

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Incremento de Eficiencia en una Máquina Formadora de  
Envases de Vidrio, Utilizando Herramientas de Manufactura

Esbelta y Seis Sigma“

**INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Carlos Vicente Pérez Narvárez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2010

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Manuel Helguero por su invaluable ayuda en la realización de este trabajo. Al grupo LSS que desarrolló y llevó a feliz término el proyecto.

# **DEDICATORIA**

**A MIS PADRES**

**A MI ESPOSA**

**A MI HIJA**

**A MIS HERMANOS**

**A MIS SOBRINOS**

## **TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

---

**Ing. Francisco Andrade S.**

**DECANO DE LA FIMCP**

---

**Ing. Manuel Helguero G.**

**DIRECTOR DEL INFORME  
DE TRABAJO PROFESIONAL**

---

**Ing. Marcos Buestán B.**

**VOCAL PRINCIPAL**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este Informe de Trabajo Profesional, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de graduación de la ESPOL)

---

Carlos Vicente Pérez Narváez

## RESUMEN

El trabajo que a continuación se presenta, es un resumen de las actividades que se desarrolló como Líder del proyecto: “Incrementar la eficiencia de formación en 0.3% de una máquina formadora de envases de vidrio”. La idea de este proyecto nació luego que un análisis de la empresa determinó que esta máquina tenía el potencial de ser una de las mejores máquinas de Latinoamérica, pero tenía una baja eficiencia en el área de formación, razón por la cual se me encargó la determinación y solución de las causas del problema, poniendo como objetivo una mejora del 0.3%.

Para facilitar la comprensión del proyecto en el primer capítulo se realizará un resumen de cómo se fabrican los envases de vidrio y los procesos existentes para fabricar envases, como son: Soplo y soplo, prensa y soplo, y NNPB.

Como herramientas para determinar las causas del problema y las soluciones del mismo se utilizó las herramientas de Lean Six Sigma, en el segundo capítulo se dará una introducción al proceso DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) y las diferentes herramientas utilizadas en cada una de las etapas.

En el tercer capítulo se mostrará como se desarrolló el proyecto utilizando LSS, de una manera didáctica se relacionará el proyecto con cada etapa del proceso DMAIC, definición del proyecto; medición de la capacidad del proceso; análisis de los factores claves que tienen mayor impacto en el rendimiento del proceso; implementación de las soluciones a los problemas que fueron determinados en la etapa anterior; y posteriormente se continuará a la etapa de control la cual asegura el mantener en el tiempo las mejoras realizadas.

En el capítulo cuatro se expondrá las conclusiones y recomendaciones que se derivaron del proyecto.

# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS ENVASES DE VIDRIO .....	3
1.1 Fabricación de envases de vidrio.....	3
1.2 Procesos empleados para la formación de envases de vidrio.....	10
1.2.1 Proceso soplo y soplo.....	10
1.2.2 Proceso prensa y soplo.....	11
1.2.3 Proceso NNPB.....	12

## CAPÍTULO 2

2. INTRODUCCIÓN A LEAN SIX SIGMA (LSS).....	14
2.1 Metodología DMAIC.....	16
2.1.1 Etapa Definir.....	17
2.1.2 Etapa Medir.....	19
2.1.3 Etapa Analizar.....	20
2.1.4 Etapa Mejorar.....	21
2.1.5 Etapa Controlar.....	22

## CAPÍTULO 3

3.- INCREMENTAR 0.3% LA EFICIENCIA DE UNA MÁQUINA FORMADORA DE ENVASES DE VIDRIO.....	24
3.1 Definición y alcance del proyecto.....	27
3.2 Proceso de toma de datos y determinación de la capacidad de proceso.....	31
3.3 Análisis de datos y determinación de posibles soluciones.....	38
3.4 Implementación de soluciones.....	43
3.4.1 Carga de la máquina.....	43
3.4.2 Determinación de los parámetros de la carga de la máquina .....	45
3.4.3 Manejo de envases en formación.....	56

3.5 Seguimiento y control del proyecto.....	58
---	----

## CAPÍTULO 4

4.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	63
---------------------------------	----

4.1 Beneficios que se obtuvieron en la operación.....	63
---	----

4.2 Beneficios económicos.....	66
--------------------------------	----

## APÉNDICES

## BIBLIOGRAFÍA

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1	Diagrama del proceso de fabricación de envases de vidrio.....	9
Fig. 1.2	Proceso de formación Soplo & Soplo.....	11
Fig. 1.3	Proceso de formación Prensa & Soplo.....	12
Fig. 1.4	Proceso NNPB.....	13
Fig. 3.1	Diagrama SIPOC.....	29
Fig. 3.2	Cuadro de control de la eficiencia de formación de Enero a Julio del 2009.....	32
Fig. 3.3	IM-R y Carta de control de la eficiencia de formación en Flint.....	33
Fig. 3.4	IM-R y Carta de control de la eficiencia de formación en Ámbar..	33
Fig. 3.5	Prueba R&R del sistema de medición.....	34
Fig. 3.6	Capacidad de proceso Eficiencia de formación.....	35
Fig. 3.7	Mapa de flujo de valor del proceso.....	36
Fig. 3.8	Tiempos perdidos de la A3 Ecuador.....	38
Fig. 3.9	Tiempos perdidos por cambios de referencia.....	39
Fig. 3.10	Tiempos perdidos por Formación.....	40
Fig. 3.11	Tiempos perdidos por Reparación de Máquinas.....	41
Fig. 3.12	Soporte de cucharas.....	44
Fig. 3.13	Entrega de cuchara a canales.....	44
Fig. 3.14	Eficiencia de formación.....	59
Fig. 3.15	Eficiencia de formación en Ámbar.....	60
Fig. 3.16	Eficiencia de formación en Flint.....	60
Fig. 3.17	Capacidad de proceso luego de las mejoras.....	61
Fig. 3.18	Plan de control.....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1	Voz del cliente.....	28
TABLA 3.2	Análisis de riesgo.....	30
TABLA 3.3	Cálculo del fase de la máquina.....	48
TABLA 3.4	Cálculo de carga de gota.....	51
TABLA 4.1	Reporte de ganancias del proyecto.....	67

## ABREVIATURAS

<b>BPM</b>	Botellas por minuto.
<b>°C</b>	Grados centígrados.
<b>DMAIC</b>	Definir, medir, analizar, mejorar, controlar.
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit.
<b>FP</b>	Ferguson portable.
<b>gr.</b>	Gramos.
<b>I.S.</b>	Secciones individuales).
<b>LSS</b>	Lean Six Sigma (Manufactura esbelta y seis sigma).
<b>mm.</b>	Milímetros.
<b>min.</b>	Minutos.
<b>NNPB</b>	Prensado boca estrecha.
<b>PIC</b>	Interfase de control de producción.
<b>PRS</b>	Sistema de registro de producción.
<b>pulg.</b>	Pulgadas.
<b>seg.</b>	Segundos.
<b>SIPOC</b>	Proveedores, entradas, proceso, salidas, clientes.
<b>Ton</b>	Toneladas.
<b>TP</b>	Tiempo perdido.
<b>VOB</b>	Voz del negocio.
<b>VOC</b>	Voz del cliente.
<b>R&amp;R</b>	Reproducibilidad y reproductividad

## SIMBOLOGÍA

<b>A</b>	Diferencia entre secciones físicas y activas.
<b>C<sub>pk</sub></b>	Índice de capacidad de proceso, muestra.
<b>D</b>	Distancia entre dos secciones.
<b>P<sub>pk</sub></b>	Índice de capacidad de proceso, población.
<b>M.P.</b>	Fase de máquina.
<b>M.P.<sub>ALL</sub><sup>o</sup></b>	Fase de los barredores.
<b>t<sub>Ciclo</sub></b>	Tiempo de duración para hacer una botella por cavidad.
<b>t<sub>1</sub></b>	Tiempo desde el cero de la sección hasta la entrada al premolde.
<b>t<sub>2</sub></b>	Tiempo desde el rechazador hasta la entrada al premolde.
<b>t<sub>3</sub></b>	Tiempo desde el corte hasta el rechazador.
<b>t<sub>4</sub></b>	Tiempo entre dos cortes consecutivos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. **GEORGE GROUP**, Manual de entrenamiento para cintas verdes, 2009.
2. **ISHIGURO JUAN**, Machine Phase, Gob Load, Delta and Reject, 2004
3. **PEREZ CARLOS**, “Incremento de 0.3% de la eficiencia de formación de la máquina A3 de Guayaquil”, 2009.
4. **OWENS ILLINOIS**, COM-SOC Training Manual, 2000
5. **OWENS ILLINOIS**, “ Fuego y Arena”, Video ilustrativo de la manufactura de envases de vidrio, 1999

## INTRODUCCIÓN

La eficiencia de formación esta definida como la relación entre la cantidad de botellas que pasan al archa y las gotas que fueron cortadas, esta eficiencia es un indicativo muy confiable de la calidad de las calibraciones mecánicas y electrónicas que fueron hechas en una máquina formadora de envases previo a la producción de los mismos.

Durante el desarrollo de este trabajo se utilizará terminología propia de la industria del vidrio que vale la pena definir ahora:

Máquina IS: Máquina formadora de envases del tipo secciones individuales, pueden tener de 6 a 12 secciones, de una a cuatro cavidades.

Archa: Equipo utilizado para realizar el tratamiento térmico de recocido a los envases una vez salen de la Máquina IS.

Carga de gota: Es la entrada consistente en el tiempo de las gotas en el lado premolde de las máquinas IS.

**Manejo:** Se llama manejo al conjunto de ajustes y calibraciones que aseguran un correcto transporte de los envases desde la máquina formadora hacia todas las etapas del proceso de fabricación.

**Tiempo perdido:** Tiempo en el cual la máquina formadora deja de producir envases, ya sea por daños mecánicos o por paradas programadas asignables a diferentes departamentos que participan en el proceso.

**Cambios de referencia:** Es el proceso de cambiar la producción de un tipo de envases a otro diferente, por su dificultad están clasificados en una escala del 1 al 7, siendo 7 los de mayor dificultad.

**Feeder:** Caja reductora que mueve los mecanismos de aguja y tijeras, el motor de esta caja es el que sincroniza los movimientos de todos los motores de la máquina.

# **CAPÍTULO 1**

## **1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS ENVASES DE VIDRIO.**

En el este capítulo se dará una breve explicación sobre la fabricación de los envases de vidrio y los diferentes procesos que se involucran en la misma.

### **1.1 Fabricación de los envases de vidrio.**

El proceso de fabricación de envases de vidrio cuenta con las siguientes etapas:

- 1.- Pesado y mezclado.
- 2.- Fundición.

- 3.- Refinación.
- 4.- Acondicionamiento.
- 5.- Formación de envases.
- 6.- Recocido.
- 7.- Inspección automática.
- 8.- Paletizado.
- 9.- Almacenamiento.
- 10.- Despacho.

El proceso de formación empieza con la llegada de las materias primas: Arena, Soda Ash, Caliza.

La arena es el componente básico, forma el 70% de la mezcla, el trabajo de la soda es permitir un fundido parejo de la arena, la caliza ayuda a que el envase sea más fácil de formar y lo hace durable.

Otros componentes usados en cantidades pequeñas ayudan a formar los diferentes colores del vidrio, por ejemplo si se agrega hierro, sulfato y carbón se forma el color ámbar que evita los rayos ultravioletas, otro componente usado es el casco que es el termino

que se usa para llamar a los envases de vidrio reciclados, separados por colores, triturados y regresados a la planta para volver a convertirlos en envases, la utilización de altos porcentajes de casco ayudan al ahorro de energía al bajar la temperatura del fundido y reducen la utilización de materia prima.

Luego de descargar las materias primas, estas son llevadas a la casa de mezcla, bajo estricto control automático los ingredientes son pesados y mezclados, luego la mezcla es llevada al horno y se va suministrando al tiempo de que una cantidad similar de vidrio fundido sale por el otro extremo, esto mantiene el nivel del horno casi al mismo nivel, de hecho, el nivel del horno es controlado y se mantiene con una exactitud de 0,01 pulg., esto ayudará a una fabricación consistente.

A una temperatura de 2850°F los componentes se funden juntos para formar vidrio fundido, un típico horno esta hecho de ladrillos refractarios, los hornos son calentados por una combinación de electricidad, gas o petróleo.

Del horno el vidrio va al refinador, el este se deja que los gases producto de las reacciones químicas que se dieron en la fusión

escapen. Aún el vidrio no está en capacidad para convertirse en envases ya que está muy caliente con una consistencia igual que el agua, necesitamos que reduzca su temperatura hasta que se haga viscoso como la miel.

Ahora el vidrio va hacia una cámara larga llamada canal acondicionador, esta cámara está diseñada para disminuir la temperatura del vidrio en una forma pareja hasta unos 2100°F, al final del canal está el Feeder que es el primer paso para convertir el vidrio a envases de vidrio. El Feeder usa una tina rotatoria que se mueve hacia arriba y hacia abajo para controlar el flujo de vidrio y una o más agujas, estas agujas empujan el vidrio para que salga por un orificio llamado el anillo, cada golpe de la aguja empuja al vidrio para que salga por el orificio, luego que pasa por el orificio es cortado por cuchillas en el momento preciso para formar cilindros alargados de vidrio a los cuales se les llama gotas, cada gota formará un envase de vidrio.

