

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES**



“Estudio de tiempos muertos y evaluación de la eficiencia del proceso de moldeo convencional de plástico por medio de la eficiencia global del equipo (OEE) en la empresa Hospira Holdings LTDA.”

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería de los Materiales con énfasis en  
Procesos Industriales.**

Presentado por:  
María Alejandra Soto Montero

Cartago, Noviembre, 2006

# **I. INTRODUCCIÓN**

## A. Identificación de la empresa

### 1. Antecedentes históricos

Hospira tiene siete años de operar en nuestro país. Es lanzada a partir de la empresa núcleo para productos hospitalarios Abbott Laboratories. Por cerca de 70 años, Abbott se ha caracterizado por una historia de excelencia, lo que hace que Hospira se haya construido sobre una sólida y distintiva plataforma, líder en este campo.

Hospira cuenta con alrededor de 16 000 empleados y tiene plantas manufactureras alrededor del mundo. Cuenta con instalaciones en Estados Unidos, Republica Dominicana, Costa Rica, Italia, Canadá, entre otras.

Esta empresa se especializa en la manufactura y mercadeo de productos que ayudan a mejorar la seguridad y efectividad, a la hora de entregar a los pacientes medicamentos y farmacéuticos. Los productos que se fabrican se pueden dividir en tres grandes grupos:

- a. Sistemas de administración de medicamento y dispositivos de cuidado crítico.
- b. Farmacéuticos inyectables.
- c. Farmacéuticos inyectables manufacturados a la medida.

### 2. Misión y Visión de Hospira

#### a. Misión

“Promoviendo bienestar a través de las personas ideales y productos correctos”

#### b. Visión

“Somos el lugar preferido de Hospira”

### 3. Ubicación geográfica

La planta de Hospira Costa Rica se encuentra ubicada dentro de las instalaciones del Parque Industrial Global Park, el cual se maneja en régimen de zona franca. La ubicación de este lugar es en La Aurora de Heredia.

#### 4. Número de empleados

Actualmente la planta de Hospira Costa Rica cuenta con alrededor de 2400 empleados.

#### 5. Estructura Organizacional de Hospira de Costa Rica

A continuación se va a explicar la función de los departamentos que componen la empresa, en su nivel superior solamente. Más adelante en la figura n.1 se presenta el organigrama de la empresa

##### a. Gerencia de planta

Administra, dirige y coordina todas las funciones de la planta. Es responsable por alcanzar las ganancias esperadas y programar objetivos y a su vez mejorar los estándares de calidad de los productos.

##### b. Manufactura

Departamento responsable de la manufactura de equipos médicos y subensambles, de la adecuada operación del equipo involucrado en el proceso de manufactura, asegurando que todos los productos cumplan con los estándares de calidad establecidos.

##### c. Recursos humanos

Responsable por el programa de entrenamiento regulatorio. Así como del reclutamiento, selección y posicionamiento de los empleados, administración de las políticas de compensación y la aplicación de políticas con los empleados. Se encarga también de los servicios de oficina, de salud ocupacional e higiene ambiental y la seguridad.

##### d. Ingeniería

Se encarga de todo el soporte de ingeniería para la operación de la planta (con la excepción de CCP) que incluye: ingeniería de proceso, ingeniería industrial, ingeniería de equipos, ingeniería de facilidades.

e. Materiales

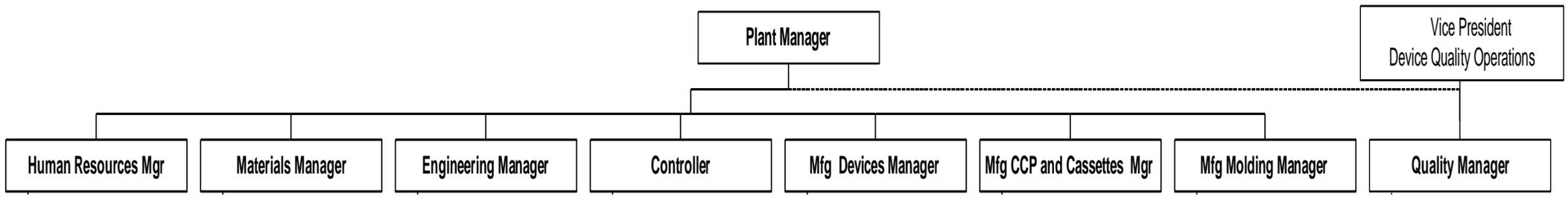
Responsable de todas las funciones de compra, logística, programación, bodega y control de materiales, desde la recepción de materia prima, hasta la entrega de subensambles y producto terminado. Debe asegurar que todas las partes manufacturadas y suplidores cumplan con las especificaciones y lineamientos de calidad que exige la Corporación.

f. Controles

Se encarga del diseño, mantenimiento y evaluaciones de todas las actividades de contaduría y de los sistemas de tecnología informática, de acuerdo con la planta y políticas corporativas.

g. Calidad

El Departamento de Aseguramiento de la Calidad vela porque todas las funciones de la planta cumplan con las regulaciones de la industria médica, tales como las regulaciones del Sistema de Calidad (Estados Unidos) e ISO-9000 / EN 14000 (Estándares europeos). Otras responsabilidades incluyen la evaluación y aprobación de los productos fabricados, basados en las especificaciones, así como del ambiente de manufactura para asegurar el cumplimiento de las normas de ambiente.



Fuente: Hospira

Figura 1. Organigrama de Hospira

## 6. Tipos de Productos

Los productos de Hospira son utilizados en hospitales, clínicas, proveedores de cuidado en hogares y facilidades de cuidado a largo plazo, y se clasifican en tres grupos:

- a. Sistemas de administración de medicamento y dispositivos de cuidado crítico.

Incluye bombas electrónicas para administración intravenosa de drogas y analgésicos para el manejo del dolor; soluciones y suministros para terapia por infusión, con drogas premezcladas y nutricionales por infusión intravenosa, así como sets y accesorios para su administración.

Entre los dispositivos de cuidado crítico está el sistema hemodinámico de Hospira, que es usado en unidades de cuidado intensivo y cuidado crítico, para medir salidas cardíacas y flujo sanguíneo. Hospira es también uno de los líderes en Estados Unidos en el mercado de sistemas de monitoreo cardíaco y flujo sanguíneo.

- b. Farmacéuticos inyectables.

Hospira es líder en la industria de inyectables genéricos, ofrece más de 100 inyectables genéricos, en más de 600 dosis y fórmulas. Todos los farmacéuticos inyectables de Hospira tienen un código de barras que puede ser usado para ayudar a promover la seguridad en la cama del paciente y disminuir el riesgo de errores en la medicación.

- c. Farmacéuticos inyectables manufacturados a la medida.

Hospira's One 2 One™ Global Manufacturing Services, es un grupo que es líder mundial en servicios de desarrollo de formulas inyectables hechas a la medida. One 2 One trabaja con el cliente para desarrollar fórmulas inyectables de sus drogas y depositarlas en contenedores y empaques seleccionados por el cliente. Luego estos clientes venden el producto terminado bajo su propia marca.

## 7. Mercado

Los productos que son fabricados en Hospira se colocan en el mercado norteamericano, europeo y recientemente en Japón. Así mismo, son importados a los países latinoamericanos incluyendo Costa Rica.

## 8. Descripción general del proceso de fabricación de dispositivos médicos

El proceso comienza con la llegada de materia prima (resina) al área de recibo, donde se transporta al Departamento de Materiales o Bodega. La materia es revisada por el Departamento de Calidad para verificar los estándares de producción. Una vez examinada, se almacena para ser transportada posteriormente al área de producción (Molding).

Los dispositivos se fabrican por diferentes procesos de conformado de polímeros, moldeo convencional, moldeo por inyección líquida, moldeo por inserción y extrusión. Otros de los dispositivos se obtienen por medio de suplidores, ya sea, otras plantas de Hospira, o suplidores externos.

Una vez que se tienen las piezas, se llevan a las líneas de producción, donde ya sea, por medio de máquinas u operarios, se ensamblan por diferentes métodos (soldadura ultrasónica, solventes, etc.). Al final de cada línea de producción se obtiene el producto final que es empacado y llevado a bodega donde espera a ser trasladado a Limón. Se embarca y una vez en Florida se llevan en tren hasta la planta de Rocky Mount, en Carolina del Norte, donde las piezas se esterilizan, por medio de rayos gamma.

## **B. Justificación.**

El campo de los polímeros es un área de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales que se ha desarrollado con rapidez y que mantiene su vigencia debido a las múltiples aplicaciones disponibles. Uno de los procesos que permite el conformado de los polímeros es el moldeo por inyección convencional, el cual, entre otros, es desarrollado por la empresa Hospira.

Actualmente las compañías están necesitando de equipos de trabajo altamente eficientes, que les permitan entregar productos de bajos costos por medio de soluciones flexibles que permitan tener una buena relación hombre – maquina – medio ambiente con el fin de obtener el máximo aprovechamiento del tiempo de trabajo y disminuir los tiempos perdidos.

Como parte de un proceso de mejora continua dentro de las empresas, es necesaria una constante revisión de los factores que afectan la eficiencia del proceso, entre ellos los tiempos muertos, con el objetivo de poder realizar cambios y actualizaciones de los procesos y mantenerse vigentes, productivos y rentables. Uno de los índices para medir la eficiencia del proceso y el aprovechamiento del equipo es el OEE (Eficiencia Global del Equipo), que busca determinar la capacidad oculta de trabajo los equipos que conforman un proceso por medio de tres factores: calidad, velocidad y disponibilidad de tiempo.

Este proyecto consiste en el estudio de los tiempos muertos del proceso de moldeo por inyección convencional de la empresa Hospira y la implementación del índice OEE para evaluar la eficiencia del proceso y de los equipos.

## **C. Objetivos del Proyecto**

### 1. Objetivo general

Optimizar la eficiencia del proceso de moldeo por inyección convencional de la empresa Hospira Holdings por medio de la aplicación de índice de eficiencia global del equipo y el estudio de los tiempos muertos del proceso.

### 2. Objetivos específicos

- a. Analizar la efectividad de los parámetros actuales para la determinación de la eficiencia real del proceso de moldeo por inyección convencional.
- b. Analizar los tiempos muertos que se presentan durante el proceso de moldeo convencional
- c. Evaluar la necesidad de implementar nuevos factores para la evaluación de la eficiencia del proceso de moldeo convencional de acuerdo con el sistema de Overall Equipment Effectiveness (OEE).
- d. Establecer indicadores de eficiencia del proceso para la evaluación diaria y por turnos de trabajo de la producción de piezas por moldeo por inyección convencional.
- e. Implementar medidas que permitan mejorar la eficiencia del proceso de moldeo convencional.

## **D. Alcances y Limitaciones del Proyecto**

### 1. Alcances

- a. Se espera actualizar la forma de evaluación de la eficiencia de producción del proceso de moldeo convencional

- b. Se pretende estudiar los tiempos muertos del proceso de moldeo convencional para generar recomendaciones orientadas a disminuir la frecuencia de aparición de los tiempos muertos y su incidencia en el proceso.
- c. Se pretende implementar un nuevo sistema para la evaluación de la eficiencia del proceso por medio de la eficiencia global del equipo (OEE).

## 2. Limitaciones

- a. El estudio de los tiempos muertos se delimitado para una serie de productos identificados por la empresa como productos de alta corrida, debido a la frecuencia con que se producen y los ingresos que generan.
- b. Las recomendaciones que surjan de este proyecto sobre los tiempos muertos serán orientadas hacia las actividades del departamento de moldeo que generan tiempos muertos.

## **//. MARCO TEÓRICO**

## A. Moldeo por Inyección de Plástico.

La tecnología moderna requiere de materiales con variedad de propiedades, bajo costo de obtención y alta versatilidad para ser transformado en elementos estructurales en los procesos de fabricación; el mundo se encuentra en la era de los nuevos materiales. La evolución de nuevos materiales se dio debido a la necesidad de encontrar materiales más económicos, menos contaminantes, con propiedades extremas, y sobre todo más competitivos en un mercado global.

Smith, W. (2003) indica que después de los años 60 la industria de los polímeros empezó a crecer rápidamente por la razón de presentar características favorables con respecto a otros materiales: bajo costo, buenas propiedades según la aplicación, resistencia a ambientes corrosivos, bajo peso molecular, flexibilidad, dependiendo de sus características fácil reciclaje, control óptimo de su estructura y durabilidad.

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de formas diversas. Un polímero no tiene la necesidad de constar de moléculas individuales del mismo peso molecular y no es necesario que tengan la misma composición química y estructura molecular.

La forma y dimensiones de la pieza polimérica son dadas por medio del molde, que es la cavidad hueca donde se inyecta a presión el material fundido para que adquiera su forma. Existen diferentes tipos de moldeo: extrusión, inyección, soplado, vacío y calandrado

El moldeo por inyección convencional es el método de moldeo más característico de la industria de plástico. Rubin, I. (1972) define el moldeo por inyección de plástico como la técnica o método, en la que un polímero sintético, o resina, se funde y en estado líquido se inyecta a alta presión en un molde cerrado, hasta llenar éste completamente; el polímero se enfría dentro del molde y solidifica, finalmente se abre el molde y se extrae la pieza moldeada. La operación se realiza de modo continuo y automático en las máquinas

orientadas y construidas con este objeto. En la figura 2 se observa un esquema de una inyectora de plástico.

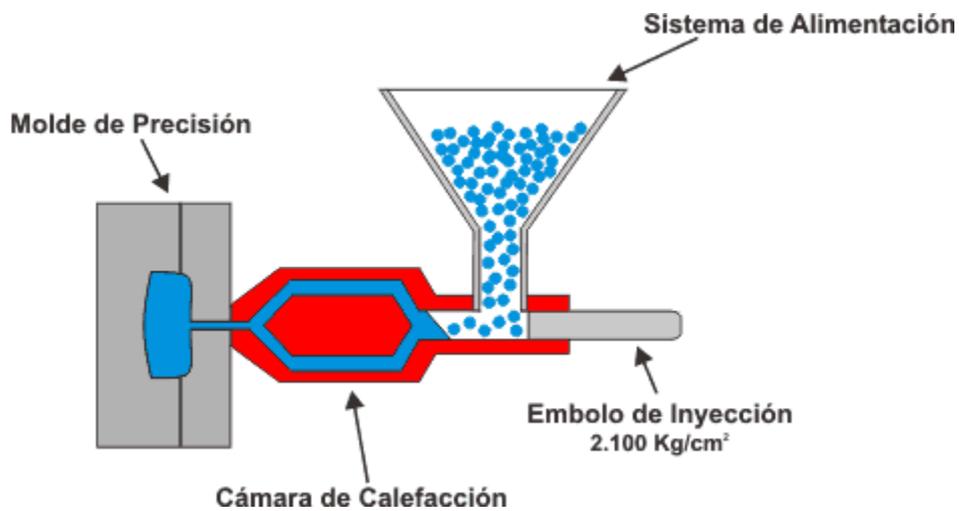


Figura 2. Esquema de una inyectora simple.

Smith, W. (2003) menciona que el principio básico del moldeo por inyección comprende tres operaciones básicas

1. Elevar la temperatura del plástico a un punto donde pueda fluir bajo la aplicación de presión. Normalmente esto se hace calentando y masticando los gránulos sólidos del material hasta formar una masa fundida con una viscosidad y temperatura uniforme.
2. Inyección del material en las cavidades. En esta etapa el material fundido ya plastificado en el barril de la máquina, se transfiere (inyecta) a través de la boquilla, que conecta el barril hacia los varios canales del molde hasta llegar a las cavidades donde toma la forma del producto.
3. Apertura del molde para la extracción de la pieza. Esto se hace después de mantener el material bajo presión dentro del molde y una vez que el calor (el cual se aplicó para plastificarlo) es removido para permitir solidificar el material en la forma deseada.

Las variables en la operación de moldeo por inyección se pueden clasificar como: primarias o secundarias. Las primeras se refieren a aquellas variables que afectan directamente el momento en el que se solidifica el material situado

en la entrada de la cavidad (mazarota), básicamente la presión en la cavidad del molde y la temperatura del material plástico que la llena. Siguiendo este criterio se distinguen como variables principales las siguientes:

1. Presión de inyección.
2. Temperatura de inyección.
3. Tiempo durante el cual el pistón de inyección permanece en posición avanzada.
4. Temperatura del molde.

