



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO GENERAL  
PARA MOLDES EN EL DEPARTAMENTO DE INYECCIÓN EN LA  
EMPRESA INDUPLASTIC S. A.**

**Rodolfo Calderón Calderón**

Asesorado por el Ing. José Rolando Chávez Salazar

Guatemala, octubre de 2006



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO GENERAL PARA  
MOLDES EN EL DEPARTAMENTO DE INYECCIÓN EN LA EMPRESA  
INDUPLASTIC S. A.**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**RODOLFO CALDERÓN CALDERÓN**

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ROLANDO CHÁVEZ SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>VOCAL I</b>	Inga. Glenda Patricia García Soria
<b>VOCAL II</b>	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
<b>VOCAL III</b>	Ing. Julio David Galicia Celada
<b>VOCAL IV</b>	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
<b>VOCAL V</b>	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Víctor Hugo García Roque
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Carlos Alex Olivares Ortiz
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Harry Milton Oxom Paredes
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO GENERAL PARA  
MOLDES EN EL DEPARTAMENTO DE INYECCIÓN EN LA EMPRESA  
INDUPLASTIC S. A.,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Industrial, con fecha agosto de 2006.

Rodolfo Calderón Calderón



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios:** Por ser siempre la luz que iluminó mi camino.

**Mis padres:** Rodolfo Calderón Barrios y Patricia de Calderón, por ser los pilares de mi vida y por el apoyo total que me brindaron a través de toda mi carrera universitaria.

**Mi hermano**

**Rodrigo:** Por su apoyo y compañía.

**Mi familia**

**en general:** Porque siempre estuvieron pendientes de mi desempeño y me apoyaron.

**Mi abuelo**

**Miguel Ángel (+):** Por ser mi segundo padre y guiarme siempre por el buen camino

**A mis amigos:** Por atravesar conmigo los altibajos de la carrera y ayudarme a enfrentarlos.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La empresa Induplastic S. A.:** Por la colaboración brindada a mi persona en la elaboración del presente trabajo de graduación.

**Ing. Rolando Chávez:** Por el tiempo invertido en el asesoramiento del presente trabajo de graduación.

**Mis catedráticos:** Por su falta de egoísmo, en los momentos en los que compartieron su conocimiento con mi persona.



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>V</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IX</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XIII</b>
<b>1 ASPECTOS TEÓRICOS Y ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes del mantenimiento .....	1
1.1.1 Tipos de Mantenimiento .....	2
1.1.1.1 Mantenimiento Preventivo .....	3
1.1.1.2 Mantenimiento Correctivo .....	4
1.1.1.2.1 Planificado .....	5
1.1.1.2.2 No planificado .....	5
1.1.1.3 Mantenimiento Predictivo .....	7
1.2 Definición de conceptos relativos al manejo de moldes .....	8
1.2.1 Definición de molde de inyección .....	10
1.2.2 Función de los moldes .....	12
1.2.3 Partes de un molde de inyección .....	12
1.2.4 Accionar de un molde de inyección .....	15
1.2.5 Tipos de molde, según expulsor .....	16
1.2.5.1 Moldes sin expulsor .....	16
1.2.5.2 Moldes con expulsor mecánico .....	17
1.2.5.3 Moldes con expulsor hidráulico .....	17
1.2.5.4 Moldes con expulsor de aire .....	18
1.2.5.5 Moldes con expulsor hidroneumático .....	18
1.2.6 Montaje y desmontaje de moldes .....	18

1.2.7	Frecuencia del uso de un molde de inyección	19
1.3	Características especiales de algunos moldes	19
1.3.1	Sistema de enfriamiento	20
1.3.2	Resistencias eléctricas de un molde	21
1.4	Eficiencia	21
1.4.1	Definición de eficiencia	21
1.4.2	Tiempos de jornada efectiva	22
1.4.3	Tiempos muertos	23
<b>2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA EMPRESA</b>	<b>25</b>
2.1	Descripción de una empresa de inyección plástica	25
2.1.1	Descripción general de la empresa	25
2.1.2	Organigrama	26
2.1.3	Actividades realizadas dentro de la empresa	26
2.1.3.1	Procesos	27
2.1.3.1.1	Administrativos	27
2.1.3.1.2	De producción	27
2.1.3.2	Materias primas	28
2.1.3.3	Maquinaria	31
2.1.3.4	Personal	32
2.2	Descripción de controles de mantenimiento aplicados en la empresa	33
2.2.1	Mantenimiento preventivo	33
2.2.2	Mantenimiento correctivo	34
2.3	Descripción del proceso de cambio de moldes	35
2.3.1	Diagrama de flujo	35
2.3.2	Personal que efectúa el cambio de moldes	45
2.4	Situaciones más frecuentes en el cambio de moldes	45
2.5	Análisis de tiempos	46
2.5.1	Tiempos Efectivos	46
2.5.2	Tiempos muertos	47

<b>3</b>	<b>PROGRAMA PROPUESTO</b>	<b>49</b>
3.1	Mantenimiento preventivo a realizar	49
3.1.1	Durante el montaje del molde	49
3.1.2	Durante el desmontaje del molde	53
3.1.3	Durante el tiempo que el molde permanece inactivo	55
3.2	Mantenimiento correctivo a realizar	57
3.2.1	Durante el desmontaje del molde	57
3.2.2	Durante el tiempo que el molde permanece inactivo	58
3.3	Hoja de vida de los moldes	58
<b>4</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA</b>	<b>61</b>
4.1	Proceso de implementación	61
4.2	Recursos a utilizar	61
4.2.1	Recurso Humano	61
4.2.1.1	Capacitación del recurso humano	62
4.2.1.2	Personal a utilizar	62
4.2.2	Recurso material	63
4.3	Análisis de tiempos con el método propuesto	64
4.3.1	Análisis de los nuevos tiempos	64
<b>5</b>	<b>SEGUIMIENTO DEL NUEVO PROGRAMA</b>	<b>71</b>
5.1	Manejo de la información	71
5.1.1	Seguimiento de la hoja de vida	71
5.2	Análisis de los paros en máquina	71
5.2.1	Tiempos muertos	72
5.3	Disponibilidad de recursos	72
5.3.1	Recurso humano	72
5.3.2	Recurso Material	72
5.4	Eficiencia del proceso	73

<b>CONCLUSIONES</b>	.....	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	.....	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	.....	<b>79</b>
<b>APÉNDICE</b>	.....	<b>81</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Generaciones del mantenimiento .....	2
2	Partes de una máquina inyectora .....	9
3	Molde de inyección plástica .....	11
4	Partes de un molde .....	14
5	Organigrama empresa Induplastic S. A. ....	26
6	Diagrama de flujo del montaje de un molde, 1ª Parte .....	37
7	Diagrama de flujo del montaje de un molde, 2ª Parte .....	38
8	Diagrama de flujo del montaje de un molde, 3ª Parte .....	39
9	Diagrama de flujo del montaje de un molde, 4ª Parte .....	40
10	Diagrama de flujo del desmontaje de un molde, 1ª Parte .....	42
11	Diagrama de flujo del desmontaje de un molde, 2ª Parte .....	43
12	Diagrama de flujo del desmontaje de un molde, 3ª Parte .....	44
13	Hoja de vida: Información general del molde .....	59
14	Hoja de vida: Información del molde en operación .....	59
15	Hoja de vida: Información del mantenimiento preventivo del molde .....	60
16	Hoja de vida: Información del mantenimiento correctivo del molde .....	60

17	Diagrama de flujo propuesto del montaje de un molde, 1ª Parte	65
18	Diagrama de flujo propuesto del montaje de un molde, 2ª Parte	66
19	Diagrama de flujo propuesto del montaje de un molde, 3ª Parte	67
20	Diagrama de flujo propuesto del desmontaje de un molde, 1ª Parte	68
21	Diagrama de flujo propuesto del desmontaje de un molde, 2ª Parte	69
22	Diagrama de flujo propuesto del desmontaje de un molde, 3ª Parte	70
23	Hoja de vida de moldes	82

## **TABLAS**

I	Ventajas del mantenimiento preventivo	4
II	Resumen mantenimiento preventivo de moldes	34
III	Eficiencias en planta	46
IV	Porcentajes de tiempos muertos	47
V	Rutinas de mantenimiento preventivo en el montaje de moldes	52
VI	Rutinas de mantenimiento preventivo en el desmontaje de moldes	55
VII	Rutinas de mantenimiento preventivo cuando el molde permanece inactivo	57
VIII	Comparación del método actual y el método propuesto	73

## GLOSARIO

<b>Briedas</b>	Tipos de muelas que sirven para sujetar los moldes de inyección a las platinas de las máquinas inyectoras.
<b>Expulsor</b>	Es el mecanismo de los moldes de inyección, mediante el cual la pieza dentro del molde es desprendida o botada.
<b>Inyección</b>	Es el procesamiento de plásticos, mediante el cual el material plastificado es inyectado dentro de un molde hueco para así formar piezas.
<b>Moldes de inyección</b>	Son piezas intercambiables utilizadas en una máquina de inyección, dentro de las cuales es donde se plastifica el material y así dar forma a las piezas a producir.
<b>MTTF</b>	Es aquel tiempo medio medido entre fallas consecutivas en algún artefacto.

**Termoset**

Es un proceso en el cual un material sufrirá o ha sufrido una reacción química a través de la aplicación de calor y presión, catálisis, o la luz ultravioleta, etc., que lleva a un estado relativamente infusible. Típico de los plásticos en la familia de los termoset son los aminos (melanina y urea), la mayoría de los poliésteres, epóxicos, y fenolitos.

## **RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo de graduación, es la propuesta de un programa de mantenimiento general para el montaje y desmontaje de moldes, en el departamento de inyección de la empresa Induplastic S. A. Su importancia radica en la necesidad de mantener los moldes en buen estado, para que la calidad del producto final, y que sea satisfactoria para el cliente.

El trabajo se realizó mediante visitas a la empresa, para la evaluación de la situación actual de ésta, así como para la toma de datos necesarios para el presente trabajo de graduación. El trabajo consta de cinco capítulos.

Dentro del primer capítulo se incluye todo el material teórico referente a las clasificaciones de mantenimientos existentes, así como también la información relacionada a los moldes; su montaje y desmontaje, su funcionamiento, los tipos de moldes según ciertas características de éstos, y algunos aspectos relacionados con definiciones de eficiencia y productividad.

En el segundo capítulo se incluyó toda la información concerniente a la empresa Induplastic S. A., una breve historia, su organigrama, sus procesos administrativos y de producción, el personal, sus distintos departamentos y sus actividades, la maquinaria utilizada, las materias primas empleadas en la inyección plástica. Además se incluyó también un estudio de tiempos muertos causados por problemas en el montaje y desmontaje de los moldes de inyección, y las políticas de mantenimiento actuales en lo referente a los moldes de inyección. Y finalmente, se detalla un diagrama de flujo del montaje y desmontaje de un molde para su estudio y análisis.

El tercer capítulo trata sobre la propuesta en sí del programa de mantenimiento general para el montaje y desmontaje de moldes. Se dividió en tres partes. La primera referente al mantenimiento preventivo, el cual está dividido en rutinas de mantenimiento durante el montaje, el desmontaje y el tiempo en el cual el molde permanece inactivo. La segunda se refiere al mantenimiento correctivo, el cual se plantea para situaciones durante el desmontaje y durante el tiempo que el molde permanece inactivo. La última parte de éste capítulo trata acerca de la elaboración de una hoja de vida para cada molde de inyección, en la cual se incluirá la información del molde, información del molde en operación, así como un registro del mantenimiento preventivo y correctivo brindado a los moldes.

En el cuarto capítulo se tocan los temas referentes a su implementación en la empresa. Desde la capacitación del personal que estará a cargo, hasta el manejo de los repuestos y herramientas a utilizarse.

En el último capítulo se dan los lineamientos para mejorar el programa y darle un correcto seguimiento a la hoja de vida de los moldes de inyección.

# OBJETIVOS

## General

Elaborar un programa de mantenimiento general para los moldes de inyección plástica para una empresa de plásticos.

## Específicos

1. Conocer el proceso de inyección de plásticos y los factores que intervienen en el.
2. Determinar los factores que influyen en la calidad del producto terminado relacionados con el cambio de moldes.
3. Determinar los atrasos más frecuentes en el proceso de cambio de moldes en una máquina de inyección.
4. Determinar las condiciones en las que se encuentran actualmente los moldes de inyección.
5. Establecer una estandarización de tiempos de cambio de molde.
6. Mejorar la calidad del producto, mediante la implementación de un programa preventivo para el manejo, montaje y desmontaje de los moldes de inyección.
7. Definir el ahorro de tiempos en los cambios de moldes.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad tener un buen programa de mantenimiento dentro de la industria de los plásticos, como en cualquier otro tipo de industria, puede considerarse una ventaja competitiva debido a que constituye una gran reducción de costos y tiempos de producción dentro de las empresas.

En la industria de la inyección plástica, los moldes constituyen una parte fundamental en la calidad final del producto terminado, debido a que de su estado dependen en gran parte, los atributos que poseerá el artículo. Si el molde se encuentra con daño, es posible que el producto terminado posea defectos de fabricación, lo que repercute en la calidad del producto, y en los costos de producción debido a que el desperdicio de material aumenta. Además los moldes dañados aumentan el tiempo de montaje y desmontaje de éstos en las máquinas de inyección.

El presente trabajo de graduación consistirá en la elaboración de un programa de mantenimiento para el manejo de moldes en general, dentro del departamento de inyección plástica, dentro de la empresa "Induplastic S. A." Dentro de este programa se analizarán los problemas y las fallas más frecuentes que se presentan en los moldes, y, buscarles una solución factible, que a la larga mejore la calidad final del producto. Actualmente, algunos moldes que son utilizados con frecuencia, presentan daños, los cuales repercuten en la calidad del producto.

El trabajo se realizará mediante un estudio de campo dentro de la empresa, para tomar datos relacionados con el manejo, montaje y desmontaje de los moldes, así como un análisis de las actuales políticas de mantenimiento que rigen a éstos.

# 1. ASPECTOS TEÓRICOS Y ANTECEDENTES

## 1.1. Antecedentes de mantenimiento

En mantenimiento, se agrupan una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones, etc.

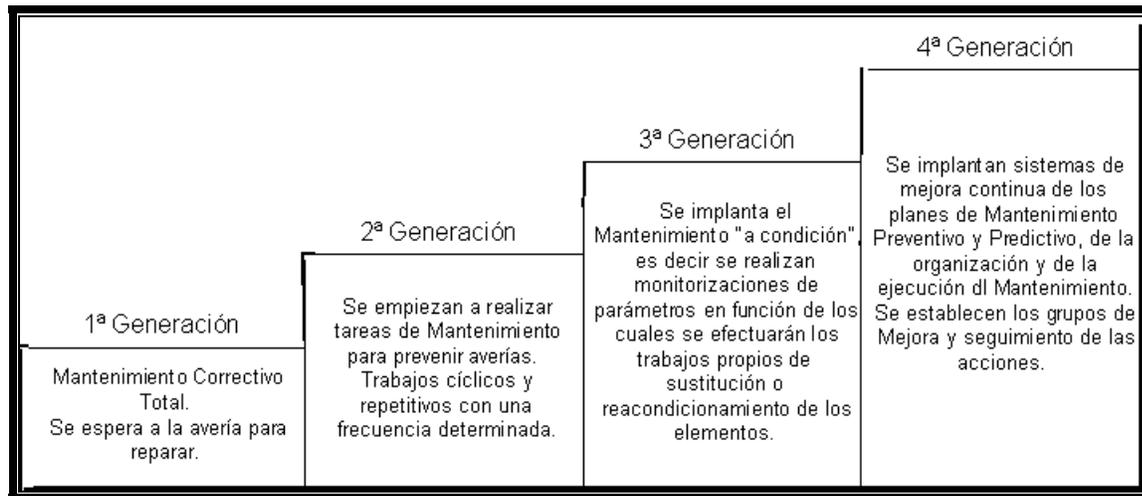
También podemos definir mantenimiento como, conjunto de técnicas que tienen por objeto conseguir una utilización óptima de los activos productivos, manteniéndolos en el estado que requiere una producción eficiente con unos gastos mínimos.