La altura de la tina, el golpe de las agujas, el tamaño del anillo, y la frecuencia del corte, determinan el tamaño y forma del envase resultante.

Luego la gota viaja por una serie de deflectores a la máquina formadora, cada gota cae primero es un cucharón que dirige la gota a un molde específico, la gota se desliza hacia un deflector y cae en el primero de dos moldes en la máquina formadora.

El primer molde es llamado el premolde, aquí el terminado es moldeado y el resto del gota queda en una forma alargada llamada palezón, en este punto el palezón esta de cabeza y no parece aún una botella, pero ya esta lista para ser llevado a su forma final.

Del premolde el palezón es invertido y llevado al molde donde es soplado con aire comprimido y llevado a su forma final.

Para producir envases, se cuenta con equipos de moldes que se instalan en la máquina de formación que dependiendo del tamaño de la boca del envase sea esta angosta o ancha, estos se fabrican bajo el proceso Soplo y Soplo o Prensa y Soplo, respectivamente.

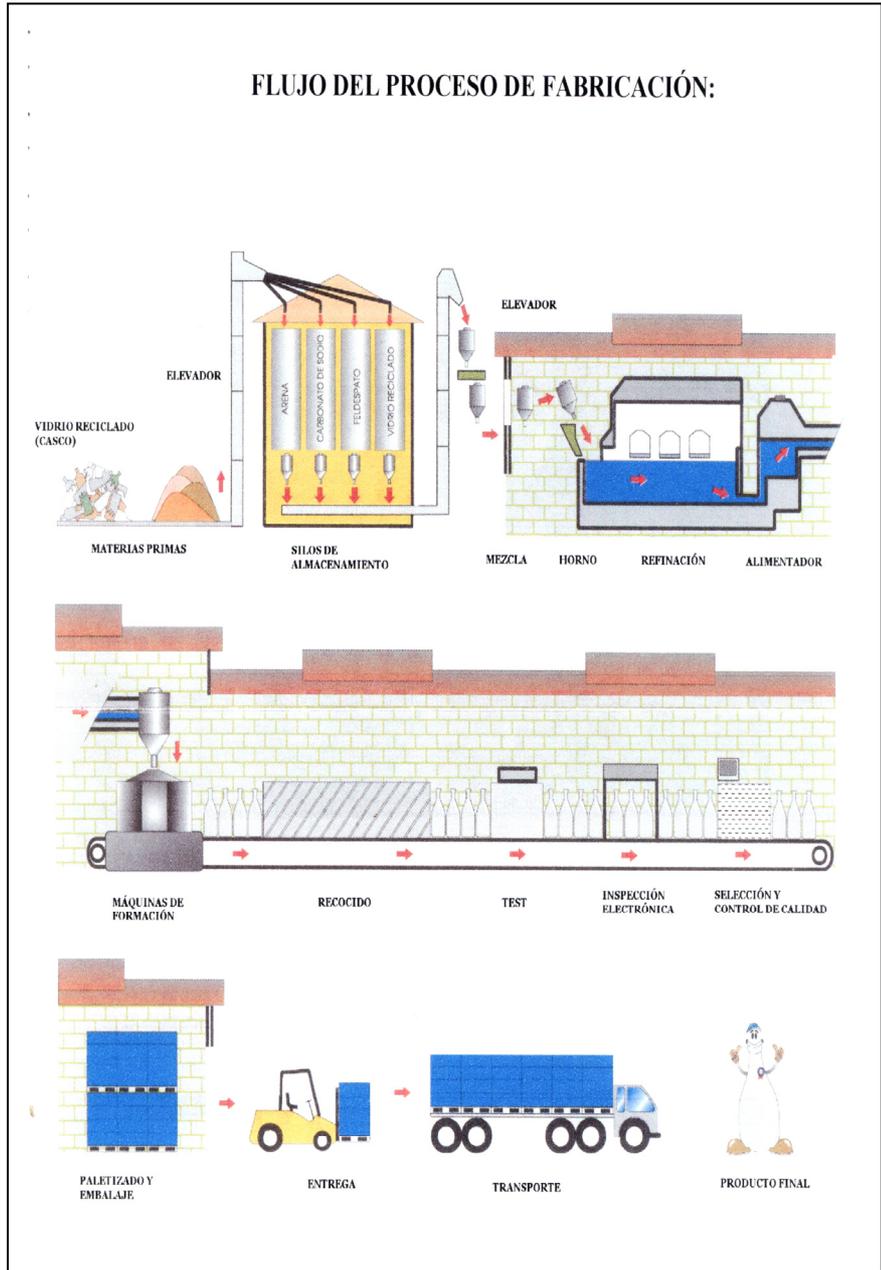
Después del proceso de fabricación son transportados a unos hornos especiales llamados archas en el cual son recocidos para evitar que estos se rompan debido al choque térmico, el alcance

del proyecto se centra en la perdidas de envases que se dan desde la carga de gota hasta antes de entrar al archa de recocido.

Todos los envases son sometidos a un control de calidad por equipos especiales llamados FP's los cuales inspeccionan el envase en busca de defectos originados en formación. De encontrar algún defecto el equipo rechaza el envase el cual es transportado por una banda hacia el sótano y de ahí pasa a formar parte de una nueva mezcla.

Una vez pasado el control de calidad, los envases son paletizados automáticamente para luego ser llevados a las bodegas y estar listos para ser despachados a los clientes (ver Fig. 1.1).

En el caso de refrescos, si estos necesitan etiquetas o algún decorado, los envases son llevados al área de decoración que a través de un sistema Silk Screen son impresos y luego quemados en hornos especiales donde la pintura es vitrificada.



**Fig. 1.1 Diagrama del proceso de fabricación de envases de vidrio.**

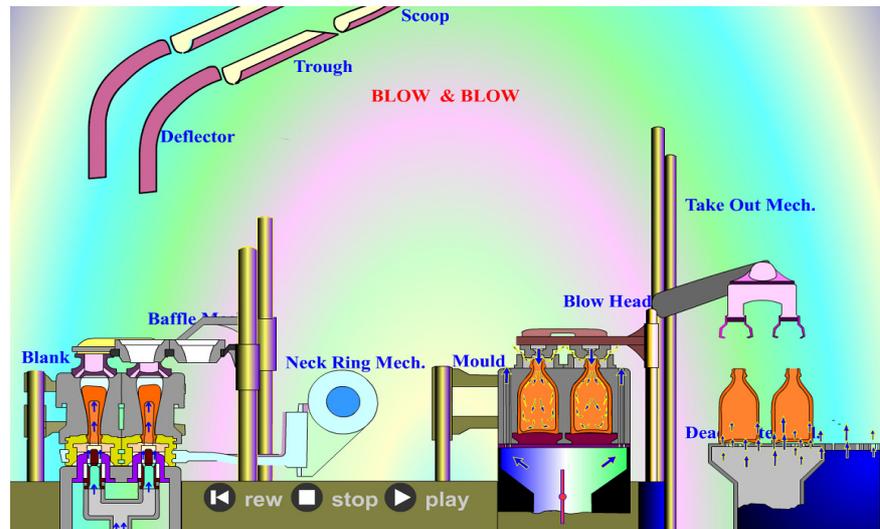
## **1.2 Procesos empleados para la formación de envases de vidrio.**

Existen dos procesos básicos para la formación de envases: Soplo & soplo y Prensa & soplo, existen otros procesos derivados de estos como es el NNPB (prensado de boca angosta, por sus siglas en ingles).

### **1.2.1 Proceso Soplo & Soplo.**

Es un proceso por el cual el palezón se forma a través de aire comprimido, en primer lugar el soplo de asentamiento empuja al vidrio hacia la parte inferior formando el terminado, posteriormente las agujas inyectan aire comprimido formando el palezón, este palezón es invertido hacia el lado molde donde al ser soplado nuevamente toma su forma final (ver Fig. 1.2).

Este proceso es utilizado para envases con diámetros de terminados menores a 38mm, debido a que el palezón se formó por medio de aire comprimido, este proceso no garantiza una distribución pareja del vidrio cuando se trabaja con pesos relativamente bajos.

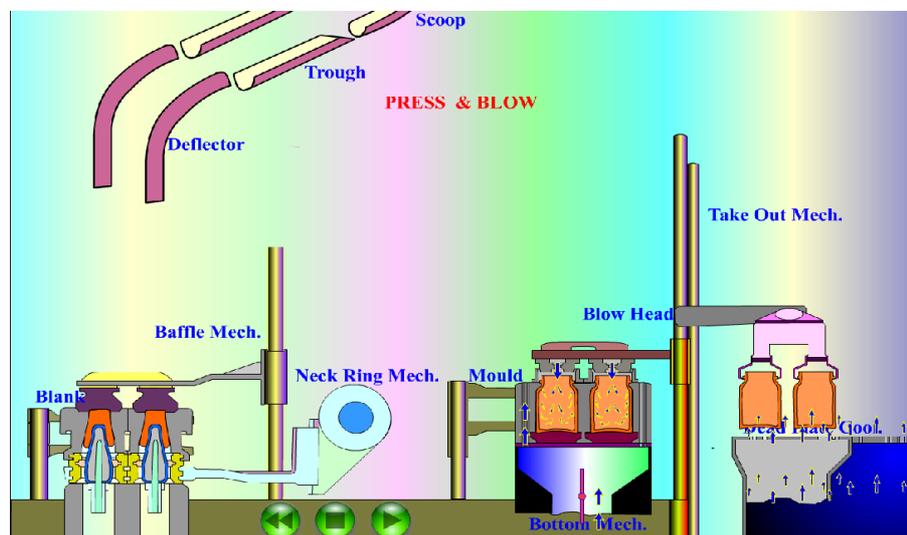


**Fig. 1.2 Proceso de formación Soplo & Soplo.**

### 1.2.2 Proceso Prensa & Soplo

En este proceso el palezón se forma mediante el prensado del vidrio por medio de un macho. En primer lugar al cargar la gota en el premolde este se cierra y el baffle sella la cavidad, en ese momento el macho sube y prensa el vidrio, a diferencia del proceso Soplo y Soplo en el que lo que primero se forma es el terminado, en el prensado lo último que se forma es el terminado y lo hace con el vidrio que es desplazado de la cavidad del premolde (ver Fig. 1.3).

Este proceso garantiza la distribución del vidrio en el envase y es usado para envases con diámetros de terminado superiores a los 38mm. Por su misma naturaleza es muy sensible a las variaciones de peso superiores a los 5gr., pudiendo generar defectos que harían que la botella no sirva.



**Fig. 1.3 Proceso de formación Prensa & Soplo.**

### 1.2.3 Proceso NNPB

Este proceso es una combinación de los dos procesos anteriores, es un prensado para envases con terminados menores de 38mm, fue desarrollado para aprovechar las ventajas del prensado y soplado en lo que respecta a

distribución de vidrio y aprovecharlo para la disminución de peso en los envases con terminados pequeños, con esto se obtiene una gran disminución de peso en los envases de alrededor del 25% (ver Fig. 1.4).

Al ser un prensado también es sensible a las variaciones de peso, pero este proceso solo permite variaciones de máximo 2.5 gr. por lo que es necesario que trabaje con un control automático de peso, donde el actuador está en el mecanismo de subir y bajar el tubo refractario (tina) y los sensores están en los machos de prensado, la penetración que los machos hagan le indicará al control el peso que tienen las gotas y este realizará las correcciones debidas.



**Fig. 1.4 Proceso NNPB**

# CAPÍTULO 2

## 2.0 INTRODUCCIÓN A LEAN SIX SIGMA (LSS).

Todas las empresas apuntan a objetivos de calidad, de reducción de costos y plazos de entrega como por ejemplo:

- Lealtad y retención de clientes.
- Demandas de plazos de entrega más cortos por parte del cliente.
- Presión de reducción de precios: costos más bajos.
- Menor cantidad de capital invertido.
- Expansión de capacidad.

Básicamente las herramientas de Lean (Manufactura esbelta) ayudan a eliminar pasos que no agregan valor en un proceso enfocándose en:

- Aceleración de la duración del ciclo del proceso.
- Identificación y resolución de restricciones internas y externas.
- Reducción de rechazos y cambios.
- Mejora de eficacia del ciclo de proceso.
- Respuesta mejorada a los cambios en las demandas del proceso.
- Cargas de trabajo equilibradas.
- Flujo del proceso optimizado.
- Identificación y eliminación de los desechos del proceso.
- Búferes de inventario estratégico.
- Mantenimiento productivo total.
- Reducciones estratégicas del inventario de productos terminados.
- Sistemas de control de trabajo, capacidad de trabajo en proceso, sistema de fabricación por demanda.

