



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES
UNIVERSIDAD PRIVADA**

**TESIS DE GRADO
EN INGENIERIA INDUSTRIAL**

**CALIDAD EN PROCESOS DE
INYECCION PLASTICA**

Autor: Eduardo Dougall

Tutor:

Profesora María del Carmen Galíndez

Coordinadores:

Ing. Maximiliano Catalano Dupuy

Ing. José Jalil

2005

INDICE

INDICE	1
1. MOTIVACIÓN ESTRATÉGICA Y BENEFICIOS ESPERADOS	3
1.1 Introducción.....	3
1.2 Historia y Bases – Proyecto de Inversión.....	5
1.3 Metodología de Trabajo	7
2 MODELO OPERATIVO – ESTUDIO DEL PROCESO	9
2.1 Proceso Productivo General	9
2.1.1 Descripción de los Elementos del Flujograma	11
Operaciones	11
Transportes	13
Almacenes	14
Inspecciones.....	16
Demoras.....	17
2.1.2 Estructura de Productos e Insumos	18
Materia Prima (Plástico Virgen)	18
Masterbatch (Pigmento)	19
2.2 Estabilización del Proceso – Detalle del Proceso de Inyección.....	20
2.2.1 Funcionamiento de una Máquina de Inyección	20
2.2.2 Ciclo de Inyección	21
I - Cierre de Molde.....	21
II - Apoyo de Unidad de Inyección.....	22
III – Inyección, Postpresión.....	22
IV - Dosificación.....	22
V - Retroceso de la Unidad de Inyección	23
VI - Desmoldeo.....	24
2.2.3 Detalle de la Fase III - Inyección y Postpresión	25
2.2.4 Tipos de Conmutación	27
3 MEJORA DEL PROCESO UTILIZANDO CONTROL ESTADISTICO	29
3.1 Característica Significativa – Alternativas	29
3.1.1 Color	29
3.1.2 Terminación Superficial.....	30
3.1.3 Dimensiones	30
3.1.4 Fuerza de Apertura.....	30
3.2 Característica Elegida – Fuerza de Apertura	31
3.3 Instrumentación Utilizada para la Medición	32
3.3.1 Condiciones de Ensayo y Especificaciones.....	32
3.3.2 Estudio del Instrumental de Medición	33
3.4 Análisis de la Parametría Actual (Proceso Original)	34
3.4.1 Muestreo y Simplificaciones	35
3.4.2 Tests de Causas Especiales.....	37
3.4.3 Aptitud del Proceso.....	38
3.5 Mejora del Proceso	39
3.5.1 Primera Solución Propuesta	39
3.5.2 Prueba en Máquina de Primera Solución	39
3.5.3 Segunda Solución Propuesta	39
3.5.4 Prueba en Máquina de Segunda Solución	40
3.5.5 Comparación de los Resultados con el Proceso Original.....	42
3.6 Control Estadístico de Procesos -CEP-.....	44

3.6.1 Variables a medir para el CEP.....	44
3.6.2 CEP en Inyección Utilizando Conmutación por Presión	46
3.6.3 CEP en Inyección Utilizando Conmutación por Carrera	47
4 VIABILIDAD ECONOMICA, IMPLEMENTACION Y GESTION DEL CAMBIO.....	49
4.1 Plan de Implementación.....	49
4.1.1 Capacitación y Estudio del Proceso Particular	50
4.1.2 Método de Mejora.....	51
4.1.3 Implementación	51
4.1.4 Control y Mejora Continua.....	52
4.2 Viabilidad Económica.....	52
4.3 La Calidad en Términos de Objetivos.....	53
4.4 Costos Asociados a la NO Calidad	54
4.4.1 Ejemplo 1	54
4.4.2 Ejemplo 2	54
5 CONCLUSIONES	56

1. MOTIVACIÓN ESTRATÉGICA Y BENEFICIOS ESPERADOS

1.1 Introducción

Se puede afirmar que el propósito primero de cualquier empresa es generar utilidades. Para ello se requiere hacer una diferencia entre el precio de lo que uno vende, y cuanto “le cuesta” hacerlo.

Cabe destacar que en el mercado de hoy la competencia es tal, que generar dichas utilidades no resulta tan simple como lo era en un entonces.