La confiabilidad de un sistema complejo, compuesto por una serie de piezas, puede llegar a ser muy mala a pesar de una no muy mala confiabilidad individual.

Esto es tanto más cierto cuanto mayor sea la variabilidad del desempeño de cada uno de los componentes del sistema y su grado de dependencia o independencia. Es particularmente cierto cuando es la mano de obra uno de los componentes. En efecto, si no llevamos a cabo una actividad de mejora y de control será muy difícil obtener confiabilidades resultantes elevadas. También es cierto que es a través de esta actividad de mejora donde se puede lograr la diferencia entre un buen y un mal servicio como producto.

A través de la historia, el mantenimiento ha cobrado más importancia en su aplicación a los sistemas productivos, la evolución del mantenimiento se estructura en las cuatro siguientes generaciones:

**Figura 1. Generaciones del mantenimiento**



### 1.1.1. Tipos de mantenimiento

Las actividades de mantenimiento pueden ser realizadas según diferentes sistemas, y que se aplican según las características de los bienes y según diversos criterios de gestión.

Las actividades de mantenimiento pueden agruparse en cuatro clases:

- a) Mantenimiento directo. Se aplica al equipo productivo.
- b) Mantenimiento indirecto. Comprende las actividades de modificación o modernización del equipo, instalaciones, edificios, etc., tendentes a evitar o reducir fallas, mejorar las condiciones de operación o alargar su vida.
- c) Mantenimiento general. Abarca todo el trabajo de mantenimiento rutinario que se aplica a las instalaciones, edificios y estructuras (no al equipo de producción).

- d) Mantenimiento de aseo. Incluye los trabajos rutinarios necesarios para conservar el equipo o el inmueble en razonables condiciones de higiene y apariencia.

Para que los trabajos de mantenimiento sean eficientes son necesarios: el control, la planeación del trabajo y la distribución correcta de la fuerza humana, logrando así que se reduzcan costos, tiempo de paro de los equipos de trabajo, etc.

Para ejecutar lo anterior se hace una división de tres grandes tipos de mantenimiento:

- a) Mantenimiento correctivo: se efectúa cuando las fallas han ocurrido; su proximidad es evidente.
- b) Mantenimiento preventivo: se efectúa para prever las fallas con base en parámetros de diseño y condiciones de trabajo supuestas.
- c) Mantenimiento predictivo: prevé las fallas con base en observaciones que indican tendencias.

Muchas personas consideran a los dos últimos como uno, ya que la línea que los separa es muy sutil.

#### **1.1.1.1. Mantenimiento Preventivo**

Cubre todo el mantenimiento programado que se realiza con el fin de anticiparse a la aparición de las fallas y prevenir la ocurrencia de éstas. Se conoce como Mantenimiento Preventivo Directo o Periódico por cuanto sus actividades están controladas por el tiempo. Se basa en la Confiabilidad de los Equipos (MTTF) sin considerar las peculiaridades de una instalación dada. Ejemplos: limpieza, lubricación, recambios programados.

La necesidad de trabajo o servicio en forma ininterrumpida y confiable obliga a ejercer una atención constante sobre el grupo de mantenimiento.

Una buena organización de mantenimiento que aplica el sistema preventivo, con la experiencia que gana, cataloga la causa de algunas fallas típicas y llega a conocer los puntos débiles de instalaciones y máquinas.

**Tabla I. Ventajas del Mantenimiento Preventivo**

ASPECTO	VENTAJA
Seguridad	Las obras e instalaciones sujetas a mantenimiento preventivo operan en mejores condiciones de seguridad.
Vida útil	Una instalación tiene una vida útil mucho mayor que la que tendría con un sistema de mantenimiento correctivo.
Coste de reparaciones	Es posible reducir el costo de reparaciones si se utiliza el mantenimiento preventivo.
Inventarios	También es posible reducir el costo de los inventarios empleando el sistema de mantenimiento preventivo.
Carga de trabajo	La carga de trabajo para el personal de mantenimiento preventivo es más uniforme que en un sistema de mantenimiento correctivo.
Aplicabilidad	Mientras más complejas sean las instalaciones y más confiabilidad se requiera, mayor será la necesidad del mantenimiento preventivo.

Evidentemente, ningún sistema puede anticiparse a las fallas que no nos avisan por algún medio.

### **1.1.1.2. Mantenimiento Correctivo**

Su principal característica es la corrección de las fallas a medida que éstas se presentan. Este tipo de mantenimiento es aplicado en ocasiones en las cuales es muy difícil determinar cuando alguna máquina, herramienta o proceso va a fallar. Según su ocurrencia puede clasificarse en:

- a.) Planificado
- b.) No planificado

#### **1.1.1.2.1. Planificado**

Se sabe con anticipación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.

Al igual que el no planificado, corrige la falla y actúa ante un hecho cierto. La diferencia con el de emergencia, es que no existe el grado de apremio del anterior, sino que los trabajos pueden ser programados para ser realizados en un futuro normalmente próximo, sin interferir con las tareas de producción. En general, programamos la detención del equipo, pero antes de hacerlo, vamos acumulando tareas a realizar sobre el mismo y programamos su ejecución en dicha oportunidad, aprovechando para ejecutar toda tarea que no podríamos hacer con el equipo en funcionamiento.

Lógicamente, aprovecharemos para las paradas, horas en contra turno, períodos de baja demanda, fines de semana, períodos de vacaciones, etc.

#### **1.1.1.2.2. No planificado**

El correctivo no planificado, o de emergencia, deberá actuar lo más rápidamente posible con el objetivo de evitar costos y daños materiales y/o humanos mayores.

Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.).

Un ejemplo podría ser, la detección de la fuga de gas compromete a la Gerencia a tomar la decisión de reparar la pérdida de gas, actuando ante una emergencia (generalmente la detección de un gas combustible, implica la existencia de una concentración peligrosa en el aire ambiente, la cual es explosiva).

Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir las fallas y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad.

También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad. Tiene como inconvenientes, que la falla puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia.

Otro inconveniente de este sistema, es que debería disponerse inmovilizado un capital importante invertido en piezas de repuesto visto que la adquisición de muchos elementos que pueden fallar, suele requerir una gestión de compra y entrega no compatible en tiempo con la necesidad de contar con el bien en operación (por ejemplo: caso de equipos discontinuados de fabricación, partes importadas, desaparición del fabricante).

Por último, con referencia al personal que ejecuta el servicio, no quedan dudas que debe ser altamente calificado y sobredimensionado en cantidad pues las fallas deben ser corregidas de inmediato. Generalmente se agrupa al personal en forma de cuadrillas.

### **1.1.1.3. Mantenimiento predictivo**

Este mantenimiento consiste en el seguimiento del desgaste de una o más piezas o componente de equipos prioritarios a través de análisis de síntomas, o estimación hecha por evaluación estadística, tratando de extrapolar el comportamiento de esas piezas o componentes y determinar el punto exacto de cambio.

El mantenimiento predictivo basado en la confiabilidad o la forma sistemática de como preservar el rendimiento requerido basándose en las características físicas, la forma como se utiliza, especialmente de como puede fallar y evaluando sus consecuencias para así aplicar las tareas adecuadas de mantenimiento (preventivas o correctivas).

Detectar las fallas antes de que se desarrollen en una rotura u otras interferencias en producción. Está basado en inspecciones, medidas y control del nivel de condición de los equipos.

También conocido como Mantenimiento Predictivo, Preventivo Indirecto o Mantenimiento por Condición -CBM (Condition Based Maintenance, por sus siglas en inglés). A diferencia del Mantenimiento Preventivo Directo, que asume que los equipos e instalaciones siguen cierta clase de comportamiento estadístico, el Mantenimiento Predictivo verifica muy de cerca la operación de cada máquina operando en su entorno real. Sus beneficios son difíciles de cuantificar ya que no se dispone de métodos tipo para el cálculo de los beneficios o del valor derivado de su aplicación.

Por ello, muchas empresas usan sistemas informales basados en los costos evitados, indicándose que por cada unidad de dinero gastado en su empleo, se economizan 10 unidades de dinero en costos de mantenimiento.

En realidad, el mantenimiento predictivo permite decidir cuándo hacer el preventivo.

En algunos casos, arrojan indicios evidentes de una futura falla, indicios que pueden advertirse simplemente. En otros casos, es posible advertir la tendencia a entrar en falla de un bien, mediante el monitoreo de condición, es decir, mediante la elección, medición y seguimiento, de algunos parámetros relevantes que representan el buen funcionamiento del bien en análisis.

Hay que aclarar que muchas veces, las fallas no están vinculadas con la edad del bien. En otras palabras, con este método, se trata de acompañar o seguir, la evolución de las futuras fallas.

Los aparatos e instrumentos que se utilizan son de naturaleza variada y pueden encontrarse incorporados en los equipos de control de procesos (automáticos), a través de equipos de captura de datos o mediante la operación manual de instrumental específico.

Actualmente, existen aparatos de medición sumamente precisos, que permiten analizar ruidos y vibraciones, aceites aislantes o espesores de chapa, mediante las aplicaciones de la electrónica en equipos de ultrasonidos, cromatografía líquida y gaseosa, y otros métodos.

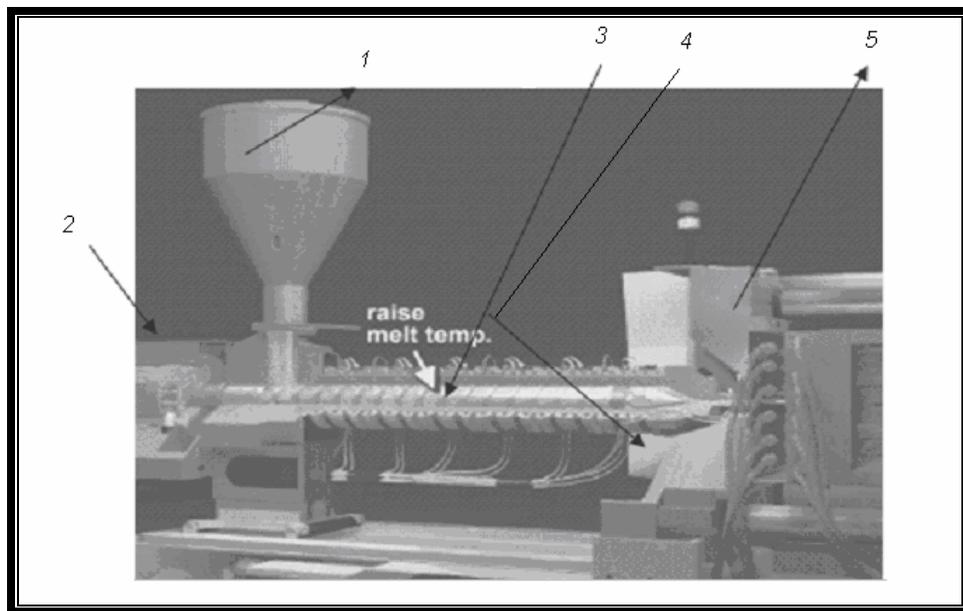
## **1.2. Definición de conceptos relacionados al manejo de moldes**

El fundamento del moldeo por inyección es inyectar un polímero fundido en un molde cerrado y frío, donde se solidifica para dar el producto. La pieza moldeada se recupera al abrir el molde para sacarla.

La inyección plástica es el principal método de la industria moderna en la producción de piezas plásticas, la producción se realiza en serie. El material plástico en forma de polvo o en forma granulada, se deposita para varias operaciones en una tolva, que alimenta una cilindro de caldeo, mediante la rotación de un husillo o tornillo sin fin, se transporta el plástico desde la salida de la tolva, hasta la tobera de inyección, por efecto de la fricción y del calor la resina se va fundiendo hasta llegar al estado líquido, el husillo también tiene aparte del movimiento de rotación un movimiento axial para darle a la masa líquida la presión necesaria para llenar el molde, actuando de ésta manera como un émbolo.

Una vez que el molde se ha llenado, el tornillo sin fin sigue presionando la masa líquida dentro del molde y éste es refrigerado por medio de aire o por agua a presión hasta que la pieza se solidifica. Las máquinas para este trabajo se denominan: inyectora de husillo impulsor o de tornillo sin fin, también se le denomina extrusora en forma genérica.

**Figura 2. Partes de una máquina inyectora**



En gráfico adjunto tenemos un corte transversal de una parte de un inyector de plástico en la que se observa:

- 1.- Tolva.
- 2.- Motor Hidráulico.
- 3.- Husillo sin fin.
- 4.- Sistema de calefacción del husillo.
- 5.- Molde

El molde es indispensable para el funcionamiento de las inyectoras, y estos pueden variar según los tipos de productos, materias primas, máquinas, etc.

### **1.2.1. Definición de molde de inyección**

En el molde de inyección es en donde se le da forma, a la pieza inyectada con la masa plastificada en la máquina inyectora. Este material de inyección se inyecta en el molde, a una presión alta y la mayoría de veces con una velocidad alta, seguidamente, el material se solidifica por la refrigeración del molde.

La masa tiene que solidificarse en el molde, de forma rápida y homogénea, para que se puedan producir el mayor número posible de piezas inyectadas, en una cierta unidad de tiempo.

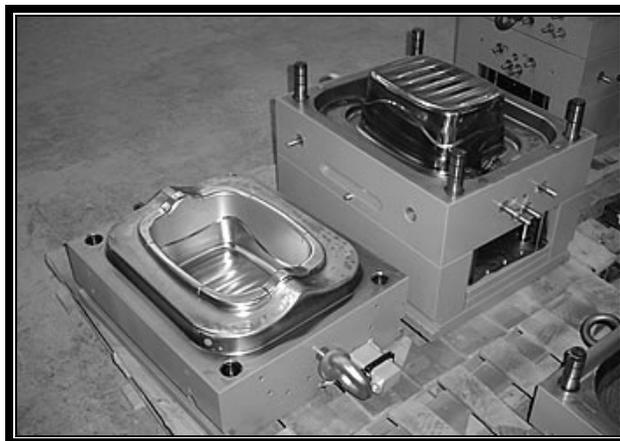
Los moldes para plásticos se construyen de diversas maneras, en función de la forma de la pieza que se quiere obtener, por lo general son moldes partidos, si la pieza es de revolución y simétrica, lo más común es que sea de macho (núcleo) y hembra (matriz), de lo contrario tendrá múltiples partes que se ensamblan para el cierre y llenado del molde y se abren para el desmolde de la pieza.

En la construcción de moldes para inyección de plásticos es necesario utilizar aceros especiales por las condiciones de trabajo, debido a las cargas severas a que son sometidos y porque se requiere alta precisión en los acabados. A esto hay que añadir que las tolerancias manejadas son muy finas. Los aceros, utilizados en moldes para inyección deben cumplir con las siguientes características:

- a.) Condiciones aceptables para su elaboración como son maquinabilidad, poder ser troquelado en frío, poder ser templado.
- b.) Resistencia a la compresión
- c.) Resistencia a la temperatura
- d.) Resistencia a la abrasión
- e.) Aptitud para el pulido
- f.) Tener deformación reducida
- g.) Buena conductividad térmica
- h.) Buena resistencia Química
- i.) Tratamiento térmico sencillo.

Dentro de los aceros para moldes podemos encontrar a los aceros de cementación, de nitruración, templados, bonificados para el empleo en el estado de suministro o resistentes a la corrosión, entre otros.

**Figura 3. Molde de inyección plástica**



### **1.2.2. Función de los moldes**

Las funciones básicas de los moldes consisten en:

- a.) Recibir la masa plástica.
- b.) Distribuir la.
- c.) Darle forma.
- d.) Enfriarla y pasarla al estado sólido.
- e.) Extracción de la pieza.

Las funciones mecánicas asignadas al molde son:

- a.) Acomodación de fuerzas
- b.) Transmisión de movimientos
- c.) Guía de deslizamientos de los componentes del molde

### **1.2.3. Partes de un molde de inyección**

Fundamentalmente un molde de inyección está formado por dos partes: el macho (núcleo) y la hembra (matriz). Cada una de estas partes está sujeta a una platina de la máquina de inyección, las cuales una es fija y la otra móvil. En la mayoría de los casos la hembra se encuentra sujeta a la platina fija y el macho a la platina móvil.

