 7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Los resultados obtenidos del análisis anterior muestran la gran ayuda y el gran impacto que genera el sistema automático de reportes en términos del TPM y de la calidad, sin embargo es conveniente analizar la parte económica y la factibilidad que resulta de la implementación de éste sistema. Como se ha hecho en capítulos anteriores se partirá del hecho de que el sistema será implementado para toda la planta generando un impacto sobre el producto final.

Para este efecto se partirá definiendo algunos conceptos generales y su justificación para el análisis de ésta implementación.

### 7.1. ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD Y VIABILIDAD

La factibilidad, significa determinar si el proyecto propuesto ayuda a que la organización logre sus objetivos generales; así como también si es posible de lograr con los recursos actuales de la organización, desde el punto de vista: técnico, económico y operacional.

El estudio de viabilidad es estrictamente detallado y requiere un mayor consumo de recursos, lleva consigo una reducción del grado de incertidumbre y una mayor cuantificación y definición de los costos y beneficios del proyecto a lo largo del tiempo.

Es conocido que una de las fases de un proyecto es la que se refiere a la realización de diversos estudios previos antes de decidir definitivamente acometer el proyecto. Los estudios previos se reducen muchas veces a un estudio de la viabilidad del proyecto solamente desde tres puntos de vista:

- Técnico.
- Económico.
- Financiero.

Un estudio serio de viabilidad abarca mayor diversidad y exige la realización de una serie de estudios parciales de distinto tipo como son:

- Estudio de mercado.
- Tamaño del proyecto.
- Tecnología.
- Localización.
- Emplazamiento.
- Impacto ambiental.
- Estimación de la inversión.
- Financiación.

No obstante, es posible suprimir algunos de ellos, ya que el entorno general donde se va a situar el posible proyecto permite efectuar simplificaciones. Para el caso del sistema de reportes se hará una verificación estricta de la inversión debido a las justificaciones presentadas anteriormente en esta investigación.

## 7.2. ESTUDIO DE MERCADO

Como paso previo a la formulación del proyecto es fundamental determinar el tamaño y la composición de la demanda efectiva actual del mercado, dividido por sectores, a fin de estimar el grado de penetración en el mercado.

Conjuntamente se deben proyectar los ingresos provenientes de las ventas teniendo en consideración la tecnología, la capacidad de planta, el programa de producción y la estrategia de comercialización.

Teniendo disponible las proyecciones sobre las ventas, se debe formular un programa de producción detallado en el que se indiquen las diversas actividades de producción y su calendario. Como paso final en el estudio de viabilidad es determinar la capacidad de la planta teniendo en cuenta los niveles de producción, inversiones e ingresos por concepto de ventas.

La investigación que se realice debe tener las siguientes características:

- La recopilación de la información debe ser sistemática.
- El método de recopilación debe ser objetivo y no tendencioso.
- El estudio siempre debe tener como objetivo final servir de base para tomar decisiones.

Lógicamente y debido a la naturaleza misma del impacto sobre la cantidad de vehículos producidos dentro de la planta industrial, se orientará el análisis de la demanda en función del total de unidades a vender. Para este efecto se muestra la tabla 7.1. la cual muestra datos históricos de la venta de vehículos de la marca<sup>1</sup> y la figura 7.1. que muestra la correlación existente para la determinación del método a utilizar para el análisis de demanda futura.

| Año  | Total<br>[miles de unidades] |
|------|------------------------------|
| 2001 | <b>21,44</b>                 |
| 2002 | <b>27,72</b>                 |
| 2003 | <b>22,16</b>                 |
| 2004 | <b>23,64</b>                 |
| 2005 | <b>32,16</b>                 |
| 2006 | <b>33,80</b>                 |
| 2007 | <b>36,68</b>                 |
| 2008 | <b>45,04</b>                 |
| 2009 | <b>37,08</b>                 |
| 2010 | <b>51,37</b>                 |
| 2011 | <b>51,04</b>                 |
| 2012 | <b>52,07</b>                 |