Seis sigma se enfoca en reducir la variabilidad de los procesos, es decir, en mejorar el rendimiento con respecto a los requisitos del cliente. Para esto utiliza herramientas estadísticas a través del proceso DMAIC con el objeto de obtener resultados sostenibles.

## 2.1 Metodología DMAIC.

Una característica principal para que un proyecto sea candidato para ser trabajado por medio de LSS, es que este alienado con la estrategia y las prioridades del negocio, como por ejemplo:

- Problemas con clientes / oportunidades.
- Estrategia comercial.
- Metas / objetivos.
- Prioridades.

Luego de haber hecho una base de datos con proyectos candidatos, el equipo gerencial debe priorizarlos de acuerdo a los beneficios que este puede significar para la compañía, posteriormente se designa un “Cinta” encargado del desarrollo y aplicación de herramientas LSS y un patrocinador del proyecto, este último es el encargado de inspeccionar el progreso y mantener los resultados del proyecto.

La metodología DMAIC da el marco para la gestión del proyecto, consta de 5 etapas:

- **Definir** el propósito y alcance del proyecto.
- **Medir** el rendimiento actual.
- **Analizar** las causas y corroborarlas con los datos.
- **Mejorar** eliminando la variación y las actividades que no aportan valor agregado.
- **Controlar** las ganancias mediante la estandarización.

### 2.1.1 Etapa DEFINIR.

Como se mencionó en esta etapa lo que se espera es definir el propósito y alcance del proyecto desde la perspectiva de la empresa y el cliente. Para esto se utiliza varias herramientas como son:

- **Carta del proyecto:** Especifica el problema, el alcance, el cuando, donde y como se presenta el problema y adicionalmente los beneficios que se espera alcanzar, es una carta viva, es decir, que puede cambiar de acuerdo a lo que se vaya encontrando en el desarrollo del proyecto.

- **SIPOC:** Es una herramienta que da una visión general del proceso en estudio (Proveedores, Entradas al sistema, Proceso, Salidas, Clientes)
- **VOB, VOC:** Es una herramienta que ayuda a recopilar la voz del negocio y la voz del cliente, con esto se puede establecer los requerimientos y enfocar el esfuerzo en poder solventar estas necesidades.

Adicionalmente se debe establecer los canales de comunicación y hacer una análisis de riesgos para la ejecución del proyecto.

### 2.1.2 Etapa MEDIR.

Lo que se busca en esta etapa es comprender el proceso y su rendimiento, con la ayuda del SIPOC **se determina las entradas y salidas del proceso**  $Y=f(X)$ , Las preguntas claves son:

- 1.- ¿Cuáles son la X fundamentales?
- 2.- ¿Qué X deben mejorarse y controlarse para dar un satisfactorio Y?

Una vez establecidas las X se procede a levantar información de acuerdo al plan que establezca el grupo.

Luego se articula el proceso a través del **mapa de la cadena de valor**, en el cual partiendo del SIPOC, se diagrama el flujo de proceso, el flujo de materiales, flujo de información, se recopilan datos importantes como por ejemplo: temperaturas de operación, velocidad, capacidad de producción, etc., por último se identifica y prioriza oportunidades de mejora.

Una vez establecido el mapa de flujo de valor y las X del proceso se debe **validar el sistema de medición** mediante herramientas R & R.

La recolección de datos debe ser establecida en un **plan de recopilación de datos**, en el cual se establece responsables y frecuencia de la toma de datos.

Una vez se tenga suficientes datos se debe **evaluar la capacidad del proceso y el rendimiento del mismo**, se determina los índices de capacidad como son Cpk, Ppk y se establece la normalidad de la información.

### **2.1.3 Etapa ANALIZAR.**

En la etapa analizar lo primordial es establecer los factores claves (X críticas), que tienen el mayor impacto en el rendimiento del proceso y determinar las causas principales de variación.

Para determinar las X críticas se utiliza **la matriz causa y efecto**, con esto se establece el factor que mas hace variar al sistema, luego por medio de **Diagramas de Pareto** (se concentra en los problemas claves), **Histogramas de Frecuencia** (muestra el rango y la distribución de la variación, **Gráficos de proceso y tendencias** (muestra el cambio a lo largo del tiempo), **capacidad de proceso** (evalúa la capacidad para cumplir los requisitos del cliente) se realiza el análisis de los datos.

Mediante **análisis de varianza** se determina las causas primordiales, posteriormente se prioriza estas causas mediante correlaciones entre las variables.

#### **2.1.4 Etapa MEJORAR.**

En esta etapa se debe desarrollar soluciones de mejora para las X de importancia fundamental siguiendo los siguientes pasos:

- Generar posibles soluciones, con el aporte del grupo.
- Seleccionar y priorizar las soluciones generadas.
- Utilizar las mejores prácticas LSS: Reducción de configuración, Diseño de experimentos, Balanceo de línea, etc.
- Realizar una evaluación de riesgos que se puedan generar por la aplicación de soluciones.
- Realizar una prueba piloto de las soluciones y evalúe los resultados.

#### **2.1.5 Etapa CONTROLAR.**

Esta es la etapa final del proceso en la cual se debe implementar la solución y el plan de control, con los cuales se podrá garantizar que el patrocinador del proyecto mantenga las mejoras realizadas en el tiempo, las herramientas a usar son:

- Establecer gráficos de control y parámetros continuos.
- Documentar los procedimientos operativos estándar.
- Crear planes de control del proceso.
- Realice la transición de la responsabilidad del proceso.

## **CAPÍTULO 3**

### **3.0 INCREMENTAR 0.3% LA EFICIENCIA DE UNA MÁQUINA FORMADORA DE ENVASES DE VIDRIO.**

Una máquina formadora de envases cuenta con las siguientes partes:

- Feeder.
- Mecanismo de aguja.
- Mecanismo de Tijeras.
- Mecanismo de tubo (subir y bajar).
- Mecanismo de rotación de tubo.
- Rechazador.
- Chute.
- Distribuidor de gota.
- Canales y deflectores.

- Lado premolde que cuenta con los siguientes mecanismos:  
Llevador de premolde, embudo, tapa, cilindro de machos, inversión, Abre-cierra boquillera.
- Lado Molde que cuenta con los siguientes mecanismos:  
Llevador de molde, Mecanismos de Pinzas y Cabeza de sople.
- Transportador el mismo que cuenta con los siguientes equipos:  
Plancha muerta, Barredores, Transportador.
- Asistente del operador.
- Rechazador de secciones.
- Cabina de tratamiento en caliente.
- Pasador estrella y cargador del archa.

Luego de un análisis de las causas por las cuales la máquina objeto de estudio, no estaba cumpliendo con los objetivos de producción que requería la compañía, se pudo determinar que se tenía una oportunidad de mejora con lo que respecta a la eficiencia de formación, al compararla con otras máquinas de iguales características se pudo notar que tenía una eficiencia de formación de alrededor de 0.5% más baja. Por esta razón la gerencia decidió apoyar este proyecto LSS.

Entiéndase por eficiencia de formación a la relación entre la cantidad de botellas que entran al archa con las gotas cortadas en un lapso de tiempo. Esta eficiencia tiene factores que afectan su valor como son:

- Tiempos perdidos por fallas en mecanismos.
- Fallas en el acondicionamiento del vidrio.
- Defectos que se presenten en la producción que provoquen el rechazo de los envases.
- Problemas por manejos en el transportador.
- Cambios de referencia.
- Demoras en la carga de la máquina.
- Descartes por lubricación.
- Descartes por inspección.
- Cortes de energía.
- Fallas en sistemas auxiliares.
- Moldura en mal estado que provoque defectos.
- Mal ajuste en velocidad de mecanismos.
- Temperatura de equipo de moldes no acordes con la referencia que esta trabajando.

### **3.1 Definición y Alcance del proyecto.**

“La máquina A3 tiene la eficiencia mas baja de formación comparada con las otras dos líneas de la planta 97.5%. Se requiere de un plan de acción para incrementar esta eficiencia en un 0.3%. Esto significaría una ganancia de 23.500 dólares en un año”. El proyecto tenía la premisa de no incrementar los defectos rechazados por las máquinas de inspección que se encontraban en 2.6%.

El alcance del estudio empieza en el Feeder, pasando por el proceso de formación, análisis de tiempos perdidos, sincronismo de máquina, manejo de formación, manejo de envases, hasta la entrada al archa.

Como se mencionó en el capítulo anterior lo más importante es saber cuales son las expectativas del cliente, para esto a través de entrevistas se recoge la VOC (Voice of customer) (Ver Tabla 3.1).

**TABLA 3.1**  
**VOZ DEL CLIENTE**

<b>Cliente</b>	<b>Voz del Cliente</b>	<b>Restricción clave del cliente</b>	<b>Requerimiento Crítico del Cliente</b>
Célula A3/Planta	Requiere maximizar la utilización de la máquina	Minimizar pérdidas de envases en formación	Incrementar eficiencia de formación
CEO	Incrementar ganancias de la compañía	Sin problemas de calidad	Beneficios económicos demostrables.
Calidad	No subir el nivel de defectos. No reclamos de clientes	Mantener el porcentaje de envases rechazados por las FP	Botellas rechazadas por las FP Número de reclamos de clientes.

Posteriormente se analizó el proceso por medio del SIPOC. Con ayuda del grupo de trabajo se logró determinar las entradas, salidas, proveedores, y clientes del proceso con esto se logró enfocar debidamente los esfuerzos (ver Fig. 3.1).

## SIPOC

Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Horno y casa de mezcla</li> <li>• Mantenimiento General</li> <li>• Mantenimiento de Alimentador</li> <li>• Mant Máquinas</li> <li>• Mant Moldes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa de mantenimiento preventivo maq.</li> <li>• Cambios programados de moldura</li> <li>• Historia de las referencias</li> <li>• Manejo</li> <li>• Carga</li> <li>• Calibración de mecanismos</li> <li>• Conocimientos del personal</li> <li>• Estado de equipo variable</li> </ul>	<p>Proceso de formación de envases.</p> <p>Alimentador – entrada al archa</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia de formación</li> <li>• Rechazos de Fp</li> <li>• Reclamos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Célula A3</li> <li>• Clientes</li> </ul>

Fig. 3.1 Diagrama SIPOC.

Una vez que se tuvo claro el SIPOC, se analizó los riesgos que puede tener el incremento de la eficiencia de formación (ver Tabla 3.2), si bien es cierto, incrementar la eficiencia de un proceso a primera vista no debe tener ningún riesgo, posiblemente en el afán de lograr los objetivos se puede descuidar la calidad y esa es la premisa o restricción que fue definida desde el inicio: “No incrementar el nivel de rechazo del las máquinas de inspección”.

**TABLA 3.2**  
**ANALISIS DE RIESGO**

Riesgo Potencial	Probabilidad de ocurrencia (1 Low – 10 Hi)	Impacto de la ocurrencia (1 Low – 10 Hi)	Prioridad (Riesgo X Impacto)	Acciones para reducir la probabilidad	Acciones para reducir el impacto	Responsable	Plazo	Estado de las acciones
Se incrementa el rechazo de FP por encima de 2.6%	2	6	12	Minimizar la probabilidad de que ocurra	Revisar constantemente los rechazos de las FP	Líder	1er semana julio	
Reclamos de clientes	1	8	8	Seguir los procedimientos	Concientizar a la Célula del objetivo del proyecto	Sponsor	1er. Semana de Julio	
Información no real	2	7	14	Mejorar las opciones de reportes	Concientizar a la Célula del objetivo del proyecto	Líder		
Resistencia del Personal de áreas de servicios	1	6	6	Involucrar al personal con ideas	Comunicación de las ideas al equipo	GB		

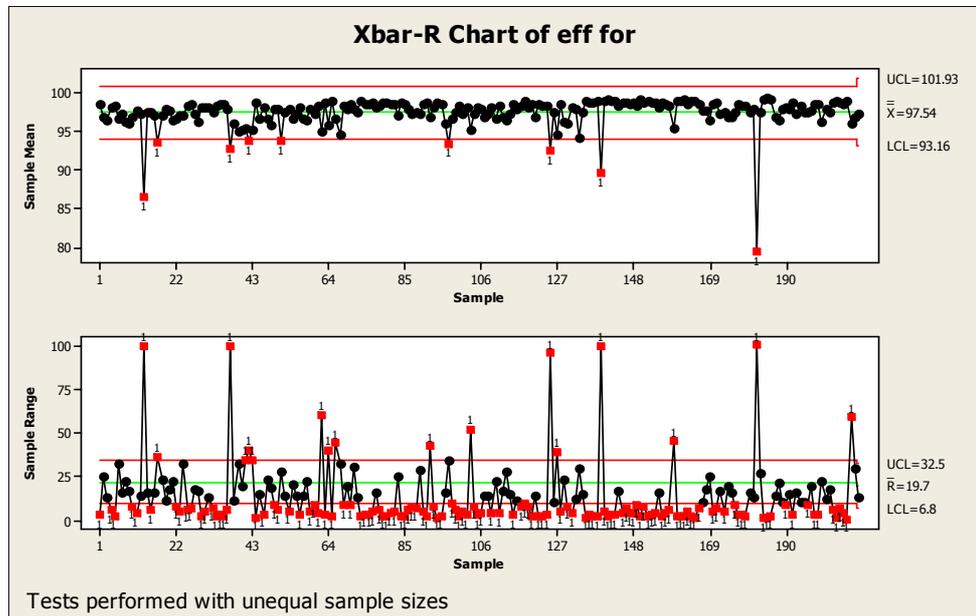
Se detectó como principal riesgo la veracidad de la información, para lo cual se trabajó en las opciones de reportes de tiempos perdidos en formación en el sistema de control de producción, se consiguió cronómetros para que el tiempo perdido reportado sea exacto, adicionalmente se concientizó al personal para que los reportes sean ajustados a la realidad.