El material plastificado entra al molde a través del bebedero. Este bebedero se retiene con las placas de sujeción y moldeo, el bebedero posee un agujero ahusado que cuando está lleno de plástico se llama mazarota o colada.

El plástico se mueve del bebedero al canal distribuidor. Esto es una ranura cortada en uno o dos lados del molde y actúa como una tubería entre la cavidad. El plástico desciende por el canal distribuidor y penetra al inserto hembra o matriz por el canal de llenado.

La matriz es un pedazo de acero, usualmente de una calidad más alta que la de las placas, que se ha trabajado a máquina con exactitud a fin de proveer la superficie exterior o interior de la pieza más una tolerancia para encogimiento, la cavidad casi siempre posee una ranura cortada alrededor de su superficie exterior para circulación de agua de enfriamiento.

Esto proporcionará el enfriamiento que la inserción necesita para que el plástico líquido se convierta en sólido en el tiempo más corto posible.

Para hacer esta conexión de agua impermeable, el inserto se ha llenado de anillo del tipo "o-rings". Estos anillos actúan como sellos de manera que el agua no se escapará al resto del molde.

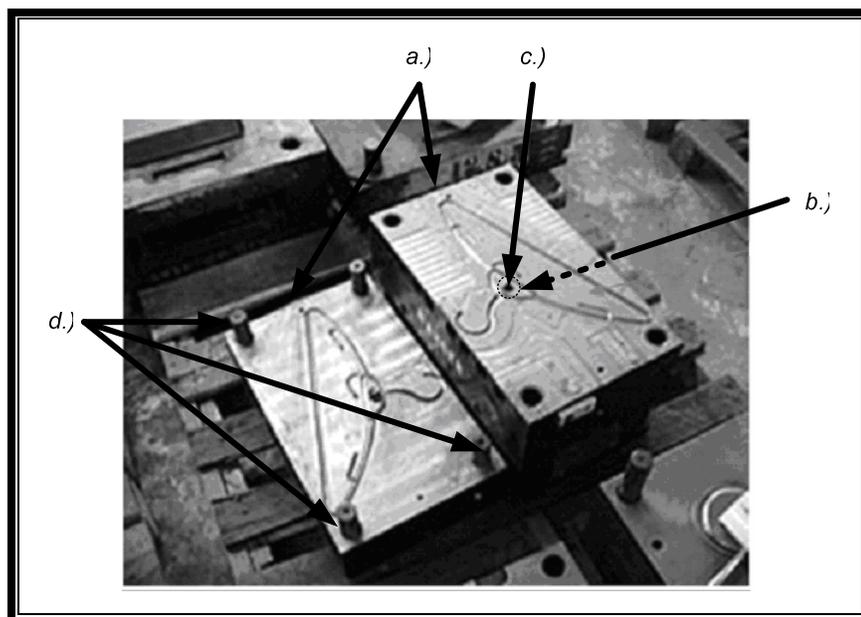
La superficie interior de la pieza se forma con el inserto macho o núcleo. Este es otro pedazo de acero de alta calidad trabajado a máquina al igual que la cavidad. El núcleo es enfriado desde adentro. Esto se hace taladrando un hueco en el centro y promoviendo la circulación continua del agua por medio de tabiques u otros medios.

La placa de moldeo también necesita enfriamiento y esto se hace taladrando una serie de huecos en el bloque y encajándolos con conexiones de agua, estos canales se llaman canales de enfriamiento. Estos proporcionarán enfriamiento al centro de la pieza, a la matriz y al molde de acero.

Luego de que se ha llenado el molde con plástico y este se ha solidificado, entra en funcionamiento el sistema expulsor (no siempre presente en todos los moldes), este sistema es el que desaloja el artículo y la colada de la unidad del molde, lado cierre; algunas veces tiene forma de anillo y otras veces forma de conveniencia, en la mayoría de los casos el sistema expulsor está formado sólo por un número de pines cilíndricos que reciben el nombre de pines expulsores, los cuales están sostenidos en el molde por medio de la placa expulsora, puesto que esta placa se mueve, necesita pines guidores para que se mueva de una forma recta y no se levante el movimiento delantero o el reverso.

Un hueco es taladrado en la placa de sujeción de la unidad del molde lado cierre y la varilla expulsora de la máquina de inyección, se coloca en su sitio o se interconecta el sistema hidráulico de expulsión de la máquina al molde.

**Figura 4. Partes de un molde**



En la figura 4, se pueden observar algunas partes de los moldes:

- a) Canales de enfriamiento (ocultos).
- b.) Aro de centrado (oculto).
- c.) Superficie a moldear (sercha).
- d.) Pines de unión.

El interior de los moldes es de cromo, mientras que el exterior es de acero.

#### **1.2.4. Accionar de un molde inyección**

Finalizado el movimiento de cierre o sea al estar el molde cerrado, mediante la boquilla situada junto a la cavidad del molde se establece una conexión entre éste y el cilindro de inyección, con lo que empieza el proceso de llenado, según el tipo de máquina, un husillo o un pistón impulsan a elevada presión la masa plastificada hacia la cavidad del molde, finalizando el proceso de llenado, se mantiene todavía durante un cierto tiempo, una presión residual la cual sirve para compensar la contracción en volumen mediante nueva aportación de material, con el inicio de llenado del molde empieza la fase de refrigeración, que termina cuando el material se ha solidificado para formar una pieza estable.

Tras el proceso de solidificación el molde se abre por el plano de separación, quedando generalmente la pieza y la colada adheridas a la mitad del molde (de la platina movable), al continuar el proceso de apertura, la parte posterior entra en contacto con un perno fijo de la máquina o con un cilindro hidráulico, iniciándose el proceso de desmoldeo en el cual, el mecanismo de expulsión desplaza la pieza y la colada del elemento posterior de moldeo, solo al accionarse nuevamente el cilindro hidráulico o al efectuarse el movimiento de cierre que produce la recuperación del mecanismo extractor por medio de los pines de retroceso o por medio de resortes se consigue la posición final del extractor y con ello la continuación del ciclo.

### **1.2.5. Tipos de molde, según expulsor**

Existen varios criterios para clasificar los moldes de inyección, una de éstas podría ser según el material a procesar:

- a.) Moldes para termoplásticos
- b.) Moldes para termoset
- c.) Moldes para elastómeros
- d.) Moldes para espumas estructurales

Sin embargo, a veces todos estos moldes poseen similitudes. Debido a esto es que se elaboran otras clasificaciones, ya sea por su estructura o por sus funciones.

Pero una de las más prácticas es según su tipo de expulsor:

- a.) Moldes si expulsor
- b.) Moldes con expulsor mecánico
- c.) Moldes con expulsor hidráulico
- d.) Moldes con expulsor de aire
- e.) Moldes con expulsor hidroneumático

#### **1.2.5.1. Moldes sin expulsor**

Este tipo de molde se caracteriza por carecer de expulsor o botador de la pieza. Se trata de moldes antiguos. El tiempo de ciclo de estos moldes tiende a ser largo, debido a que la máquina debe trabajar en un modo semiautomático, es decir que el operario tiene que intervenir en cada ciclo para retirar la pieza del molde, ya sea únicamente extrayendo la pieza manualmente, o en los casos en donde la pieza se encuentra muy incrustada en el molde; debe utilizar algún objeto, como una varilla, para extraer la pieza.

Los problemas con estas situaciones se pueden dar, ya sea que el operario sufra quemadura en sus manos al extraer la pieza, si es que no usa protección (guantes); o bien la pieza puede salir dañada debido al contacto con los objetos utilizados para su extracción.

### **1.2.5.2. Moldes con expulsor mecánico**

Este es uno de los tipos más comunes de molde, se utilizan en artículos como canastos, botes, cubetas, etc. El accionar de este expulsor consiste en expulsar la pieza por medio de placa expulsora del molde la cual es accionada por los pines expulsores del molde, los cuales a su vez son empujados por la máquina inyectora. Con este tipo de moldes la mayoría de las veces la máquina inyectora puede trabajar en un modo automático, es decir que el operario no tiene que interrumpir el ciclo para quitar la pieza fabricada. Aunque se da el caso que la pieza solo es desprendida del molde pero no expulsada, en este caso el operario tiene que intervenir, aunque el tiempo perdido es menor a si la situación se diera en un molde sin expulsor, debido a que la pieza no se encuentra tan incrustada en el molde.

### **1.2.5.3. Moldes con expulsor hidráulico**

Este tipo de expulsor se utiliza generalmente en moldes de tamaño considerables y que en la mayoría de las veces son asimétricos, por ejemplo sillas, mesas, patas de mesas, cajas, etc. Estos moldes poseen canales internos por los cuales circula aceite hidráulico que accionan las bombas expulsoras del molde, las que a su vez accionan las varillas expulsoras, las cuales son las que desprenden la pieza del molde. Otra de las características de estos moldes es que el dispositivo de expulsión generalmente se encuentra en la parte del molde que se encuentra sujeta a la platina fija de la máquina inyectora. Este tipo de moldes trabajan tanto en modo automático como en semiautomático, esto depende de la orientación de la expulsión de la pieza.

#### **1.2.5.4. Moldes con expulsor de aire**

Este tipo de expulsor es común en moldes que fabrican piezas pequeñas, como pines, tapitas de zapatos, tarugos de sillas, etc. El mecanismo de este tipo de expulsor consiste en utilizar aire bajo presión para botar la pieza del molde, esto se hace mediante la colocación de alguna manguera de aire en posición para paralela al cierre del molde. Generalmente estos moldes poseen un expulsor mecánico, el cual carece de la suficiente presión para hacer caer la pieza, siendo allí donde interviene el aire a presión para botar la pieza o piezas del molde. Debido a lo anterior es que se da en moldes de piezas pequeñas, porque en piezas grandes sería más difícil que el aire a presión pudiera botar la pieza. La finalidad de este tipo de combinación (mecánico-aire a presión), es que el ciclo del molde trabaje en modo exclusivamente automático.

#### **1.2.5.5. Moldes con expulsor hidroneumático**

Este tipo de expulsor tiene similitud con los expulsores mecánicos, con la diferencia que el mecanismo de expulsión es accionado por aire y no por el expulsor mecánico de la máquina inyectora, aunque el aire es suministrado por la misma máquina inyectora. Se da generalmente en piezas huecas tales como botes, cubetas, etc. La mayoría de las veces este tipo de molde trabaja en modo semiautomático, debido a que las piezas se encuentran muy ahondadas en el molde.

#### **1.2.6. Montaje y desmontaje de moldes**

Los moldes de inyección no se encuentran de manera fija en las máquinas de inyectoras, pueden ser montados y desmontados las veces que sean, únicamente hay que tomar en cuenta ciertas características de los moldes, tales como:

- a.) Tamaño del molde
- b.) Capacidad de apertura del molde
- c.) Presión necesaria para el funcionamiento del molde
- d.) Que la máquina proporcione la suficiente refrigeración del molde.

El tiempo de montaje y desmontaje de los moldes también dependen de las características anteriores, aunque la disminución de estos tiempos influye en mantener una buena eficiencia de planta.

### **1.2.7. Frecuencia del uso de un molde de inyección**

La frecuencia de uso de un molde va a variar desde unas horas, hasta días, meses, etc., esto va a depender de las corridas de producción o los sistemas de planificación de la producción que se utilicen. Existen moldes en los cuales debido a la demanda, son utilizados varias veces al año, mientras que hay otros que son utilizados solo ocasionalmente, o inclusive solo bajo pedidos especiales.

### **1.3. Características especiales de algunos moldes**

Hay moldes que necesitan de algunos complementos adicionales para trabajar en óptimas condiciones. Entre estos tenemos:

- a.) Modificaciones al sistema de enfriamiento.
- b.) Resistencias eléctricas.

### **1.3.1. Sistema de enfriamiento**

Como se mencionó con anterioridad los moldes necesitan mantenerse en una temperatura que permita a las piezas plastificarse de una manera rápida y consistente.

Esto se logra mediante los canales internos de los moldes. Cada diseño de molde necesita una cantidad específica de refrigeración.

El agente moderador que fluye por los canales de enfriamiento del molde, generalmente agua, tiene la misión de aportar o disipar calor, hasta que se obtiene la temperatura adecuada de la pared del mismo. Además del calor aportado por la masa, con la que se obtiene la pieza, el fluido moderador tiene que disipar también, la diferencia de calor entre la superficie exterior del molde y el ambiente, lo que viene a representar un intercambio de calor.

Con temperaturas elevadas del molde, la cantidad de calor disipada hacia el ambiente, puede ser superior a la aportada por la masa inyectada. En este caso, el fluido moderador tiene que aportar calor, a fin de garantizar en la pared del molde, la temperatura elevada que se requiere; entonces, no hay refrigeración del molde sino calefacción.

Es por esto que es más conveniente llamar a los canales de enfriamiento y al agente moderador, canales y agente de acondicionamiento de la temperatura.

### **1.3.2. Resistencias eléctricas de un molde**

En la mayoría de las veces en la inyección plástica se trabaja con polipropileno, aunque se puede trabajar con otros materiales como el poliestireno o el polietileno. Con el polietileno de alta densidad, debido a que el material es muy duro se necesita que las temperaturas del cañón sean mayores a las acostumbradas.

Mientras que en los moldes se colocan resistencias eléctricas colindantes con los canales de distribución, para evitar una plastificación prematura entre cada ciclo. Estas resistencias pueden tener la forma de placas, de anillos o de cilindros, dependen del diseño del molde, pueden ser removidos en caso de descompostura y reemplazados.

Estas resistencias eléctricas se encuentran conectadas a un dispositivo externo a la máquina inyectora, el cual es el que mantiene las resistencias a la temperatura necesaria para un óptimo funcionamiento del molde.

## **1.4. Eficiencia**

### **1.4.1. Definición de Eficiencia**

La eficiencia puede definirse como el resultado que se obtiene de la relación entre los resultados obtenidos y los esperados, tratando de maximizar los recursos, ya sean humanos, materiales o financieros.

Mantener una buena eficiencia significa optimizar los recursos anteriormente mencionados.

Desde un punto de vista productivo se puede decir que es la razón entre la producción real obtenida y la producción estándar esperada, como se ve en la siguiente fórmula:

$$Ef = \frac{PRO}{PEE}$$

Donde,

Ef: Eficiencia

PRO: Producción real obtenida

PEE: Producción estándar esperada

La eficiencia está ligada a la efectividad y a la productividad. La efectividad es el grado en el que se logran los objetivos, En otras palabras, la forma en que se obtienen un conjunto de resultados refleja la efectividad, mientras que la forma en que se utilizan los recursos para lograrlos se refiere a la eficiencia. La productividad es una combinación de ambas, ya que la efectividad esta relacionada con el desempeño y la eficiencia con la utilización de recursos. La relación de estos aspectos se puede ver en la siguiente fórmula:

$$productividad = \frac{efectividad}{eficiencia}$$

#### **1.4.2. Tiempos de jornada efectiva**

Esta es aquella jornada real trabajada, es decir, descontando todas las paradas programadas, tales como el tiempo utilizado para cambiar moldes, materia prima u operario.

Para efectos de cálculo de tiempos, solo se toma el tiempo laborado por jornada, es decir no se toman en cuenta los tiempos de almuerzo, descansos, etc.

### **1.4.3. Tiempos muertos**

Estos tiempos son aquellos en los cuales se es interrumpida la producción debido a condiciones no normales al proceso. Estos se pueden dar debido a fallas en la maquinaria, accidentes laborales, falta de materia prima, etc.

Estos tiempos para efectos de cálculo de tiempos se deben tomar en cuenta para determinar la eficiencia de tiempo laborado:

$$T_{je} = T_j - PP$$

Donde,

T<sub>je</sub>: Tiempo de jornada efectiva

T<sub>j</sub>: Tiempo total de jornada

PP: Paros programados.



## **2. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA EMPRESA**

### **2.1. Descripción de una empresa de inyección plástica**

Una empresa de inyección plástica cuenta normalmente con varias máquinas inyectoras de distintas capacidades, así como con una variedad de distintos diseños de moldes. Esto les permite diversificar su línea de productos.