Tabla 7.1. Total de ventas en miles de unidades de la marca

---

1. Datos tomados del volumen de ventas de la compañía.

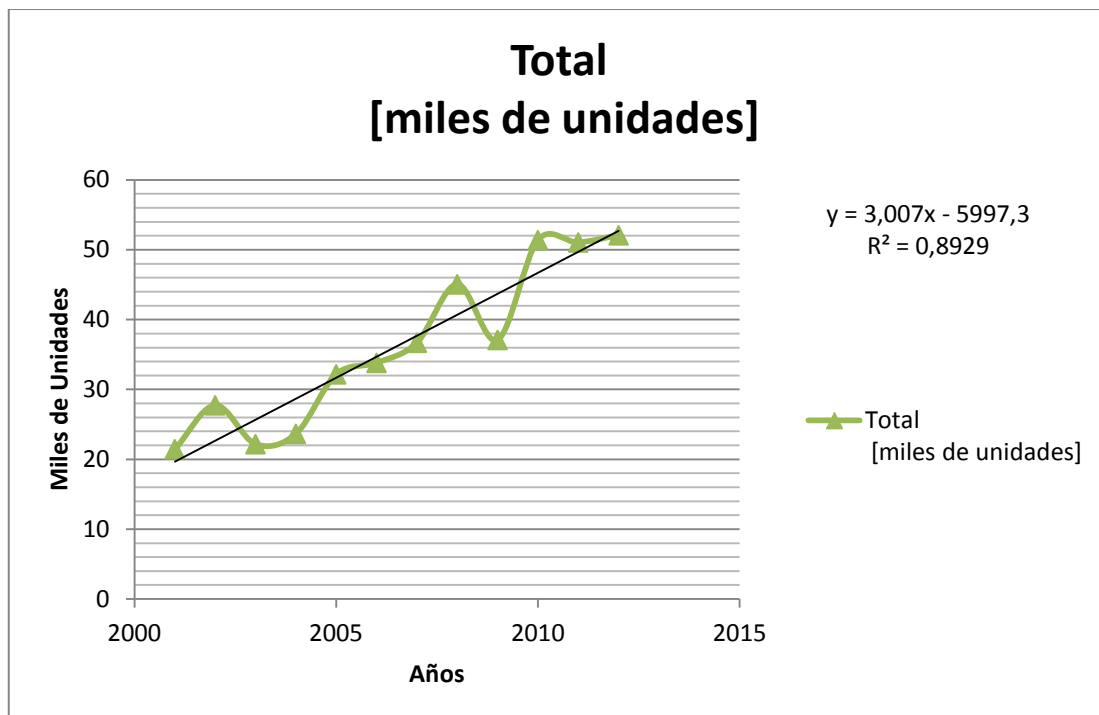


Figura 7.1. Histórico de ventas de la marca

De esta gráfica se puede determinar que el factor de correlación es de 0,9 dando una buena aproximación lineal del histórico de ventas de la marca para el cálculo de la demanda futura.

Aplicando el modelo de regresión lineal para el cálculo de la demanda, los valores a producir de unidades para los siguientes 8 años sería:



| Año  | Total<br>[miles de unidades] |
|------|------------------------------|
| 2001 | 21,44                        |
| 2002 | 27,72                        |
| 2003 | 22,16                        |
| 2004 | 23,64                        |
| 2005 | 32,16                        |
| 2006 | 33,8                         |
| 2007 | 36,68                        |
| 2008 | 45,04                        |
| 2009 | 37,08                        |
| 2010 | 51,37                        |
| 2011 | 51,04                        |
| 2012 | 52,07                        |
| 2013 | 55,79                        |
| 2014 | 58,80                        |
| 2015 | 61,81                        |
| 2016 | 64,81                        |
| 2017 | 67,82                        |
| 2018 | 70,83                        |
| 2019 | 73,83                        |
| 2020 | 76,84                        |

Tabla 7.2. Proyección del volumen de ventas para los próximos 8 años

Con esta información se puede empezar a delinear el retorno económico que el proyecto tendrá.

Para el resto de cálculos y mediciones se ha considerado una *vida del proyecto de 8 años*. Esto obedece a que la inversión realizada se la hace exclusivamente sobre software que es un bien que no perece y que dependerá exclusivamente del soporte y el mantenimiento efectuado sobre el mismo, con ésta información se elabora el flujo de caja tal y como se muestra en el siguiente apartado.

### 7.3. PRESUPUESTO DE GASTOS E INGRESOS: FLUJO DE CAJA

La tendencia actual es estudiar por separado el flujo de caja de los proyectos (y a partir de ese estudio establecer su rentabilidad) y la financiación necesaria. Con ello se consigue un mejor conocimiento de las características del proyecto.

El cash-flow o flujo de caja operativo del proyecto corresponde a la diferencia entre los fondos generados cada año y las inversiones realizadas durante el mismo, y ello a todo lo largo de la vida del proyecto.

Los fondos que el proyecto genera cada año son el resultado de sumar el beneficio después de impuestos y las cantidades destinadas a amortización. La diferencia entre los ingresos y los gastos del proyecto a lo largo de su vida útil independientemente de las inversiones genera un beneficio bruto. Si descontamos los impuestos correspondientes obtenemos el beneficio neto.

Los gastos del proyecto se dividen en los propios costes de producción y la amortización de la inversión. Los costes de producción son diversos y dependen de la naturaleza del proyecto, pero los que se mencionan a continuación son frecuentemente comunes en la mayoría de proyectos:

- Materias primas y otros materiales.
- Servicios auxiliares.
- Mano de obra.
- Coste de las ventas.
- Seguros, impuestos y alquileres.
- Varios e imprevistos.

El sistema automático de reportes afecta directamente al volumen de producción de la planta sin afectar la mano de obra directa tal y como se concluyó en el capítulo anterior. Antes de realizar el desglose del flujo de caja es importante analizar algunos detalles en función de la demanda obtenida anteriormente:

| Sin sistema de reportes:                     |       |            |
|--|-------|------------|
| Tiempo promedio de entrega de unidades:      | 7,08  | [min]      |
| Tiempo disponible de trabajo en un turno:    | 415   | [min]      |
| Unidades disponibles para entrega por turno: | 59    | [uni]      |
| capacidad operacional:                       | 85    | [%]        |
| Unidades efectivas por turno:                | 50    | [uni]      |
| Turnos productivos al día:                   | 3     | [turnos]   |
| Líneas productivas:                          | 2     | [uni]      |
| Capacidad productiva por día:                | 299   | [uni]      |
| Días hábiles de trabajo al año:              | 215   | [días]     |
| Capacidad productiva por año máxima:         | 64272 | [unidades] |