Adicionalmente se detectó el riesgo de incrementar los defectos rechazados en las máquinas de inspección, esto se lo trabajó con ayuda de la supervisión diaria del Líder de Célula, y el seguimiento a la aplicación de procedimientos de operación estándar.

### **3.2 Proceso de toma de datos y determinación de la capacidad del proceso.**

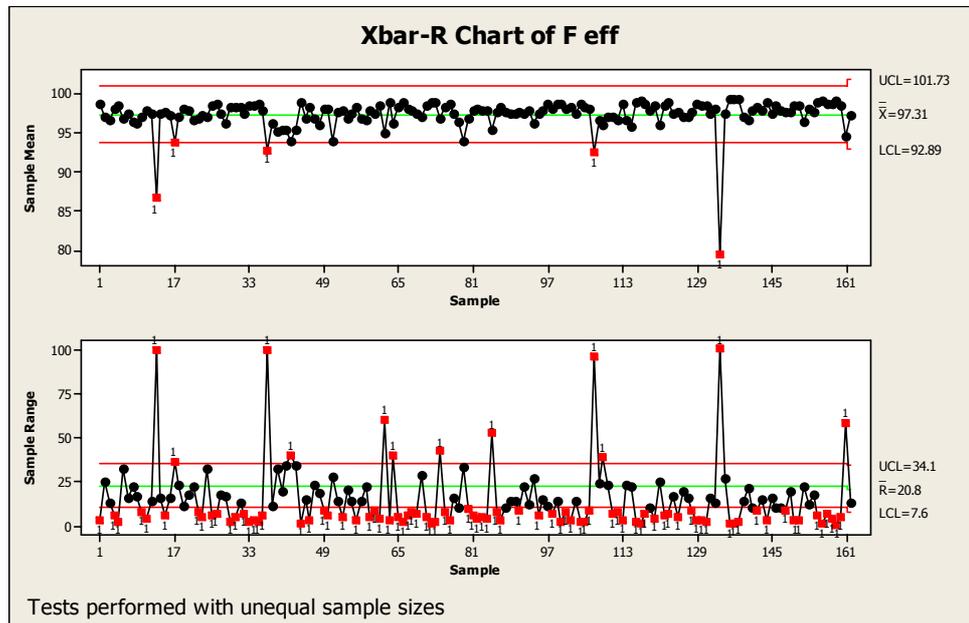
Como se mencionó en la parte inicial de este capítulo, existen varios factores que afectan a la eficiencia de formación, estos factores son las "X" de nuestra función, durante la etapa MEDIR, se levantó información de la eficiencia de formación y en la fase analizar, se determinó las variables que afectan de mayor manera al proceso.

Con la ayuda del Sistema de Producción se tuvo acceso a información histórica del comportamiento la eficiencia de formación hora a hora (Ver Fig. 3.2), cabe indicar que eficiencia de formación se comporta diferente dependiendo del color de vidrio que se fabrica debido a la cantidad de cambios de trabajo que se hacen en las diferentes campañas, por tal motivo se presentan cuadros de control diferenciados por colores.

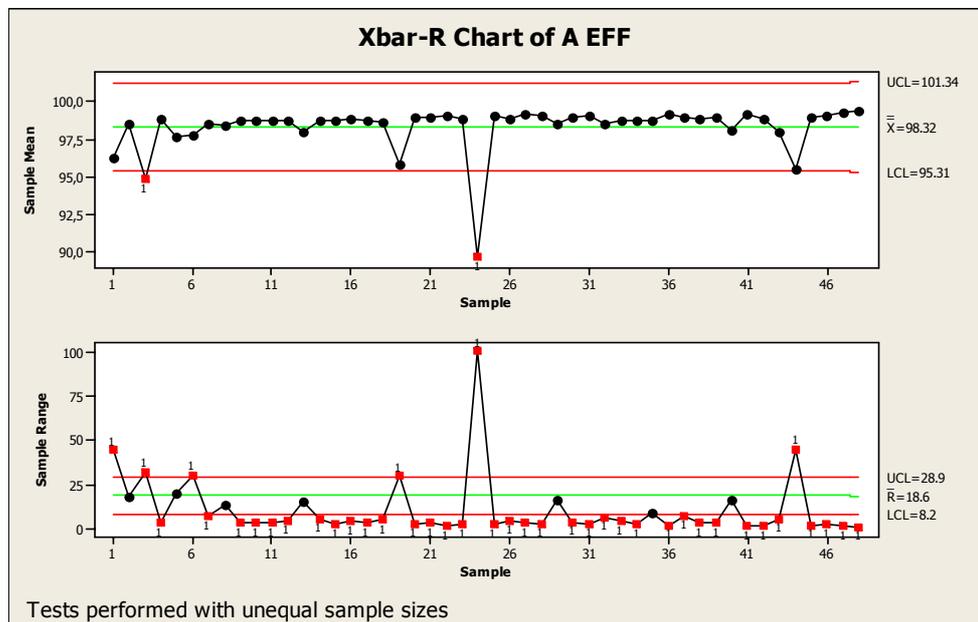


**Fig. 3.2 Cuadro de control de la eficiencia de formación de Enero a Julio del 2009**

Con ayuda de la figura anterior se ve que el promedio de la eficiencia de formación general es 97.54%, se elabora el mismo grafico para los colores Ámbar y Flint (ver Fig. 3.3 y Fig. 3.4)



**Fig. 3.3 IM-R y Carta de control de la eficiencia de formación en Flint.**



**Fig. 3.4 IM-R y Carta de control de la eficiencia de formación en Ámbar.**

Se estableció con los gráficos anteriores que el promedio de la eficiencia de formación en Flint es 97.31% y en Ámbar 98.32%, se tomó estos datos como línea base.

Los datos anteriores fueron capturados a través de un sistema de contadores, para poder garantizar que estos datos sean confiables se realizó una prueba R&R, se utilizó la forma corta, con dos operadores, en este caso dos sistemas de conteo disponibles en la planta, PIC y PRS (ver Fig. 3.5).

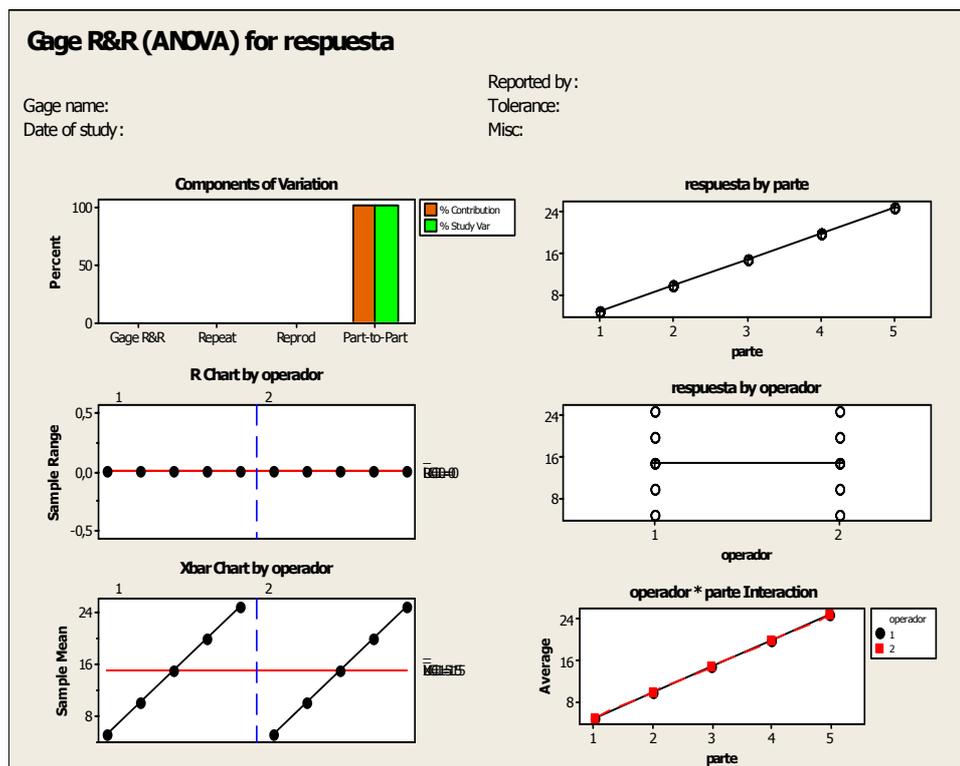
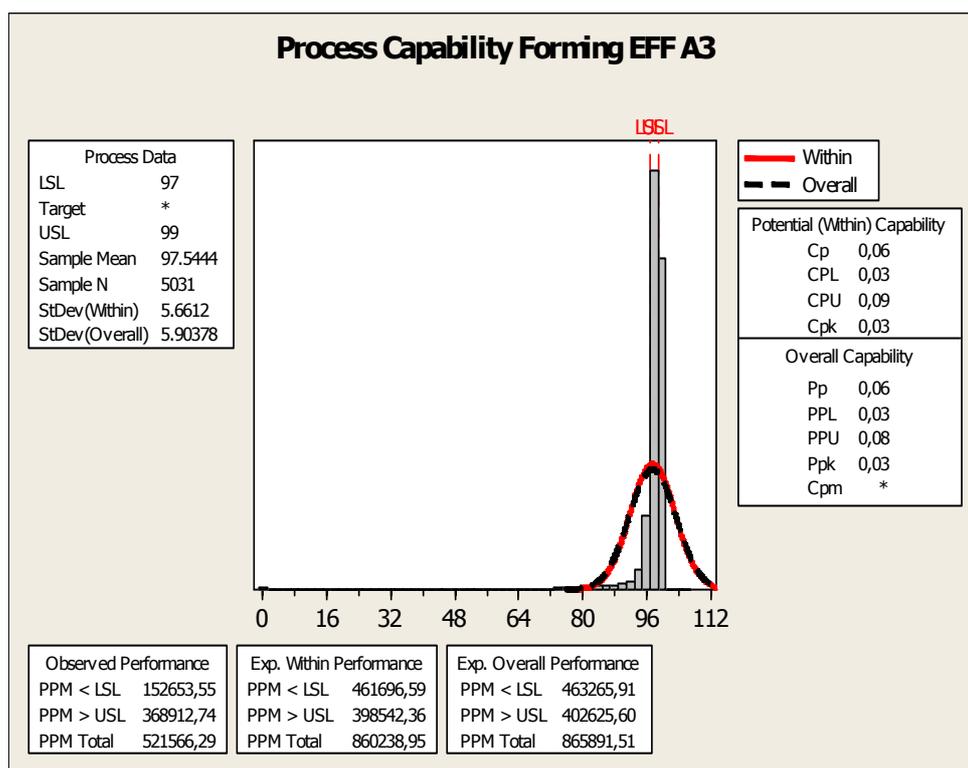


Fig. 3.5 Prueba R&R del sistema de medición.

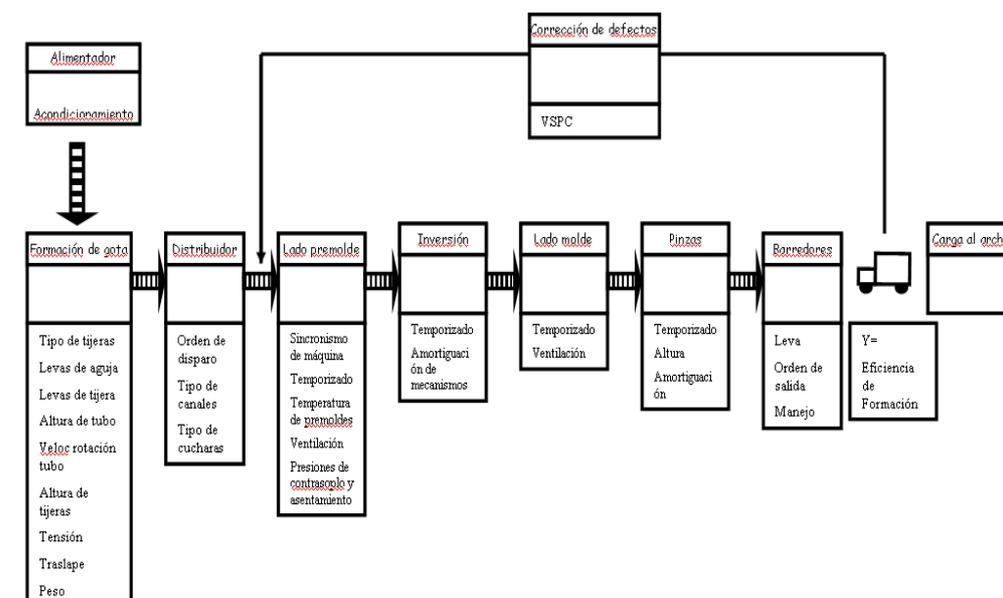
Una vez que se comprobó que el sistema de medición es confiable, se procedió a establecer la capacidad del proceso (ver Fig. 3.6).