Actualmente la tecnología utilizada en este campo se encuentra muy ligada al avance tecnológico en sistemas CAM (Manufactura asistida por computadora), por lo que el papel del operario tiene a ser más pasiva, es decir, la automatización de la maquinaria reduce sus funciones, a casi únicamente estar al tanto de la calidad de las piezas fabricadas.

Según los tipos de productos y de piezas pueden usarse varios tipos de materiales, de los cuales se tratará más adelante.

#### **2.1.1. Descripción general de la empresa**

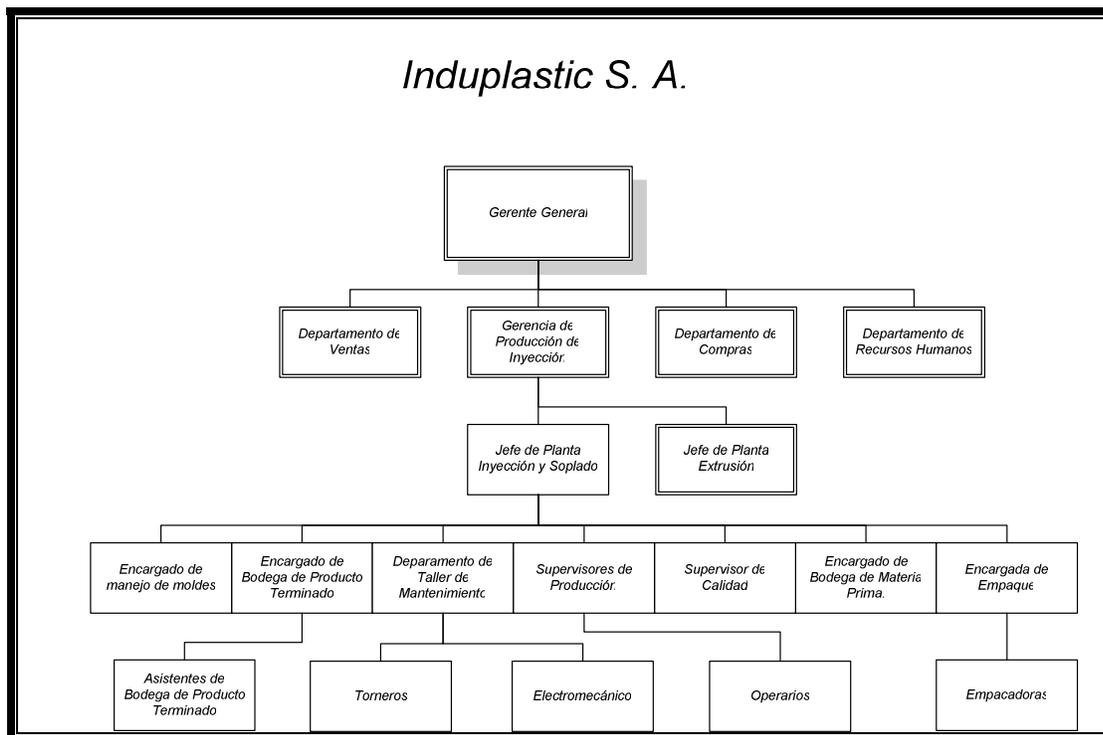
La empresa Induplastic S. A., tiene más de 40 años dedicándose a la industria plástica. Cuenta con una gran variedad de productos ya sea para el hogar, juguetería o agroindustria. Adicionalmente al departamento de inyección, la empresa cuenta con un departamento de extrusión (bolsas) y de soplado (pelotas).

Además, posee varias tiendas en donde comercializan sus productos elaborados, así como varios distribuidores.

### 2.1.2. Organigrama

El organigrama de la empresa Induplastic S. A. se puede observar en la figura 5.

Figura 5. Organigrama empresa Induplastic S. A.



### 2.1.3. Actividades realizadas dentro de la empresa

Como se mencionó anteriormente, la empresa cuenta con tres departamentos: inyección, extrusión y soplado. En lo que respecta a los departamentos de inyección y soplado, se mantiene actividad durante las 24 horas al día, con horarios de lunes a sábado.

Se mantiene un stock de producto terminado, así como de materia prima, la cual como en la mayoría de las empresas que se dedican a la industria plástica es comprada fuera del país.

### **2.1.3.1. Procesos**

#### **2.1.3.1.1. Administrativos**

Dentro de estos procesos se incluye la compra de materia prima, y la comercialización del producto terminado.

La materia prima luego de ser ingresada a la empresa es almacenada en la bodega, para luego según los requerimientos de producción sea trasladada a los distintos departamentos para su posterior manufactura.

El producto terminado es almacenado en otra bodega, a donde son enviados los pedidos para despacho por parte del departamento de ventas. El producto es despachado a las distintas tiendas de la empresa ubicadas en la ciudad capital, o es despachada a compradores particulares.

#### **2.1.3.1.2. Producción**

El departamento de inyección y el departamento de soplado se encuentran ubicados en la misma área, debido a la similitud de sus procesos. Es decir, que en ambos procesos se mantiene un mismo patrón de actividades.

En ambos departamentos se realizan cambios de moldes a la maquinaria constantemente, siendo las mismas personas las que realizan la actividad en ambos departamentos.

Dentro del departamento de taller de mantenimiento, se realizan las reparaciones a moldes y a maquinaria, siempre y cuando los arreglos no necesiten soporte especializado.

Las órdenes de producción para el departamento de inyección pasan primero por la bodega de producto terminado, antes de llegar a producción. Ya en el departamento de inyección se analiza en que máquina el producto puede ser elaborado, y se asigna a ésta. Esto se da porque cada producto según sus dimensiones del molde tiene que ser asignado a la inyectora en donde case perfectamente.

#### **2.1.3.2. Materias Primas**

Dentro del departamento de inyección se trabaja con los distintos tipos de materias primas, y su utilización va a depender del producto a elaborar y las características del molde, es decir, que cada molde trabaja con un tipo específico de material. Las materias primas utilizadas son:

- a.) Poliestireno (PS): Es un polímero que se obtiene del estireol, derivado del petróleo y del bencol, su peso específico es bajo, se colorea a voluntad, arde lentamente, en el mercado se obtienen en forma de polvo y en forma granular para moldeado, en forma de micas, varillas para manufacturarse por arranque de viruta. Se elabora de la siguiente manera: primero se produce el monómero de estireno a partir del benceno y del etileno. El monómero de estireno posteriormente es polimerizado para obtener poliestireno. Actualmente, casi todo el poliestireno que se produce se fabrica por medio de procesos de polimerización en masa continua, que a grandes rasgos puede dividirse en dos etapas:

1.) Etapa de reacción en uno o más reactores, donde se polimeriza el monómero. 2.) Etapa de volatilización, donde se separa el polímero obtenido del monómero no reaccionado y/o solventes utilizados. Por último, el polímero fundido es bombeado a través de una matriz para obtener hebras que son enfriadas y cortadas en grumos.

Los dos principales tipos de poliestireno son:

Poliestireno cristal: Son transparentes y rígidos, de allí parte de su nombre, al no aplicarle color al material (master), tiende a ser transparente.

Poliestireno de alto impacto: por tener partículas de caucho ocluidas, son translúcidos y resistentes al impacto.

Entre las características de ambas clases de poliestireno tenemos: es impermeable, aislante eléctrico y térmico, alto grado de procesabilidad en transformación por moldeo, duro y rígido.

b.) Polipropileno (PP): Es el termoplástico de menor densidad que se encuentra en el comercio, utilizando troqueles de gran longitud se pueden recubrir hilos y cables eléctricos, tienen alta resistencia al calor, alta resistencia al resquebrajamiento, se utiliza en colores opacos a lechosos, se obtiene en el mercado en la forma que hace posible su transformación mediante inyección, soplado y extrusión, se emplea para fabricar recipientes térmicos comerciales y medicinales, accesorios de tuberías, aislamiento de cables y alambres, láminas de embalaje.

Es uno de los materiales más utilizados en la inyección plástico. Viene en presentaciones según su peso molecular y su densidad.

- c.) Polietileno (PE): Este se produce a partir del etileno el cual es un derivado del petróleo o del gas natural. El etileno es un gas que es sometido en un reactor a un proceso de polimerización, es decir la formación de largas cadenas que conforman la estructura del plástico.

Su aspecto al tacto es ceroso, buena resistencia a los ácidos, buen aislante eléctrico, tienen bajo peso específico  $0,95 \text{ Kg./dm}^3$ , se puede colorear a voluntad, su combustibilidad es muy lenta, permeabilidad a la luz es de transparente a opaca, con el envejecimiento se vuelve quebradizo, tienen sonido metálico al estirarse en forma continua, se obtiene en el mercado en forma granular o de polvo, para su moldeo de todas las formas existentes, se emplean para producir recipientes para cubos de hielo, vasos para beber, vajillas, botellas, bolsas, globos juguetes, barreras contra la humedad, cajas agrícolas, etc.

Existen distintas variedades del polietileno dependiendo de su aplicación final. Pero las dos formas más conocidas en el mundo son: el polietileno de alta densidad (PEAD) y el polietileno de baja densidad (PEBD), del cual se producen dos tipos PEBD convencional y PEBD lineal.

Entre las características del polietileno tenemos: impermeable, aislante térmico, higiénico, económico, resistente a bajas temperaturas, transparente o coloreable.

- d.) Master Bach: Es el material utilizado para darle color a la materia prima. Generalmente su proporción es de entre 1% al 3% en relación al total del material a trabajar, y puede ser utilizado junto con cualquiera de las materias primas mencionadas con anterioridad.

### **2.1.3.3. Maquinaria**

La maquinaria utilizada posee las características de las inyectoras descritas en el capítulo anterior. Esta maquinaria funciona con 440 v, que es el voltaje necesario para calentar el husillo.

Cada máquina puede trabajar con cierto número de moldes, es decir, de acuerdo a las dimensiones del molde y según la capacidad de la máquina inyectora.

Como se mencionó anteriormente, el departamento de soplado y el de inyección se encuentran en el mismo lugar, debido a la similitud de sus procesos, incluso el sistema de funcionamiento de los moldes de ambos procesos en algunos aspectos es similar (enfriamiento, materiales que los conforman, etc.)

Dentro del departamento de taller de mantenimiento, existe equipo utilizado tanto para reparaciones menores, como para reparaciones mayores. Dentro de este equipo se puede mencionar: tornos, fresa, prensas, taladros, así como materiales utilizados para reparaciones, tanto para moldes como para maquinaria, según sea el caso.

#### **2.1.3.4. Personal**

Dentro de la empresa en el departamento de soplado se trabajan jornadas de lunes a sábado (únicamente medio día), las 24 horas al día. La jornada está dividida en dos turnos: un turno diurno de 11 horas de lunes a viernes y cuatro horas los días sábados; y uno nocturno de 13 horas de lunes a viernes. Existe rotación de turnos, los operarios de la jornada diurna de cierta semana, pasan a laborar la jornada nocturna de la siguiente semana. Cada inyectora posee dos operarios, uno en cada turno.

Los operarios están encargados de recibir el producto terminado por parte de la máquina inyectora, revisar la calidad de la pieza o piezas, limpiar el producto de rebaba, de ser necesario etiquetarlo y finalmente entarimarlo.

Se dan casos en los cuales es necesario que dos operarios sean utilizados en una misma inyectora, esto puede ser debido a dos causas. La primera se da cuando el ciclo del producto es demasiado rápido y un solo operario no se da abasto para el manejo y limpieza de todo el producto. La otra causa se da en moldes grandes, en los cuales su expulsor suelta la pieza hacia arriba y obliga a tener a un operario únicamente recibiendo el producto en la parte superior de la inyectora, el otro operario recibe la pieza y efectúa el resto de operaciones a la pieza.

Dentro del departamento de taller de mantenimiento existen dos personas, las cuales están encargadas de todos los problemas mecánicos. El cambio de moldes lo efectúa una persona, la cual a su vez es la encargada de la bodega de moldes. Cabe mencionar que tanto el personal de taller de mantenimiento como el encargado de cambio de moldes, únicamente laboran en jornada diurna.

## **2.2. Descripción de controles de mantenimiento aplicados en la empresa**

Aproximadamente el 80% de los moldes son utilizados frecuentemente, el resto es utilizado ocasionalmente, o presenta problemas relacionados a la falta de mantenimiento. Actualmente se realizan ciertas rutinas de mantenimiento a los moldes, estas las podemos dividir en dos tipos.

### **2.2.1. Mantenimiento Preventivo**

Dentro de este mantenimiento se tienen las rutinas más comunes, dentro de las cuales se tienen las siguientes al momento de montar un molde:

- ✓ Desengrase de la superficie cromada del molde.
- ✓ Revisión del cromado del molde, par observar si existen laceraciones.
- ✓ Revisión de los nipples que conducen a los canales de enfriamiento.
- ✓ Revisión de resistencias eléctricas, en caso las tenga.
- ✓ Revisión de sistema expulsor, en caso lo tuviera.

Durante el tiempo en el cual el molde se encuentra en uso, se tienen las siguientes rutinas:

- ✓ Revisión de los nipples que conducen a los canales de enfriamiento.
- ✓ Temperatura del molde

En tanto que, en el desmontaje del molde se toman en cuenta las siguientes rutinas:

- ✓ Revisión de los nipples que conducen a los canales de enfriamiento.
- ✓ Engrase de la superficie cromada del molde.

Lo anterior se puede resumir en la siguiente tabla:

**Tabla II. Resumen mantenimiento preventivo de moldes**

<b>Rutinas</b>	<b>Montaje</b>	<b>En uso</b>	<b>Desmontaje</b>
Desengrase de superficie cromada	X	-	-
Revisión del cromado del molde, par observar si existen laceraciones	X	-	-
Revisión de los niples que conducen a los canales de enfriamiento	X	X	X
Revisión de resistencias eléctricas	O	-	-
Revisión de sistema expulsor,	O	-	-
Temperatura del molde	-	X	-
Engrase de la superficie cromada del molde	-		X

(X): realizado, (O): optativo y (-): no realizado

### **2.2.2. Mantenimiento Correctivo**

Este tipo mantenimiento se proporciona a los moldes según dos tipos de situaciones: las que pueden ser previstas (por un programa de mantenimiento preventivo) y las que no pueden ser previstas debido a factores que no son controlables.

Dentro de las primeras se tienen entre las más comunes:

- ✓ Fugas de agua: debido a un niple en mal estado o mal colocado, mangueras mal ajustadas, corrosión en los canales de enfriamiento internos.
- ✓ Bebederos obstruidos: debido a suciedad en la materia prima, corrosión, temperaturas inadecuadas de plastificación o mala regulación de la máquina inyectora. Esto ocasiona parar la máquina por el tiempo necesario para remover lo que esté obstruyendo el bebedero.
- ✓ Resistencias fundidas (en caso las tuviese el molde).

- ✓ Molde mal centrado debido a que el aro de centrado no se encuentra en buenas condiciones.
- ✓ Pines guías gastados.

Mientras en las segundas tenemos:

- ✓ Fugas de agua: debido a un o'ring en mal estado.
- ✓ Laceraciones al cromo interno debido a la fatiga por uso.
- ✓ Problemas con varillas del sistema de expulsión, en caso que el molde lo tuviese.

La mayoría de los desperfectos son reparados en el taller de mantenimiento. En el caso del cromo lacerado, se efectúa la reparación fuera de la empresa, mientras que los problemas en el bebedero del molde son solucionados por los operarios de cada inyectora.

### **2.3. Descripción del proceso de cambio de moldes**

El proceso de cambio de moldes sigue un patrón establecido, el cual solo se ve alterado con aquellos moldes que requieren accesorios adicionales a los normales.

#### **2.3.1. Diagrama de flujo**

Para la evaluación de los tiempos del montaje y desmontaje de moldes, a continuación se presentan los diagramas de flujo del montaje y desmontaje del molde de Cesta # 1, el cual posee expulsor mecánico y no posee resistencias eléctricas.