Las variables secundarias están determinadas por las primarias y que no afectan a la presión y la temperatura en el interior de la cavidad cuando tiene lugar la solidificación en la mazarota. .

**B. Función de control de la calidad en procesos productivos: Moldeo por Inyección.**

La obtención de artículos de calidad requiere considerar los posibles problemas que se puedan presentar en durante el proceso de fabricación, así como la identificación de sus causas, para minimizar los riesgos de productos defectuosos. Como Sánchez, S. et all. (2001) expresa, en el moldeo por inyección de plásticos hay tres elementos importantes, entre los cuales existe una estrecha relación y se deben controlar cuidadosamente: máquina de moldeo, materia prima y el molde.

Por lo tanto, existe una necesidad de estudiar criterios de calidad que ayuden a identificar y controlar las causas de los defectos presentes en un determinado producto, así como de conocer herramientas para medirlos.

Debido a la gran importancia de la calidad en un sistema productivo, y a la estrecha vinculación que tiene ésta con la investigación que se está realizando, se ha decidido introducir un último apartado que incluye aspectos generales sobre la gestión de calidad, la importancia de la misma y algunas herramientas para su control.

### C. Gestión de la Calidad.

Los sistemas de gestión de la calidad total se guían por la identificación de las necesidades del cliente. Según la Sociedad Americana de Calidad (1989), se puede definir calidad como: “Prestaciones y características de un producto o servicio que tienen que ver con sus capacidades para satisfacer las necesidades manifestadas o implícitas”. Sin embargo, Heizer, J. & Render, B. (2001) dividen la definición de calidad en distintas categorías, dependiendo del punto de vista donde se enfoque:

1. Usuario (Marketing): la calidad reside en los ojos del usuario e implica los mejores acabados, prestaciones y otras mejoras (a veces costosas).
2. Fabricación (Directivos de Producción): la calidad significa conformidad con las especificaciones, y hacer las cosas bien a la primera.
3. Producto: la calidad es una variable muy precisa y mensurable. Se enfoca en los atributos específicos del producto.

Además de resultar un elemento muy importante en las operaciones, la calidad tiene otras implicaciones que afectan directa o indirectamente las ventas de una compañía. Entre ellas Heizer, J. & Render, B. (2001) mencionan:

1. La reputación de la compañía: la calidad se notará en cómo se vean los nuevos productos de la compañía, en la contratación de personal y en las relaciones con los proveedores. La autopromoción no es sustituta de la calidad de los productos.
2. Responsabilidad por el producto: los tribunales se responsabilizan de los daños y perjuicios derivados del empleo de un producto a las organizaciones que los diseñan, producen o distribuyen artículos, o que ofrecen servicios defectuosos.
3. Implicaciones globales: para que, tanto una empresa como un país, puedan competir con eficacia en el marco de una economía global, los productos deben cumplir las expectativas de calidad, diseño y precios.
4. Costes de prevención: ligados a la reducción de posibles piezas o servicios defectuosos (por ejemplo, formación o programas de mejora de la calidad).

5. Evaluación o tasación: relacionados con la evaluación de productos, proceso, piezas o servicios (por ejemplo, pruebas, laboratorios, inspecciones, etc.).
6. Fallas internas: resultantes de la producción de componentes o servicios defectuosos antes de su entrega al cliente (por ejemplo, reelaboración, desechos o tiempos muertos).
7. Externos: surgen después de entregar el producto defectuoso (por ejemplo, reelaboración, artículos devueltos, responsabilidades, pérdida de clientela o costes para la sociedad).

#### **D. Herramientas de Gestión de la Calidad.**

El conocimiento de las herramientas de gestión de la calidad ayuda a todos los miembros de la organización a percibir las causas, dispersión o problemas de mayor relevancia en la producción de un producto. Heizer, J. & Render, B. (2001) describen las principales herramientas para el control de la calidad utilizadas en las industrias, entre ellas señalan:

##### **1. Hojas de Control.**

Una hoja de control es cualquier formulario destinado a registrar información. En muchos casos el registro se efectúa de forma que las pautas puedan verse fácilmente al tiempo que se recoge la información.

##### **2. Diagramas de Causa – Efecto (Diagramas de Ishikawa).**

Otra herramienta para localizar lugares del proceso donde puedan surgir problemas de calidad o donde colocar puntos de inspección. Para la clasificación de la información se consideran cuatro categorías: material, maquinaria/instalaciones, mano de obra (personal) y métodos. Estas cuatro categorías son las “causas”, y proporcionan una lista de puntos para un análisis inicial. Cuando se desarrollan estos gráficos de forma sistemática, resultan posibles esquemas de calidad y los posibles puntos de inspección. A continuación en la figura 3 se muestra el esquema básico de los diagramas causa-efecto.

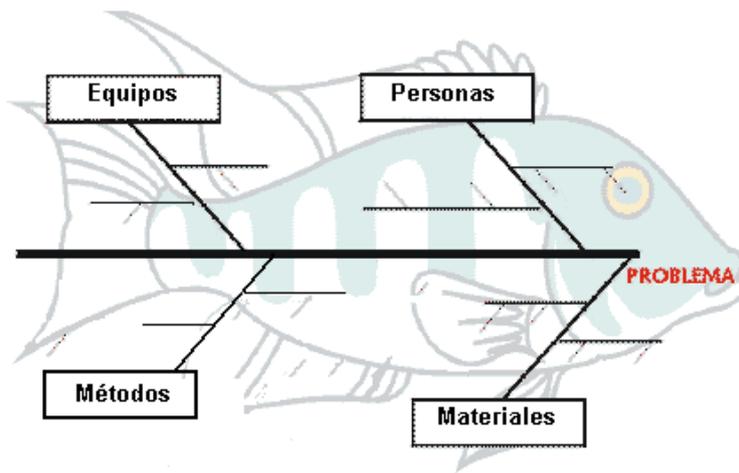


Figura 3. Esquema básico del Diagrama Causa-Efecto

### 3. Gráficos de Pareto.

El diagrama de Pareto es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para calificar las causas. De modo que se pueda asignar un orden de prioridades. Mediante el diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales) que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves. Ya que por lo general, el 70% de los resultados totales se originan en el 30% de los elementos.

La minoría vital aparece a la izquierda de la grafica y la mayoría útil a la derecha. Hay veces que es necesario combinar elementos de la mayoría útil en una sola clasificación denominada otros, la cual siempre deberá ser colocada en el extremo derecho. La escala vertical es para el costo en unidades monetarias, frecuencia o porcentaje.

La gráfica es muy útil al permitir identificar visualmente en una sola revisión tales minorías de características vitales a las que es importante prestar atención y de esta manera utilizar todos los recursos necesarios para llevar a cabo una acción correctiva sin malgastar esfuerzos. En la figura 4 se observa el esquema básico del diagrama de Pareto.

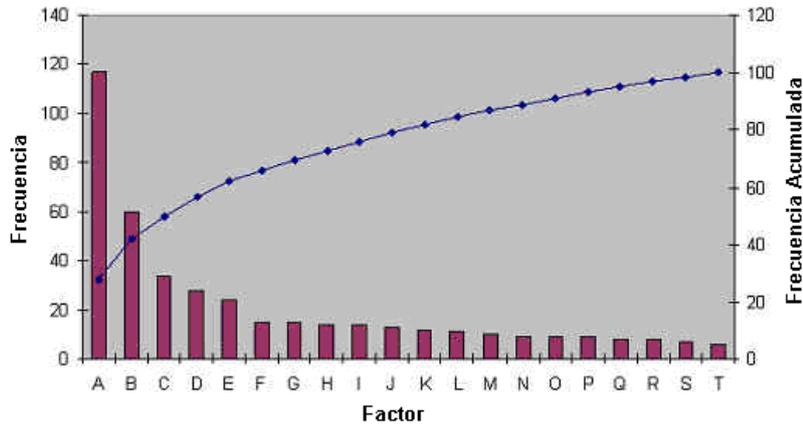


Figura 4. Esquema básico del Diagrama de Pareto

### E. Cálculo de Estándares

El cálculo de estándares consiste en calcular los valores predeterminados bajos los que va a trabajar un proceso, posteriormente se comparan los estándares respecto a los datos actuales del proceso para evaluar la eficiencia de éste. A continuación se presentan las definiciones de los estándares de operaciones no productivas, de arranque, corrida y de control de maquinaria, ya que estos factores inciden en la producción y afectan el rendimiento de un proceso.

#### 1. Operaciones No Productivas

Se clasifican en Fijas y Variables e incluyen todos los elementos que son imposibles de evitar.

##### a. Operaciones fijas no productivas

Son periodos de tiempo acordados entre el operador y la empresa. También toma en cuenta tiempos establecidos a partir de estudios de ingeniería y que no dependen de la velocidad del proceso. Se puede incluir el almuerzo, café, necesidades personales de los operarios (siempre que implique el paro de la maquina, sino no deben incluirse en este rubro), cambio de turno, mantenimiento preventivo, entre otras.

#### b. Operaciones variables no productivas

Estos tiempos de operación dependen de la velocidad de trabajo y del producto a producir. Se pueden incluir cambio de moldes, limpieza, mantenimiento, cambio de material entre otros.

#### 2. Estándar de Corrida

Es una relación matemática del equipo con la que se obtiene la velocidad de salida, se calcula con la capacidad óptima de la máquina durante el tiempo disponible estándar, usando la relación matemática apropiada y tomando en cuenta los tiempos de operaciones variables no productivas.

#### 3. Estándar de Arranque

Aquí se incluyen las actividades de puesta en marcha de la máquina (Set up) luego de ser detenida.

#### 4. Control de instalaciones y maquinas

El control de instalaciones y máquinas corresponde a los procedimientos y medios para planificar y verificar el buen funcionamiento y utilización de diversas partes de la fábrica y su maquinaria. A continuación se citan algunos términos y conceptos empleados al estudiar la utilización de máquinas:

- a. Tiempo máximo de máquina: Es el máximo tiempo teórico durante el cual podrá funcionar la máquina o grupo de máquinas en un periodo dado.
- b. Tiempo utilizable: es aquel en que la máquina tiene quien la atiende, incluye toda la jornada de trabajo.
- c. Tiempo inactivo: es aquel donde la máquina podría utilizarse para otros fines pero no se aprovecha por falta de trabajo, de materiales o de obreros, lo que implica un error de organización de la fábrica.
- d. Tiempo accesorio: es aquel en que la máquina deja momentáneamente de funcionar con fines de producción, mientras la adaptan, la ajustan, la limpian, entre otras.
- e. Tiempo muerto: es aquel donde la máquina no puede funcionar con fines de producción ni fines accesorios por averías, operaciones de mantenimiento u otras razones análogas.

- f. Tiempo de marcha: es aquel en que la máquina funciona efectivamente, por lo tanto es tiempo utilizable y se le deben restar los eventuales tiempos muertos, inactivos y accesorios que se presenten.

#### **F. Eficacia Global del Equipo (OEE)**

Es una herramienta del Mantenimiento Total Productivo (Total Productive Management, TPM) que indica cómo funcionan las máquinas, cadenas de producción y procesos en términos de disponibilidad, ritmo de producción y calidad. Por medio de este índice se puede conocer el rendimiento actual y localizar áreas de posible mejora en un entorno de fabricación.

La mayoría de máquinas funcionan entre un 35% a un 44% de su capacidad máxima teórica. Si se considera llegar al 85% significa que la mayoría de los equipos pueden producir dos veces un buen producto en comparación con su producción actual al mismo costo. El OEE (Overall Equipment Effectiveness, por sus siglas en inglés) es una herramienta esencial para mejorar la eficiencia del equipo creando en el operador conciencia de lo que representan las pérdidas dentro del proceso productivo.

En una fabrica ideal los equipos funcionan el 100% de su tiempo y al 100% de su capacidad con una salida del 100% de su calidad. En la vida real esta situación es rara y se diferencia de las condiciones ideales debido a las pérdidas.

Las pérdidas son las situaciones que provocan la disminución del aprovechamiento de los equipos, instalaciones e insumos, reduciendo la efectividad del proceso. El cálculo del OEE indica donde disminuir las pérdidas. Existen seis causas principales (Six Major Losses) que pueden cambiar o aumentar según el proceso que se está evaluando, las cuales se presentan a continuación en la Tabla 1.

*Tabla 1 Los 6 tipos de pérdidas principales en TPM*

Elementos del OEE	Los 6 tipos de Pérdidas
Factor Disponibilidad	Fallas o averías
	Tiempo de arranque (por cambio de producto)
Factor Velocidad	Paradas menores
	Reducción de la rapidez de operación
Factor Calidad	Scrap y Retrabado
	Pérdidas al Arranque

De acuerdo con el OEE, el total del rendimiento de una simple parte de una máquina, que forma parte de un proceso, puede ser siempre entendido como el impacto acumulado de tres factores: disponibilidad, calidad y velocidad, los cuales se definen a continuación:

- a. Factor Disponibilidad: se ve afectado por el tiempo que la maquina podría estar trabajando pero se encuentra detenida.
- b. Factor Velocidad: mide la relación entre la producción actual e ideal. Este factor se ve afectado por dos tipos de pérdidas: las paradas menores y la velocidad de operación. Ambas afectan el buen funcionamiento del equipo pero la velocidad representa la diferencia entre la velocidad de diseño del equipo y la velocidad con la cuál esta operando el equipo.
- c. Factor Calidad: implica aquellas ocasiones que los equipos están produciendo sin cumplir con las especificaciones de calidad. Las pérdidas que lo componen son el scrap, purgas y retrabajo que provocan desperdicio de materiales y las pérdidas de arranque que ocurren cuando la producción no está estable durante el arranque del equipo y por lo tanto no cumple el producto con las especificaciones.

Los factores del OEE se ven afectados por las pérdidas que se presentaron en la Tabla 1.

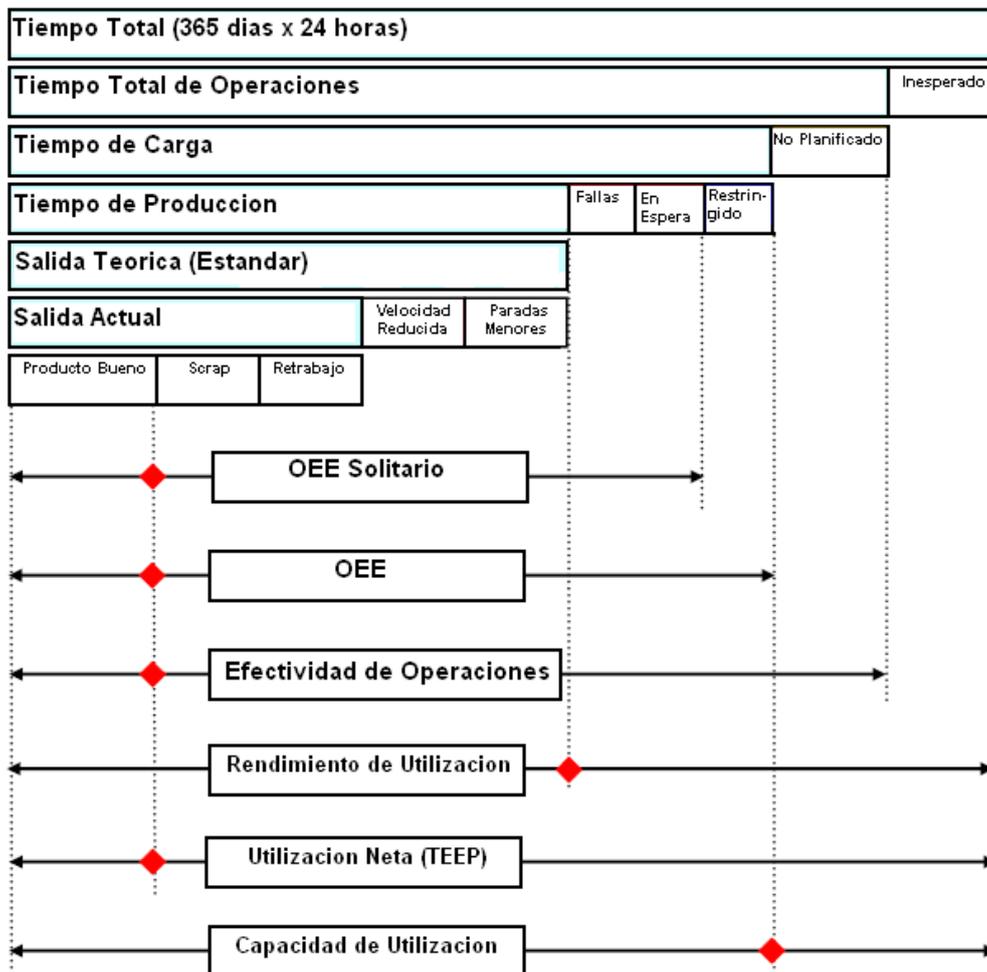
Dentro del proceso productivo hay diversos estándares de tiempo, de acuerdo con el factor a evaluar, sin embargo, el OEE ha definido una clasificación de tiempos estándares que permiten adaptar las condiciones particulares del proceso a los índices del OEE. Ésta clasificación de los tiempos del OEE se presenta en la tabla 2.