**Fig. 3.6 Capacidad de proceso Eficiencia de formación.**

Se pudo establecer gracias a una muestra de 5031 datos que el promedio general de la eficiencia de formación es 97.54%, la desviación estándar es 5.9 el Cpk tiene un valor de 0.06 lo cual nos indicó que el proceso necesita ser centrado en sus límites. La desviación estándar para Ámbar y para Flint fue de 4.97 y 6.13 respectivamente.

Para ayudar al proceso de análisis durante la etapa medir se generó un mapa de flujo de valor (ver Fig. 3.7), en el cual se colocó las variables de cada etapa del proceso, algunas de estas variables son subjetivas como por ejemplo los ajustes y calibraciones, pero igualmente es necesario mencionarlas para que el análisis sea completo.



**Fig. 3.7** Mapa de flujo de valor del proceso.

Una vez que se estableció el mapa de flujo de valor, con la ayuda del grupo de trabajo se determinó cuales son las variables críticas que tienen influencia directa en la eficiencia de formación, es este caso las variables críticas encontradas fueron:

- Eficiencia de formación.
- Porcentaje de rechazado por equipos de inspección.
- Envases rechazados por asistente.
- Tiempo perdido programado y no programado de Reparación Máquinas.
- Tiempo perdido programado y no programado de Reparación Moldes.
- Tiempo perdido programado y no programado de Formación.
- Tiempo perdido programado y no programado de Mantenimiento general.
- Tiempo perdido por Cambios de referencia.

Para realizar la medición de estas variables se preparó lo que se llama “Plan de recolección de datos”, en el cual se establece responsables de la medición, frecuencia y la fuente de la información. A excepción de los envases rechazados por el asistente todos los datos de las demás variables se los pudo tomar del Sistema de Producción.

### 3.3 Análisis de los datos y determinación de posibles soluciones.

Luego de haber registrado los datos de los diferentes tiempos perdidos que no permiten tener un mejor desempeño de la eficiencia de formación se estableció el comportamiento de la línea A3:

El principal factor que impacta en la eficiencia de formación son los cambios de referencia con el 0,63%, se tiene a continuación mantenimiento general el cual no estará en nuestro análisis por tratarse de un problema aislado (con causa asignable), a continuación los problemas con el suministro eléctrico externo el cual no se puede controlar, sigue máquinas con 0,12%, alimentador con 0,05% y los problemas electrónicos con el 0,04%, dando un total 1,4% de tiempo perdido en la A3 (ver Fig. 3.8).

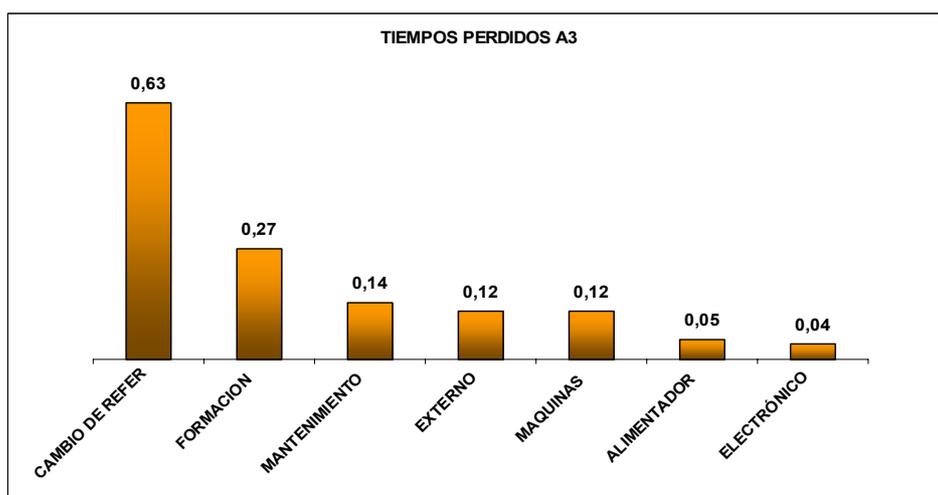
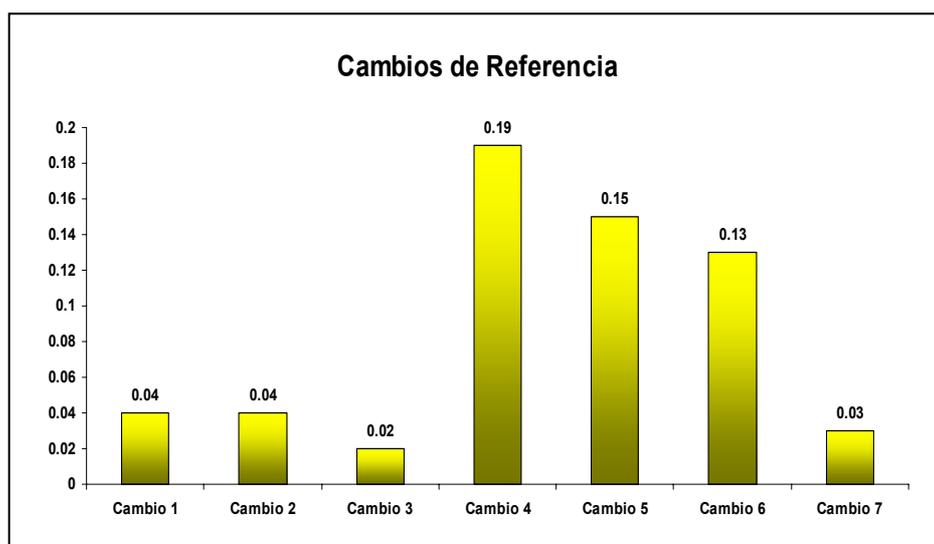


Fig. 3.8 Tiempos perdidos de la A3 Ecuador

Se hizo un análisis de Pareto de cada área para poder establecer las causas de los tiempos perdidos de una manera específica.

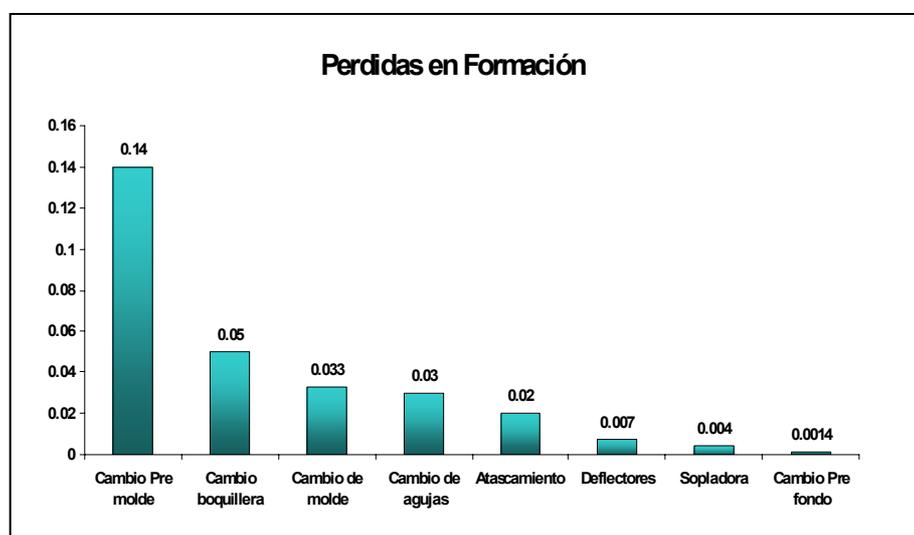
**Cambios de referencia:** Durante este periodo hubo un total de 70 cambios de referencia con una duración promedio de 25 min. , según mediciones de tiempo realizadas se determina que se utilizan 20 min. en el cambio físico y 10 min. en el proceso de carga de la máquina (ver Fig. 3.9).



**Fig. 3.9 Tiempos perdidos por cambios de referencia.**

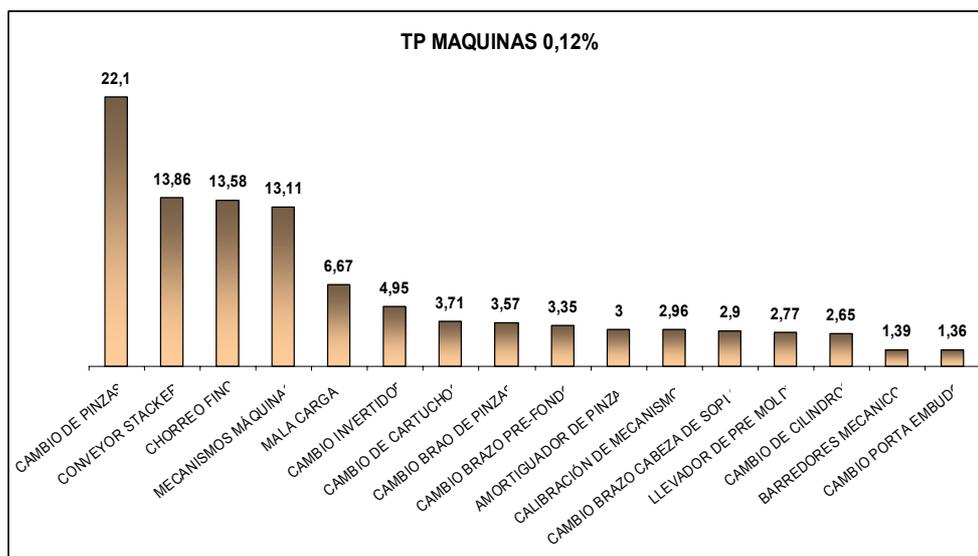
**Formación:** El principal factor es el cambio de premoldes con el 50%, analizando de manera global se determinó que el cambio de equipos de moldes es la causa principal del tiempo perdido de

formación, se estableció que existía una seria deficiencia en aspectos como la corrección de defectos y la lubricación, para resolver estos problemas se programó los respectivos entrenamientos con los expertos existentes en la planta (ver Fig. 3.10).



**Fig. 3.10** Tiempos perdidos por Formación.

**Reparación de Máquinas:** Al igual que el caso anterior analizando de manera global vemos que el mecanismo de pinzas es el principal factor en el tiempo perdido, la mala carga con un 6,7% también está representó un factor importante (ver Fig. 3.11).



**Fig. 3.11 Tiempos perdidos por Reparación de Máquinas.**

Una vez que los datos fueron tabulados, el grupo se reunió nuevamente y se analizó la información, gracias a la experiencia del grupo y a las observaciones de campo realizadas durante la recolección de los datos, se pudo determinar que uno de los problemas de la máquina era una carga imprecisa, esto quiere decir que las gotas A y B no entraban en forma pareja y consistente al premolde. Esto concordaba con los problemas que se presentaban y eran reportados como tiempos perdidos, por ejemplo: una mala carga puede provocar atascamientos en las secciones provocando golpes en los equipos, daños en los mecanismos de pinzas por golpes durante estos atascamientos, etc.

Se debía entonces encontrar la forma de garantizar dicha carga, analizando todo los factores que influyen en la carga se determinó que la altura entre cucharas y canales no era apropiado, es decir la cuchara estaba 1/8 pulg. más bajo que los canales según el plano, esto provocaba continuos retrasos de las gotas. Además el tiempo que tomaba dejar la carga en condiciones optimas durante los cambios de referencia era demasiado largo y la calidad no era la mejor, ya que este sistema de ajuste de carga responde básicamente a relaciones de velocidades de mecanismos, se puede determinar con anterioridad el punto teórico en el cual debe trabajar la máquina para garantizar una carga perfecta.

Adicional a la carga se pudo detectar que había un factor muy importante que no estaba siendo tomado en cuenta en los reportes de tiempos perdidos y eran las perdidas por manejo de los envases a la salida de la planchas muertas, en su paso por el transportador, pasador estrella y empujador, esta perdida llegaba en varios turnos al 0,3% de la producción, el problema se presentaba principalmente al manejar envases de jugos livianos de aproximadamente 170 gr., y en el set up del rechazo en caliente de todo tipo de envases, se pudo detectar la perdida de 3 Ton. de envases durante un fin de

semana por continuos atascamientos en el transportador debido a una mala calibración del rechazo en caliente de la máquina.

El sistema de barredores electrónicos que posee la máquina, tiene la capacidad de poder establecer una leva electrónica acorde con las características de velocidad y peso del envase, dicha leva electrónica es la que determina la velocidad del movimiento del barredor, una correcta elección de esta leva evita la caída de los envases.