Para el montaje, primero el molde es llevado desde la bodega de moldes al departamento de inyección, luego ya en la máquina inyectora es sujetado a un polipasto para colocarlo sobre la máquina.

Luego con el polipasto es levantado y puesto sobre la inyectora, se abren las platinas que lo sujetarán, se baja el molde para ser prensado por las platinas y así poderlo centrar. Luego viene una demora por falta de briedas para sujetar al molde, esta situación es tan frecuente, por lo que se incluye como parte del proceso, la búsqueda de las briedas. Las briedas varían en tamaño según el molde, por lo que no todas son iguales y no pueden utilizarse siempre en los mismos moldes.

Este molde se asegura por medio de seis briedas, ya asegurado, se suelta el polipasto del molde, luego se procede a conectar las mangueras de agua a los niples del sistema de enfriamiento del molde, en el caso del molde estudiado, (Cesta # 1) son 8 niples. Aquí ocurre una situación muy frecuente en el montaje de moldes, al igual que con las briedas, es muy común que al molde le falten niples, o se encuentren en mal estado, es por esto que la demora por falta de niples es ya parte del proceso de montaje.

Luego de colocadas las mangueras de agua, se abren las llaves para que esta empiece a circular. Se abre el molde por medio de las platinas de la inyectora, y se limpia la grasa del cromo interno del molde.

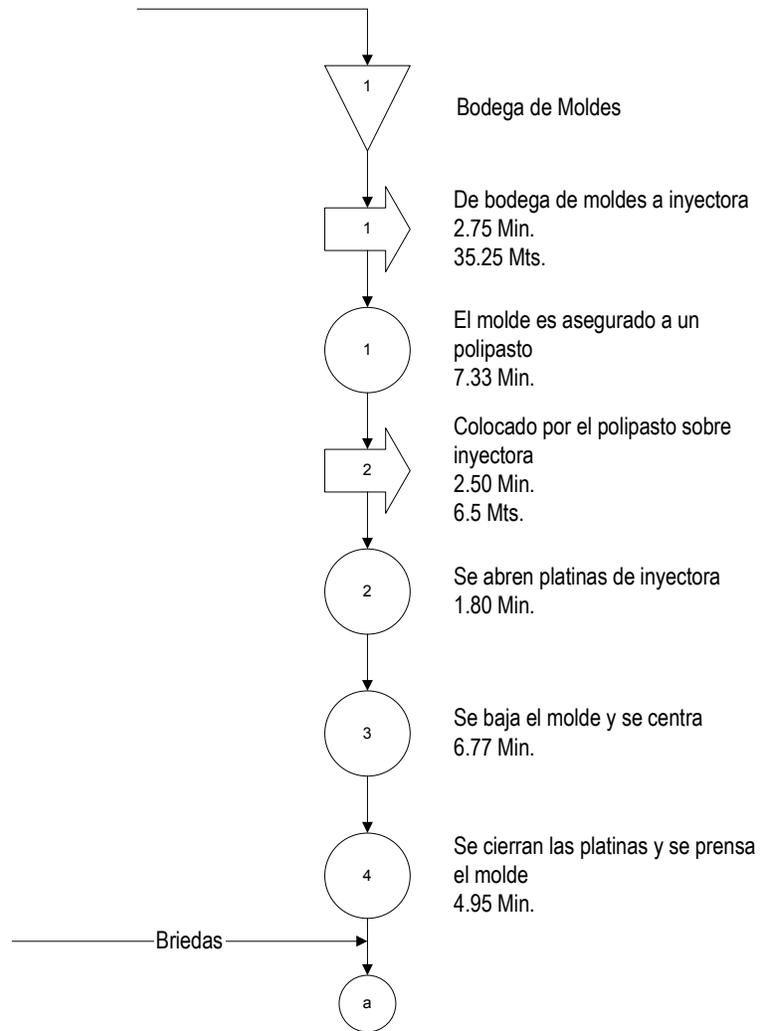
La acumulación de suciedad en los canales de llenado de los moldes, generalmente la parte del canal más cercana a la boquilla de la máquina inyectora; presenta obstrucción causada por materia prima trabajada con anterioridad en el molde, y que no fue removida durante el desmontaje. Esto se debe a la falta de limpieza en el momento del desmontaje, y también debido a la frecuencia en la que ocurre esta situación, esta demora es parte del proceso de montaje de moldes. Finalmente la máquina inyectora es regulada para trabajar con el molde montado.

**Figura 6. Diagrama de flujo del montaje de un molde, 1ª. Parte.**

**Diagrama de flujo del proceso**

Empresa: Induplastic S. A.  
Departamento: Inyección  
Proceso: Montaje de molde Cesta #1  
Fecha: Agosto, 2006

Hoja: 1/4  
Elaborado por: Rodolfo Calderón  
Método: Actual

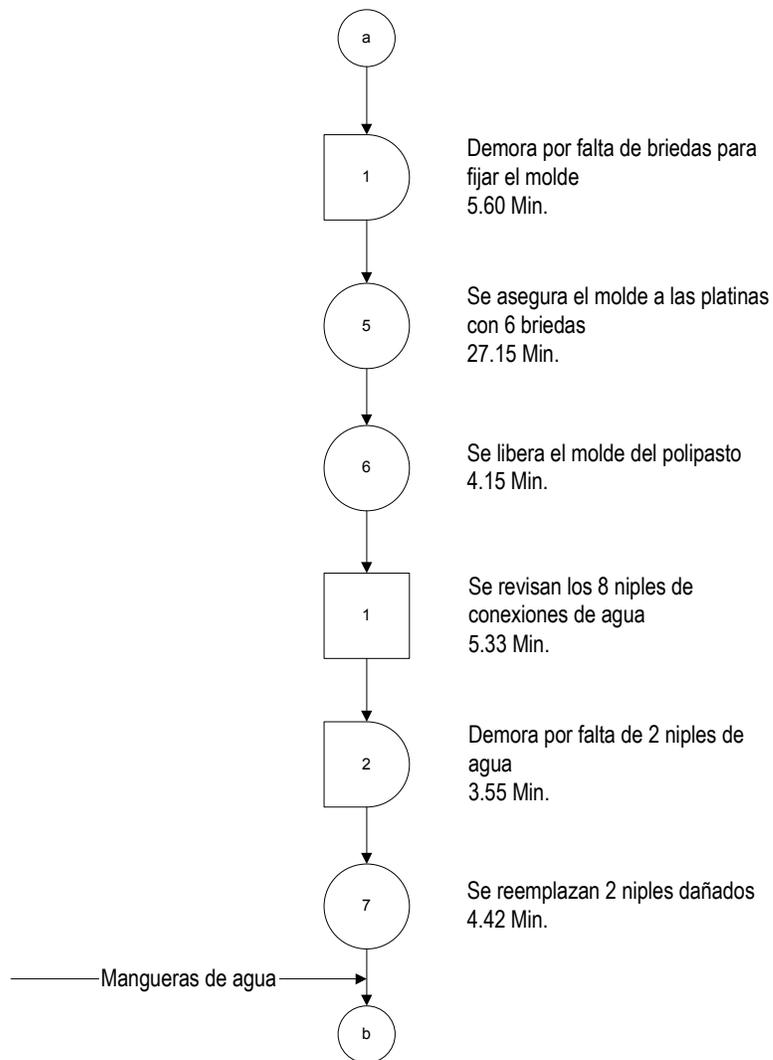


**Figura 7. Diagrama de flujo del montaje de un molde, 2ª. Parte.**

**Diagrama de flujo del proceso**

Empresa: Induplastic S. A.  
 Departamento: Inyección  
 Proceso: Montaje de molde Cesta #1  
 Fecha: Agosto, 2006

Hoja: 2/4  
 Elaborado por: Rodolfo Calderón  
 Método: Actual

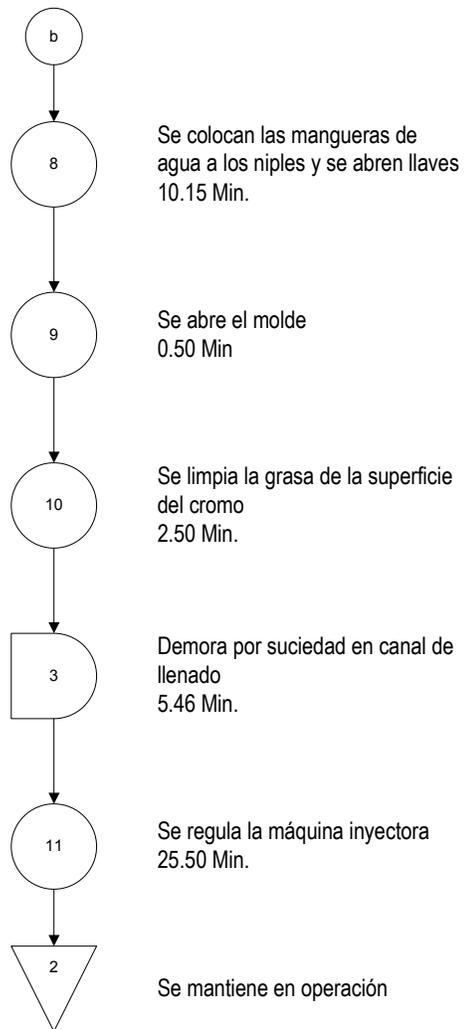


**Figura 8. Diagrama de flujo del montaje de un molde, 3ª. Parte.**

**Diagrama de flujo del proceso**

Empresa: Induplastic S. A.  
Departamento: Inyección  
Proceso: Montaje de molde Cesta #1  
Fecha: Agosto, 2006

Hoja: 3/4  
Elaborado por: Rodolfo Calderón  
Método: Actual



**Figura 9. Diagrama de flujo del desmontaje de un molde, 4ª. Parte**

**Diagrama de flujo del proceso**

Empresa: Induplastic S. A. Hoja: 3/4  
 Departamento: Inyección Elaborado por: Rodolfo Calderón  
 Proceso: Montaje de molde Cesta #1 Método: Actual  
 Fecha: Agosto, 2006

---

Símbolo	Descripción	Cantidad	Tiempo
	Operación	11	95.22 Minutos
	Inspección	1	05.33 Minutos
	Inspección/Operación	0	00.00 Minutos
	Transporte	2	05.25 Minutos
	Demora	3	14.61 Minutos
	Almacenaje	2	00.00 Minutos
			<b>120.41 Minutos</b>

En las figuras 6, 7, 8 y 9 se puede apreciar el diagrama de flujo del montaje del molde del producto del molde Cesta # 1. En el resumen del diagrama que se encuentra en la figura 9, se puede apreciar que el tiempo total del proceso es de 120.41 Minutos, dicho en otras palabras, 2 hora 0 minutos y 25 segundos.

Uno de los factores que influyen para tener este tiempo radica en las tres demoras del proceso antes mencionadas, y son causadas por un mantenimiento mal practicado o no practicado. Aunque el tipo de demoras no debería ser parte del proceso de moldes se incluyen éstas debido a que su ocurrencia es muy frecuente.

El desmontaje del molde principia con la apertura de las platinas que sujetan el molde, para así engrasar el cromo interior del molde y revisarlo de posibles golpes o fisuras por el uso. Finalizado lo anterior, se cierra el molde.

Luego se cierran las llaves del agua que alimenta el sistema de enfriamiento, para que las mangueras sean retiradas. Se asegura el molde al polipasto, ya asegurado el molde se procede a quitar las briedas que lo sujetan a las platinas. Ya retiradas las briedas, el molde es levantado para ser colocado sobre el montacargas, se realiza una limpieza de la parte externa del molde con un trapo húmedo, para finalmente ser llevado a la bodega de moldes para su almacenaje.

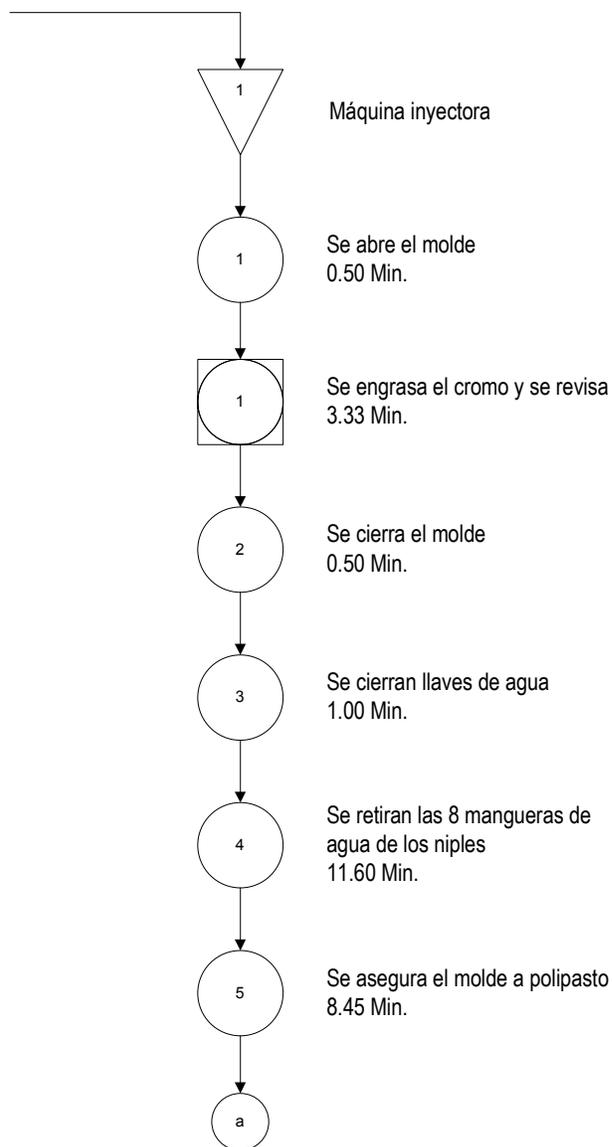
Todos los pasos anteriores se pueden apreciar en el diagrama de flujo del desmontaje del molde Cesta 1 de las figuras 10, 11 y 12.

**Figura 10. Diagrama de flujo del desmontaje de un molde, 1ª. Parte**

**Diagrama de flujo del proceso**

Empresa: Induplastic S. A.  
Departamento: Inyección  
Proceso: Desmontaje de molde Cesta # 1  
Fecha: Agosto, 2006

Hoja: 1/3  
Elaborado por: Rodolfo Calderón  
Método: Actual



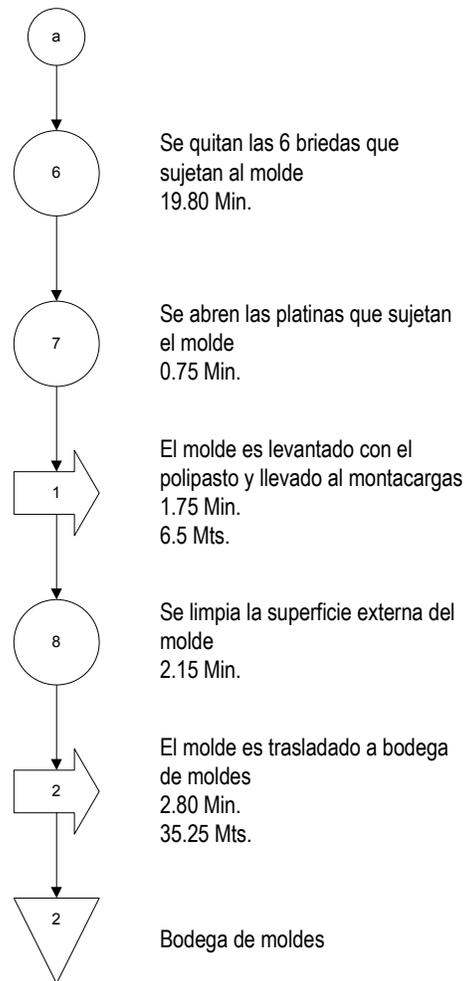
**Figura 11. Diagrama de flujo del desmontaje de un molde 2ª. Parte.**

**Diagrama de flujo del proceso**

Empresa: Induplastic S. A.  
Departamento: Inyección  
Proceso: Desmontaje de molde Cesta #1  
Fecha: Agosto, 2006

Hoja: 2/3  
Elaborado por: Rodolfo Calderón  
Método: Actual

---



**Figura 12. Diagrama de flujo del desmontaje de un molde 3ª. Parte.**

**Diagrama de flujo del proceso**

Empresa: Induplastic S. A  
 Departamento: Inyección  
 Proceso: Desmontaje de molde Cesta #1  
 Fecha: Agosto, 2006

Hoja: 3/3  
 Elaborado por: Rodolfo Calderón  
 Cuadro Resumer

Símbolo	Descripción	Cantidad	Tiempo
	Operación	8	44.75 Minutos
	Inspección	0	00.00 Minutos
	Inspección/Operación	1	03.33 Minutos
	Transporte	2	04.55 Minutos
	Demora	0	00.00 Minutos
	Almacenaje	2	00.00 Minutos
			<b>52.63 Minutos</b>

En el cuadro resumen de la figura 12, se puede observar el tiempo total del desmontaje del molde Cesta # 1, el cual es de 52.63 Minutos, o su equivalente de 52 minutos con 37 segundos.