Tabla 7.3. Capacidad productiva máxima por año sin sistema de reportes

| Con sistema de reportes:                     |       |            |
|--|-------|------------|
| Tiempo promedio de entrega de unidades:      | 6,7   | [min]      |
| Tiempo disponible de trabajo en un turno:    | 415   | [min]      |
| Unidades disponibles para entrega por turno: | 62    | [uni]      |
| capacidad operacional:                       | 85    | [%]        |
| Unidades efectivas por turno:                | 53    | [uni]      |
| Turnos productivos al día:                   | 3     | [turnos]   |
| Líneas productivas:                          | 2     | [uni]      |
| Capacidad productiva por día:                | 316   | [uni]      |
| Días hábiles de trabajo al año:              | 215   | [días]     |
| Capacidad productiva por año:                | 67918 | [unidades] |

Tabla 7.4. Capacidad productiva máxima por año con sistema de reportes

De estas dos tablas se puede concluir que implementando el sistema automático de reportes y logrando las mejoras aplicadas al TPM y a la calidad que se describen en los capítulos anteriores, es posible alcanzar los volúmenes de ventas proyectados en la demanda para los próximos 8 años sin necesidad de realizar ninguna inversión sobre la maquinaria ni el espacio físico de la planta así como sin afectar la mano de obra directa o indirecta que afectan al costo por unidad del vehículo. *Dada esta condición particular, se muestra a continuación el flujo de caja considerando los siguientes gastos de inversión inicial y mantenimiento anual, así como el retorno del incremento de volumen ligado con el sistema automático de reportes y la demanda del mercado, considerando que no se realizan inversiones adicionales para lograr tal objetivo.*

Para los cálculos mostrados en la tabla 7.5. se ha utilizado un valor de 682 dólares por unidad como costo por unidad y un valor de 755 dólares por unidad como precio de venta por unidad, que resultan del promedio de los costos por unidad arrojados por el departamento de manufactura en el año 2011. En el anexo 1 (Centros de Costos y Costos por Unidad) se muestra una explicación detallada de los valores utilizados para los cálculos descritos.

Es necesario indicar que para el flujo de caja se ha considerado un período de recuperación de la inversión a partir del cuarto año, ya que con las capacidades iniciales de la Planta, ésta podría incrementar su capacidad en los primeros 3 años sin necesidad de contar con el sistema automático de reportes como herramienta de mejora de números productivos, sin embargo es necesario indicar que el proyecto de implementación no solo contempla el marco económico financiero si no también su aporte al sistema global de calidad, TPM y gestión diaria de indicadores.

| FLUJO DE CAJA                    | Periodos (años)   |                 |                 |                 |                 |                  |                  |                  |                  |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                  | 0                 | 1               | 2               | 3               | 4               | 5                | 6                | 7                | 8                |
| <b>INVERSIÓN</b>                 | <b>-\$118.200</b> | <b>-\$5.000</b> | <b>-\$5.000</b> | <b>-\$5.000</b> | <b>-\$5.000</b> | <b>-\$5.000</b>  | <b>-\$5.000</b>  | <b>-\$5.000</b>  | <b>-\$5.000</b>  |
| Software y licencias             | -\$45.000         | \$0             | \$0             | \$0             | \$0             | \$0              | \$0              | \$0              | \$0              |
| Hardware                         | -\$8.000          | \$0             | \$0             | \$0             | \$0             | \$0              | \$0              | \$0              | \$0              |
| Programación inicial             | -\$12.000         | \$0             | \$0             | \$0             | \$0             | \$0              | \$0              | \$0              | \$0              |
| Capacitación                     | -\$3.000          | \$0             | \$0             | \$0             | \$0             | \$0              | \$0              | \$0              | \$0              |
| Creación de sistema SCADA        | -\$6.200          | \$0             | \$0             | \$0             | \$0             | \$0              | \$0              | \$0              | \$0              |
| Programación de PLC              | -\$44.000         | -\$2.000        | -\$2.000        | -\$2.000        | -\$2.000        | -\$2.000         | -\$2.000         | -\$2.000         | -\$2.000         |
| Mantenimiento de software        | \$0               | -\$1.000        | -\$1.000        | -\$1.000        | -\$1.000        | -\$1.000         | -\$1.000         | -\$1.000         | -\$1.000         |
| Ampliación de aplicación         | \$0               | -\$2.000        | -\$2.000        | -\$2.000        | -\$2.000        | -\$2.000         | -\$2.000         | -\$2.000         | -\$2.000         |
| <b>GANANCIA</b>                  | <b>\$0</b>        | <b>\$0</b>      | <b>\$0</b>      | <b>\$0</b>      | <b>\$39.274</b> | <b>\$259.004</b> | <b>\$478.734</b> | <b>\$697.734</b> | <b>\$917.464</b> |
| Venta de unidades según demanda  | \$0               | \$0             | \$0             | \$0             | \$406.190       | \$2.678.740      | \$4.951.290      | \$7.216.290      | \$9.488.840      |
| Costos de unidades según demanda | \$0               | \$0             | \$0             | \$0             | -\$366.916      | -\$2.419.736     | -\$4.472.556     | -\$6.518.556     | -\$8.571.376     |
| <b>Flujo de Caja Neto</b>        | <b>-\$118.200</b> | <b>-\$5.000</b> | <b>-\$5.000</b> | <b>-\$5.000</b> | <b>\$34.274</b> | <b>\$254.004</b> | <b>\$473.734</b> | <b>\$692.734</b> | <b>\$912.464</b> |