Teniendo un correcto punto de calibración de carga de la máquina y las diferentes dimensiones de la máquina se puede determinar con anterioridad el temporizado correcto para el rechazo en caliente de los envases.

### **3.4 Implementación de las soluciones.**

#### **3.4.1 Carga de la máquina.**

Como se mencionó anteriormente se evidenció una diferencia de altura entre las cucharas y los canales de 1/8 pulg., estando las cucharas más bajas que los canales, la solución obvia fue

colocar subir las cucharas 1/8 pulg. por medio de un suplemento (ver Fig. 3.12 y 3.13).



**Fig. 3.12 Soporte de cucharas.**



**Fig. 3.13 Entrega de cuchara a canales.**

### 3.4.2 Determinación de parámetros de carga de gota.

Los principales parámetros que deben determinarse para encontrar una carga de precisa y consistente son: Fase de la máquina y Carga de gota.

Antes de entrar a este tema se debe establecer algunas definiciones:

BPM = Botellas por minuto (Botellas/min.).

Cavity rate = Botellas por cavidad por minuto (Botellas/(min \* cavidad)).

Se las puede expresar de diferente manera.

$BPM = \text{cavity rate} * \text{secciones activas} * \text{cavidades por sección.}$

$\text{Cavity rate} = BPM / (\text{secciones activas} * \text{cavidades por sección}).$

También se debe aclarar la conversión entre grados de máquina (°) y tiempo (seg.). Un ciclo de máquina toma 360 ° en grados de máquina, la conversión está directamente relacionada a la velocidad en BPM, si la velocidad sube, la equivalencia en segundos de un grado de máquina disminuye y si la velocidad baja la equivalencia en segundos de un grado de máquina aumenta.

**Cavity rate / 60** = número de botellas por segundo.

**1 / (cavity rate/ 60)** = El tiempo en segundos para producir una botella por cavidad, esto es el tiempo del ciclo en segundos.

$$t_{\text{Ciclo}} = 1 / ( \text{Cavity Rate} / 60 ) [ \text{seg} ]$$

Entonces 360 ° de grados máquina toman  $t_{\text{Ciclo}}$ , entonces 1 ° en segundos representa:  $1^\circ = 1 / ( \text{Cavity Rate} / 60 )$ .

Reemplazando y expresando en términos de BPM tenemos:

$$1^\circ = (\text{Secciones activas} * \text{Cavity rate}) / (6 * \text{BPM})$$

Como se demuestra el tiempo en segundos de un grado de máquina es inversamente proporcional a la velocidad.

**Fase de máquina:** La fase de máquina representa el retraso, en grados de máquina, de una máquina para compensar el tiempo que le toma a una gota ir desde que es cortada por las tijeras hasta ingresar al premolde, tomando como referencia la primera sección del orden de disparo, esta fase de la máquina depende de la velocidad de la máquina BPM. La siguiente ecuación representa la fase de máquina para la A3 de Ecuador.

**Fase de máquina (M.P.) =  $t_2 + t_3 - t_1$** , donde t está expresada en grados de máquina.

$t_1$  : Tiempo en grados de máquina, en el cual la gota esta entrando al premolde desde el 0 ° de la sección. Se asume el  $t_1$  como el tiempo de baffle on mas una constante. Esta constante representa el tiempo desde la activación del baffle on hasta que este interfiere con la gota en su caída dentro del premolde, en realidad este tiempo no es constante exactamente si no que depende de la regulación de las válvulas de control de flujo del mecanismo pero para simplificar la ecuación se lo considera constante y su valor aproximado es de  $t_1 = 0,149$  seg.

$$t_1 \text{ } ^\circ = \text{Baffle On } (^\circ) + \text{Constant } (^\circ)$$

$t_2$  : Tiempo, en grados de máquina, que toma la gota desde el rechazador hasta entrar en el premolde, este tiempo es aproximadamente constante asumiendo que la fricción entre la gota y los deflectores es constante también, para el caso de la A3 de Ecuador  $t_2 = 0,866$  seg.

$t_3$ : Tiempo, en grados de máquina, que le toma a la gota ir desde las tijeras al rechazador, durante este trayecto la gota se comporta como en caída libre y es constante,  $t_3 = 0,240$  seg. (Ver apéndice A).

Por ejemplo (ver Tabla 3.3):

**TABLA 3.3**

**CALCULO DE LA FASE DE LA MAQUINA.**

# Secciones Activas	9
# Cavidades por sección	2
Velocidad (BPM)	172
Botellas por cavidad/min.	9.55
$t_{\text{Ciclo}}$ (min)	0.105
$t_{\text{Ciclo}}$ (s)	6.280
Conversión:	
	$1^\circ = 0.0174 \text{ s}$

<b>Baffle On (s)</b> 0.733	<b>Baffle On (°)</b> 42
<b>Constante (s)</b> 0.149	<b>Constante (°)</b> 8.54
<b>T<sub>1</sub> (s)</b> 0.882	<b>t<sub>1</sub> (°)</b> 50.54
<b>T<sub>2</sub> (s)</b> 0.866	<b>t<sub>2</sub> (°)</b> 49.64
<b>T<sub>3</sub> (s)</b> 0.240	<b>t<sub>3</sub> (°)</b> 13.76
<b>Fase de máquina (°)</b>	<b>12.8</b>

Si la velocidad de la máquina es incrementada, la equivalencia en segundos de un grado de máquina decrece debido a que  $t_2$  y  $t_3$  son asumidos como constantes en segundos, entonces la fase de máquina debe cambiar porque estas constantes en segundos necesitan más grados de máquina. En este caso la fase de máquina debe ser aumentada. Si se aumenta la velocidad y se mantiene la fase de la máquina se podría observar a la gota entrando tarde al premolde. El caso contrario ocurre cuando se disminuye la velocidad.

**Carga de gota:** La carga de gota es un tiempo de sección expresado en grados de máquina, en la cual se activa la

retracción del rechazador y permite a la gota cargar dentro de una sección, debido a que este tiempo es expresado en grados de máquina, depende de la velocidad de la máquina. La siguiente es la ecuación que representa la carga de gota on y off para la máquina A3 de OI Ecuador.

$t_4$ : Tiempo en grados de máquina que representa el tiempo entre dos cortes consecutivos.

$$t_4 = 360 / \text{No. secciones activas}$$

$$\text{Carga de gota on} = 360 + t_1 - (t_2 + t_4 / 2)$$

$$\text{Carga de gota off} = \text{Carga de gota on} + t_4$$

**Delta:** Es la compensación, en grados de máquina, que se debe hacer a la carga de máquina debido a que la gota viaja diferentes distancias a través del equipo de entrega, dependiendo de la sección. (Ver apéndice B)

Por ejemplo (Ver Tabla 3.4):

TABLA 3.4

## CALCULO DE CARGA DE GOTA.

# Secciones activas	9
# Cavidades por sección	2
Velocidad de máquina (BPM)	172
Botellas por cavidad/ min	9.55
$t_{Ciclo}$ (min)	0.105
$t_{Ciclo}$ (s)	6.280
Conversion:	
$1^\circ =$	0.0174 s
<b>Baffle On (s)</b>	<b>Baffle On (°)</b>
0.733	42
<b>Constante (s)</b>	<b>Constant (°)</b>
0.149	8.54
$t_1$ (s)	$t_1$ (°)
0.882	50.54
$t_2$ (s)	$t_2$ (°)
0.866	49.6
$t_4$ (s)	$t_4$ (°)
0.698	40
Sections 1 & 10:	
<b>Carga de gota On (°)</b>	<b>341</b>
<b>Carga de gota OFF (°)</b>	<b>21</b>

R

	Cavit y Rate	Section									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Delta	9.5	0	-2	-5	-7	-9	-9	-7	-5	-2	0
G.L. On		341	343	346	348	350	350	348	346	343	341
G.L. Off		21	23	26	28	30	30	28	26	23	21

**Rechazo:** El tiempo de rechazo es un tiempo de sección que representa el tiempo entre el cero grados de la sección y el tiempo en el cual la botella es rechazada en el chute del transportador.

La siguiente formula representa el rechazo de la máquina en grados de máquina.

**Rechazo°** =  $M.P._{ALL}^{\circ} + \text{Giro del barredor}^{\circ} + (D \times A + \text{Dist}) \times 360^{\circ} /$   
 (Espaciamiento / producción x #secciones activas) – [Angulo de inicio° + M.P.°]

**M.P.<sub>ALL</sub>°:** Es la fase de todos los barredores, en grados de máquina, esto representa el tiempo en grados de máquina desde que la tijera corta hasta el arranque del movimiento del primer barredor, la secuencia de arranque de los barredores depende del orden de disparo y de la diferencia del tiempo de plancha muerta, se asume:

**M.P.<sub>ALL</sub>° = MP° + TakeOut IN ON°**

**Giro del barredor:** Es el tiempo en grados que le toma al barredor desde el inicio de su giro hasta que la botella este sobre el transportador. Esto depende del perfil electrónico del barredor que se escoja para manejar la producción, el perfil 078-02 tiene un giro del barredor en grados de 82°.

**Dist:** Distancia entre la última sección física o la mas cercana al archa y los rechazadores que se ubican en el transportador los cuales envían las botellas al interior del chute.

**Espaciamiento / producción:** Es la distancia entre las botellas de la cavidad A de dos secciones consecutivas sobre el transportador.

**Secciones activas:** Es el número de secciones en operación.

**Angulo de inicio:** Es el ángulo con el cual el barredor inicia su movimiento, esto depende del orden de disparo y de la diferencia del tiempo de plancha muerta.

**M.P.°:** Fase de máquina.

**D:** Distancia entre dos secciones (pulg.).

**A:** Es la diferencia entre el número de secciones físicas y el número de secciones activas.

La primera parte de la ecuación:

$M.P._{ALL}^{\circ} + \text{Giro del barredor}^{\circ} + (D \times A + \text{Dist}) \times 360^{\circ} /$   
(Espaciamiento / producción x #secciones activas).

Representa, el tiempo en grados de máquina, desde el inicio del giro del barredor de la primera sección activa hasta su rechazo en el interior del chute. El valor obtenido es un tiempo de máquina, entonces su cero grados representa el corte de la tijera.

Debido a que el rechazo es un tiempo de sección, su cero grados representa el cierre de premolde on, el valor obtenido antes debe ser afectado por la segunda parte de la ecuación:

Angulo de inicio $^{\circ}$  + M.P. $^{\circ}$

Con esto el rechazo se convierte en tiempo de sección. Para obtener el valor de rechazo de las otras secciones se debe sumar:  $360 / \text{No. secciones activas}$ , al siguiente sección de acuerdo al orden que se presente en el transportador. (Ver apéndice C)

M P All (°):	219
Giro del barredor (°):	82
D (in):	60
Espaciamiento/barredor (in):	10.5
# Secciones activas:	10
Fase de máquina MP (°):	11.7

<b>Secciones</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Start Angle</b>	0	36	72	324	108	144	288	216	252	180
<b>Conveyor Order</b>	1 <sup>st</sup>	10 <sup>th</sup>	9 <sup>th</sup>	4 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	3 <sup>rd</sup>	2 <sup>nd</sup>	8 <sup>th</sup>

<b>Reject (°)</b>	63	27	351	171	243	207	279	135	99	315
-------------------	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----

Tal como se muestra el rechazo depende de la fase de máquina, fase de los barredores MP ALL y el ángulo de inicio, si se modifica alguno estos, entonces se debe modificar el rechazo.

El poder predecir estos parámetros disminuye el tiempo de estabilización de la máquina y evita que se generen defectos que pueden ir a las líneas de llenado del cliente.

### **3.4.3 Manejo de envases en formación.**

El manejo es un conjunto de elementos que permiten que los envases sean correctamente transportados desde la máquina de formación hasta la entrada al archa, los componentes del manejo de formación son los siguientes:

- Espaciamiento de los envases, el espaciamiento puede tener una infinidad de medidas pero para el efecto de estandarizar en O-I Ecuador se utiliza: 7, 10.5, 15.75 pulg.
- Tipos de paletas de barredores
- Perfil de leva de los barredores, este define la velocidad y aceleración del movimiento del barredor.
- Velocidad del transportador frontal.
- Velocidad del transportador transversal.
- Tipo de estrella de transferencia, esencialmente el tipo depende del número de paletas que contiene y la

cantidad de paletas a su vez depende del espaciamiento de los envases y de su diámetro

- Velocidad de rotación de la estrella de transferencia
- Tipo de barra del empujador, depende del número de bolsillos que contenga la barra.

Para definir que tipo de manejo se va a utilizar en cualquier referencia se debe saber principalmente: la velocidad de la máquina, el diámetro del envase y la forma del envase.

Envases de diámetros menores a 2 pulg. se entiende que son referencias pequeñas de bajo peso y de alta velocidad, para esto es recomendable usar un manejo con un espaciamiento de 7 pulg.

Envases entre 2 pulg. y 3 pulg. se entiende que son de pesos entre 400 gr. y 500 gr. Estos e corren a velocidades de alrededor de 160 bpm. se recomienda usar espaciamientos de 10.5 pulg.