*Tabla 2. Tiempos del OEE*

TIPO DE TIEMPOS DE OEE	CATEGORIAS	DESCRIPCION
Producción (Production)	Producción	Algo está saliendo de la máquina independientemente de la calidad y velocidad
	Retrabado	Cuando se está reprocesando producto que no se produjo correctamente la primera vez
	Trabajo a velocidad reducida	El equipo corre a velocidad reducida deliberadamente para balancear el proceso.
Falla (Failure)	Falla del Equipo	Paro por razones técnicas de la máquina
	Ajustes del proceso	Detiene producción para ajustar y mantener el producto en especificación. Pierde estabilidad
De espera (Idle)	Setup/Cambio de Producto	Tiempo que tarda desde el último producto A hasta el primer producto B independientemente de la calidad
	Encendido y Apagado	El equipo no está produciendo porque está en proceso de calentamiento o espera para iniciar carga de material. Suele registrarse al inicio de los turnos o luego de que detuvo un equipo.
	Reemplazo o Relleno	El equipo es detenido porque se están realizando labores de reemplazo o relleno de los sistemas auxiliares del equipo.
	Carga y Descarga	El equipo se detiene por falta de material para empacar, cargar, etiquetar el producto.
	No hay operador disponible	El equipo no está corriendo porque el operador no está presente
	Problemas de Calidad	El equipo no está corriendo porque el proceso está momentáneamente fuera de especificación por razones desconocidas
	Limpieza y Mantenimiento Autónomo	El equipo no produce porque está detenido mientras es limpiado (mantenimiento autónomo)

	Mantenimiento Preventivo	El equipo no produce debido a que se está realizando el mantenimiento preventivo o es detenido para ejecutar mantenimiento preventivo no programado. También aplica cuando se excede el tiempo planeado para realizar el mantenimiento preventivo
	En Espera	El equipo no está corriendo mientras se espera un material o herramienta que se requiere.
Restricción de Línea (Line Restraint)	El equipo no puede generar Salida (producto) porque no recibe Entrada (materia prima).	
No Planeado (Unscheduled)	El equipo se planifica completamente fuera de operación debido a razones ajenas al departamento de producción, como la falta de órdenes de trabajo, falta de personal, sobreproducción o motivos de fuerza mayor como catástrofes. También incluye las actividades de pruebas orientadas a desarrollar productos, probar productos o procesos nuevos.	

El OEE como herramienta está compuesto por varios índices, que cambian según las pérdidas que evalúen, cada uno de estos índices indica la eficiencia de operación pero en distintos términos, que van desde una herramienta de planta (OEE Top, que es el que se va a explicar más adelante y que interesa para este proyecto) hasta los indicadores de rendimiento económico, de capacidad y de utilización. En la figura 5 a continuación se presenta en forma esquemática los índices del OEE y los factores que contempla para su cálculo.



De acuerdo con la información sobre las pérdidas y los factores del OEE, la eficiencia global del equipo corresponde a la combinación de los factores de disponibilidad del equipo, velocidad del equipo y calidad, en forma porcentual. A continuación en la ecuación 1 se presenta la ecuación para calcular el OEE.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad (\%)} \times \text{Velocidad (\%)} \times \text{Calidad (\%)} \quad \text{Ec. 1}$$

El resultado que se obtiene de la ecuación 1 corresponde a la eficiencia global del equipo en forma porcentual.

### ***///.* METODOLOGIA**

#### **A. Procedimiento de Diagnóstico.**

Como primera etapa del proyecto se hizo un diagnóstico para la identificar el comportamiento y frecuencia de los tiempos muertos que se presentan en todos los turnos de trabajo, con base en la información correspondiente a las hojas de control de producción de la empresa. Dicha información fue suministrada por el departamento de contabilidad y corresponde a los meses de febrero a julio del 2006. De las hojas de control de producción se extrajo la información necesaria para evaluar la situación actual de la eficiencia real del proceso de moldeo por inyección.

Para delimitar el proyecto en el estudio de los tiempos muertos, se hizo el diagrama de pareto para los productos de alta corrida del departamento de moldeo, con este diagrama se identificaron los tres productos de alta corrida que concentraban cerca del 80% de todos los tiempos muertos. Luego se hicieron los diagramas de pareto para cada turno considerando los tres productos que concentraban los mayores tiempos muertos. Posteriormente se hizo el estudio de los diagramas de comportamiento de tiempos muertos por turno en conjunto con el supervisor de cada turno y se empezó la tormenta de ideas, donde participaron supervisores, operarios y técnicos del departamento de moldeo.

En la etapa de diagnóstico se estudió también la forma en que se estaba evaluando la eficiencia del proceso, ya que incluye un análisis de la eficiencia real del turno (Real Shift Efficiency) y los factores que ésta abarca, con el fin de justificar la implementación del OEE para la evaluación de la eficiencia del equipo y del proceso.

#### **B. El procedimiento para la elaboración de las propuestas planteadas.**

Se elaboraron diagramas Causa-Efecto para presentar los resultados de la tormenta de ideas, de forma que se pudo identificar las causas de tiempo muerto, situaciones que se están presentando que afectan el proceso y posibles soluciones.

Se realizó una revisión de los procedimientos relacionados con los tiempos muertos del área de moldeo para evaluar el contenido del mismo, la categorización y descripción del proceso y la concordancia entre el procedimiento y la aplicación en el área.

Para el planteamiento de los factores para medir el OEE en el departamento de moldeo, se tomaron las definiciones de disponibilidad, velocidad y calidad teóricas para adaptarlas a la información disponible en la hoja de control de producción. Las ecuaciones que resultaron de este análisis se muestran en la propuesta de solución y corresponden a las relaciones que actualmente están siendo implementadas en la hoja de cálculo de la matriz de producción. La eficiencia del proceso luego de este cambio va a ser evaluada no solo general para el proceso, sino que ahora comprende también la eficiencia de cada inyectora involucrada, esto con el fin de poder conocer la capacidad real de los equipos involucrados y que se puedan identificar los cuellos de botella del proceso.

### **C. La metodología para realizar la evaluación de la propuesta.**

Para la evaluación de la propuesta se procedió a presentar a los supervisores y gerente de moldeo las modificaciones a implementar en la Hoja de Control de Producción, que incluyen el cambio de las categorías de tiempos muertos de moldeo y los posibles parámetros o fórmulas para evaluar los factores del OEE, así como la justificación de la propuesta. Una vez que se contó con la aprobación de todos, se aplicaron los cambios propuestos en una Hoja de Control de Producción, la cual fue nuevamente presentada a los supervisores y al gerente de moldeo para contar con su aprobación, en esta etapa se realizaron los cambios necesarios hasta obtener la propuesta de hoja de control de producción que se procedió a implementar. Además se justificó la necesidad de aplicar los cambios en el procedimiento sobre los tiempos muertos de moldeo y la necesidad de que todo trabajador del área de moldeo reciba entrenamiento sobre los tiempos muertos, para que haya concordancia con la especificación.

**D.** Las etapas para la implementación de la solución.

Para la implementación se está siguiendo el siguiente orden:

1. Implementación de la hoja de control de producción propuesta en conjunto con el encargado del procedimiento de control del producción del proceso, ya que los cambios en la hoja de control conllevan cambios en la especificación (procedimiento) de ésta.
2. Cambio del procedimiento sobre los tiempos muertos para agregar las correcciones aprobadas. Esta etapa debe darse después de haber entrado en vigencia los cambios en la Hoja de Control de producción ya que aquí es donde se definieron las categorías de tiempos muertos actualizadas, las cuales van a ser especificadas en el procedimiento revisado y con las adecuaciones posteriormente indicadas.
3. Coordinación con el área de Entrenamiento (Departamento de Recursos Humanos) para incluir en el protocolo de entrenamiento de todos los trabajadores de moldeo la especificación revisada sobre los tiempos muertos, ya que la existencia de un procedimiento conlleva un entrenamiento, esta etapa se puede hacer hasta que entre en vigencia el procedimiento actualizado.

#### **IV. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.**

## **A. Introducción.**

### **1. El departamento de moldeo de Hospira**

El departamento de moldeo (molding) se encuentra dentro del cuarto limpio y realiza cuatro procesos de conformado de los polímeros: moldeo por inyección convencional (injection), moldeo por inserción (insert), moldeo por inyección líquida (LIM) y extrusión. Además se realiza el proceso de recocido (annealing, para alivio de tensiones de ciertos productos poliméricos) y revenido (tempering, para aumentar la rigidez de otros de los productos poliméricos que se fabrican en esta área). El departamento de moldeo está organizado en cuatro turnos semanales de 12 horas, dos diurnos y dos nocturnos, los cuales trabajan fijos tres días fijos cada semana y se turnan un cuarto día semana de por medio. Hay un supervisor de moldeo (molding supervisor) a cargo de cada turno.

### **2. Área de Moldeo por Inyección Convencional de Hospira**

El área de moldeo por inyección convencional está compuesto por veinte inyectoras (prensas) que trabajan en forma automatizada en conjunto con robots, bandas transportadoras, entre otros. Alrededor de 20 personas se encuentran en esta área entre operarios, inspectores, técnicos, entre otros.

### **3. Hojas de control de la Producción de Moldeo por Inyección Convencional**

Las hojas de control de producción (Downtime Report) registran en una matriz, los datos de producción de cada turno de trabajo. Contienen la información referente a cada prensa, el molde con que se trabajó, el producto que se estuvo fabricando, la orden, el lote al que pertenece, cantidad de piezas producidas, cavidades habilitadas, tiempo efectivo de máquina, tiempos muertos, tiempo de ciclo, tipo de resina, cantidad de resina y colorante (si es necesario) utilizada, cantidad de scrap y purga, entre otra información. Así mismo incluye el cálculo de la eficiencia real del turno de trabajo.

Las hojas de control de producción se encuentran en forma de hojas de cálculo, de forma que cualquier cambio o variación se hace en el sistema

directamente, lo que facilita el ingreso, almacenamiento y manejo de la información, así como la realización de cambios en la hoja de cálculo para implementar diferentes fórmulas de cálculo, entre otros. En el anexo 1 se encuentra un ejemplo de la hoja de control de producción utilizada en el departamento de moldeo para registrar la producción diaria.

## **B. Localización de la planta.**

### 1. Los tiempos muertos del proceso

Actualmente hay definidos una serie de situaciones dentro del proceso de moldeo por inyección que producen tiempos muertos, las cuales son registradas diariamente en las hojas de control de producción y disminuyen el tiempo de producción efectivo.

Las categorías de tiempos muertos que se registran en el departamento de moldeo son:

#### i. Purga y limpieza (Purge and cleaning)

En esta categoría se registran los paros de máquina para hacer la limpieza del molde, las barras porta molde y posteriormente la purga del cañón de inyección (debido al paro de máquina la resina se empieza a quemar dentro del cañón, por lo que se debe purgar). Ambos procedimientos van de la mano y son llevados a cabo por los técnicos de moldeo.

#### ii. Ajustes del proceso (Process adjustments)

Corresponde al tiempo que la máquina se encuentra detenida porque se requiere hacer un ajuste de los parámetros del proceso cuando se detecta una no conformidad en los productos por parte de Calidad. Lo llevan a cabo los técnicos de proceso de moldeo

#### iii. Mantenimiento preventivo (Preventive Maintenance)

Tiempo que tarda en hacer el mantenimiento preventivo del equipo. Está previamente programado y lo efectúa el departamento de Facilidades

iv. Cambio de lote y limpieza de línea (Line clearance)

Tiempo que se tarda en efectuar una serie de actividades que se hacen cada vez que hay un cambio de orden, de molde o de producto o cuando hay paradas mayores a ocho horas. Lo efectúan los técnicos de proceso

v. Montaje y desmontaje de molde (Load/Unload of mold)

Tiempo que la máquina se encuentra detenida porque se está desmontando de la prensa un molde o porque se está montando un molde en la prensa. Esta actividad de montaje y desmontaje de los moldes lo efectúan los técnicos de moldeo.

vi. Mantenimiento del molde (Mold maintenance)

En esta categoría se están registrando dos situaciones distintas: reparación de molde y mantenimiento del Molde. En el caso de reparación, son mantenimientos correctivos que se llevan a cabo cuando una parte del molde se daña, porque los productos están saliendo con una serie de no conformidades relacionadas con dimensiones y tolerancias del molde, o porque se ha dañado alguna parte del molde. El mantenimiento preventivo de molde está previamente programado indicando el turno, la fecha y la hora en que se va a bajar el molde y la hora a la que se va a entregar para ser de nuevo montado en la prensa y puesto en marcha. Ambas actividades las llevan a cabo los técnicos del taller de moldes departamento de moldeo.

vii. Prueba de ingeniería (Engineering test)

Corresponde al tiempo que tarda el Departamento de Ingeniería de la empresa haciendo pruebas en el área de moldeo.

viii. Secado de resina (Resin drying)

Este rubro corresponde al tiempo que se tarda en secar la resina que se va a cargar en la tolva en caso de que esté húmeda. Lo hacen los encargados de material (material handlers) del departamento de moldeo.

ix. Aprobación de MQ de la limpieza de línea (MQ line clearance approval)

En este rubro se presenta el tiempo que el equipo se encuentra detenido mientras se espera a que el departamento de calidad de manufactura (MQ) apruebe la limpieza de línea.

x. Fallos de máquina (Machine failures)

En esta casilla se registra el tiempo que se mantiene una máquina detenida porque alguno de los componentes del equipo ha fallado. El departamento de facilidades realiza la reparación.

xi. Validación (Validation)

Bajo este rubro se registra el tiempo que se mantiene un equipo detenido mientras se realiza la validación por parte del departamento de ingeniería.

xii. Material húmedo (Material not dry)

En esta categoría se registran los atrasos producidos porque el material tiene humedad y por lo tanto no se puede cargar en la tolva para ser utilizado en el proceso de inyección. Cumple la misma función que la categoría de secado de resina y en el mes de julio del 2006 se eliminó esta categoría debido a lo anteriormente expuesto. Esta casilla fue sustituida por la de planning disposition (disposición de planeamiento).

xiii. Calibración (Calibration)

En esta categoría se registra el tiempo que el equipo está detenido mientras el departamento de calibración efectúa la calibración de los equipos.

xiv. Facilidades/Reparación (Facilities/Reparation)

Este corresponde al tiempo que el equipo se encuentra detenido porque se ha presentado la falla de algún elemento o equipo relacionado con la planta (como suministro de agua, luz, aire comprimido, pérdida de condiciones controladas del cuarto limpio, entre otros). La reparación la efectúa el Departamento de Facilidades.

xv. Disposición de planeamiento (Planning disposition)

Esta casilla registra el tiempo que el equipo se encuentra detenido por alguna situación causada por disposición del Departamento de Planeamiento. Entró a considerarse en las categorías de tiempos muertos en lugar de la categoría de Material Húmedo que se eliminó al cumplir la misma función que la categoría de Secado de Resina.

a. Análisis de las categorías actuales de tiempos muertos

Inicialmente hasta el mes de julio no había ninguna categoría que registrara el tiempo inactivo del equipo por disposición de planeamiento. En conjunto con la adición de esta categoría a los tiempos muertos se dió la fusión de las categorías de Secado de Resina y Material Húmedo, ya que ambas registraban la misma situación. De forma que actualmente los tiempos muertos porque la resina tiene humedad se registran de Secado de Resina.