Tabla 7.5. Flujo de caja neto

En la tabla anterior se muestran los siguientes componentes dentro del flujo de caja:

1. INVERSION:

- Software y licencias: Corresponde al gasto realizado para la adquisición del programa que servirá de plataforma para la realización del sistema de reportes.
- Hardware: Todas las adecuaciones necesarias para poder tener las facilidades para la interconexión de los diferentes sistemas.
- Programación inicial: Es el gasto realizado para la realización de la ingeniería del nuevo sistema y la puesta en marcha del sistema.
- Capacitación: Es la inversión realizada con el personal de mantenimiento y otros especialistas para que adquieran el conocimiento del nuevo sistema y de cómo utilizarlo.
- Creación de sistema SCADA: Corresponde a las facilidades necesarias para la creación de la interconectividad entre el sistema de reportes y los equipos de planta.
- Programación de PLC: Corresponde a la ingeniería y puesta en marcha de los diferentes programadores lógicos para la creación de las subrutinas de control.
- Mantenimiento de software: corresponden a los gastos necesarios para la manutención de bases de datos, respaldos de información y limpieza de basura informática.
- Ampliación de aplicación: Corresponde a la programación futura del sistema de reportes que por diversas razones no se ejecuta en el primer período.

2. GANANCIA:

- Venta de unidades según demanda: Es el resultado de multiplicar el precio de venta por unidad por el número de unidades demandadas. Es importante señalar que durante los tres primeros años se considera que la planta puede absorber la demanda planificada sin la necesidad de la intervención del sistema de reportes. Este es el componente positivo de la ganancia.

- Costo de unidades según demanda: Es el costo imputado a cada unidad de acuerdo a los gastos realizados por el centro de costos de manufactura. Es importante mencionar que solo se considera al centro de costos de manufactura y no al resto de la compañía debido a que el sistema de reportes forma parte de la subcuenta de mantenimiento que está controlada por éste centro de costos (Anexo 1). Este es el componente negativo de la ganancia.

#### 7.4. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROYECTO

Quien decide acometer un proyecto normalmente espera obtener un resultado rentable, o bien cierto beneficio social, salvo ciertos casos especiales como inversiones de carácter estratégico o inversiones "obligadas" por razones legales o de otro tipo. Frecuentemente, sin embargo, incluso agentes que presumen de una gestión muy profesional, toman decisiones sobre proyectos sin que exista un estudio siquiera somero de la rentabilidad esperada.

La limitación de los recursos disponibles tanto en el sector público como en el privado, obliga a realizar una evaluación y por ello deben administrarse de la forma más eficaz posible.

Existen dos tipos distintos de evaluación del beneficio, el social, que trata de conseguir el mejor beneficio para la comunidad, y el empresarial, que trata de obtenerlo para la organización promotora e inversora.

El criterio más utilizado para la evaluación de proyectos industriales es el empresarial, ya que en economías de mercado suelen ser acometidos de esta forma. Sin embargo, es posible trasladar estos criterios a la evaluación social utilizando precios sociales y teniendo en cuenta los efectos indirectos.

#### 7.4.1. Valor actual neto (VAN)

Definido como la suma de los distintos flujos de caja generados por el proyecto, descontados a un determinado tipo de interés, será:

$$VAN = -I_0 + \frac{C_1}{(1+k)} + \frac{C_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+k)^n} = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k)^t}$$

Donde:

Ct = flujos de caja.

I0 = inversión inicial.

k = tasa de actualización.

t = años de duración del proyecto.

El flujo de caja al comienzo del proyecto, habitualmente, será negativo, ya que en ese primer período la inversión será previsiblemente alta y todavía no se habrá generado ningún beneficio. Por esa razón en la ecuación anterior los primeros términos suelen tener signo negativo.

Subsiste, sin embargo, un problema práctico importante: ¿qué tasa de actualización debemos aplicar para efectuar los cálculos? Es evidente que el hecho de aplicar una tasa mayor o menor altera los cálculos y puede modificar notablemente las conclusiones. Si se aplica una tasa más baja, el grado de actualización es menos acusado y, por tanto, se ven menos afectados los proyectos de mayor duración; si por el contrario se aplica una tasa más alta, las cantidades más alejadas en el tiempo resultan reducidas en una mayor proporción.

Para el Sistema Automático de Reportes y debido a las políticas financieras de la organización se ha establecido una tasa de actualización del 25% que obedece estrictamente al grado de confiabilidad que se desea dar a cada una de sus inversiones por proyecto corporativo y diversos factores externos como riesgo país, etc. El anexo 2 (Estado Financiero de la Compañía) ilustra de forma sencilla la variabilidad anual con la que se establece la tasa de actualización. Así y con el flujo de caja mostrado anteriormente el VAN del proyecto planteado calculado es:



| ANÁLISIS FINANCIERO |            |
|---------------------|------------|
| VAN (25%)           | \$ 391.860 |

Tabla 7.6. Valor actual neto del proyecto

Un análisis de primera mano indica que el VAN para el proyecto presenta una cifra atractiva para la inversión realizada. Es necesario indicar que la inversión retornará a partir del año cuatro que es donde el proyecto toma un papel relevante considerando que la mejora de productividad solo será visible a partir de que la capacidad actual de producción de la planta no sea la suficiente para abastecer a la demanda. Sin embargo las justificaciones de implementar de forma urgente éste proyecto las dan los beneficios mostrados en TPM, capacidades de respuesta del equipo de mantenimiento, calidad y procesos alternos.