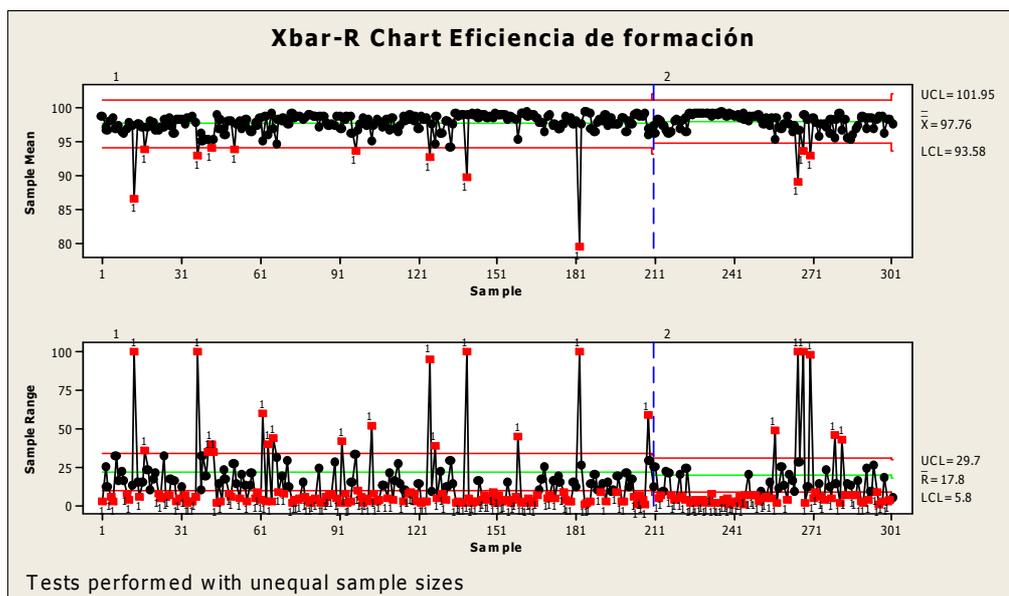
Para envases mayores a 3 pulg de diámetros se recomienda usar espaciamientos de 15.75 pulg. Ya que son envases de baja velocidad.

El escoger el perfil del barredor depende de la velocidad de la máquina y forma del envase, si se tiene envases altos con diámetros pequeños esto daría como resultado una botella inestable, entonces se debería usar un perfil que arranque con una baja aceleración, pero a su vez una entrega rápida debido a que como se mencionó anteriormente estos envases son de alta velocidad.

Para envases de diámetros entre 2 pulg. y 3 pulg., el perfil del barredor que se puede usar no es tan crítico porque son envases lentos y muy estables, lo importante está en el temporizado de la retracción de los barredores, ya que si es muy tardío puede hacer que los envases se junten en el transportador frontal.

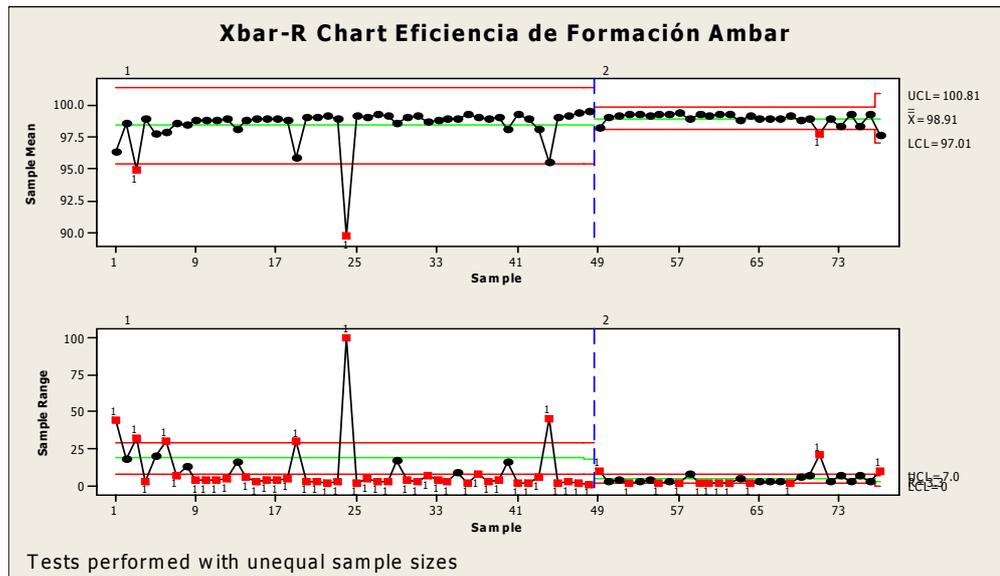
### **3.5 Seguimiento y control de proyecto.**

Esta fue la última etapa del proceso en la cual se estableció si las acciones tomadas como mejora al proceso dieron los frutos deseados, para esto se evaluó nuevamente la capacidad del proceso, pero esta vez con los datos obtenidos de eficiencia de formación después de la aplicación de las mejoras (ver Fig. 3.14).

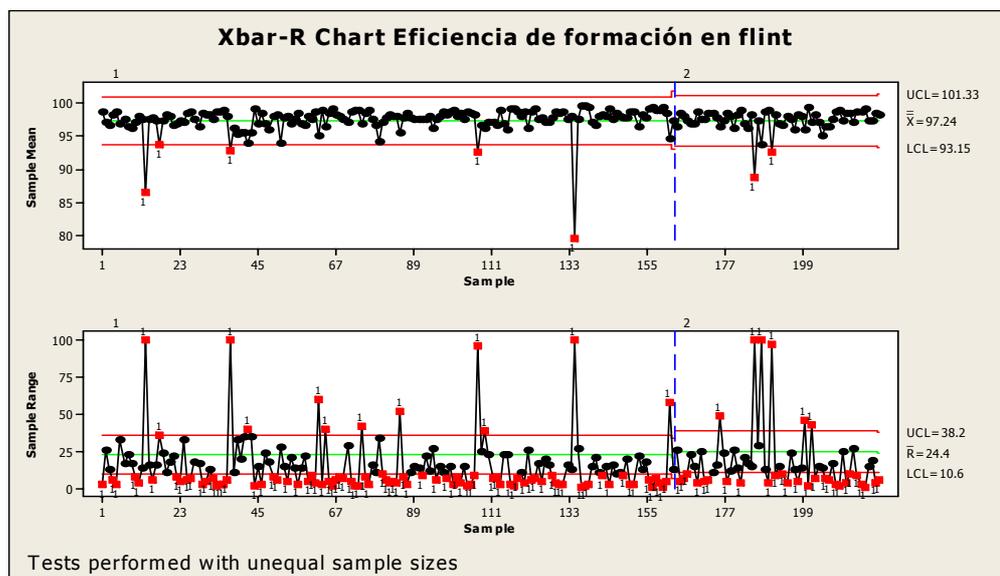


**Fig. 3.14 Eficiencia de formación.**

Se pudo observar una mejora de 0.22% en la eficiencia de formación general de la A3, a pesar de que todavía se encontraban mejoras en proceso de implementación, la eficiencia de formación del color ámbar aumento en 0,3%, y la de Flint prácticamente se mantuvo en los mismos valores pero la diferencia radicó en que en ese periodo se aumentaron los cambios de trabajo lo que quiere decir que las mejoras implementadas ayudaron a mantener la eficiencia (ver Fig. 3.15 y 3.16).

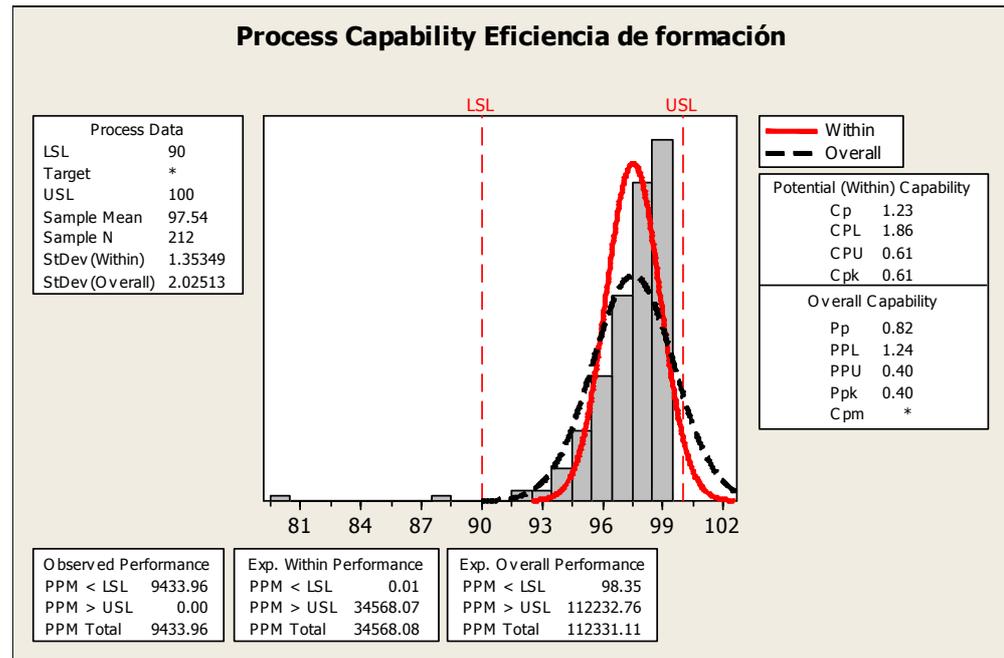


**Fig. 3.15 Eficiencia de formación en Ámbar.**



**Fig. 3.16 Eficiencia de formación en Flint.**

El promedio solamente no nos da una idea clara si se mejoró o no un proceso, esta es la razón por la cual en esta etapa se vuelve a realizar la prueba de capacidad del proceso (ver Fig. 3.17).



**Fig. 3.17 Capacidad de proceso luego de las mejoras.**

En primer lugar se notó una mejora en la desviación estándar paso de 5,9% a 2% el CPk pasó de 0,03 a 0,61 si bien es cierto el valor de Cpk no estuvo sobre 1.33 pero fue una mejora notable en la estabilidad de la eficiencia de formación.

Para asegurar que el trabajo que se realizó no se pierda en el tiempo, y como parte de la metodología, se definió un plan de control

de las variables críticas del proceso, en el cual se especificó fuentes de la información, responsables de la recolección de la información y frecuencia con que la información debe ser tomada (ver Fig. 3.18).

Proceso	Posos del Proceso	salida	Entrada	especificaciones del proceso (LSL, USL, Target)	Cpk	Técnica de Medición	%R&R P/T	Tamaño de muestra	Frecuencia	Fuente	Plan de Reparación
Eficiencia de formación	Revisión de Operación	% eficiencia	BPM	USL 99.7 LSL 97.5	1,33	Revisión del diaria		1	horaria	pic	corregir fallas
Tiempos perdidos formación	Revisión de Operación	min/maq	Mantenimiento Preventivo	USL 0.2 LSL 0	1,33	Revisión diaria de parametros		1	Diario	Sistema Producción	Mantenimiento preventivo
Tiempos perdidos máquinas	Revisión de Operación	min/maq	Envases	USL 0.15 LSL 0	1,33	Revisión diaria de parametros		1	Diario	Sistema Producción	Mantenimiento preventivo
Corrección de defectos	Entrenamiento	% perdidas	Estabilidad de operación	USL 0.95%	1,33	Revisión del diaria		1	Diario	Tabla excel	Plan de corrección de defectos
Perdidas por manejo	Revisión de Operación	% perdidas	Aire / Tiempo de Premolde	USL 0.1% LSL 0%*	1,33	Revisión diaria de parametros		1	Diario	Tabla excel	Revisar temperatura
Tiempo perdido por cambios de referencia	Revisión de Operación	min/maq	Programación	USL 0.7%	1,33	Revisión diaria de parametros		1	Diario	Sistema Producción	Analizar programación y planeación

**Fig. 3.18 Plan de control.**

Una vez se estableció el plan de control, se entregó el proyecto al patrocinador, el cual estuvo encargado de que las mejoras se mantengan en el tiempo, según la metodología se considera que una mejora quedará en el tiempo cuando se hace un seguimiento de un año. El patrocinador reportó mensualmente los beneficios obtenidos por el desarrollo del proyecto.

# CAPÍTULO 4

## 4.0 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En la fase definir del proyecto se estimó que el beneficio económico del proyecto estaría alrededor de 23.500 dólares, adicionalmente de los beneficios en la operación que la implementación de las mejoras traería, a continuación se explica mas en detalle los beneficios obtenidos.

### 4.1 Beneficios obtenidos en la operación.

La operación de una máquina formadora de envases es sumamente complicada, necesita de una precisión absoluta en el movimiento de los mecanismos, en el sincronismo de la carga y en el manejo de los envases, todo esto con una

temperatura ambiente de alrededor de 55°C alrededor de la máquina, si tan solo uno de estos factores no está correctamente ajustado, provocará que el operador tenga que intervenir constantemente en la máquina, causando un gran desgaste físico:

1.- Al intervenir en la nivelación de los cucharones con los canales se pudo obtener una carga más consistente evitando los atascamientos de secciones.