### **2.3.2. Personal que efectúa el cambio de moldes**

Actualmente existe un encargado de moldes, cuyas funciones son: Montar y desmontar moldes, tener actualizado el inventario de moldes, el orden en la bodega de moldes. Generalmente esta misma persona efectúa sola, el montaje y desmontaje de cada molde, a menos que sea demasiado grande o que posea resistencias eléctricas, en este último caso el electromecánico es el encargado de realizar tal tarea.

### **2.4. Situaciones más frecuentes en el cambio de moldes**

Existen ciertas situaciones que afectan el cambio de moldes, retrasan los procesos. Situaciones que pueden ser prevenidas con anticipación.

Por ejemplo, la falta de herramienta por parte del encargado de moldes al momento de efectuar el montaje y desmontaje. Esto crea una demora, la cual repercute en la eficiencia en planta.

Otra situación que se da es la falta de algún niple en el molde. Estos debieran estar permanentemente fijados al molde, pero son utilizados varias veces y en varios moldes, por lo que es frecuente que el encargado tenga que buscar algún niple en algún otro molde. También existe el caso en el que se debe cambiar el niple por estar dañado, debido a su frecuente acople y desacople a los moldes.

Respecto a las resistencias eléctricas sucede a veces que al momento de probarlas antes de montar el molde resulta que alguna de ellas se encuentra quemada, por lo que se pierde por lo menos un par de horas desarmando el molde para reemplazar a la resistencia dañada.

## 2.5. Análisis de tiempos

### 2.5.1. Tiempos efectivos

Se realizó un estudio durante un período de cuatro meses acerca de los tiempos de jornada efectiva de trabajo, para así determinar la eficiencia actual de la planta.

También se realizó con el propósito de determinar el tiempo muerto por jornada debido a problemas en producción relacionados con los moldes, así como el porcentaje de tiempo que se pierde en estos casos. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla III.

**Tabla III. Eficiencias en planta**

Mes	1	2	3	4	Total
Tiempo total (TT), en horas	3240.00	3323.00	1728.00	2958.00	11249.00
Paros programados (PP), en horas	189.65	156.60	124.00	192.30	662.55
Tiempo Efectivo (TE=TT-PP), en horas	3050.35	3166.40	1604.00	2765.70	10586.45
Tiempo Efectivo Real (TER), en horas	2781.72	2550.60	1356.87	2393.80	9082.99
Eficiencia del mes (TER/TE), %	91.19%	80.55%	84.59%	86.55%	85.80%
Tiempo de problemas con molde TPM, en horas	79.25	109.05	103.30	178.68	470.28
Porcentaje de tiempo (TPM/TE), %	2.60%	3.44%	6.44%	6.46%	4.44%

De la anterior tabla, el tiempo total (TT) es aquel tiempo total de horas disponibles, los paros programados (PP) son aquellos tiempos estipulados con anterioridad para detener la producción. El tiempo efectivo (TE) es entonces el tiempo total que debería utilizarse, mientras que el tiempo efectivo real (TER) es el tiempo laborado.

Se puede observar que la eficiencia total en planta es de un 85.80%, la cual se encuentra en un rango aceptable. Mientras que el porcentaje de horas perdidas debida a fallos en los moldes es de un 4.44%, nos da un promedio de 117.57 horas/mes perdidas, el cual es relativamente considerable.

### 2.5.2. Tiempos muertos

Dentro de los tiempos muertos, además del TPM, también existieron otro tipo atrasos, los cuales se pueden observar en la Tabla IV.

**Tabla IV. Porcentaje de tiempos muertos**

<b>Falla</b>	<b>Porcentaje</b>
Debido a moldes	4.44%
Debido a maquinaria	3.58%
Otras causas (materiales, operarios, etc.)	6.18%

De la anterior tabla se puede observar que las fallas que ocurren debido a problemas con los moldes son las más frecuentes, seguidas por los paros ocasionados por las máquinas inyectoras.

Dentro de las otras causas se pueden mencionar situaciones relacionadas con los operarios, como por ejemplo: afilar sus cuchillas de trabajo. También están incluidas en este segmento, apagones de luz, paros por desabastecimiento de material, los cuales se dan generalmente en el turno nocturno.



## **3. PROGRAMA PROPUESTO**

### **3.1. Mantenimiento preventivo a realizar**

Este tipo de mantenimiento se dividirá en tres etapas, las cuales estarán compuestas por sus rutinas, estas son:

- ✓ Durante el montaje del molde
- ✓ Durante el desmontaje del molde, y
- ✓ Durante el tiempo que el molde permanece inactivo

#### **3.1.1. Durante el montaje del molde**

Este es el más importante de los tres debido a que luego de montado el molde cualquier fallo que este tenga repercutirá en la eficiencia y en la productividad, creando atrasos innecesarios que a su vez elevan el costo del producto.

Se recomienda que algunas rutinas sean realizadas con un día de anticipación al momento en que el molde vaya a ser montado, para dar tiempo a reparar fallas encontradas. Las rutinas a tomar en cuenta en esta etapa son:

- ✓ Limpieza externa del molde: Para remover polvo y grasa que a futuro se formen sedimentos que pueden obstruir los canales de enfriamiento o de aire, así como los orificios que sirven como válvulas de escape de aire del molde y son los que evitan que se forme un vacío interno dentro del molde. Se debe realizar con por lo menos un día de anticipación.

- ✓ Revisión del aro de centrado: Se debe realizar el día anterior, debido a que la reparación requiere de cierto tiempo, y así evitar atrasos en el montaje del molde. Cuando el desgaste de este aro sobrepase los 0.25 mm. debe ser reemplazado. En caso utilizara velomoide como empaque, debe ser cortada la pieza y colocada.
  
- ✓ Revisión del sistema de enfriamiento: Esto es con la finalidad de reemplazar los niples dañados o apretar aquellos que se encuentren flojos, y así evitar fugas de agua, aunque el mejor mantenimiento es una supervisión periódica del agua proveniente de la torre de enfriamiento, tratando que tenga bajo contenido de sólidos y un PH7. Además se debe aplicar aire a presión en los canales para sacar ya sea agua estancada o polvo dentro de los canales, para evitar incrustaciones. Se debe realizar con un día de anticipación.
  
- ✓ Revisión de niples de aceite hidráulico (si el molde los posee): Al igual que la anterior rutina se hace con la finalidad de evitar fugas de aceite y mantener el molde limpio tanto por dentro como por fuera. Se debe realizar el día anterior al montaje del molde.
  
- ✓ Revisión de las resistencias eléctricas (en caso el molde las posea): Esto se debe realizar con por lo menos un día de anticipación, debido a que el cambio de resistencias implica desarmar parte del molde, por lo que teniendo el colchón de un día, el molde puede estar listo para su funcionamiento al día siguiente.

Además se debe revisar que las resistencias se encuentren colocadas en la posición que tienen que estar para evitar pérdidas de calor y que el molde se caliente en partes que no deba.

- ✓ Revisión del sistema de expulsión: Este va a depender del tipo de sistema de expulsión que el molde posea. En caso sea mecánico se deben revisar tanto las varillas de expulsión como los pines de retroceso, esto debe realizarse con el molde ya montado, para facilitar el proceso; además aplicar lubricante para evitar el desgaste de las piezas; este lubricante debe trabajar a alta presión, a alta velocidad y resistente a cambios bruscos de temperatura de entre 150° C a 4° C. En los casos en los que el molde posea expulsor hidráulico revisar las varillas expulsoras, así como los empaque de las bombas de aceite que posea el molde para evitar fugas. Si se diera el caso que el molde tuviera expulsor hidroneumático, revisar que los niples de acople rápido para las mangueras de aire estén bien ajustados, para evitar fugas de presión; esto debe hacerse el día anterior.
  
- ✓ Limpieza de la grasa y revisión del cromado interno: Ya montado el molde se debe remover la grasa del cromado interno del molde para evitar que las piezas salgan manchadas al momento de ser expulsadas del molde. Se debe observar que no exista fisuras en el cromado que puedan afectar la calidad de las piezas a producir.
  
- ✓ Inspección de ruidos no normales en el molde: Esta rutina es más de apreciación y consiste en la escucha de ruidos en el molde que en condiciones normales no haría, y se puede deber a piezas flojas o quebradas.

- ✓ Limpieza del canal de llenado: Se hace para que el canal se encuentre libre de obstáculos para el llenado de la pieza, y debe realizarse con el molde ya montado. Además se debe efectuar un chequeo de las dimensiones internas del canal cada 50,000 inyecciones.

Todas las rutinas anteriores se pueden observar en la Tabla V.

**Tabla V. Rutinas de mantenimiento preventivo en el montaje de moldes**

<b>RUTINA</b>	<b>A REALIZARSE</b>
Limpieza externa del molde	Día anterior al montaje
Revisión del aro de centrado	Día anterior al montaje
Revisión de los sistemas de enfriamiento	Día anterior al montaje
Revisión de los niples de aceite hidráulico	Día anterior al montaje
Revisión de las resistencias eléctricas	Día anterior al montaje
Revisión del sistema de expulsión	Día anterior al montaje
Limpieza de la grasa y revisión del cromado interno	Con molde ya montado
Inspección de ruidos no normales en el molde	Con molde ya montado
Limpieza del canal de llenado	Con molde ya montado

### **3.1.2. Durante el desmontaje del molde**

Cuando el molde es desmontado se deben realizar las siguientes rutinas, con el fin de prevenir fallos en el próximo montaje del molde, y encontrar aquellos que fueron causados durante el tiempo que el molde estuvo trabajando. Se deben empezar a realizar luego que la orden de producción ha sido terminada, y se empieza a desmontar el molde. Estas rutinas son:

- ✓ Revisión de pernos guías: Con la finalidad de medir el desgaste que estos han tenido por su uso, y si han causado algún desajuste entre el macho y la hembra del molde. Debe de revisarse cuando el molde está montado todavía, para facilitar la observancia del desajuste en caso existiera.
  
- ✓ Revisión y engrase del cromado interno del molde: Durante la revisión debe observarse golpes o fisuras en la superficie del cromo que a futuro puedan afectar los atributos de calidad de las piezas a producir. El engrase de la superficie se hace con la finalidad de proteger el cromo de la corrosión durante el tiempo que el molde estará inactivo. Este paso será realizado cuando el molde todavía se encuentre montado.
  
- ✓ Limpieza rápida del sistema de enfriamiento del molde: Esto se debe realizar inyectando aire a presión en los canales de enfriamiento para evitar que el agua se estanque y forme sedimentos.

- ✓ Revisión del sistema de expulsión: Cuando el molde se encuentra montado todavía se debe verificar el estado del sistema de expulsión según sea el caso. Mecánico: Revisión de las varillas, ya sea desgaste, desajuste o quebraduras. Hidráulico: Observar que no existan fugas de aceite que provoque pérdida de presión, y revisión de las varillas de expulsión. Hidroneumático: Verificar que no exista fuga de presión en el expulsor.
  
- ✓ Limpieza del canal de llenado: Se debe realizar la limpieza para evitar que el material que quede en el canal se plastifique demasiado y sea más difícil removerlo después.

Esto se realizará con el molde todavía montado en la máquina inyectora, para mayor facilidad.

- ✓ Revisión del aro de centrado y limpieza del velomoide: Se debe medir el desgaste del aro de centrado, para determinar si es necesario cambiarlo, y se debe remover el velomoide, para que no acumule humedad y produzca corrosión en la superficie del molde.

Las anteriores rutinas se pueden resumir en la Tabla VI.

**Tabla VI. Rutinas de mantenimiento preventivo en el desmontaje de moldes.**

<b>RUTINA</b>	<b>A REALIZARSE</b>
Revisión de pernos guías	Con el molde montado
Revisión y engrasado del cromado interno del molde	Con el molde montado
Limpieza rápida del sistema de enfriamiento del molde	Con el molde desmontado
Revisión del sistema de expulsión	Con el molde montado
Limpieza del canal de llenado	Con el molde montado
Revisión del aro de centrado y limpieza del velomoide	Con el molde desmontado

### **3.1.3. Durante el tiempo que el molde permanece inactivo**

Luego de efectuado el desmontaje del molde, este será llevado a la bodega de moldes en donde se le deberá aplicar otras rutinas de mantenimiento, para mantenerlo siempre en buenas condiciones. Estas rutinas son:

- ✓ Limpieza externa: Para mantener al molde siempre libre de agentes corrosivos como humedad, polvo, solventes, etc. Esta deberá efectuarse por lo menos una vez cada tres meses. Además se debe revisar que el número del molde todavía se pueda leer en la superficie, de lo contrario se debe volver a pintar.
  
- ✓ Revisión del PH del agua de la torre de enfriamiento: Esta revisión deberá hacerse una vez al mes y es con la finalidad de evitar un incremento en la alcalinidad del agua que provoque corrosión dentro de los canales de enfriamiento del molde. Lo correcto sería que el PH estuviera alrededor de siete (7).

- ✓ Limpieza de los canales de enfriamiento: Durante el desmontaje del molde se aplicó aire a presión para extraer el agua acumulada, ahora se deberá limpiar aplicando ácido clorhídrico de 20º Be (grados baume) con 2 partes de agua y algún inhibidor de corrosión. Esto para disolver sedimentos y evitar que los canales se estrechen por el óxido. Esta limpieza deberá efectuarse luego de que el molde haya estado trabajando.
- ✓ Cambio de o'rings: Estos empaques se encuentran alrededor de los canales de enfriamiento y su función es la de evitar que el agua contamine el material, pueden ser de neopreno. Los anillos de neopreno se deben cambiar cada 2,000 horas trabajadas. El registro de las horas trabajadas se llevará en la Hoja de vida de los moldes, de la cual se hablará más adelante. Algunos moldes poseen anillos metálicos, los cuales serán cambiados cada vez que se desmonte la pieza que sellan.
- ✓ Revisión de resistencias eléctricas: Deberá efectuarse una medición con un multímetro para verificar que las resistencias todavía se encuentren en buenas condiciones, de lo contrario debe ser reemplazadas.
- ✓ Pulido del cromado interno: Esta rutina servirá para mantener la superficie que le da la forma a la pieza en buen estado y evitar que golpes o laceraciones influyan en la calidad final del producto.

Todas las rutinas anteriores e pueden apreciar en la Tabla VII.

**Tabla VII. Rutinas de mantenimiento preventivo cuando el molde permanece inactivo**

<b>RUTINA</b>	<b>A REALIZARSE</b>
Limpieza externa	Cada tres meses
Revisión del PH del agua de la torre de enfriamiento	Cada mes
Limpieza de los canales de enfriamiento	Luego de desmontado el molde
Cambio de o'rings	Cada 2,000 horas de trabajo
Revisión de resistencia eléctricas	Una vez al año o luego de desmontado el molde
Pulido del cromado interno	Una vez al año

### **3.2. Mantenimiento correctivo a utilizar**

Este tipo de mantenimiento es el que se buscará evitar debido a que el costo de detener la producción por una falla en el molde supera el del mantenimiento preventivo.

Para este tipo de mantenimiento no se requerirán de rutinas, debido a que va a depender del tipo de falla que ocurra.