#### 7.4.2. Tasa interna de retorno (TIR)

Está definida como la tasa de actualización para la cual el VAN será igual a cero, es decir, que el valor actual de los flujos de ingresos iguala al valor actual de los flujos de egresos de un proyecto. La misma, indica la rentabilidad promedio periódica generada por los fondos que permanecen invertidos en el proyecto.

El interés de la TIR radica en la comodidad que supone, al tratarse de una tasa de interés, el poder compararla con el coste real del dinero en el momento del estudio. Si la TIR del proyecto es similar al coste del dinero en el mercado, el proyecto tendrá muy escaso interés, ya que será más cómodo y menos arriesgado invertir en productos financieros con tasas de interés fijas y con escaso o nulo riesgo. Cuanto más alta sea la TIR, mejores perspectivas de rentabilidad ofrecerá el proyecto.

Antiguamente el cálculo del TIR resultaba muy laborioso al tener que realizarse por tanteo, probando con la ayuda de tablas auxiliares creadas para este fin, qué valor del beneficio neto actualizado se obtenía para diversas tasas de actualización hasta dar con aquella para la que el beneficio era nulo. En la actualidad el empleo de las calculadoras electrónicas financieras y los ordenadores personales facilitan este cálculo.

La TIR resulta muy útil, no sólo para comparar proyectos con inversiones diferentes sino también para decidir sobre el interés de un único proyecto aislado. Un proyecto será rentable por sí mismo siempre que su TIR sea superior al coste financiero de los recursos que vayan a ser empleados para su financiación.

De los datos obtenidos anteriormente el valor de la tasa interna de retorno es:

| FLUJO DE CAJA | Periodos (años) |          |          |          |          |           |           |           |           |
|---------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 0               | 1        | 2        | 3        | 4        | 5         | 6         | 7         | 8         |
|               | -\$118.200      | -\$5.000 | -\$5.000 | -\$5.000 | \$34.274 | \$254.004 | \$473.734 | \$692.734 | \$912.464 |
| <b>TIR</b>    | <b>56%</b>      |          |          |          |          |           |           |           |           |

Tabla 7.7. Tasa interna de retorno del proyecto

Se puede observar que la tasa interna del retorno supera ampliamente el 25% requerido por términos corporativos y aunque la inversión no genera un retorno inmediato en términos económicos, nuevamente los aspectos relacionados con la calidad y el TPM juegan un papel determinante para la consecución del proyecto.

#### 7.4.3. Período de recuperación de la inversión actualizado (PRIA)

El periodo de recuperación de una inversión o payback es el tiempo necesario para que las entradas de caja generadas por el proyecto hasta ese momento hagan frente a todas las salidas que ha originado. El mayor inconveniente que tiene este método es que no considera la cronología de los Flujos Netos de Caja, algo que se soluciona utilizando el payback actualizado, que emplea FNC actualizados.

El período de recuperación actualizado es el periodo de tiempo o número de años que necesita una inversión para que el **valor actualizado** de los flujos netos de Caja, igualen al capital invertido. Supone un cierto perfeccionamiento respecto al método estático, pero se sigue considerando un método incompleto. No obstante, es innegable que aporta una cierta información adicional o complementaria para valorar el riesgo de las inversiones cuando es especialmente difícil predecir la tasa de depreciación de la inversión, cosa por otra parte, bastante frecuente. El PRIA se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$I_0 = \sum_{t=1}^N FC_t / (1+r)^t$$

Con ésta información se procede a calcular el PRIA considerando los flujos netos de queja de la tabla 7.7. y una tasa de retorno del 25%, que es el valor corporativo para los proyectos de incremento de volumen. De donde se obtiene:

$$PRIA = \sum_{t=1}^6 \frac{FC_t}{(1+0,25)^t} = \frac{FC_1}{(1+0,25)^1} + \frac{FC_2}{(1+0,25)^2} + \frac{FC_3}{(1+0,25)^3} + \frac{FC_4}{(1+0,25)^4} + \frac{FC_5}{(1+0,25)^5} + \frac{FC_6}{(1+0,25)^6}$$

Para los datos anteriores se obtiene la tabla 7.8. Donde se puede evidenciar que el PRIA se dará a partir del año 4, considerando el año 0 como de inversión del proyecto:

| PRIA                 | Periodos (años) |          |          |          |          |           |           |           |           |
|----------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                      | 0               | 1        | 2        | 3        | 4        | 5         | 6         | 7         | 8         |
| <b>Flujo de caja</b> | -\$118.200      | -\$5.000 | -\$5.000 | -\$5.000 | \$34.274 | \$254.004 | \$473.734 | \$692.734 | \$912.464 |
| <b>PRIA</b>          | -94560          | -3200    | -2560    | -2048    | 11230,90 | 66585,62  | 99349,22  | 116221,47 | 122468,84 |

Tabla 7.8. Período de retorno de la inversión actualizado

#### 7.4.4. Índice de deseabilidad o índice beneficio/costo (B/C)

El índice de deseabilidad, también conocido como índice beneficio/costo, es un complemento del valor actual neto. El índice de deseabilidad de un proyecto es el resultado de dividir los flujos positivos descontados el año cero entre los flujos negativos descontados el año cero, siendo éstos últimos por lo general la inversión inicial.