En el caso de la categoría de mantenimiento de molde, las dos actividades que se están registrando tienen duración diferente, sin embargo ambos se están reportan en la misma casilla. Esta situación presenta el inconveniente de que no se pueden distinguir entre ambas actividades bajo el formato actual ni se puede identificar a cuál corresponden los mayores tiempos muertos. Por lo tanto la separación de las actividades de mantenimiento correctivo de molde (tiempo que el equipo está detenido porque se está haciendo alguna reparación en el molde) y mantenimiento preventivo de molde va a facilitar la extracción de información de las hojas de control.

Una situación identificada junto con el personal de planta es que en el departamento de moldeo, cualquier miembro del personal puede registrar los tiempos muertos. Esto se presta para que en caso de que el personal no esté bien entrenado en la identificación de los tiempos muertos, se estén registrando erróneamente. Lo anterior se debe a que actualmente no está establecido en ningún procedimiento a quien corresponde documentar los tiempos muertos que se producen. Así mismo, tampoco se encuentra establecido en los

procedimientos las categorías vigentes de tiempos muertos, ni las acciones o situaciones que comprende cada categoría

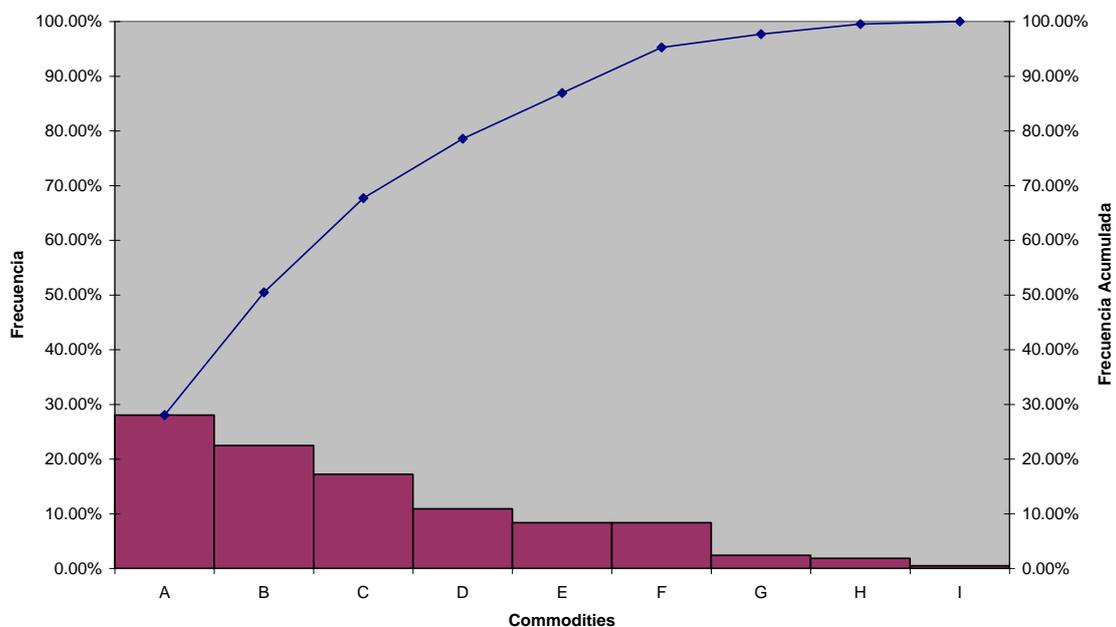
b. Resultados del estudio de comportamiento de tiempos muertos para cada turno

A continuación se presentan los resultados del diagnóstico del departamento de moldeo sobre los tiempos muertos.

i. Identificación de los productos de alta corrida con mayores tiempos muertos.<sup>1</sup>

Los productos de alta corrida que fueron procesados en el periodo de febrero a julio del 2006 se consideraron para la elaboración del grafico 1. Para respetar la confidencialidad de la empresa, estos productos han sido nombrados como A, B, C, D, E, F, G, H y I. A continuación se presenta en el Grafico 1, el diagrama de Pareto que muestra la frecuencia de aparición de tiempos muertos para los productos de alta corrida durante todos los turnos.

**Grafico 1. Diagrama de Pareto de frecuencia de aparición de tiempos muertos en las piezas de alta corrida durante todos los turnos en el Departamento de molding durante el periodo de febrero a julio del 2006**



<sup>1</sup> El gráfico presentado en este apartado fue elaborado con base en la información que se presenta en la Tabla 5 de los Apéndices.

En el grafico 1 solo se presentan el total de tiempos muertos acumulados para cada producto de alta corrida desde febrero a julio del 2006.

En el Grafico 1 se puede observar que los productos A, B y C concentran el 70% del total de todos los tiempos muertos que se presentaron en el periodo estudiado, por lo tanto, los gráficos sobre la frecuencia de aparición de tiempos muertos se van a elaborar con base en los productos A, B y C que representan una muestra representativa de la población estudiada.

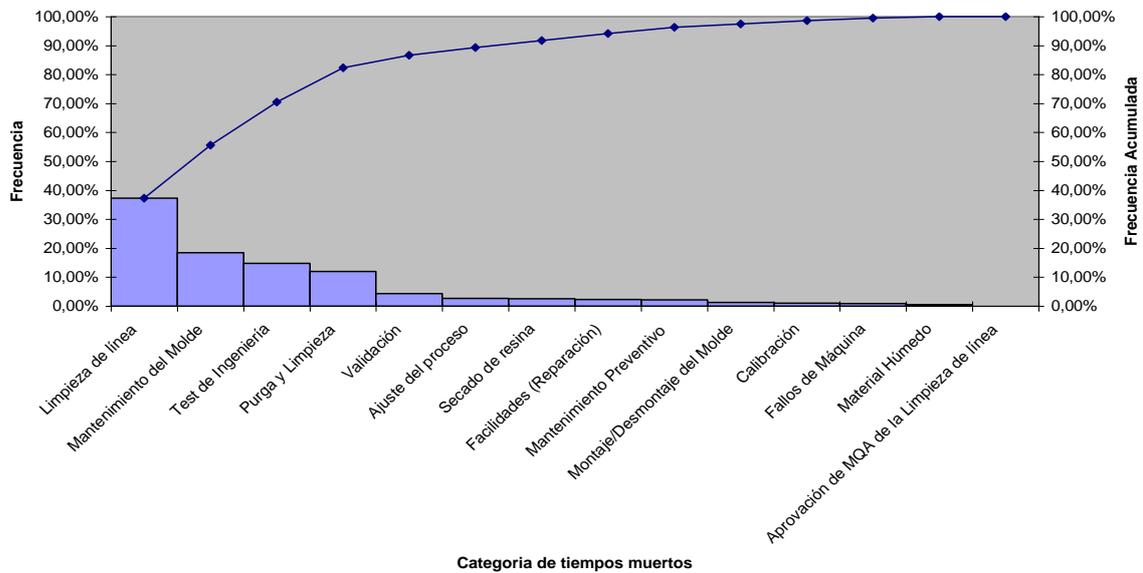
A continuación se presenta las graficas 2 a la 9, que corresponden a los Diagramas de Pareto para cada turno de trabajo del departamento de Moldeo, con el fin de poder identificar el comportamiento general de los tiempos muertos en cada turno y las diferencias o semejanzas entre ellos, respecto al orden de aparición y frecuencia. Posteriormente en las graficas 2, 4, 6 y 8 se presentan los Diagramas de Pareto de frecuencia de aparición de tiempos muertos para cada turno, considerando todos los tiempos muertos que se han presentado (deducibles y no deducibles), y en las graficas 3, 5, 7 y 9 se presentan los Diagramas de Pareto de tiempos muertos para cada turno, pero considerando solo los tiempos muertos producidos por actividades propias del departamento de Moldeo (tiempos no deducibles).

ii.

## Comportamiento de los tiempos muertos en el turno IV

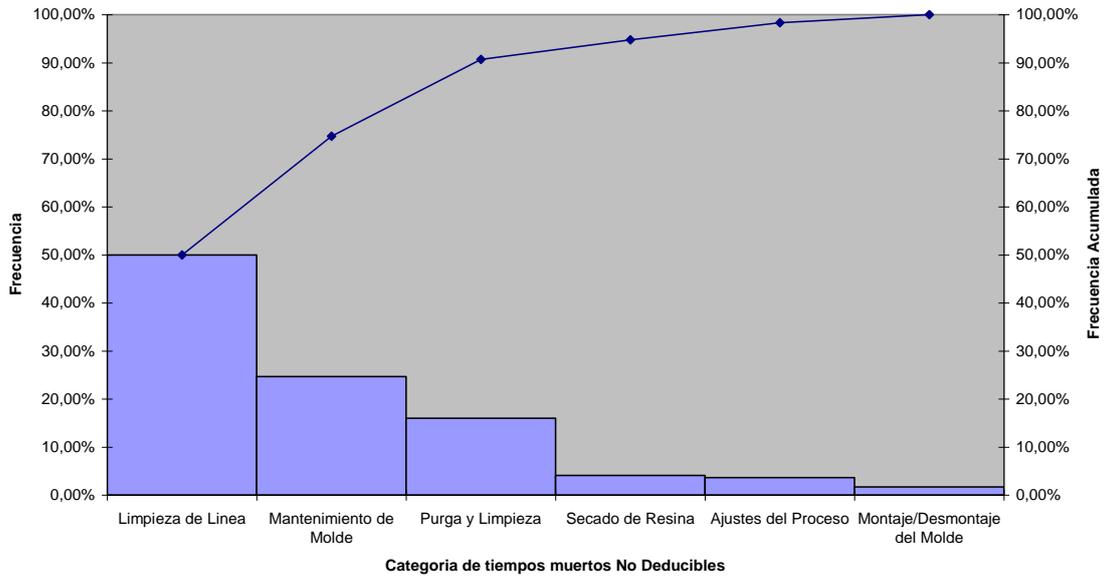
En las Graficas 2 y 3 se presentan los diagramas de pareto para el turno IV.

**Grafico 2. Diagrama de pareto de tiempos muertos para los productos A, B y C durante el turno IV en el periodo de febrero a julio del 2006**



En la grafica 2 se presentan todos los tiempos muertos registrados entre febrero y julio para el turno IV, en esta grafica se nota que la actividad de prueba de Ingeniería fue el tiempo muerto deducible que se presentó con mayor frecuencia (20%), seguido de la validación (5%), mientras que los otros tiempos deducibles del proceso se presentaron con menor frecuencia (alrededor del 2% cada uno).

**Grafico 3. Diagrama de pareto de tiempos muertos No Deducibles para los productos A, B y C durante el turno IV en el periodo de febrero a julio del 2006**

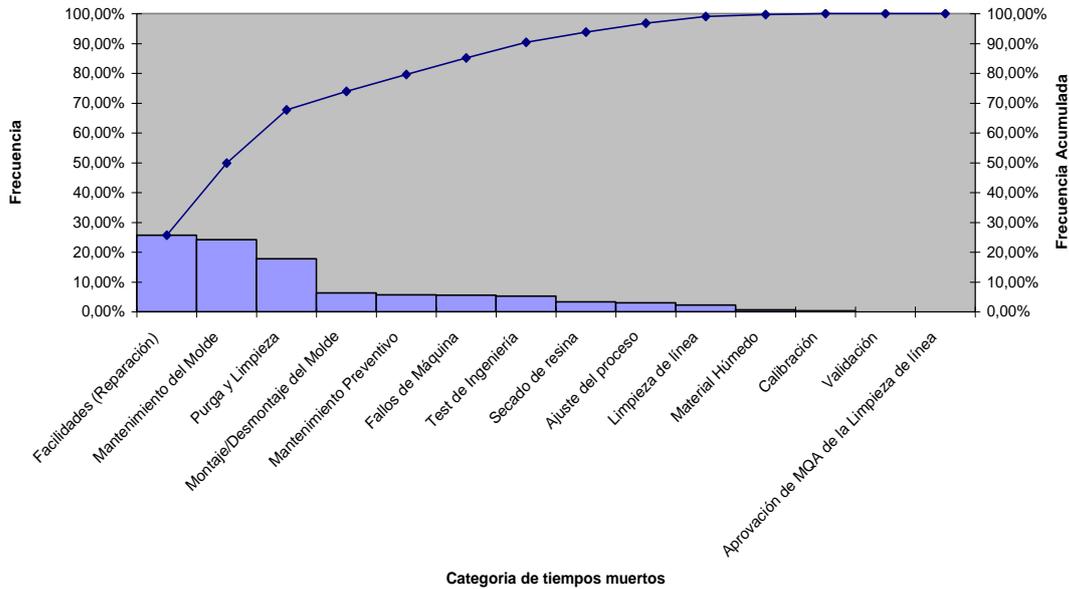


Al considerar solamente los tiempos debido a actividades del departamento de moldeo se puede ver en el grafico 3, que el tiempo muerto que presentó con mayor frecuencia fue la limpieza de línea (alrededor del 50%), seguido del mantenimiento de molde (25%) y la purga y limpieza (18%), estos tres tiempos juntos concentran el 90% del total de tiempo muerto. Los otros tiempos no deducibles como Secado de Resina y Ajustes del Proceso acumularon cerca del 3% del tiempo y al montaje y desmontaje del molde le corresponde el 1% aproximadamente.

iii. Comportamiento de los tiempos muertos en el turno V

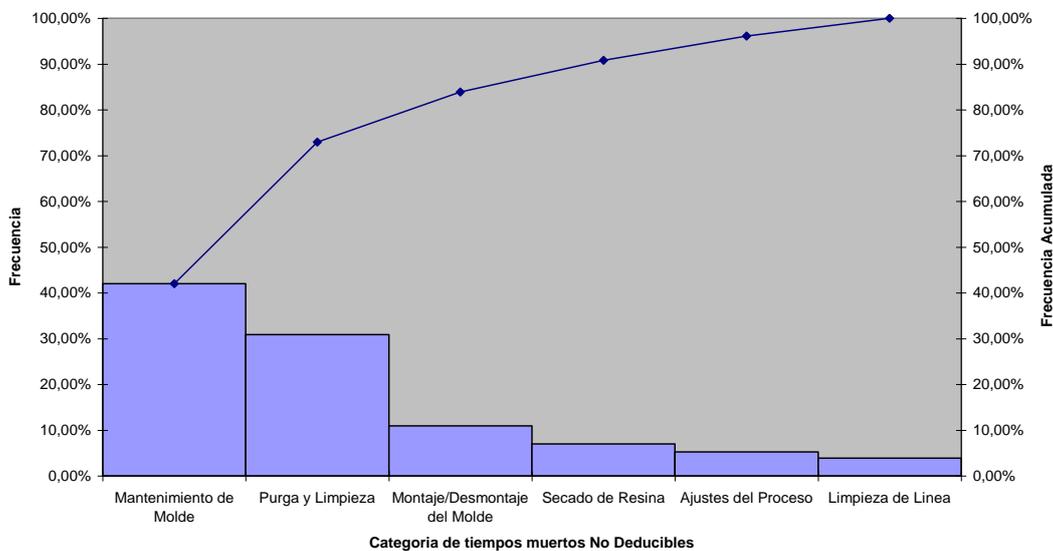
En las Graficas 4 y 5 se presentan los diagramas de pareto para el turno V.

**Grafico 4. Diagrama de pareto de tiempos muertos para los productos A, B y C durante el turno V en el periodo de febrero a julio del 2006**



La grafica 4 muestra los tiempos muertos presentados entre febrero y julio. En esta gráfica se ve que la actividad de reparación fue el tiempo muerto deducible que más se registro (28%), seguido del mantenimiento de molde (25%), purga y limpieza (18%), los otros tiempos deducibles del proceso como mantenimiento preventivo, test de ingeniería y fallos de maquina representan cerca del 5% cada uno y los tiempos de validación, calibración y aprobación de MQ de la limpieza de línea no se presentaron del todo.