2.- El predecir la fase de la máquina ayudó a evitar problemas con defectos en el terminado tales como rebabas o terminados sin llenar, al mismo tiempo que permitió una fácil sincronización de los mecanismos de la máquina en velocidad y tiempo de respuesta.

3.- La predicción del rechazo evita que defectos propios de un arranque de máquina se puedan ir a la zona de empaque y posteriormente al cliente generando reclamos, adicional a esto se mejora el índice de cambios de referencia.

4.- Estabilizar el manejo de los envases permite que el operador pueda concentrarse en la corrección de defectos y la operación en si de la máquina, ya que no tiene que estar recogiendo envases del transportador frontal de la máquina para evitar acumulación de envases.

5.- El plan de mantenimiento preventivo de la los mecanismos de máquina que se implementó, asegura en la actualidad una operación de máquinas confiable reduciendo el tiempo perdido de máquina y llevándolo a valores de 0,11% que es uno de los mejores de Latinoamérica.

6.- El entrenamiento en técnicas de lubricación y corrección de defectos, dio otra visión a la operación, anteriormente cualquier defecto se corregía cambiando el equipo de moldes, ahora los operadores son mucho más analíticos, cambiar los equipos de moldura como consigna básica es la última opción, con esto se redujo los tiempos perdidos por formación.

En términos generales los beneficios en la operación fueron enfocados a la reducción de tiempos perdidos, además de

proporcionar al operador condiciones apropiadas y estables para realizar su trabajo.

#### **4.2 Beneficios económicos.**

La reducción de tiempos perdidos y el proporcionar condiciones estables para la operación básicamente genera un trabajo más productivo, lo que a su vez se refleja en beneficios económicos para la compañía.

El objetivo propuesto fue obtener de 23.500 dólares en el lapso de un año, esto era posible si la eficiencia de formación subiera 0,3%, con la consigna de que los defectos generados por la máquina no tuviesen ningún incremento.

Por razones contables los beneficios económicos se miden en la producción empacada, por lo se debió establecer la línea base de eficiencia de empaque durante el mismo periodo la cual fue de 94,4%, teniendo un objetivo de 0,3% de eficiencia en formación, con la premisa de no subir la cantidad de defectos, entonces el objetivo transformado a eficiencia de producción empacada se lo estableció en 94,68%.

Con el aumento de productividad existen dos componentes de que definen el beneficio, el primero es el ahorro de materia prima y el segundo es el valor de venta de las toneladas adicionales que vamos a empacar.

Para definir el costo de producción de envases se lo hace a través del costo para producir una tonelada de vidrio, los componentes del mismo son: Materia prima, Materia prima secundaria, material de empaque, combustible, electricidad, mano de obra, costos de mantenimiento, servicios, depreciación y otros.

**TABLA 4.1**

**Reporte de ganancias del proyecto.**

<b>Fecha</b>	<b>PTP</b>	<b>Toneladas adicionales</b>	<b>Beneficio</b>
Nov-08	94,99	11,83	4750,35
Dic-08	93,54	-17,34	-6938,68
Ene-09	94,82	7,21	3188,46
Feb-09	94,7	6,28	2754,89
Mar-09	95,51	18,93	8245,15
Abr-09	95,19	6,43	2610,78
May-09	94,74	7,56	3214,87
Jun-09	95,4	20,64	7852,62
Jul-09	95,93	18,83	7179,85
Ago-09	94,4	1,53	630,81
Sep-09	96,69	38,53	15434,73
Oct-09	95,3	20,09	8059,09

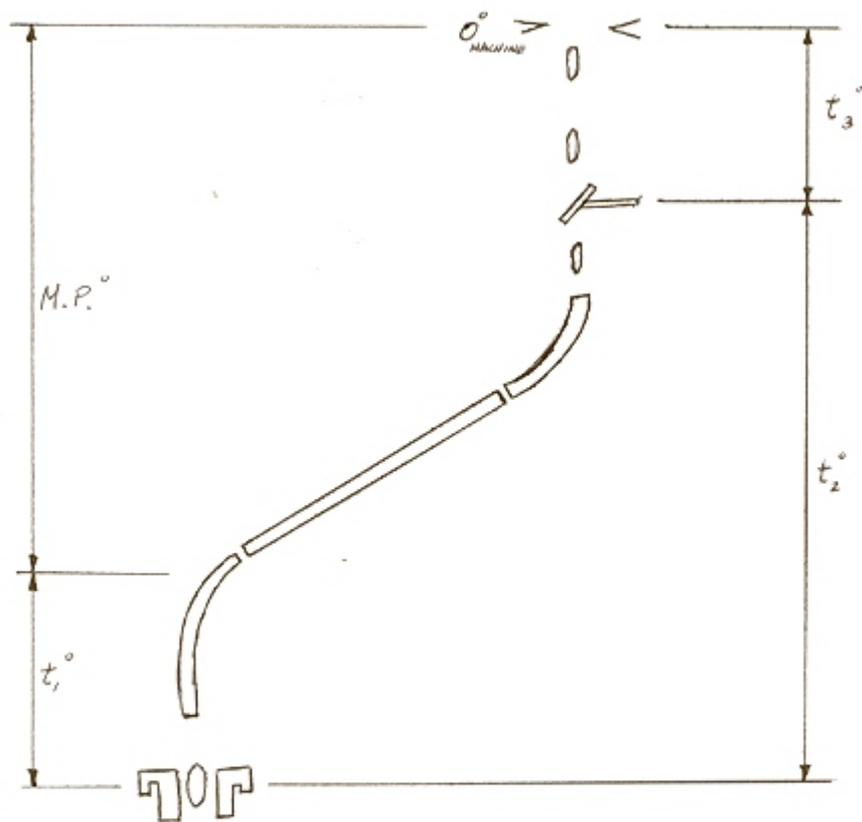
El beneficio económico recibido fue muy superior a las expectativas, se logro un beneficio de 52.982,92 dólares (ver Tabla 4.1), el promedio de empaque anual paso de 94,4% a 94,96% es decir se logró una mejora de 0,56%.

La metodología de Manufactura Esbelta y Seis Sigma, es una herramienta muy poderosa, que permite la mejora de cualquier tipo de procesos, generando beneficios económicos o mejorando el ambiente de trabajo, considero que todo ingeniero debería dominar la metodología que en conjunto con su conocimiento técnico lo harían un profesional altamente competitivo.

## APÉNDICE A

### DIAGRAMA ILUSTRATIVO DEL CÁLCULO DE LA FASE DE MÁQUINA

MACHINE PHASE:



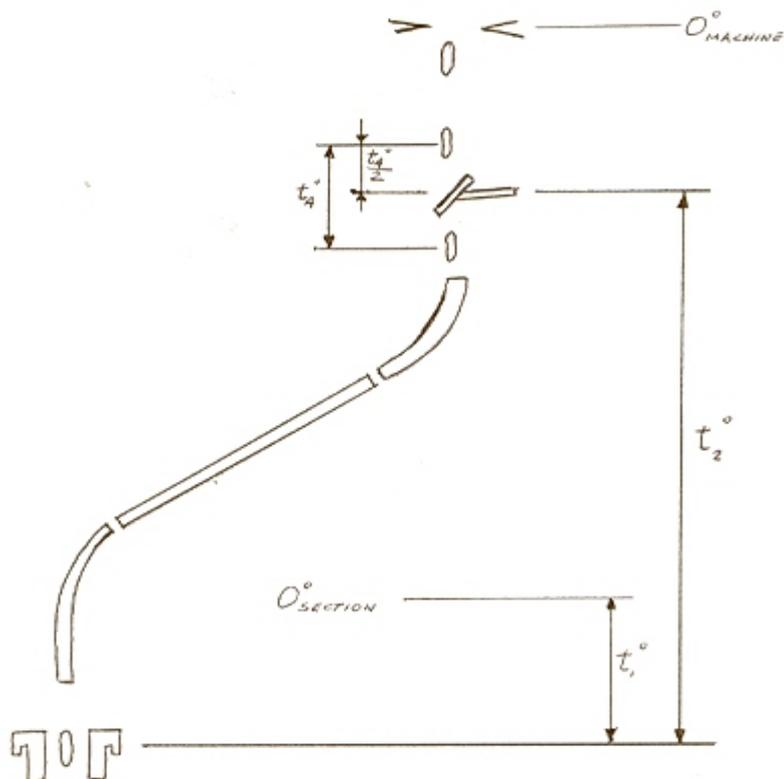
$$MACHINE\ PHASE^\circ = (t_2^\circ + t_3^\circ) - t_1^\circ$$

# **APÉNDICES.**

## APÉNDICE B

### DIAGRAMA ILUSTRATIVO DEL CÁLCULO DE LA CARGA DE GOTA

GOB LOAD :



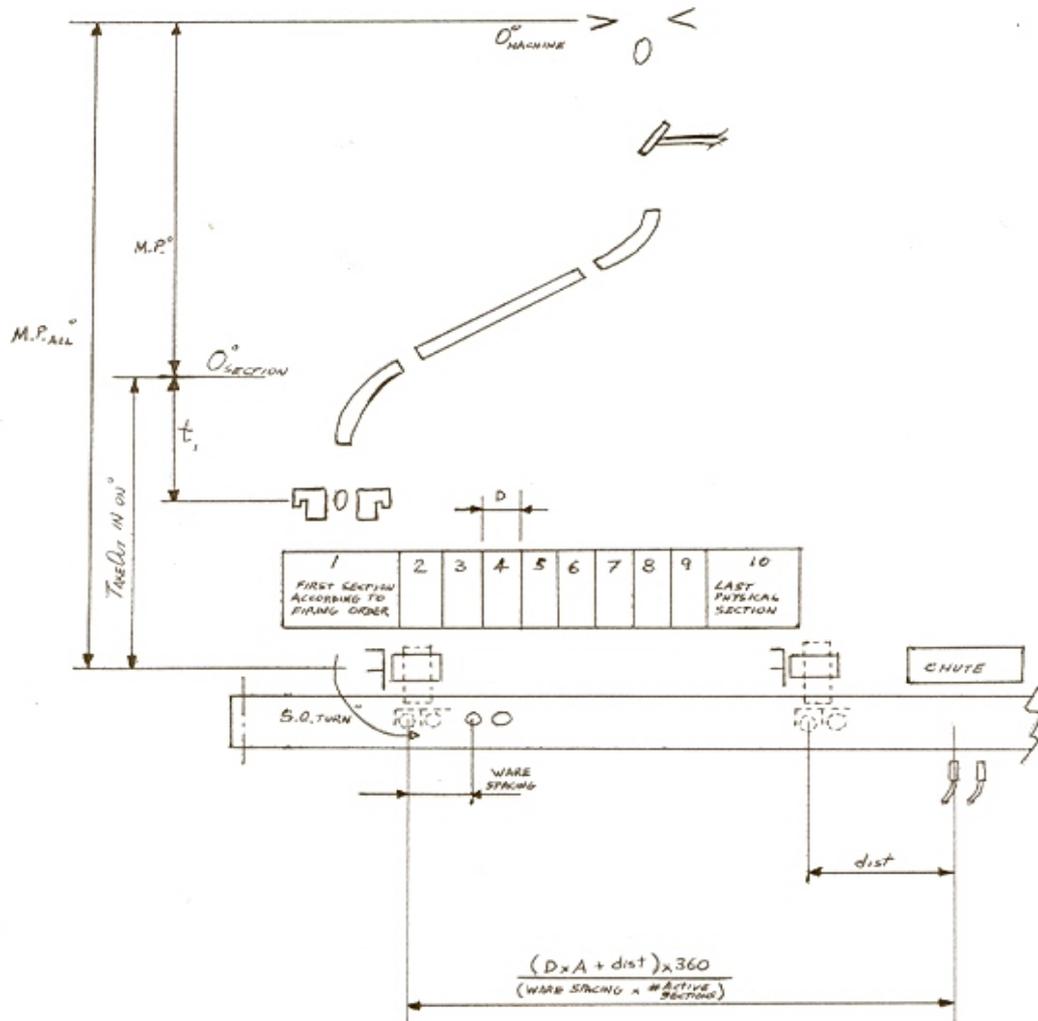
$$GOB\ LOAD\ ON^{\circ} = 360^{\circ} + t_1^{\circ} - \left( t_2^{\circ} + \frac{t_4^{\circ}}{2} \right)$$

$$GOB\ LOAD\ OFF^{\circ} = GOB\ LOAD\ ON^{\circ} + t_4^{\circ}$$

## **APÉNDICE C**

### **DIAGRAMA ILUSTRATIVO DEL CÁLCULO DEL RECHAZO DE MÁQUINA**

Reject :



$$Reject = M.P.all + S.O. TURN + \left[ \frac{(D \times A + dist) \times 360}{(WARE SPACING \times \# ACTIVE SECTIONS)} \right] - (START ANGLE + M.P.)$$