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n Ft (P/F, i, n)}{I_0}$$

El B/C es una medida relativa de rendimiento, en contraste con el VAN que expresa en términos absolutos la contribución económica del proyecto al patrimonio de la empresa. Cuando el B/C es mayor que 1, el proyecto debe aceptarse. El índice de deseabilidad mide los resultados por unidad monetaria inicial.

De lo expuesto anteriormente y con los datos analizados se tiene:

$$\frac{B}{C} = 3,32$$

Figura 7.2. Índice de deseabilidad del proyecto

## 8. CONCLUSIONES

- Se ha logrado implementar un sistema de control automático de reportes y supervisorio que permite mejorar varios indicadores claves del negocio como MTTR, MTBF, tiempos de respuesta, productividad, etc. a través de la toma de decisiones a todo nivel dentro de la organización. Los datos son almacenados por un período de hasta un año lo que permite a la alta gerencia cuantificar y medir de una forma real el comportamiento de los diferentes componentes de la compañía.
- La interpretación de los datos se realiza de una forma muy ágil y sobre todo con una confiabilidad del 100% ya que toda la información es extraída de los sistemas de control y no requiere la intervención humana reduciendo en su totalidad la posibilidad de cometer errores de medición que resultasen en una interpretación errónea y por ende en una toma de decisiones incorrecta.
- Las aplicaciones implementadas permiten mejorar significativamente el desempeño de toda la Planta. Aunque los ejemplos señalados en este trabajo investigativo muestran el beneficio ganado en la Planta de Ensamble General, es necesario indicar que todas las áreas mostraron comportamientos similares en cuanto a su desempeño.
- El sistema supervisorio tuvo un impacto directo sobre el desempeño del equipo de mantenimiento y este impacto se tradujo en un mejor desempeño de la maquinaria de la Planta. Este impacto es traducido en el correcto análisis y entendimiento de los elementos que generaban daños frecuentes, así se pudieron establecer planes de trabajo efectivos y se mejoraron las frecuencias de mantenimiento. Todo esto generó un ahorro de partes y piezas consumibles así como la significativa reducción de horas de trabajo del equipo de mantenimiento.

- Se logró introducir este sistema dentro de los conceptos del TPM implementados en Planta. Las decisiones tomadas a todo nivel, el mantenimiento autónomo, las sugerencias de equipos de planta, entre otros, son solo ejemplos del aporte al concepto clave que rige la implementación del sistema y el análisis conceptual de todos y cada uno de los cuadros anteriormente mostrados.
- Aun cuando el sistema supervisorio nació como una aplicación de mejora a la gestión de mantenimiento, su alcance fue extendido a todos los niveles organizacionales del área de manufactura.
- En términos generales se logra evidenciar una mejora en la productividad, sin embargo no se puede decir que esta mejora depende al 100% del impacto generado por el sistema supervisorio debido a que varios factores afectan a este indicador sobre todo en este tipo de industria que se ve sumamente afectada por niveles de ventas los cuales son totalmente ajenos al sistema supervisorio sin embargo si se puede decir con total certeza que la confiabilidad de planta ha mejorado de acuerdo a los cuadros expuestos anteriormente y esta confiabilidad aporta directamente al volumen de producción, el cual interviene directamente a la hora del cálculo de la productividad.
- Los datos extraídos del sistema supervisorio son de fácil acceso a cualquier persona dentro de la compañía esto permite que todos los líderes puedan dar seguimiento continuo a su gestión interna garantizando así la trazabilidad de los planes de acción.
- Un aspecto negativo del sistema supervisorio es que requiere mano de obra sumamente especializada para su implementación y su mejora continua debido a la complejidad de conceptos técnicos que este maneja, convirtiéndolo en una herramienta de difícil actualización.

- El proyecto resulta rentable para la compañía. El retorno de la inversión es aplicable para los volúmenes de demanda proyectados sin embargo es necesario notar que a partir del quinto año de proyección el sistema de reportes no soportará por si solo todo el volumen de producción requerido y será necesaria una inversión adicional.
- El proyecto excede en todo sentido la tasa impuesta para la aprobación de la inversión. Esto obedece al bajo costo de implementación del sistema que representa versus el beneficio que genera el poder equiparar el volumen de producción con la demanda del mercado.
- De acuerdo a la relación costo/beneficio encontrada el proyecto debe ser implementado por su indudable beneficio económico.
- El beneficio económico mostrado a la compañía es sumamente interesante en términos de la rentabilidad arrojada. Aun cuando la activación económica y el retorno de la inversión hecha no es inmediato, es importante notar los beneficios en el área de manufactura mostrados a lo largo de toda la investigación; indudablemente se justifica el tiempo de espera de resultados económicos por su alto beneficio futuro.
- El proyecto es duradero en el tiempo. Una vez que la planta actual no pueda cumplir la demanda proyectada y sea necesaria una inversión para ampliación de las operaciones el mismo proyecto se reactivará generando beneficios iguales o incluso mayores dependiendo de los volúmenes de producción esperados.