**Grafico 5. Diagrama de pareto de tiempos muertos No Deducibles para los productos A, B y C durante el turno V en el periodo de febrero a julio del 2006**

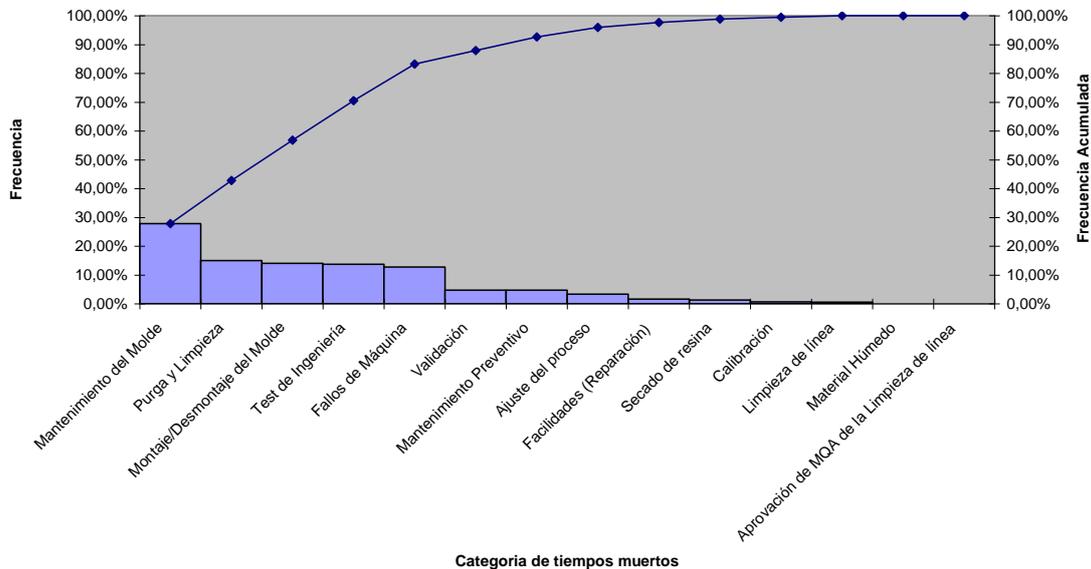


En la grafica 5 se presenta el diagrama de pareto que considera solo los tiempos muertos debido a actividades del departamento de molde, en esta grafica se puede ver que el mantenimiento de molde es el tiempo muerto que se presento con mas frecuencia (40%), seguido de la purga y limpieza (30%) y el montaje y desmontaje de molde (10%). Estos tres tiempos juntos representan alrededor del 85% de todos los tiempos muertos que se presentaron en el periodo, mientras que las actividades de secado de resina (8%), ajustes del proceso (5%) y limpieza de línea (2%) corresponden al 15% del tiempo muerto.

iv. Comportamiento de los tiempos muertos en el turno VI

En la grafica 6 a continuación se presenta el diagrama de pareto de todos los tiempos muertos presentados en el periodo de julio a febrero del 2006 para el turno VI, mientras que en la grafica 7 se presenta el diagrama de pareto que contempla únicamente los tiempos muertos debidos a actividades del departamento de moldeo.

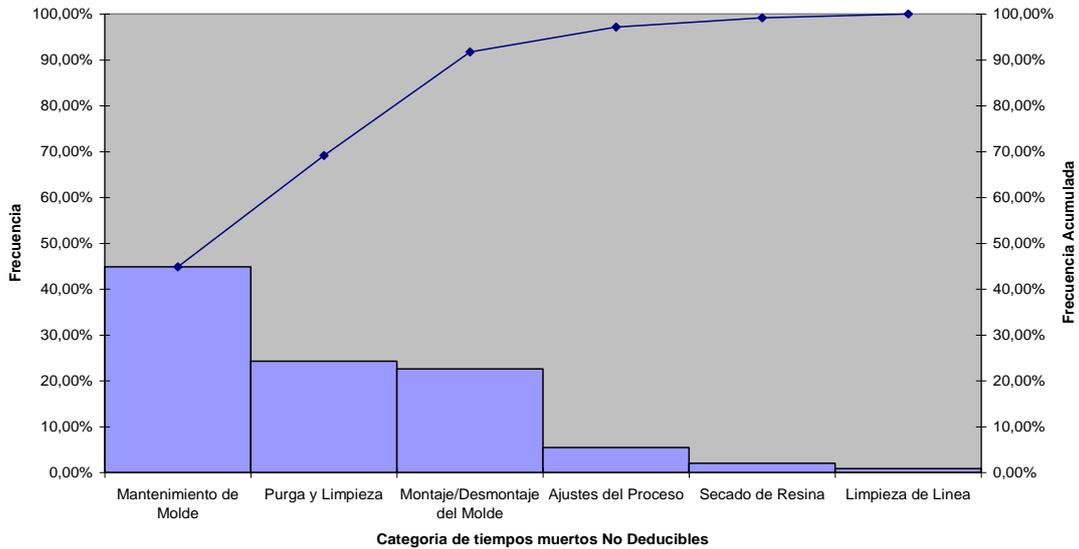
Grafico 6. Diagrama de pareto de tiempos muertos para los productos A, B y C durante el turno VI en el periodo de febrero a julio del 2006



En la grafica 6 se nota que el mantenimiento de molde concentra cerca del 30% de todos los tiempos muertos presentados, seguido de la purga y limpieza (15%), montaje y desmontaje de molde (13%), test de ingeniería (12%) y los fallos de maquina (11%), que corresponden al 85% aproximadamente de la

frecuencia acumulada de aparición de los tiempos. Finalmente se puede ver que las actividades de validación (4%), mantenimiento preventivo (4%), ajustes del proceso (3%), reparación (2%), secado de resina (1%), calibración (0.5%) y limpieza de línea (0.5%) corresponden al 15% restante de tiempos muertos.

Grafico 7. Diagrama de pareto de tiempos muertos No Deducibles para los productos A, B y C durante el turno VI en el periodo de febrero a julio del 2006

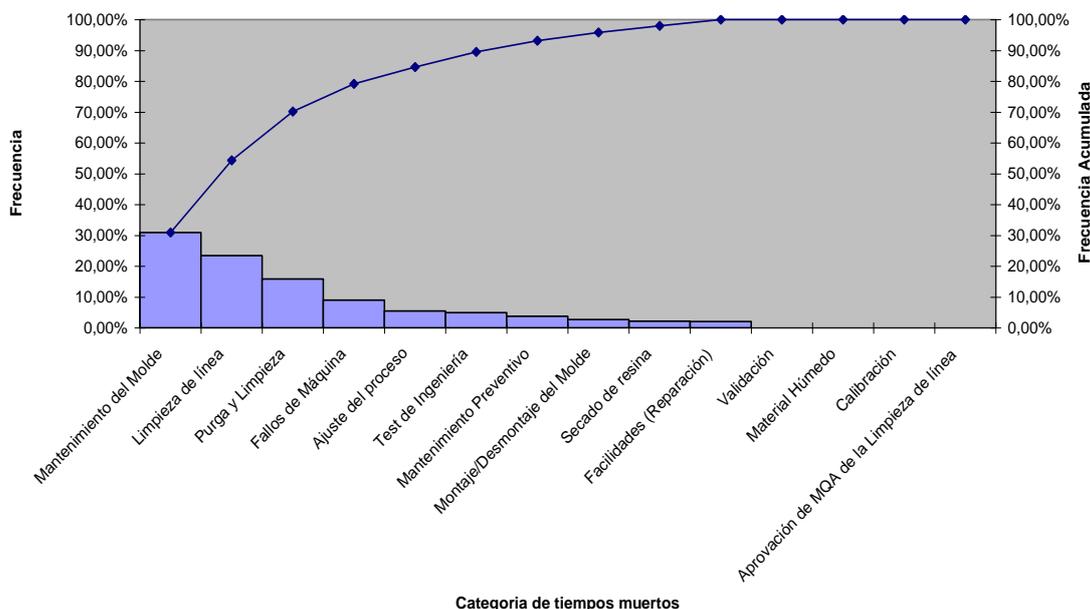


En la grafica 7 se puede ver que el tiempo muerto no deducible que se presentó con mayor frecuencia fue el mantenimiento de molde (45%), seguido de la purga y limpieza (23%) y montaje y desmontaje de molde (22%), juntos estos tres tiempos acumulan cerca de 92% de todos los tiempos muertos no deducibles que se dieron en el turno VI, mientras que el resto de actividades como ajustes del proceso (4%), secado de resina (3%) y la limpieza de linea (1%) se presentaron con menor frecuencia.

v. Comportamiento de los tiempos muertos en el turno VII

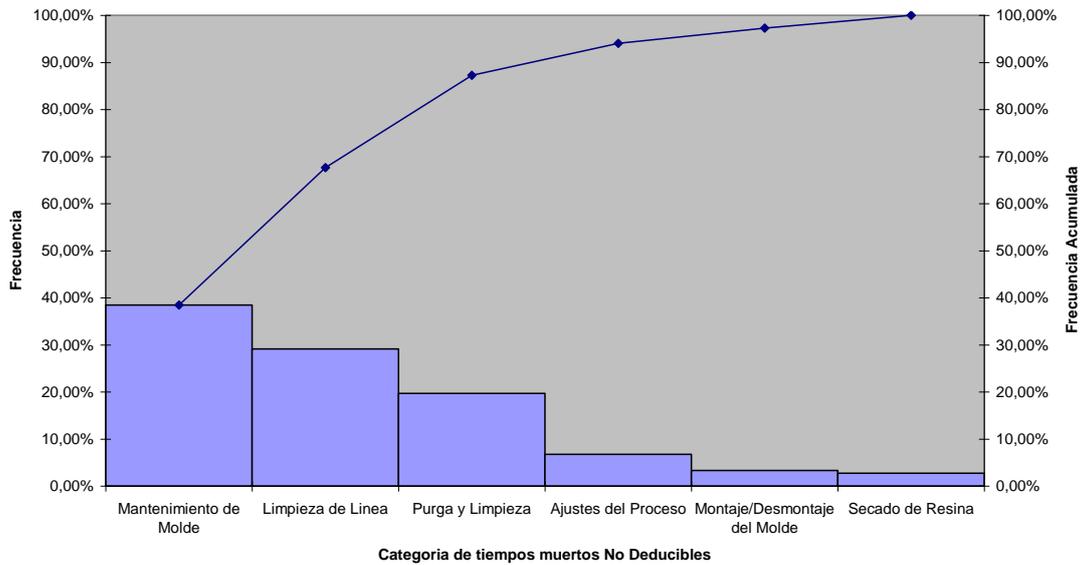
En las graficas 8 y 9 se muestran los diagramas de pareto sobre los tiempos muertos presentados en turno VII durante el periodo en estudio

**Grafico 8. Diagrama de pareto de tiempos muertos para los productos A, B y C durante el turno VII en el periodo de febrero a julio del 2006**



En la grafica 8 se puede ver que el mantenimiento de molde es el tiempo muerto que se presentó con mayor frecuencia en el turno VII (cerca del 30%), seguido de la limpieza de línea (25%), purga y limpieza (18%) y fallos de maquina (10%) que completan el 80% de todos los tiempos muertos presentados. El resto de actividades que completan el 20% restante corresponden a ajustes del proceso (6%), test de ingeniería (5%), mantenimiento preventivo (4%), montaje y desmontaje de molde (3%), secado de resina (1%) y facilidades (1%), mientras que hubo actividades que no se presentaron del todo en el periodo como material húmedo, validación, calibración y aprobación de MQ de la limpieza de línea.

**Grafico 9. Diagrama de pareto de tiempos muertos No Deducibles para los productos A, B y C durante el turno VII en el periodo de febrero a julio del 2006**



En la grafica 9 se puede ver que el tiempo de mantenimiento de molde fue el tiempo muerto que se presentó con mayor frecuencia (38% aproximadamente), seguido de la limpieza de línea (30%)y purga y limpieza (20%), estas tres actividades concentraron cerca del 90% de todos los tiempos muertos no deducibles que se presentaron en el turno VII, mientras que el 10% del tiempo muerto restante corresponde a ajustes del proceso (5%), montaje y desmontaje de molde (3%) y secado de resina (2%).

vi. Análisis sobre el comportamiento de los tiempos muertos

Los tiempos muertos deducibles del proceso concentran alrededor del 20% de todos los tiempos muertos presentados en los turnos IV y VII, mientras que en los turnos V y VI corresponden al 40% aproximadamente, lo que implica que las actividades realizadas en el departamento de moldeo por otros departamentos como Ingeniería, Calidad y Facilidades son importantes para el aprovechamiento del tiempo disponible de trabajo en el área de moldeo.

Al comparar los gráficos 2 al 9 mostrados anteriormente se puede ver que el 70% de los tiempos muertos no deducibles de los turnos IV y VII son debido a la limpieza de línea y mantenimiento de molde, mientras que en los turnos V y VI el 70% de los tiempos muertos no deducibles corresponden a mantenimiento de molde y purga y limpieza, por lo tanto, los cuatro turnos de trabajo del

departamento de moldeo tienen la actividad de mantenimiento de molde como una de las principales causas de tiempo muerto. Más adelante va a enfocarse parte de la tormenta de ideas, en identificar las posibles causas de que este tiempo muerto sea tan alto.

Los turnos IV y VII tienen la actividad de limpieza como una de las principales causas de tiempo muerto por lo que en la tormenta de ideas se va a procurar identificar la causa de la diferencia entre ellos y los demás turnos, donde el tiempo muerto debido a la limpieza de línea es bajo (cerca del 2% para cada uno).

En todos los turnos resalta que las actividades de ajustes del proceso y secado de resina contribuyen con menos del 10% de los tiempos muertos no deducibles. La humedad en la resina causa problemas durante la inyección porque induce la presencia de poros, gases atrapados en las piezas moldeadas (burbujas) y mal acabado superficial, por lo tanto, a la resina se le debe retirar la humedad antes de ser inyectada en la cavidad. En un proceso con tanta planificación y preparación como el que se lleva a cabo en el departamento de moldeo, no debería presentarse tiempo muerto debido a que la resina tiene humedad o no está lista porque implica que el manejo de la resina no se está haciendo adecuadamente en todos los casos y genera tiempo muerto que disminuye el aprovechamiento del tiempo, equipo y los recursos involucrados.

## 2. Cálculo de la eficiencia real del turno.

Para la evaluación de la eficiencia del proceso de moldeo convencional del departamento de moldeo se han utilizado tres factores: eficiencia de ciclo, eficiencia del molde y eficiencia de tiempo de manufactura.

### a. Eficiencia de ciclo ( $\eta_c$ ):

Representa una medida de la duración de cada corrida respecto a un estándar establecido previamente para cada producto. El estándar establece el tiempo máximo que puede durar una inyectora en ejecutar una corrida. Una corrida consiste en todas las actividades comprendidas desde que el molde se cierra

para cargar la resina hasta que el molde se abre para expulsar las piezas inyectadas. Dependiendo de la forma de la pieza, tipo de resina, los parámetros del proceso, estado del molde y de la prensa, este tiempo puede variar. En el departamento de moldeo se ha dado que las inyectoras están generando con tiempos de corrida menores que los tiempos estándar establecido para las piezas que producen. La eficiencia de molde se evalúa tal y como se presenta en la ecuación 2:

$$\eta_c = \frac{\text{Tiempo de ciclo de todas las prensas}}{\text{Tiempo ciclo estándar de todas las piezas}} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

b. Eficiencia de Molde ( $\eta_m$ )

La eficiencia del molde representa la cantidad de cavidades del molde que están siendo utilizadas respecto al total de cavidades que contiene el molde. No necesariamente todas las cavidades del molde pueden usarse durante el proceso de inyección, ya que hay factores que las inhabilitan como: obstrucción, deterioro, no validación, entre otros.

$$\eta_m = \frac{\text{Total de cavidades habilitadas}}{\text{Total de cavidades}} \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

c. Eficiencia de Tiempo de Manufactura ( $\eta_t$ )

El tiempo de manufactura representa el tiempo efectivo de trabajo en que la inyectora está fabricando piezas durante un turno de trabajo. Los tiempos muertos disminuyen el tiempo de manufactura. Estos tiempos son medidos y considerados para calcular el tiempo efectivo. La eficiencia de tiempo de manufactura es la medida del tiempo efectivo de trabajo comparado con el estándar establecido. En este caso el estándar corresponde a 12 horas (total de horas de trabajo del turno) y aplica para todas las inyectoras y piezas que se fabrican, porque en moldeo hay sistema automatizado de trabajo y la falta de operario no impide el funcionamiento del equipo. Por medio de la ecuación 4 se determina la eficiencia de tiempo de manufactura.

$$\eta_t = \frac{\text{Tiempo de producción promedio}}{\text{Tiempo de producción estándar}} \times 100 \quad \text{Ec. 4}$$

d. Cálculo de la eficiencia real del turno ( $\eta_r$ ):

La eficiencia real del turno es la medida de la eficiencia del turno y considera los tres factores de eficiencia mencionados anteriormente y está dada por la relación mostrada en la ecuación 5:

$$\eta_r = \eta_t \times \eta_c \times \eta_m \quad \text{Ec. 5}$$

e. Análisis de la Eficiencia real del turno

Los datos que se muestran en la tabla 3 corresponden a la información sobre la eficiencia de cada turno de febrero a julio del 2006. En esta tabla se presentan las eficiencias promedio de tiempo de manufactura, moldeo, ciclo y real de cada turno.