#### **3.2.1. Durante el desmontaje del molde**

En este tipo de mantenimiento se incluirá la reparación de fallas sencillas que no requieran invertir demasiado tiempo y recursos, tales como cambiar un niple dañado. En caso que la reparación sea mayor, se deberá efectuar posteriormente, es decir mientras el molde va a permanecer inactivo.

### **3.2.2. Durante el tiempo que el molde permanece inactivo**

En caso que la falla ocurrida al molde en operación necesite de tiempo y recursos deberá desmontarse éste para trabajarlo en taller, como el caso de que se necesiten reparar los pernos guías. Existen fallas que no pueden ser reparadas en el taller de mantenimiento, por lo cual deberá enviarse el molde a repararse a un taller especializado, como por ejemplo algún golpe profundo o fisura dentro del cromado interno del molde.

Otro ejemplo podría ser la modificación de los canales de enfriamiento del molde, dicha modificación no es posible hacerse en el taller, por lo que también debe enviarse a un taller especializado.

### **3.3. Hoja de vida de los moldes**

Para un mejor manejo en la información relativa a los moldes se deberá llevar una hoja de vida de cada molde, esta hoja de vida estará compuesta de las siguientes partes:

- ✓ Información general del molde
- ✓ Información del molde en operación
- ✓ Información del mantenimiento preventivo del molde, e
- ✓ Información del mantenimiento correctivo del molde

En la primera parte estará toda la información relacionada con las características principales de cada molde, tales como número de molde, número de pieza, tipo de expulsor, máquinas en las que labora, si posee resistencias eléctricas, etc., como se ve en la figura 13.

**Figura 13. Hoja de vida: Información general del molde**

Información general del molde		
Molde No. _____	35	Opera en Máquinas: _____
		2
		No. Cav. de Enfriamiento: _____
		8
Nombre de Pieza: _____	Baño # 5	Tipo expulsor: _____
		Mecánico
		Tiempo de ciclo: _____
		38.56 seg.
No. De Pieza: _____	Única	No. De Resist. Elec.: _____
		0
		Tipo de Resist.: _____

En la segunda parte se incluirá la información relacionada con la operación del molde, como su fecha de inicio y finalización, hora de inicio y finalización, número de inyecciones, etc., tal como se aprecia en la figura 14.

**Figura 14. Hoja de vida: Información del molde en operación**

Información del molde en operación								
Fecha inicio	Hora inicio	No. Inyecciones	Máquina	Fecha finalización	Hora finalización	Cant. de horas sin trabajar	Vo. Bo. Moldes	Vo. Bo. Planta
04/06/2006	8:25 A. M.	2500	2	06/06/2006	4:25 P. M.	2	XXX	YYY
11/08/2006	9:35 A. M.							

En la tercera parte de la hoja de vida, la cual se encontrará en el reverso de la misma, se llevará el control de las rutinas de mantenimiento preventivo, indicando fechas, anomalías encontradas durante la inspección y las reparaciones hechas. Esta información se puede apreciar en la figura 15.

**Figura 15. Información del mantenimiento preventivo del molde**

**Información del mantenimiento preventivo del molde**

Fecha	Tipo de rutina	Fallas encontradas	Reparado	Vo. Bo. Taller	Vo. Bo. Moldes	Vo. Bo. Planta
05/07/06	Montaje	Ninguna		XXX	YYY	ZZZ
09/07/06	Desmontaje	Resistencia	Reemplazada	XXX	YYY	ZZZ
09/07/06	Desmontaje	Niple	Reemplazado	XXX	YYY	ZZZ
10/07/06	Inactivo	O'rings	Reemplazado	XXX	YYY	ZZZ

De acuerdo al tipo de rutina efectuado se utilizarán las filas que sean necesarias para anotar los desperfectos encontrados en el molde.

Y por último en la cuarta parte de la hoja de vida, la cual se encuentra también en el reverso de la hoja se anotarán todos los fallos ocurridos al molde, los cuales no fueron determinados por las rutinas de mantenimiento preventivo, como se observa en la figura 16.

**Figura 16. Información del mantenimiento correctivo del molde**

**Información del mantenimiento correctivo del molde**

Fecha	Desperfecto	Reparación	Repuestos	Vo. Bo. Taller	Vo. Bo. Moldes	Vo. Bo. Planta
02/03/06	Daño en el cromo	En taller ABC		XXX	YYY	ZZZ
15/08/06	Fuga interna de agua	Si	2 O'rings	XXX	YYY	ZZZ

## **4. IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA**

### **4.1. Proceso de implementación**

El proceso de implementación no será automático, se llevará el tiempo necesario para capacitar al personal en los nuevos métodos de mantenimiento. Además se deberá contar con cierto stock de repuestos a utilizar.

### **4.2. Recursos a utilizar**

Para la implementación del nuevo programa será necesario invertir en algunos recursos para que este sistema sea efectivo. Dentro de estos recursos tenemos:

- ✓ Recurso Humano
  
- ✓ Recurso Material

Ambos tipos de recursos requerirán de distintos manejos, los cuales se describen a continuación.

#### **4.2.1. Recurso humano**

Dentro del recurso humano vamos a encontrar todo el personal que estará relacionado con el manejo de los moldes, desde su almacenamiento, pasando por su montaje y desmontaje, hasta el personal que intervenga a las reparaciones brindadas a los moldes.

Primero, el encargado de la bodega de moldes será la persona que estará al tanto de todo lo relacionado con los moldes. Deberá velar porque se cumplan las rutinas de mantenimiento, y cumplirlas el mismo al momento en que tenga que montar o desmontar un molde. Será también el encargado de llevar el control de las hojas de vida de los moldes, así como de su manejo en archivo.

Las rutinas de mantenimiento serán llevadas a cabo conjuntamente entre el encargado de bodega de moldes, el personal de taller de mantenimiento y el electromecánico, este último únicamente cuando el molde lo requiera.

#### **4.2.1.1. Capacitación del recurso humano**

Debido a que se realizan alrededor de entre 1 a 3 cambios de molde por día, el personal dedicado al mantenimiento deberá tener conocimiento de las características de cada molde (las cuales pueden variar de uno a otro), para evitar atrasos al momento del montaje o desmontaje de algún molde.

Se deberá elaborar durante una semana un plan piloto con el fin de capacitar al personal en el nuevo programa, así como de buscar posibles mejoras a dicho sistema.

Será el encargado de la bodega de moldes la persona indicada, debido a su conocimiento del inventario de moldes, para instruir al resto de personal que intervendrá en el nuevo programa.

#### **4.2.1.2. Personal a utilizar**

Como se mencionó en el punto anterior, el encargado de la bodega de moldes será el principal responsable de aplicar las rutinas de mantenimiento a los moldes.

A su disposición tendrá una persona del taller de mantenimiento, que será la encargada de efectuar el mantenimiento correctivo al molde cuando sea necesario. Puede ser cualquiera de las dos personas de taller.

El electromecánico estará a cargo únicamente del mantenimiento de las resistencias eléctricas del molde, es decir tanto de las rutinas de mantenimiento preventivo, como las reparaciones del mantenimiento correctivo.

#### **4.2.2. Recurso material**

Se deberá disponer de un stock de repuestos y materiales para moldes, esencialmente aquellos cuya utilización sea más frecuente, tales como:

- ✓ Niples HG de 1/2"
- ✓ Niples de acople rápido
- ✓ Grasa con grado alimenticio
- ✓ Variedad de resistencias eléctricas

Además el personal deberá disponer de la herramienta necesaria para efectuar las reparaciones relacionadas con el mantenimiento preventivo, tales como:

- ✓ Llaves de distintas medidas
- ✓ Llaves inglesas
- ✓ Desarmadores
- ✓ Cinta de aislar
- ✓ Guantes para protección
- ✓ Tornillos para briedas
- ✓ Grasa
- ✓ Aceite
- ✓ Trapos para limpieza
- ✓ Cubetas de agua

La anterior herramienta deberá ubicarse en un lugar exclusivo, para evitar extravíos y su consecuente pérdida de tiempo debido a su búsqueda. De preferencia dicho lugar deberá ubicarse en el taller de mantenimiento.

### **4.3. Análisis de tiempos con el método propuesto**

#### **4.3.1. Análisis de los nuevos tiempos**

Evalutando el ejemplo del molde Cesta # 1, cuyo diagrama de flujo se encuentra en el capítulo 2, se procederá a realizar una comparación de los diagramas de flujo del método actual y el método propuesto, aplicando ciertos cambios.

En las figuras 17, 18 y 19 se puede apreciar el diagrama de flujo propuesto para el montaje de un molde, en el cual la principal diferencia con el actual es la eliminación de las demoras y las operaciones relacionadas con éstas, de esta manera el tiempo total disminuirá notablemente a 100.56 minutos o lo que es lo mismo 1 hora con 40 minutos y 33 segundos.

En las figuras 20, 21 y 22 se observa el diagrama de flujo propuesto para el desmontaje de un molde, en donde los principales cambios son la implementación de algunas inspecciones relacionadas con las rutinas de mantenimiento preventivo propuestas.

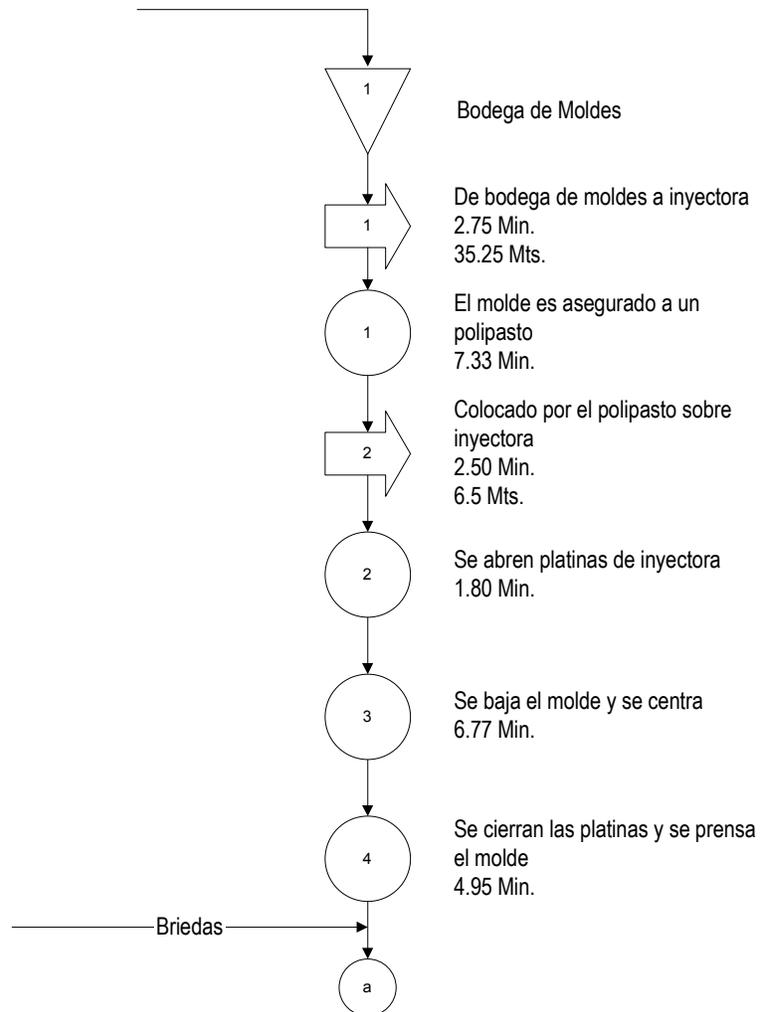
Aunque el tiempo total sufre un ligero aumento, se compensa con los tiempos muertos debido a problemas con los moldes que se podrán evitar al efectuar las rutinas de mantenimiento preventivo propuestas. El tiempo total de desmontaje queda en 63.70 minutos, que viene siendo lo mismo a 1 hora 3 minutos con 42 segundos.

Figura 17. Diagrama de flujo propuesto del montaje de un molde, 1ª Parte

Diagrama de flujo del proceso

Empresa: Induplastic S. A.  
Departamento: Inyección  
Proceso: Montaje de molde Cesta #1  
Fecha: Septiembre, 2006

Hoja: 1/3  
Elaborado por: Rodolfo Calderón  
Método: Propuesto

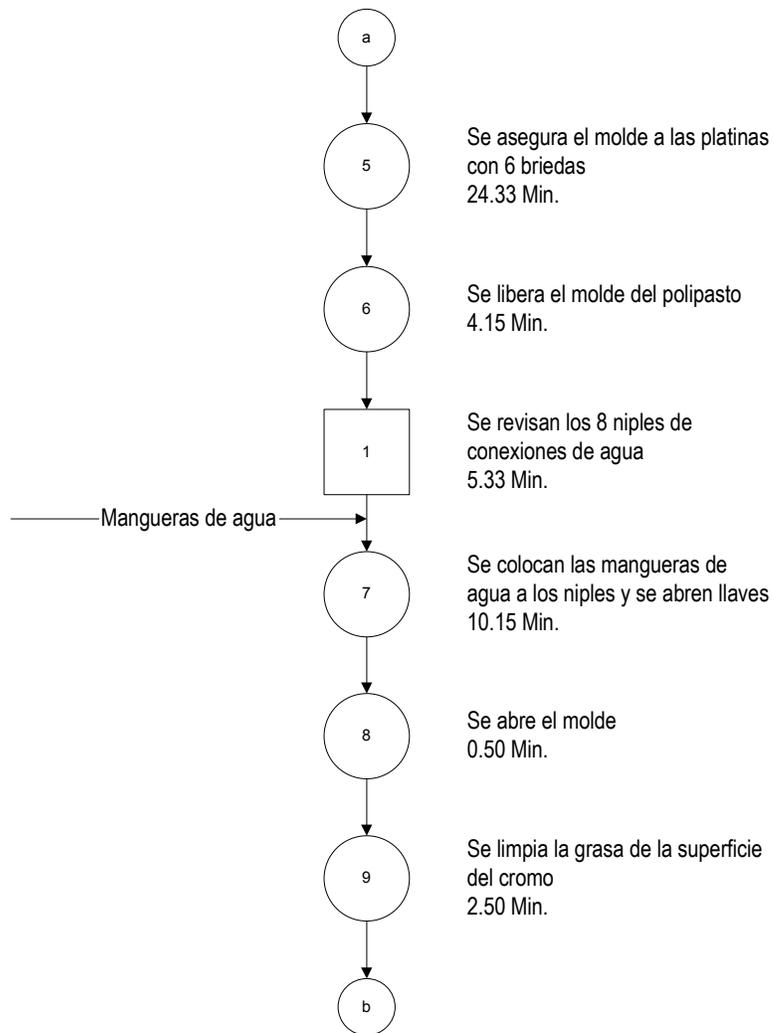


**Figura 18. Diagrama de flujo propuesto del montaje de un molde, 2ª Parte**

**Diagrama de flujo del proceso**

Empresa: Induplastic S. A.  
Departamento: Inyección  
Proceso: Montaje de molde Cesta #1  
Fecha: Septiembre, 2006

Hoja: 2/3  
Elaborado por: Rodolfo Calderón  
Método: Propuesto

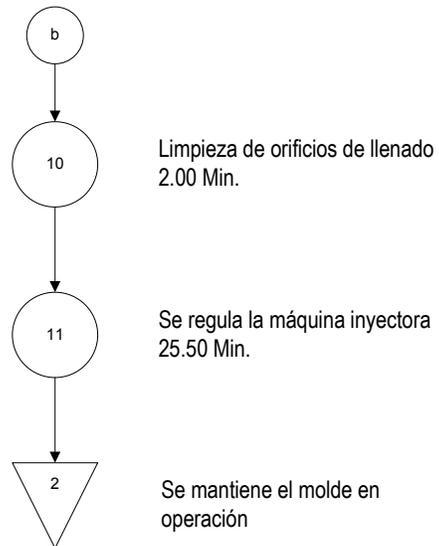


**Figura 19. Diagrama de flujo propuesto del montaje de un molde, 3ª Parte**

**Diagrama de flujo del proceso**

Empresa: Induplastic S. A.  
 Departamento: Inyección  
 Proceso: Montaje de molde Cesta #1  
 Fecha: Septiembre, 2006