## 9. RECOMENDACIONES

- Una de las ventajas del sistema puede convertirse en una desventaja si no se realiza una estandarización adecuada de los procesos de extracción y análisis debido al libre y fácil acceso que permite el sistema supervisorio.
- Los datos extraídos del sistema supervisorio son de fácil acceso a cualquier persona dentro de la compañía esto permite que todos los líderes puedan dar seguimiento continuo a su gestión interna garantizando así la trazabilidad de los planes de acción.
- Es recomendable realizar una actualización continua de esta herramienta debido a que cada cambio realizado en piso debe ser reflejado en el sistema de control. Si esto no se realiza puede causar que los datos almacenados sean erróneos.
- Este tipo de sistemas pueden ser extendidos sin ningún problema a diferentes niveles de plantas industriales. El impacto lógicamente varía en función del producto y los costos indirectos sin embargo se puede demostrar que su utilidad a todo nivel industrial es sumamente significativa.
- Es recomendable hacer un análisis en detalle de la implementación del sistema en diferentes niveles industriales ya que el margen de utilidad y ganancia dependerá directamente del nivel técnico que posea la instalación y lógicamente del producto asociado a ella.
- Se recomienda la implementación inmediata del sistema de reportes por todos los beneficios técnicos y económicos mostrados a lo largo de ésta investigación.



## 10. ANEXO 1: CENTROS DE COSTOS, COSTOS POR UNIDAD Y PRECIOS POR UNIDAD

Un Centro de Costos se puede definir como la agrupación de cuentas y sub cuentas que componen los gastos e inversiones realizados en la Compañía y que afectan de forma directa al costo de cada unidad. La intención de segregar las cuentas y sub cuentas es poder tener un control real del dinero gastado vs el número total de unidades producidas. La siguiente tabla muestra el CECO del área de Manufactura, para efectos de la investigación, éste es el resumen que se requiere para poder establecer el costo por unidad para todas las justificaciones financieras.

En el cuadro se pueden ver todas las cuentas que afectan al Centro de Costos de Manufactura y que afectan directamente al costo por unidad de cada vehículo:

- **Suministros:** Agrupa todos los consumibles utilizados por los operadores para el ensamblaje de las unidades.
- **Herramientas:** Agrupa a todas las herramientas necesarias para la producción, ejemplo: taladros, martillos, etc.
- **Servicios:** todo lo relacionado a agua, luz, teléfono.
- **Mantenimiento:** es la cuenta que se ve afectada directamente por el sistema autónomo de reportes. Agrupa a todas las reparaciones necesarias para garantizar la operabilidad de la maquinaria para la producción de unidades.
- **L.E.D.:** Daños y pérdidas, en esta cuenta se agrupan todos los gastos relacionados a un daño de una o varias unidades y que generan un costo adicional sobre la unidad.
- **Sistemas/Proyectos:** Todas los gastos no capitalizables relacionados a un nuevo proyecto y que no son absorbidos por el mismo una vez que entra en funcionamiento dentro de la planta.

Dentro de ésta tabla se considera también a los gastos relacionados a Salarios, Beneficios Empresariales y Outsourcing que afectan al índice productivo de planta.

Todas estas cifras monetarias son sumadas y compradas al final con el volumen de producción neto de cada mes y así se obtiene un valor mensual del costo por unidad el cual

obviamente es variable con cada período puesto que dependerá directamente de todos los factores mencionados anteriormente y del plan mensual de producción.

Los datos obtenidos en el resumen para el año 2010 arrojan un costo promedio por unidad de \$682. Que es el valor con el que se efectúan los cálculos correspondientes al análisis económico. Este valor es obtenido del cociente entre el total de ventas efectuadas en el año con el número de unidades vendidas en el año multiplicado por el 75% correspondiente al 100% - el 25% que la compañía requiere para la aprobación de sus proyectos y multiplicado por 3,28% correspondiente al porcentaje de participación de manufactura sobre el costo total de la unidad; este costo no contempla CKD, logística, transporte, etc. ya que solo considera los gastos propios del área de manufactura.

Así se tiene:

$$Cp = \frac{\text{Ventas [MM USD]}}{\text{Número de unidades [uni]}} * \text{Tasa de actualización} * \text{Participación de MFG}$$

El valor de ventas promedio por unidad corresponde al producto del costo por unidad por el margen de utilidad que la compañía reporta en sus estados financieros (Anexo 2). De la tabla mostrada, el valor de ventas por unidad con el que se realizan los cálculos de la investigación es de \$755,44.

Así se tiene:

$$Vp = Cp * \text{Margen de utilidad de la compañía}$$

## DESEMPEÑO MANUFACTURA

| Cuenta                   | Descripción             | 2010       | Ene-11       | Feb-11       | Mar-11       | Abr-11       | May-11       | Jun-11       | Jul-11        | Ago-11       | Sep-11       | Oct-11       |
|--------------------------|-------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| 2000                     | SUMINISTROS             | 40         | 35,1         | 38,2         | 35,3         | 39,6         | 34,7         | 38,6         | 38,3          | 37,0         | 38,1         | 39,8         |
| 3000                     | HERRAMIENTAS            | 9          | 9,8          | 6,6          | 7,1          | 8,3          | 11,3         | 7,8          | 11,1          | 12,2         | 5,1          | 8,1          |
| 4000                     | SERVICIOS               | 41         | 37,5         | 34,8         | 44,3         | 47,9         | 40,4         | 44,6         | 41,8          | 55,9         | 39,6         | 52,0         |
| 5000                     | MANTENIMIENTO           | 76         | 78,7         | 82,1         | 69,3         | 87,6         | 79,4         | 73,8         | 57,3          | 81,6         | 71,2         | 88,0         |
| 7000                     | L.E.D.                  | 7          | 7,2          | 8,3          | 8,8          | 10,2         | 4,9          | 8,8          | 13,0          | 9,3          | 9,9          | 12,9         |
| 8000                     | OTROS FIJOS             | 63         | 56,1         | 56,9         | 60,0         | 67,7         | 63,1         | 64,6         | 53,8          | 68,8         | 58,0         | 61,6         |
| 9000                     | GASTOS VARIOS           | 89         | 67,8         | 82,5         | 90,9         | 117,8        | 93,5         | 80,9         | 81,2          | 78,8         | 87,1         | 89,0         |
| 10000                    | CARGOS<br>CRUZADOS      | 0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | -            | -            | 2,3          | 2,0           | -            | 0,6          | 0,0          |
| 11000                    | SISTEMAS /<br>PROYECTOS | 51         | 27,4         | 24,0         | 22,5         | 78,0         | 56,1         | 35,4         | 38,3          | 105,5        | 50,9         | 44,1         |
| <b>Subtotal</b>          |                         | <b>376</b> | <b>319,6</b> | <b>333,3</b> | <b>338,2</b> | <b>457,1</b> | <b>383,4</b> | <b>352,2</b> | <b>333,0</b>  | <b>449,0</b> | <b>360,3</b> | <b>395,5</b> |
| 1000                     | SALARIOS                | 210        | 175,6        | 201,6        | 204,1        | 273,7        | 217,0        | 223,8        | 220,4         | 240,1        | 225,0        | 222,5        |
| 6000                     | BENEFICIOS              | 95         | 99,5         | 83,0         | 85,5         | 134,7        | 86,0         | 93,2         | 108,8         | 109,5        | 96,3         | 119,3        |
| 9000                     | OUTSORCING              | -          | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -             | -            | -            | -            |
| <b>Subtotal</b>          |                         | <b>306</b> | <b>275,2</b> | <b>284,6</b> | <b>289,5</b> | <b>408,4</b> | <b>302,9</b> | <b>317,0</b> | <b>329,1</b>  | <b>349,6</b> | <b>321,4</b> | <b>341,7</b> |
| <b>Total Manufactura</b> |                         | <b>682</b> | <b>594,7</b> | <b>618,0</b> | <b>627,7</b> | <b>865,5</b> | <b>686,4</b> | <b>669,2</b> | <b>662,07</b> | <b>798,6</b> | <b>681,7</b> | <b>737,3</b> |

|                                  |              |              |              |              |              |              |              |               |              |              |              |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Ventas (MM USD)</b>           | <b>1069</b>  | <b>96,62</b> | <b>94,27</b> | <b>93,55</b> | <b>94,03</b> | <b>86,22</b> | <b>91,09</b> | <b>102,00</b> | <b>91,01</b> | <b>99,55</b> | <b>90,34</b> |
| <i>Participación MANUFACTURA</i> | 3,28%        | 2,98%        | 3,15%        | 3,05%        | 3,85%        | 3,59%        | 3,26%        | 3,14%         | 3,30%        | 3,06%        | 3,16%        |
| <b>Producción</b>                | <b>51373</b> | <b>4848</b>  | <b>4801</b>  | <b>4539</b>  | <b>4178</b>  | <b>4505</b>  | <b>4435</b>  | <b>4842</b>   | <b>3766</b>  | <b>4475</b>  | <b>3876</b>  |

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. BARRIO, José. Cómo Implementar y Gestionar la Calidad Total. España, Fundación ConfeMetal Editorial, segunda edición, 2007. 183p.
2. GRZYNA, Frank. Método Jurán: análisis y planeación de la calidad. McGraw-Hill, 2007. 774p.
3. GUTIERREZ, Humberto. Calidad Total y Productividad. México, McGraw-Hill, tercera edición, 2010.
4. HERNÁNDEZ, Roberto Y FERNÁNDEZ, Carlos. Metodología de la Investigación. Colombia, McGraw-Hill, 1996. 145p.
5. LIKER, Jeffrey. Al Estilo Toyota. Estados Unidos, 2003, McGraw-Hill, 2003. 432p.
6. LÓPEZ, José L. Métodos e hipótesis científicas. México, 1984.
7. MARTÍNEZ, Ana. Control Estadístico de la Calidad. Granada, Grupo Editorial Universitario, 2005. 298p.
8. NAVARRO, Luis. Gestión Integral de Mantenimiento. Editorial Marcombo, 1997. 112p.
9. SUZUKI, Tokutaró. TPM in Process Industries. Taylor and Francis, 1996. 404 p.
10. MARÍN, José. Economía Financiera. Editorial Manuel Girona, 2001. 905 p.
11. GARCÍA, Mercedes. Dirección Financiera. Ediciones UPC, 2004. 142 p.
12. MIRANDA, Juan. Gestión de Proyectos. MM Editores, 2005. 433 p.

13. [www.supercias.gob.ec](http://www.supercias.gob.ec)

14. [www.chevrolet.com.ec](http://www.chevrolet.com.ec)