*Tabla 3 Eficiencias promedio de todos los turnos de trabajo de Moldeo por inyección convencional en el periodo de febrero a julio del 2006<sup>2</sup>*

Turno	Eficiencias promedio			
	Tiempo manufactura	Molde	Ciclo	Real del turno
IV	82.73%	97.59%	116.60%	91.18%
V	90.77%	95.39%	108.05%	93.53%
VI	85.69%	96.20%	112.50%	93.57%
VII	85.83%	96.86%	114.03%	93.38%

En la tabla 3 se puede ver que la eficiencia más baja es la eficiencia de tiempo de manufactura (la que se ve afectada por los tiempos muertos), la eficiencia de molde se encuentra arriba del 95% esperado y la eficiencia del ciclo en todos los casos se encuentra por encima del 100%, de tal forma que al

<sup>2</sup> La información para elaborar esta tabla fue extraída de las hojas de control de producción de moldeo convencional de febrero a julio del 2006.

determinar la eficiencia real del turno el valor tan alto de eficiencia de ciclo esta compensando el valor de la eficiencia de tiempo de manufactura, por lo que el promedio eficiencia real se encuentra arriba del 90% en todos los casos. Sin embargo, como se puede observar, el cálculo de la eficiencia real no esta considerando los factores de velocidad y calidad como una medida de su comportamiento.

De los datos presentados en la tabla 3 se desea recalcar el hecho de que la eficiencia de ciclo se encuentra en todos los casos arriba del 100%, esto implica que se está trabajando a una velocidad mayor que la velocidad máxima (estándar) establecida para la duración de cada corrida, dado que el tiempo estándar contempla la posibilidad de que en algún momento el equipo pueda seguir funcionando fuera de las condiciones ideales. Lo anterior implica que los valores de la eficiencia real que se están obteniendo son aumentados por la eficiencia de ciclo bajo las condiciones de evaluación mostradas, ya que la eficiencia real es directamente proporcional a la eficiencia de ciclo.

En el caso de la eficiencia de tiempo de manufactura, al ser la más baja de los tres factores requiere hacer un estudio de los factores que la disminuyen, que en este caso son los tiempos muertos, con el fin de poder subir estos valores de eficiencia de tiempos de manufactura, lo cual a incidir en un aumento de la eficiencia de ciclo.

Sin embargo, este valor de eficiencia real del turno que se está usando como índice para conocer el desempeño del turno no da una medida del desempeño del equipo, que se puede obtener por medio de la determinación de la eficiencia global del equipo (OEE).

### C. Conclusiones de la situación Actual

1. El cálculo de la eficiencia actual del proceso (Real Shift Efficiency) debe replantearse para poder implementar el OEE como medida de la eficiencia del proceso y los equipos involucrados.
2. Las categorías de tiempos muertos vigentes deben de replantearse para poder eliminar aquellas que no se han presentado durante el periodo (obsoletas) y separar las que registran información que no permite diferenciar claramente las actividades que involucran siempre que sean indispensables para el proceso y particularmente sean desarrolladas por el mismo Departamento de Molding.
3. Para identificar las razones de las diferencias entre turnos respecto a los tiempos muertos es necesario hacer una tormenta de ideas que involucre a los supervisores de todos los turnos, lo que permite dar validez a los resultados obtenidos así como identificar las causas de las diferencias y posibles soluciones para el problema.

## V.ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

## A. Metodología para el Cálculo y Control de Estándares de maquina y Eficiencia Global del Equipo

A continuación en la figura 6 se presenta un esquema general de la metodología utilizada para plantear el OEE, que incluye los datos de entrada (factores de disponibilidad, velocidad y calidad requeridos para el cálculo) y el resultado (salida) que se va a obtener de ella.

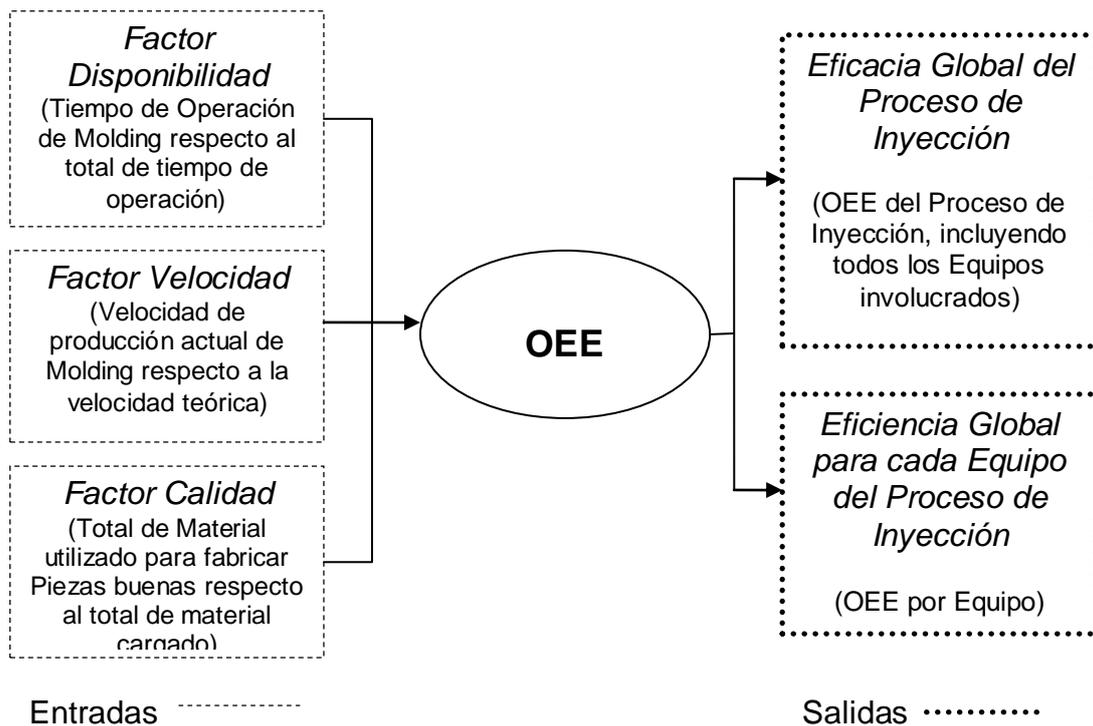


Figura 6. Esquema del sistema propuesto de OEE

### 1. Determinación de los factores de cálculo del OEE

A continuación se presentan los resultados de la aplicación de las definiciones teóricas de los factores del OEE al proceso de inyección del departamento de moldeo. El OEE como indicador lo que da son definiciones teóricas para determinar sus factores, sin embargo, para aplicarlas a un proceso real deben adaptarse a la información disponible y a las necesidades específicas del proceso. Las ecuaciones han sido determinadas como resultado del análisis y son aplicables a la información que se encuentra disponible en la hoja de control de producción de la empresa

a. Factor Disponibilidad

i. Tiempos muertos de departamento de moldeo según el OEE

De acuerdo con la propuesta de las categorías de tiempos muertos hecha y de la información de la tabla 2 presentada en el marco teórico, los tiempos muertos del departamento de molding de acuerdo con el OEE. Esta información se presenta en la tabla 4.

*Tabla 4 Tiempos del departamento de moldeo según el OEE*

TIPOS DE TIEMPOS DEL OEE	TIEMPOS DE MOLDING SEGÚN OEE
PRODUCCION (PRODUCTION)	Tiempo de Producción
FALLA (FAILURE /BREAKDOWN)	Fallos de Máquina Ajustes del Proceso Secado de Resina
DETENIDO/ DE ESPERA (IDLE)	Limpieza de Línea Purga y Limpieza Mantenimiento Preventivo de Molde Montaje/Desmontaje del Molde Mantenimiento Correctivo de Molde
SIN PLANIFICAR (UNSCHEDULED)	Mantenimiento Preventivo del Equipo Disposición de Planeamiento Test de Ingeniería Calibración Validación Reparación (Facilidades)

ii. Propuesta de Cálculo del Factor Disponibilidad:

Para calcular la disponibilidad del equipo se requiere conocer dos tiempos, el tiempo estándar de trabajo y el tiempo actual de trabajo. El tiempo estándar de trabajo consiste en el tiempo que debe trabajar teóricamente el equipo. En el caso del departamento de moldeo, el tiempo estándar corresponde a las 12 horas que componen un turno de trabajo, ya que se desea calcular la eficiencia para cada turno.

El tiempo de operación (TO), de acuerdo con OEE se presenta en la ecuación 6:

$$TO = TPE - TF - TE \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

TO: tiempo de operación

TPE: tiempo de producción estándar

TF: tiempo de falla

TE: tiempo de espera

En la tabla n.4 se puede observar que los tiempos de falla y de espera corresponden a tiempos muertos por actividades de moldeo, de forma que a partir de ahora, para el cálculo del aprovechamiento del tiempo de moldeo se estarían contemplando solamente los tiempos muertos que corresponden a actividades propias del departamento y se dejan de lado los tiempos no planificados por moldeo y cuya responsabilidad se debe a otros departamentos. Finalmente el factor de disponibilidad (FD) se presenta a continuación en la ecuación 7:

$$FD = \frac{TO}{TPE} \times 100 \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

FD: factor de disponibilidad

TO: tiempo de operación

TPE: tiempo de producción estándar

b. Factor velocidad

i. Cálculo de las velocidades teórica y actual del proceso de inyección

Para el cálculo de la velocidad del proceso, de acuerdo con el OEE se debe considerar la tasa de producción del proceso a evaluar (en piezas por tiempo), donde hay que determinar la tasa teórica y la tasa actual de producción. Para determinar la tasa teórica de producción se ha seguido la siguiente ecuación 8:

$$VT = \frac{NCE}{TCE} \quad Ec. 8$$

Donde:

VT: velocidad teórica

NCE: número de cavidades estándar

TCE: tiempos de ciclo estándar

La ecuación 8 da la cantidad de piezas por segundo que se deberían estar produciendo en cada equipo de moldeo según el valor estándar indicado en la hoja de control de producción de moldeo, de acuerdo con el producto y el molde con que se esté trabajando. La velocidad actual del proceso está dada por la ecuación 9:

$$VA = \frac{NCA}{TCA} \quad Ec. 9$$

Donde:

VA: velocidad actual

NCA: número de cavidades actuales

TCA: tiempo de ciclo actual

La ecuación 9, de forma similar a la anterior ecuación 8, da la cantidad de piezas por segundo que se están produciendo en cada equipo de moldeo según el valor actual de trabajo indicado en la hoja de control de producción de moldeo, de acuerdo con el producto y el molde con que se este trabajando. De forma que para el cálculo de la velocidad del proceso se está contemplando la cantidad de cavidades que están trabajando durante un turno, por ejemplo, en caso de que haya cavidades bloqueadas se estarían tomando en cuenta. Así mismo, el tiempo de ciclo actual es determinado en cada turno por los técnicos

de proceso, y al ser específico del turno permite obtener una velocidad actual que responda realmente a las características del turno.

#### ii. Propuesta de cálculo del factor de velocidad

El factor de velocidad indica la velocidad del proceso respecto a la velocidad estándar del mismo. A continuación se presenta en la ecuación 10:

$$FV = \frac{VA}{VT} \times 100 \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

FV: factor de velocidad

VA: velocidad actual

VT: velocidad teórica

#### c. Factor Calidad

##### i. Cálculo de material cargado

El material cargado corresponde a la cantidad de resina (en libras) que se cargó en las tolvas de cada equipo para producir piezas, en este caso por el proceso de inyección durante un turno. Las pérdidas de material para moldeo corresponden al material que se perdió en purgas, desechos (scrap) y material caído de las tolvas. Toda la información anteriormente nombrada se presenta para cada turno en la hoja de control de producción, con base en ésta se pueden calcular los factores para determinar el índice de calidad del OEE, los cuales se presentan en la ecuación 11:

$$TMPB = TMC - P - S - MCa \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

TMPB: total de material en piezas buenas

TMC: total de material cargado

P: purgas

S: scrap

MCa: material caído

## ii. Propuesta de cálculo del factor de calidad

Para calcular el OEE de moldeo se determinó la siguiente relación la cual se presenta en la ecuación 12:

$$FC = \frac{TMPB}{TMC} \times 100 \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

FC: factor de calidad

TMPB: total de material en piezas buenas

TMC: total de material cargado

### 2. Estándares de Disponibilidad, Velocidad y Calidad para el cálculo del OEE

En este caso no fue necesario determinar los estándares, ya que existen actualmente y se encuentran registrados en la hoja de control de producción. Como se puede notar en las relaciones para calcular los factores del OEE, los valores que se encuentran en el denominador de éstos corresponden al estándar, que son fijos (para el caso de la disponibilidad y velocidad) o flexibles (para la calidad).

En el caso de la disponibilidad, el tiempo de producción estándar corresponde a 12 horas, que es el total de horas que componen un turno de trabajo de moldeo y que en teoría, el equipo bajo condiciones ideales podría operar ininterrumpidamente (ésta es una característica de los equipos del proceso de inyección de moldeo, ya que son celdas flexibles de manufactura automatizadas).

Se ha mantenido fijo el valor de velocidad estándar para calcular el desempeño (velocidad del equipo), ya que depende de la cantidad de cavidades validadas (cavidades teóricas) de cada molde, lo cual es llevado a cabo por el departamento de Ingeniería y que se mantiene hasta que se realice (o se requiera) una nueva validación y del tiempo de ciclo de cada molde, que también es determinado por el departamento de ingeniería y corresponde al

tiempo que tarda cada molde en hacer un corrida completa; estos datos son recopilados y revisados constantemente para mantener el tiempo de ciclo de cada molde actualizado.

Para el cálculo de la calidad, el total de material cargado en cada equipo (estándar), no es fijo ya que depende del producto que se esté fabricando en ese equipo (al ser celdas, permiten la fabricación de varios productos diferentes utilizando los mismo equipos), del molde y de las condiciones particulares del turno (por ejemplo, pruebas o paro total del equipo).

### 3. Sistema propuesto para el control de la producción por turno

La metodología propuesta y desarrollada en conjunto implica una integración del cálculo del OEE como herramienta para conocer la eficiencia del equipo en forma individual y global del proceso.

El OEE es una herramienta que se debe reportar por máquina, basado en el rendimiento obtenido de cada uno de los productos elaborados por turno en el equipo (en el caso moldeo, es poco probable que en un mismo turno se vayan a fabricar dos productos distintos en el mismo equipo, dado que esto requiere una serie de operaciones como cambio de molde, montaje y desmontaje, limpieza de línea, purga y limpieza, entre otros, que consumen gran parte del tiempo de producción disponible del turno).