Hoja: 3/3  
 Elaborado por: Rodolfo Calderón  
 Método: Propuesto



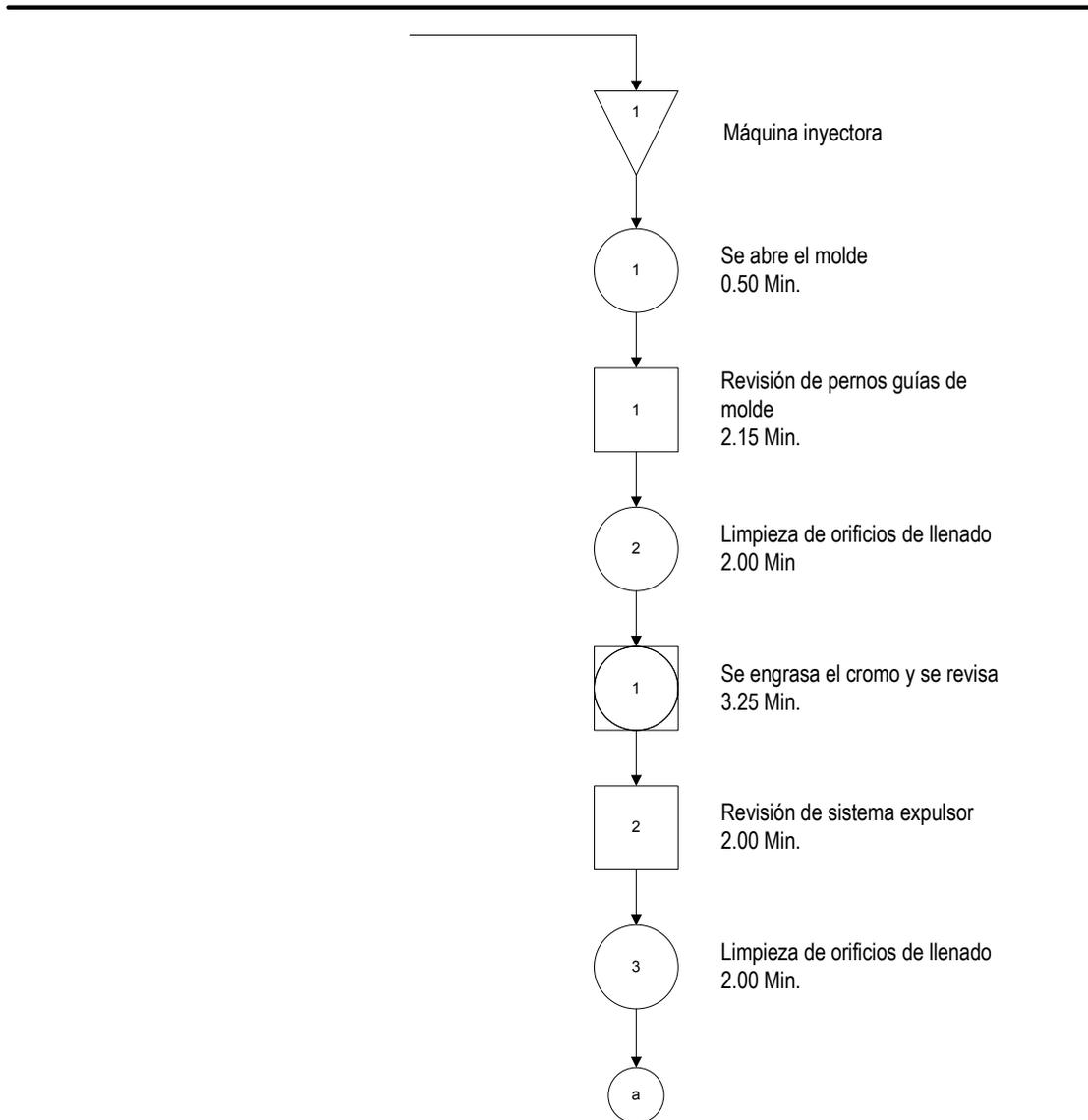
Símbolo	Descripción	Cantidad	Tiempo
○	Operación	11	89.98 Minutos
□	Inspección	1	05.33 Minutos
⊗	Inspección/Operación	0	00.00 Minutos
⇒	Transporte	2	05.25 Minutos
D	Demora	0	00.00 Minutos
▽	Almacenaje	2	00.00 Minutos
			<b>100.56 Minutos</b>

**Figura 20. Diagrama de flujo propuesto del desmontaje de un molde, 1ª Parte**

**Diagrama de flujo del proceso**

Empresa: Induplastic S. A.  
Departamento: Inyección  
Proceso: Desmontaje de molde Cesta # 1  
Fecha: Septiembre, 2006

Hoja: 1/3  
Elaborado por: Rodolfo Calderón  
Método: Propuesto

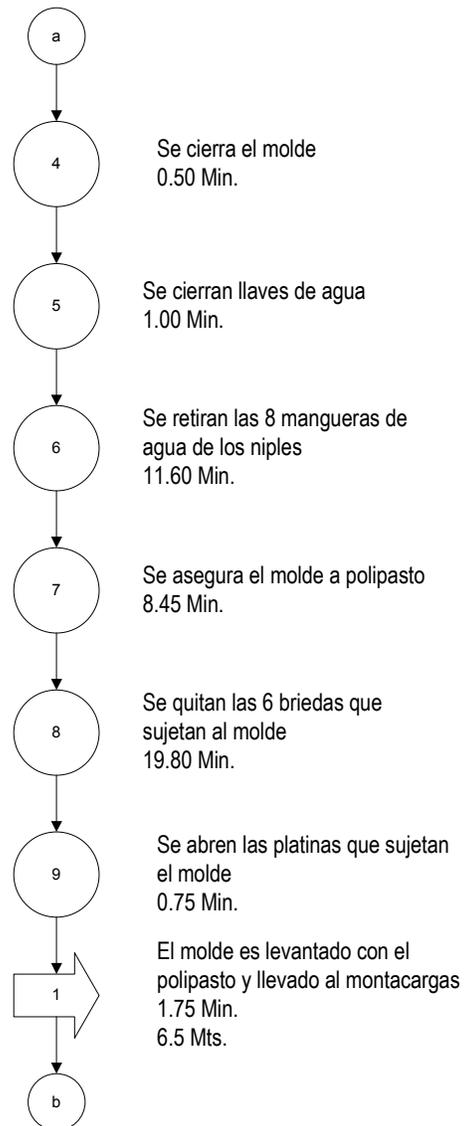


**Figura 21. Diagrama de flujo propuesto del desmontaje de un molde, 2ª Parte**

**Diagrama de flujo del proceso**

Empresa: Induplastic S. A.  
 Departamento: Inyección  
 Proceso: Desmontaje de molde Cesta #1  
 Fecha: Septiembre, 2006

Hoja: 2/3  
 Elaborado por: Rodolfo Calderón  
 Método: Propuesto

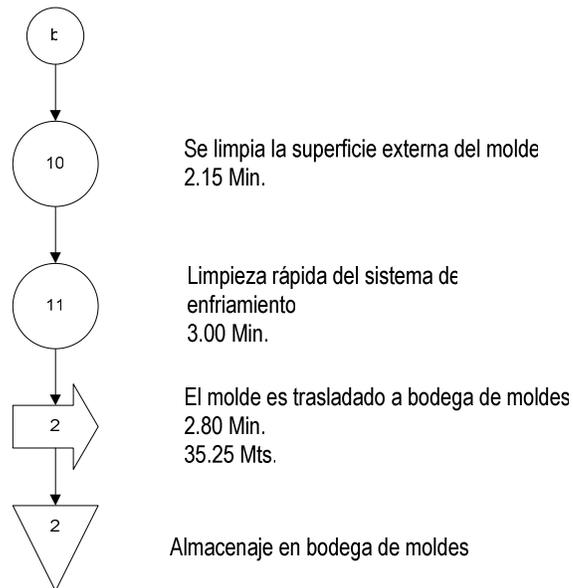


**Figura 22. Diagrama de flujo propuesto del desmontaje de un molde, 3ª Parte**

**Diagrama de flujo del proceso**

Empresa: Induplastic S. A  
 Departamento: Inyección  
 Proceso: Desmontaje de molde Cesta #1  
 Fecha: Septiembre, 2006

Hoja: 3/3  
 Elaborado por: Rodolfo Calderón  
 Método: Propuesto



Símbolo	Descripción	Cantidad	Tiempo
○	Operación	11	51.75 Minutos
□	Inspección	2	04.15 Minutos
○□	Inspección/Operación	1	03.25 Minutos
→	Transporte	2	04.55 Minutos
D	Demora	0	00.00 Minutos
▽	Almacenaje	2	00.00 Minutos
			<b>63.70 Minutos</b>

## **5. SEGUIMIENTO DEL NUEVO PROGRAMA**

### **5.1. Manejo de la información**

#### **5.1.1. Seguimiento de la hoja de vida**

La hoja de vida será el instrumento más importante para llevar el control del mantenimiento brindado a los moldes, así como de los datos relacionados a los tiempos que pasa en operación, los cuales servirán de referencia para el control de ciertas rutinas de mantenimiento preventivo basadas en los tiempos mencionados.

Además servirá para determinar cuales son los problemas más frecuentes que posee el molde en lo referente al mantenimiento correctivo, para así establecer una rutina de mantenimiento preventiva específica, para esa característica defectuosa que posea el molde.

También permitirá determinar con más precisión la frecuencia anual del uso de los moldes en operación, y así establecer una mejor planificación de la producción.

### **5.2. Análisis de los paros en máquina**

Debido a que es imposible evitar en un 100% que sucedan los paros de producción, se tratará de evitarlos al máximo, mediante las rutinas de mantenimiento preventivo de los moldes, aunque siempre se está propenso a los paros debidos a otras situaciones ajenas a los moldes. Todo lo anterior se puede estudiar en base a los tiempos muertos.

### **5.2.1. Tiempos muertos**

Los tiempos muertos existentes debido a problemas con moldes que pudieran ocurrir luego de poner en práctica las rutinas de mantenimiento preventivo, deben ser tomados en cuenta para modificar dichas rutinas si es necesario según sea el caso.

También deben evaluarse si dichas rutinas están siendo bien aplicadas, y derivado de esto se dan los tiempos muertos.

## **5.3. Disponibilidad de recursos**

### **5.3.1. Recurso Humano**

Si se cumplen las rutinas de mantenimiento preventivo por parte del personal asignado, estos últimos dispondrán de mayor tiempo para realizar otras tareas, aunque esto dependerá también de la buena planificación que se haga respecto al montaje y desmontaje de los moldes. Tanto el personal de taller como el encargado de mantenimiento serán los encargados de velar por una planificación correcta de las actividades relacionadas al mantenimiento de moldes.

### **5.3.2. Recurso material**

Debido a que se dispondrá con un inventario de repuestos relacionados con los moldes, se evitarán atrasos relacionados a la ausencia de repuestos en reparaciones a los moldes, así como también se evitará extraer repuestos de otros moldes para complementar a otros.

Las herramientas que se utilizarán en los cambios de moldes, se encontraran a la mano, debido a que siempre estarán en un lugar específico para su almacenamiento.

#### 5.4. Eficiencia de proceso

De acuerdo al análisis hecho a los diagramas de flujo, se puede realizar una comparación de los tiempos del método actual y el método propuesto, la cual se puede observar en la tabla VIII.

**Tabla VIII. Comparación del método actual y el método propuesto**

	Tiempo de montaje (Min.)	Tiempo de desmontaje (Min.)
Método Actual	120.41	52.63
Método Propuesto	100.56	63.7
Diferencia de tiempos	19.8	-11.07

En la anterior tabla se puede observar que se registró una rebaja de tiempos en el montaje y un aumento de tiempos en el desmontaje, debido a las inspecciones incluidas; pero en general la suma de ambos tiempos en el método propuesto es menor a la suma de tiempos con el método actual por 8.73 Minutos, es decir que va a existir un 5.04% de rebaja con respecto al tiempo del método actual.



## CONCLUSIONES

1. El estado de los moldes de inyección plástica constituye uno de los factores más importantes a tomar en cuenta para la calidad final del producto terminado.
2. La calidad del producto terminado depende en cierta medida del proceso de cambio de moldes debido a que si no se brinda el mantenimiento necesario al molde durante el cambio, existirán problemas que repercutirán en la calidad del producto terminado.
3. Los problemas relacionados con los moldes de inyección plástica constituyen la causa más frecuente de los tiempos muertos en producción, seguido de los atrasos debido a problemas con las inyectoras.
4. Actualmente, el 80% de los moldes de inyección plástica se encuentran en buenas condiciones para utilizarse, el resto presenta ciertos problemas relacionados al mantenimiento.
5. La estandarización de tiempos en el montaje y desmontaje de moldes va depender de las características de cada uno, pero su proceso en sí, seguirá el patrón establecido en el trabajo de graduación.

6. El cumplimiento de las rutinas de mantenimiento preventivo, mantendrá los moldes en óptimas condiciones, para que los aspectos de calidad que dependan de los moldes, se mantengan en un nivel aceptable para el cliente.
  
7. Aunque la aplicación del mantenimiento preventivo para evitar problemas en los moldes, no significa que nunca existirán fallas en los moldes.
  
8. Aunque el ahorro de tiempos sea relativamente bajo, a la larga se compensará con la reducción de los tiempos muertos causados por problemas con los moldes de inyección.

## RECOMENDACIONES

1. La Hoja de vida de los moldes puede ser llevada electrónicamente en una base de datos, con la ventaja que en una hoja electrónica se puede almacenar más información que en una hoja física (papel), evitando también el deterioro de la hoja de vida.
2. Las rutinas de mantenimiento siguen el patrón de las características generales de los moldes, pero de existir alguna rutina que pudiera agregarse al programa, no debería dudarse en agregarse.
3. Se debe buscar el compromiso del personal para el cumplimiento de las rutinas de mantenimiento, así como con la información requerida en la hoja de vida de los moldes.
4. La creación del stock de repuestos para moldes servirá para evitar atrasos debido a la falta de estos, por lo que se recomienda su creación.
5. Una de las causas de atrasos en el momento del montaje y el desmontaje, es la falta de herramienta y de repuestos, por lo que es necesario capacitar al personal en los elementos que necesitará al momento del montaje o desmontaje, para así evitar atrasos innecesarios.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Bolaños Gudiel, Erick Garivaldi. "Diseño, mantenimiento y reparación de moldes para inyección de plásticos". Tesis de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1990.
2. Cardona Revolorio, Juan Ángel. "Diseño y evaluación de un programa de mantenimiento preventivo". Tesis Ingeniería Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1979.
3. González Rosal, Leopoldo. "Mantenimiento preventivo eléctrico en fábricas". Tesis Ingeniería Eléctrica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1977.
4. Ixcolín Barrios, Julio César. "Sistemas informáticos para la automatización de programas de mantenimiento". Tesis Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995.
5. Landes, Daniel; traductor. "**Nociones fundamentales sobre plásticos**", Departamento de Educación de Pantón.
6. Ling Altamirano, Federico. "**Equipos industriales: guía práctica para su reparación y mantenimiento**". Editorial McGraw Hill. México 1988. Tr. Francisco G. Noriega. Rev. Fausto Días Rodríguez.
7. Manrique Jerez, Max Francisco. "Diseño de moldes para el proceso de rotomoldeo de materiales plásticos". Tesis de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003.

8. Morrow, L. C. **“Manual de mantenimiento industrial”**. Editorial CECOSA. México, 1986. Tr. Fernando Garza Quiroz.
9. Rosales, Roberto C.; Rice, James O., **“Manual de mantenimiento industrial”**, traductor: Julio Fournier González.
10. Salvatierra Villatoro, Edgar Roel. “Manual de mantenimiento preventivo de moldes de inyección para la industria productora de envase plástico PET”. Tesis Ing. Mecánica Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004.
11. Toledo Melgar, Raúl Estuardo. “Implementación de plan de mantenimiento preventivo para máquinas cortadoras selladoras de bolsa plástica tipo industrial en la empresa Servibol”. Tesis Ing. Mecánica Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala. Ingeniero Mecánico, 2004.

## APÉNDICE