El sistema de OEE propuesto tiene una diferencia fundamental respecto al método anterior de evaluar la eficiencia, ya que se incluye el cálculo del OEE por cada equipo y posteriormente se calcula el OEE del proceso. Anteriormente no se calculaba la eficiencia de cada equipo (son 20 celdas en el área de moldeo), por lo tanto no era posible conocer su comportamiento a lo largo de un periodo definido o de un turno específico, porque solamente se estaba calculando la eficiencia globalmente (como la sumatoria de todos los equipos), lo que representa un obstáculo para la utilización del OEE como herramienta para la mejora continua.

Al calcular el OEE individualmente para cada equipo y luego el OEE del proceso (todos los equipos) puede tenerse una clara diferenciación del comportamiento de la eficiencia del equipo y del proceso y a partir de aquí, tomar medidas específicas para los equipos de acuerdo con la mejora continua, como se va a explicar más adelante.

#### 4. Utilización del OEE para la Mejora Continua

Hasta este momento, el OEE se ha planteado como una herramienta de medición del estado actual de salida de un proceso, sin embargo el OEE busca identificar la capacidad de producción oculta de los equipos. Una vez que se tienen los valores de OEE para cada equipo, se escogen las máquinas que tengan los porcentajes más bajos, que corresponden a los “cuellos de botella” (zonas críticas) del proceso y sobre estas máquinas se debe un estudio de mejora para determinar cuáles son las pérdidas de mayor presencia en el equipo, que están haciendo que el OEE se vea afectado (calidad, velocidad y/o disponibilidad del equipo).

Al permitir el OEE la identificación del problema se puede avanzar grandemente hacia el diagnóstico del problema e identificación de oportunidades de optimización. Luego de que se logra reducir el efecto del factor de pérdida sobre el OEE, se produce una mejora y se debe continuar trabajando en la misma máquina con diversas técnicas hasta que el OEE mejore y sobrepase a otra máquina del área, de forma que ahora la atención se desvíe hacia este otro equipo que ahora representa el cuello de botella del proceso. Este ciclo de mejora continua aumenta la capacidad de producción del proceso, que es el objetivo.

El OEE tiene varios índices para medir eficiencia (ver marco teórico), según el aspecto del proceso y el equipo que desea determinar, en este proyecto se ha trabajado en la implementación del OEE (top).

## **B. Resultados de la Tormenta de Ideas sobre tiempo Muertos.**

Por medio de la tormenta de ideas se ha podido obtener información propia del proceso y de los turnos gracias a la participación de los trabajadores y supervisores del departamento de moldeo, con el fin de retroalimentar el desarrollo del presente proyecto. El objetivo de realizar la tormenta de ideas era identificar las causas del comportamiento de los tiempos muertos presentado en las graficas 2 a la 9 del apartado de análisis de la situación actual, principalmente de los tiempos muertos debido a actividades del departamento de moldeo.

Sobre las causas generales del tiempo muerto en el departamento de moldeo se ha identificado que no existe un entrenamiento específico que hable sobre los tiempos muertos del proceso de moldeo, sino que se cuenta con un procedimiento general donde se establece la definición de que es tiempo muerto y quienes son los responsables de documentar en caso de que se presenten, sin embargo en el procedimiento no se definen las categorías validas de tiempos muertos del proceso ni se establecen las posibles consecuencias sobre el proceso. Al no existir esta información en la especificación, el trabajador del departamento de moldeo ha ido formando su conocimiento sobre los tiempos muertos del proceso con base en la experiencia, por lo que no existe claridad para definir las actividades específicas que corresponden a cada categoría de tiempo muerto.

Existe una discrepancia ente el procedimiento actual que habla sobre tiempos muertos y ejecución, ya que el procedimiento establece que todo trabajador del área de moldeo esta facultado para documentar tiempos muertos, pero no existe un entrenamiento que le explique al trabajador la definición de tiempo muerto, las categorías de tiempo muerto en el área de moldeo, como identificar los tiempos muertos ni las posibles consecuencias de los tiempos muertos para el proceso, por lo tanto puede darse el caso de que personas no preparadas documenten equivocadamente los tiempos muertos del proceso o identifiquen mal el origen y la categoría a la que corresponde.

Los tiempos muertos departamento de moldeo se dan debido a actividades de otros departamentos y por actividades del departamento de moldeo. Los tiempos muertos deducibles (los que producen otros departamentos) no se pueden modificar porque implica la intervención en las metodología de trabajo de cada departamento, sin embargo, las actividades que generan tiempo muerto del departamento de molding sí es posible intervenir. Entre ellas destaca el mantenimiento de molde por la cantidad de tiempo muerto que consume y la frecuencia de aparición con que se presenta.

En la categoría de mantenimiento de molde se estaban registrando los mantenimientos de molde debido a actividades correctivas y preventivas, las actividades preventivas son previamente programadas y buscan prevenir el deterioro de los moldes y prolongar su vida útil, mientras que las actividades de mantenimiento correctivo se deben a reparaciones que requieren los moldes o alguna de sus piezas porque se han dañado durante su manipulación, transporte, montaje, desmontaje, limpieza, ensamblaje o trabajo en el taller de moldes o la planta de moldeo. Sin embargo al registrarse estas dos actividades en la misma casilla no se puede distinguir cual de las actividades consume mas tiempo, quienes son los responsables, ni el origen. Ambas actividades de mantenimiento de moldes son realizadas en el taller de moldes que pertenece al departamento de moldeo y generan tiempo muerto debido a que los equipos deben mantenerse detenidos.

El taller de moldes realiza mantenimiento correctivo a moldes que se han dañado por mala manipulación como apagado de alarmas, ruptura de pines o desconexión de las mangueras de agua, sin embargo actualmente no se conoce quienes están tocando los equipos sin autorización o en forma inadecuada, por lo que se hace necesario que todo el personal del departamento de moldeo reciba un entrenamiento adecuado que les muestre lo que pueden o no hacer en los equipos, las consecuencias de tomar medidas incorrectas para usar los equipos, la importancia de aprovechar eficientemente el tiempo disponible de producción y la importancia para el proceso de cuidar los equipos.

Cuando se requiere realizar una actividad de mantenimiento correctivo en los moldes se rompe con el programación diaria de mantenimiento que es preparado en el taller de moldes para ejecutar las actividades de mantenimiento preventivo de los moldes que corresponden y los trabajadores del taller que lo van a ejecutar, debido a que con la misma cantidad de trabajadores y equipo del taller se debe dar mantenimiento a mas moldes de lo programado. Debido a la cantidad de mantenimientos correctivos que se han presentado, la cantidad de repuestos disponibles en el taller se está consumiendo a un ritmo mayor que la reposición de las existencias en bodega, lo que ha causado que en ocasiones no se tenga el repuesto cuando se requiere, por lo tanto, es necesario minimizar la necesidad de realizar mantenimientos correctivos previniendo.

Se ha dispuesto que al finalizar los turnos de la noche los moldes que tienen programado mantenimiento preventivo estén desmontados y listos para ser trasladados el taller de moldes, para que empiecen a recibir mantenimiento al inicio del turno de la mañana, de forma que los mantenimientos preventivos se realicen siempre de día, sin embargo, se ha dado que los moldes no están desmontados o son bajados en forma tardía y por lo tanto generan un retraso en la programación de mantenimiento establecida para ese día.

Cuando el departamento de planeación programa el trabajo de un molde que se encuentra en bodega del taller de moldes, lo comunica con anticipación al asistente del supervisor de moldeo, sin embargo, al supervisor del taller de moldes no se le esta comunicando la requisición del molde, por lo que ha sucedido que al llegar la orden de trabajo el molde no se encuentra listo. Esta falta de coordinación entre las partes puede contribuir al aumento del tiempo muerto.

Hasta agosto de este año, no existía una categoría de tiempo muerto que registrara el tiempo que un equipo estaba detenido por disposición del departamento de planeación, por lo tanto, cuando se necesitaba registrar este tiempo muerto, era cargado a otra categoría. En el caso particular de los

turnos IV y VII se estaba registrando en la categoría de limpieza de línea, lo que explica porque este tiempo estaba tan alto en estos turnos.

La información obtenida en la tormenta de ideas ha sido esquematizada por medio de diagramas de causa-efecto (también conocidos como diagramas de pescado o de Ishikawa), que se presentan en las figuras 7 y 8 a continuación. La figura 5 corresponde al diagrama de causa-efecto del origen de los tiempos muertos de moldeo, donde el mantenimiento de molde ha sido encerrado en un ovalo porque de acuerdo con los resultados del diagnóstico corresponde a la causa de tiempo muerto que se presenta con mayor frecuencia en molding, mientras que la figura 6 corresponde al diagrama causa-efecto del origen del alto tiempo de mantenimiento de molde. Para elaborar estos diagramas se ha definido cuatro aspectos que concentran las posibles causas: equipos, personas, métodos y materiales, y la información disponible ha sido clasificada en alguna de estas.

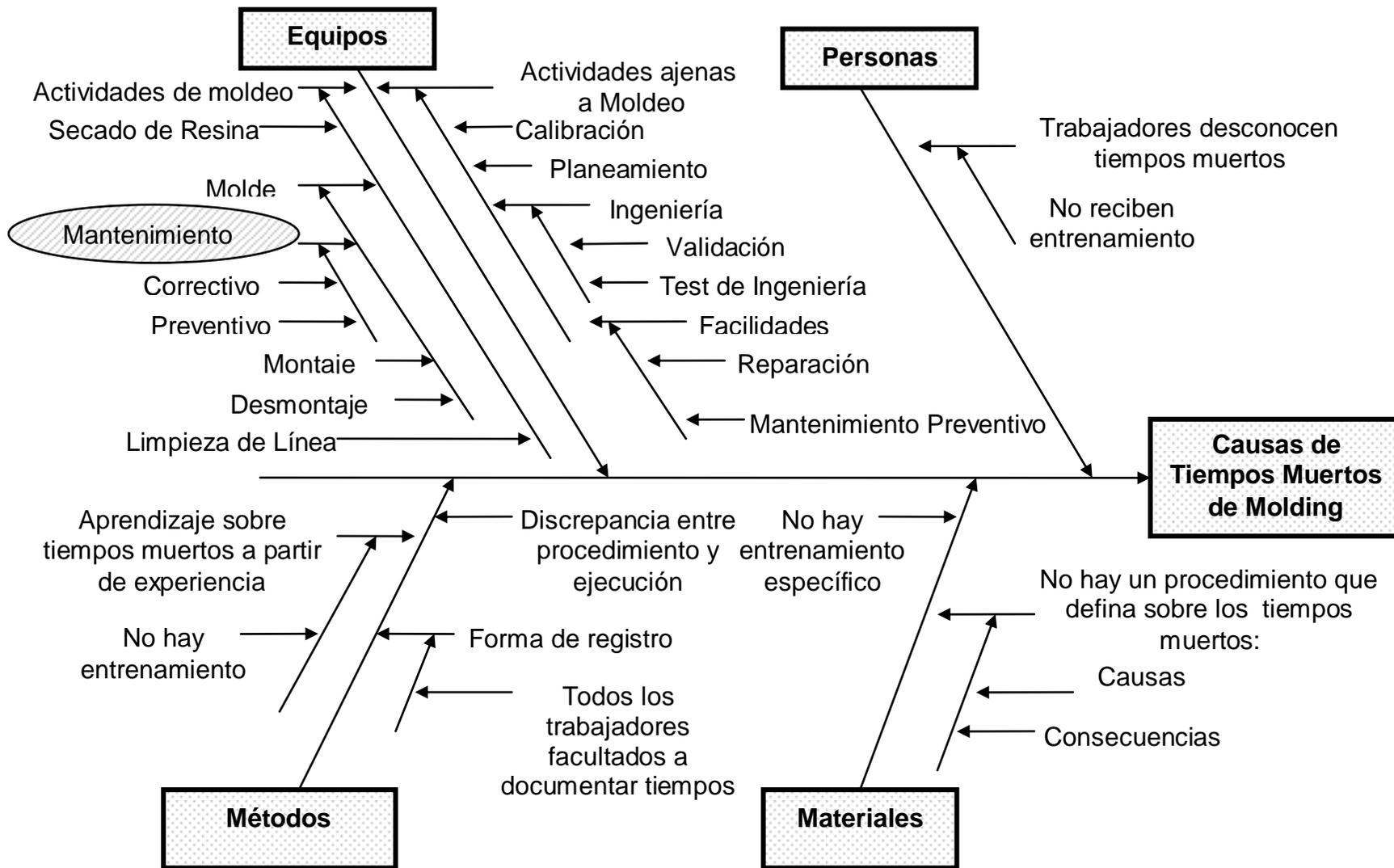


Figura 7. Diagrama Causa-Efecto para tiempos muertos del departamento de moldeo

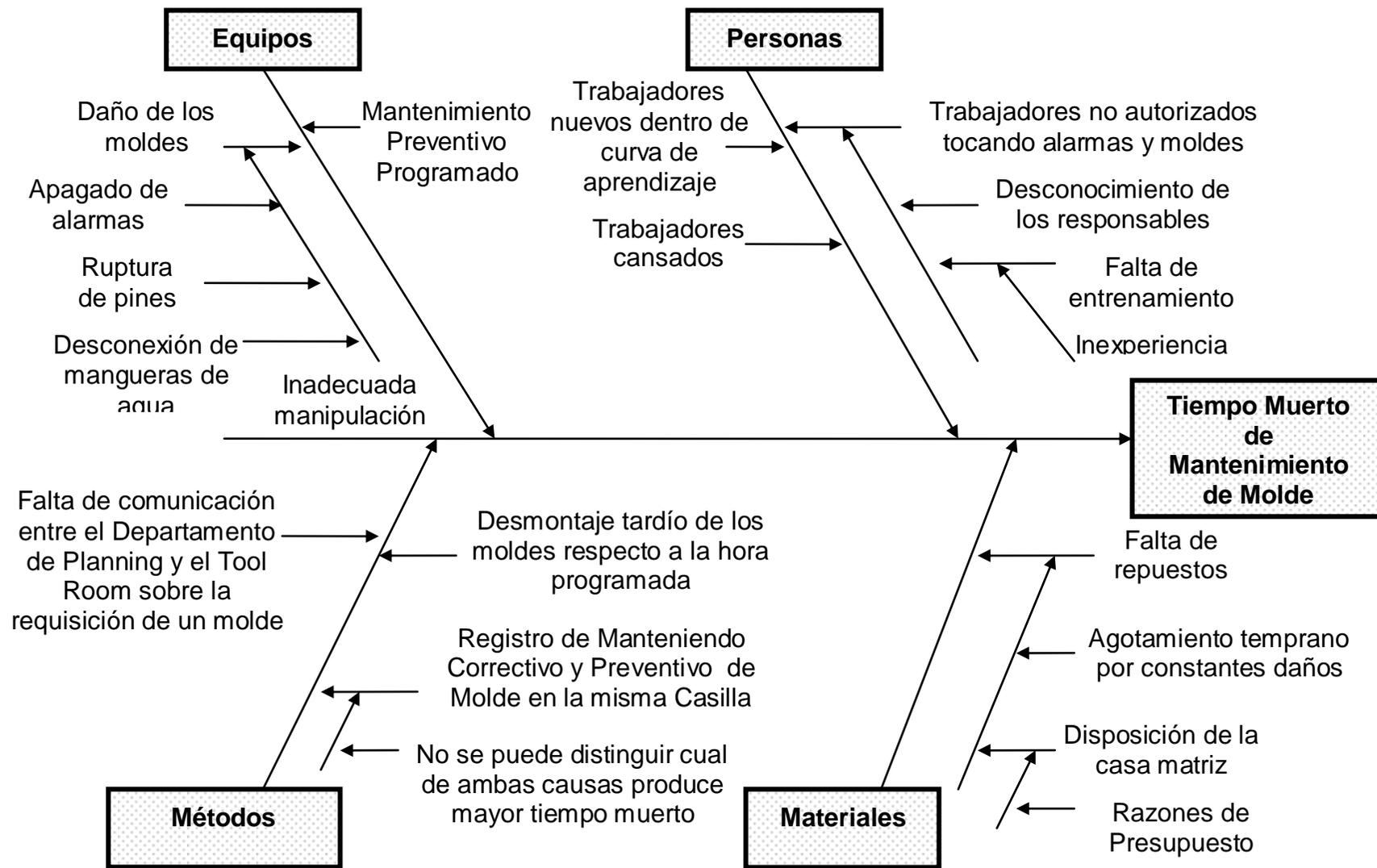


Figura 8. Diagrama Causa-Efecto para de Tiempo Muerto de Mantenimiento de Molde

### C. Propuesta para las Categorías de Tiempos Muertos en la Hoja de Control de Producción

En el departamento de moldeo se estaban documentando catorce causas de tiempos muertos: limpieza de línea, purga y limpieza, ajustes del proceso, secado de resina, mantenimiento preventivo (del equipo), montaje y desmontaje de molde, mantenimiento de molde (en general), prueba e ingeniería, fallos de máquina, validación, calibración, facilidades (reparación), disposición de planeamiento y aprobación de MQ de limpieza de línea (este último fue eliminado como tiempo muerto a partir del mes de septiembre). Con base en los diagramas de pescado presentados en el apartado anterior, se pudo extraer una serie de cambios a implementar en las categorías de tiempos muertos de moldeo, los cuales se explican en los siguientes apartados.

#### 1. Cambio en la Hoja de Control de Producción sobre Tiempos Muertos

Inicialmente se propuso actualizar las categorías de tiempos muertos que se encuentran en la hoja de control de producción de moldeo, de forma que se separe en dos categorías diferentes las actividades de mantenimiento preventivo de molde y mantenimiento correctivo de molde. Además se le agregó a la actividad de mantenimiento preventivo del equipo la terminación “del equipo” para evitar confusiones a la hora de documentar los mantenimientos preventivos del equipo y del molde. De forma que el formato propuesto incluye las siguientes categorías:

- a. Prueba de Ingeniería
- b. Validación
- c. Calibración
- d. Mantenimiento Preventivo del Equipo
- e. Fallo de Máquina
- f. Facilidades (Reparación)

- g. Disposición de Planeamiento
- h. Secado de Resina
- i. Purga y limpieza
- j. Ajustes del Proceso
- k. Mantenimiento Preventivo de Molde
- l. Mantenimiento Correctivo de Molde
- m. Limpieza de Línea
- n. Montaje y Desmontaje de Molde

Todas las categorías nombradas anteriormente contaron con el aval de los supervisores de moldeo, el supervisor del taller de moldes y el gerente de moldeo. Simultáneamente con la actualización de las categorías de tiempos muertos se propuso la implementación del OEE como forma de evaluación de la eficiencia del proceso, ya que ambas actividades involucran cambios en la Hoja de Control de Producción, esta actividad es el primer paso para poder completar la propuesta sobre tiempos muertos y por lo tanto las actividades que se plantean en los siguientes puntos. En el apéndice 3 se encuentra la Hoja de Control de Producción con las modificaciones planteadas en este proyecto, las cuales ya han sido aprobadas y se encuentran en proceso de implementación.

## 2. Redacción del Procedimiento que Establece las Categorías Vigentes de Tiempos Muertos

Con base en la revisión del procedimiento respectivo a los tiempos muertos de moldeo, se encontró que a pesar de que el procedimiento da la definición general de tiempo muerto, no incluye la definición de las categorías de tiempo muerto en moldeo. Esto implica que al no estar especificadas las diferentes categorías de tiempos muertos y las acciones que implica cada una, entonces la documentación de los tiempos muertos que se dan en moldeo se está haciendo con base en la experiencia y el conocimiento que tengan del proceso quienes están documentando. En un proceso donde todas las actividades están

claramente identificadas, definidas y especificadas en un procedimiento, la omisión de un aspecto importante del proceso (como lo son los tiempos muertos) puede conducir a problemas ya que la información que se está obteniendo corresponde a diferentes criterios.

Actualmente se está trabajando en las modificaciones al procedimiento para incluir los aspectos que han sido aprobados por la gerencia

La propuesta consiste en:

- i. Establecer las categorías de tiempo muerto a ser documentadas en el departamento de moldeo (prueba de ingeniería, validación, calibración, mantenimiento preventivo del equipo, fallo de máquina, facilidades (reparación), disposición de planeamiento, secado de resina, purga y limpieza, ajustes del proceso, mantenimiento preventivo de molde, mantenimiento correctivo de molde, limpieza de línea y montaje y desmontaje de molde).
  - ii. Definir las actividades o situaciones que provocan cada una de las causas anteriormente nombradas (y que por lo tanto deben documentarse en la casilla del tiempo muerto correspondiente, en la hoja de control de producción de moldeo).
  - iii. Establecer que en caso de que el mantenimiento correctivo de molde se presente, debe indicarse como comentario (en el espacio para comentarios) la situación que provocó la necesidad de reparación del molde.
3. Implementación del procedimiento como parte del entrenamiento normal obligatorio de los operarios, técnicos y supervisores del departamento de moldeo.

La existencia de un procedimiento conlleva el respectivo entrenamiento para los trabajadores que se relacionan con las actividades especificadas en éste.

Como consecuencia de la falta de especificación en el procedimiento que trata los tiempos muertos de moldeo, los trabajadores del área de moldeo no han recibido entrenamiento sobre este aspecto, lo que implica una contradicción con el procedimiento, que establece que cualquier trabajador de moldeo puede documentar tiempos muertos

Es necesario, no solo que se desarrolle un entrenamiento basado en el procedimiento actualizado, sino que es necesario gestionar la inclusión del procedimiento actualizado como parte obligatoria del entrenamiento que todo trabajador de moldeo recibe, para ser consistentes con la especificación, esto a pesar de que en general en los diferentes turnos se practica que solamente los técnicos sean quienes documenten tiempos muertos.

## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## A. CONCLUSIONES

1. Se concluyó que era necesario actualizar las categorías de tiempo muerto del proceso de moldeo para adaptarlas a las condiciones de trabajo actuales del proceso.
2. Se hizo necesario separar la categoría de mantenimiento de molde en dos categorías: mantenimiento preventivo de molde y mantenimiento correctivo de molde, con el fin de clarificar la información registrada para distinguir entre las reparaciones de molde (acciones correctivas) y las acciones de mantenimiento preventivo.
3. Se adecuaron las definiciones teóricas de los factores del OEE para aplicarlas a la información disponible del proceso de moldeo por inyección, de forma que permitieran determinar los valores de disponibilidad, calidad y velocidad de cada equipo y del proceso
4. Se diseñó el cálculo del OEE de forma que se pudiera determinar individualmente para cada equipo involucrado y luego en forma general para evaluar la eficiencia del proceso, con el fin de poder conocer la capacidad oculta de los equipos y poder identificar los equipos con mayores pérdidas del proceso.
5. Se logró actualizar la hoja de control de producción de moldeo por inyección convencional, para adaptar las categorías de tiempos muertos registradas e incluir el cálculo de evaluación de la eficiencia del proceso por medio de OEE, sin aumentar la cantidad de información a recopilar en la hoja de control de producción.
6. Se encontró que la especificación que trataba los tiempos muertos del proceso de moldeo tenía nebulosas respecto a la definición de los tiempos muertos y las posibles causas de las categorías de tiempos muertos del proceso, de forma que la documentación de los tiempos muertos en la planta de moldeo se estaba haciendo con base en la experiencia y conocimiento del proceso, no con una base homogénea para todos los trabajadores y todos los turnos.

7. Se encontró que los trabajadores del departamento de moldeo no han recibido ninguna capacitación o entrenamiento para identificar y documentar correctamente tiempos muertos del proceso de moldeo, a pesar de que la especificación establece que están facultados para documentarlos.
8. Se encontró que el mantenimiento de molde es el tiempo muerto que se presenta con mayor frecuencia en todos los turnos y consume cerca del 40% de todos los tiempos muertos que se presentan en moldeo convencional.
9. Se recomienda repetir el estudio de tiempos muertos del proceso de molde una vez que se haya completado la implementación de la propuesta hecha en este proyecto, con el fin de comprobar si se mantienen las tendencias de consumo de tiempo del proceso en actividades no productivas (tiempos muertos) para todos los turnos.

## **B. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda mantener un estricto control de los resultados de eficiencia OEE para que cada vez que la eficiencia individual de los equipos o la eficiencia general del proceso alcance el 100%, se sometan a revisión los valores estándar de calidad, disponibilidad y velocidad de cada equipo, con el fin de actualizarlos para aumentar el nivel exigencia del proceso, de acuerdo con la mejora continua.
2. Se recomienda establecer un sistema de control de eficiencia OEE de los equipos, para darle seguimiento a la eficiencia de cada inyectora, con el fin de poder identificar los cuellos de botella del proceso, que deben ser sometidos a revisión.
3. Se recomienda asignar una persona o grupo de personas encargados de coordinar la revisión de los equipos-cuello de botella del proceso, según los resultados del OEE de cada equipo, con el fin de aplicar

eficientemente la mejora continua individualmente a los equipos involucrados.

4. Se recomienda que la revisión de los estándares de calidad, disponibilidad y velocidad de cada equipo se repita cuando se hagan cambios en el proceso, como la introducción de nueva maquinaria a la celda de manufactura o automatización de algún proceso, para mantener adaptados los estándares a las condiciones actuales del proceso.
5. Se recomienda coordinar que los asistentes de moldeo le comuniquen al supervisor del taller de moldes cuando reciben una orden de requisición de molde de parte del departamento de planeamiento para disminuir los tiempos muertos de mantenimiento preventivo de molde mientras se espera a que el molde esté preparado.
6. Se recomienda que los supervisores de la noche coordinen con sus técnicos cuando hay que bajar un molde, porque tiene programado recibir mantenimiento preventivo para que al finalizar el turno, los moldes estén desmontados y listos para entrar al taller de moldes.
7. Se recomienda que se agilice el proceso de implementación de cambios en la hoja de control de producción sobre OEE y tiempos muertos, para que entre en funcionamiento la nueva hoja al retomar funciones la planta de Hospira en el mes de enero.
8. Se recomienda incluir en la especificación la definición de las categorías actualizadas de tiempo muerto y las actividades que comprenden cada una, con el fin uniformar criterios para registrar los tiempos muertos del proceso de moldeo.
9. Se recomienda incluir la especificación actualizada en el protocolo de todos los miembros del personal de moldeo para eliminar la subjetividad a la hora de documentar los tiempos muertos y obtener información verdadera del proceso, que pueda usarse para su estudio.
10. Se recomienda que una vez que se haya implementado la hoja de control de producción actualizada en el proceso de moldeo convencional se sometan a un estudio similar los procesos de los procesos de moldeo por

inyección líquida y por inserción por extrusión, para incluir el OEE por equipo y del proceso como índice de evaluación de la eficiencia y actualizar los tiempos muertos a las condiciones de trabajo.

11. Se recomienda que se considere implementar otros índices OEE como: Efectividad de Operaciones, Rendimiento de Utilización, Utilización Neta y Capacidad de Utilización, una vez que se cuando se haya conformado el equipo de trabajo que va a recopilar controlar los resultados que arroje el OEE de moldeo y el proceso control se haya estabilizado.

## **VII. BIBLIOGRAFIA**

- Heizer, J. & Render, B. (2001). *Dirección de la Producción: Decisiones Técnicas* (6ª ed., pp 181-197). New York: Editorial Pearson Education.
- Rodríguez, F. et all. *Principles of Polymer Systems [Principios de Sistemas Poliméricos]* (5ª ed., pp 511-568). Chicago: Editorial Taylor & Francis.
- Anguita, R. (1985). *Moldeo por Inyección: Parte 1er Equipos y Teoría* (pp 145 - 175). México: Editorial Blume.
- Smith, W. (2003). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (3ª ed., pp 328-347). México: Editorial Mac GrawHill.
- Sanchez, S., Yáñez, I. & Rodríguez, O. (2001). *Moldeo por inyección de Termoplásticos* (pp 191-207). México: Editorial LIMUSA S.A.
- Johnson, R., William, O. (198. *Production and quality [Producción y Calidad]*. (pp 2.) Milwaukee, WI: American Society for Quality.
- Juran, J.M. *Manual de Control de Calidad*. I volumen. España: MacGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA S.A., 1993.
- Juran, J.M. *Manual de Control de Calidad*. I volumen. España: MacGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA S.A., 1993.
- Hanson, R. *Overall Equipment Effectiveness*. 1st edition. New York: Industrial Press USA. 2001
- Gutiérrez, G. *Justo a Tiempo y Calidad Total: Principios y Aplicaciones*. Quinta Edición. México: Ediciones Castillo S.A., 2000.
- Koch, Arno. *OEE Industry Standard*. USA: 2003

## **VIII. APENDICES**

## APENDICE 1

### Tablas

Tabla 5. Tiempos muertos presentados en los productos A al I durante todos los turnos en el periodo de febrero a julio del 2006<sup>3</sup>

Producto	Purga y Limpieza	Ajuste del proceso	Validación	Mantenimiento Preventivo	Facilidades (Reparación)	Limpieza de línea	Fallos de Máquina	Montaje/Desmontaje del Molde	Mantenimiento del Molde	Material Húmedo	Calibración	Test de Ingeniería	Secado de resina	Aprobación de MQ de la Limpieza de línea
A	43.52	16.25	0	27	69.25	78.6	54.3	45.6	171.8	2	6	37.5	16.8	0
B	94.56	24.74	34	13.57	7.4	45.8	28.5	31.8	73.8	1.5	1	85.5	13.3	0
C	70.42	9	0	16.54	22.25	64.8	24.8	18.8	108.8	0	0	14	0	0
D	11.73	17.2	0	5.33	4.5	44.8	13	12.3	48.75	1	8.75	0	2	0
E	11.73	17.2	0	5.33	4.5	44.8	13	12.3	48.75	1	8.75	0	2	0
F	7.8	22.17	0	1.5	37.83	27.3	37	13.8	73.5	0	0	0	0	0
G	4.89	0.5	0	3.5	3.5	0.5	9.5	9.25	3	0.75	0	0	2	0
H	3.9	10.5	0	0	4.5	16.1	0.5	3.5	9.75	0	0	0	0	0
I	0.42	0	0	0	0	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0

<sup>3</sup> La información que se presenta en esta tabla fue extraída de las Hojas de Control de Producción de Moldeo Convencional de la empresa Hospira del periodo de febrero a julio del 2006 de cada turno.

APENDICE 2

Tabla 6 Tiempos muertos presentados en los productos A, B, C durante cada turno en el periodo de febrero a julio del 2006 <sup>4</sup>

Producto	Turno	Purga y Limpieza	Ajuste del proceso	Validación	Mantenimiento Preventivo	Facilidades (Reparación)	Limpieza de línea	Fallos de Máquina	Montaje/Desmontaje del Molde	Mantenimiento del Molde	Material Húmedo	Calibración	Test de Ingeniería	Secado de resina	Limpieza de línea	Aprobación de MQ de la Limpieza de línea
A	IV	7.17	1.5	0	0	5	48	0	0	29	0	3	28	1	0	0
	V	9.144	4.25	0	7.75	55.75	3.7	13.5	8.5	43.3	2	0	4	8	0	0
	VI	18.61	6.5	0	7.25	5.5	1.8	25.3	37.08	60.8	0	3	6	1.25	0	0
	VII	8.6	4	0	12	3	25	15.5	0	38.8	0	0	0	6.5	0	0
B	IV	17.22	3.5	12	1	1.5	30	0.5	1	0	1.5	0	12	6	0	0
	V	31.84	4.5	0	4.65	1.9	2.1	2	7.15	17.1	0	1	0	2.25	0	0
	VI	31.37	5.16	22	7.92	2	0.4	18.8	20.15	44.8	0	0	58	4.5	0	0
	VII	14.13	11.6	0	0	2	14	7.25	3.5	12			16	0.5	0	0
C	IV	8.95	2.5	0	5	0	27	2	2.5	22.5	0	0	2	0	0	0
	V	13.21	0.5	0	4.8	20.75	1	1.5	3.5	13.4	0	0	12	0	0	0
	VI	19.89	4	0	6.74	0	0.3	15	7.75	23.7	0	0	0	0	0	0
	VII	28.37	2	0	0	1.5	37	6.25	5	49.3	0	0	0	0	0	0

<sup>4</sup> La información que se presenta en esta tabla fue extraída de las Hojas de Control de Producción de Moldeo Convencional de la empresa Hospira del periodo de febrero a julio del 2006 de cada turno.

## ***IX.*** ANEXOS