Si nos referimos a la industria plástica, se debe partir de una dura realidad: el precio de venta lo fija el mercado, y en general éste no es muy flexible.

Resulta casi innecesario mencionar que siempre hay otras empresas dispuestas a ofrecer el “mismo producto” a menor precio. La competencia de precios es muy fuerte, y resulta difícil seguir dichas exigencias.

¿Cómo se puede ser competitivo y generar utilidades al mismo tiempo?

Estando atados a un precio, no cabe otra alternativa que reducir los costos.

Consecuentemente se trata de bajar los costos en todos los aspectos; adquisición, transporte, producción, etc. Mucho de ello se puede lograr buscando buenos precios de materia prima, realizando operaciones de logística eficientes, realizando una buena administración.

Por otro lado, no debemos olvidarnos que hay ciertas pautas de calidad que se deben cumplir.

Se cree erróneamente que la calidad implica un costo adicional para el proceso productivo; que calidad es el enemigo de la productividad.

Es el propósito de este proyecto el de ejemplificar que la fabricación “con calidad” ayuda a reducir notablemente los costos de producción.

Aumentando la productividad, reduciendo la cantidad de rechazos internos y externos, reduciendo la cantidad de mermas es como se logra también un producto de menor costo.

Identificando a este proyecto como una Mejora de Procesos, no solo se esperará como resultado una reducción de costos de producción, sino un notable aumento en la calidad percibida por el cliente.

El desarrollo del proyecto se centrará en aplicación de conceptos de fabricación y de herramientas de calidad en un modelo de fabricación ya utilizado en proyectos de inversión. Por esta razón se analizará a continuación la empresa utilizada en tal proyecto.

1.2 Historia y Bases – Proyecto de Inversión

La empresa Novoplast S.A. comenzó en los años 50, cuando su fundador inmigró a la Argentina, trayendo consigo un par de máquinas inyectoras. Él y algunos conocidos comenzaron con la labor de fabricar productos plásticos.

Con el paso de los años, comenzaron a expandir su gama de productos a todo tipo de piezas plásticas de tamaño menor: cerramientos para envases, cubiertos plásticos, tazas y utensilios para cocina entre otros. Este crecimiento llevó a la Novoplast a ampliar su volumen de producción, teniendo en los años 80 alrededor de 15 máquinas inyectoras.

En los años 90, vieron excedida su capacidad en la planta, por lo que se trasladaron a una nueva planta cerca del parque industrial Pilar, donde tienen un terreno con plena capacidad de ampliación.

En el año 1997, la empresa Plasticus decidió asociarse con Novoplast S.A. Plasticus es una empresa internacional asociada con otras empresas dedicadas a la industria plástica en 19 países en todo el mundo. Como consecuencia, Plasticus Novoplast S.A. se vio enfrentado a la posibilidad de tratar con nuevos mercados y clientes; sobre todo lo que respecta a mercados externos.

Más allá de la oportunidad para alcanzar nuevos mercados, Plasticus ofrece a Novoplast S.A. el respaldo de una empresa internacional. Además de ofrecer la oportunidad a una mejor financiación de nuevos proyectos, también vuelca en Novoplast S.A. toda la experiencia adquirida por trabajar ampliamente en el rubro.

En la actualidad Plasticus Novoplast S.A. tiene en funcionamiento alrededor de 25 máquinas inyectoras. Su producción se basa mayoritariamente en cerramientos para envases. Con las ventajas que ofrece el Mercosur entre otras cosas, la empresa es capaz de exportar a países como México, Brasil y Chile.

Para crecer dentro de un mercado tan competitivo, Plasticus Novoplast no busca solamente reducir costos y aumentar su propia productividad, sino que tiene una comprensión más amplia de su rol en el total de la cadena productiva.

La empresa busca concientizar no solo al personal responsable de calidad, sino también a toda persona involucrada en el proceso. Se tiene una idea de las consecuencias de la entrega de productos de calidad inferior. Además de la necesidad reemplazar el producto faltante o retrabajar el mismo, la *no calidad* puede implicar costos en el cliente que a veces no son tenidos en cuenta.

Esta forma de ver el negocio motiva a desarrollar este proyecto, donde se quiere trascender del concepto de costo interno a una visión más global. *Si puedo reducir los costos de mi cliente, mi empresa también gana.*

1.3 Metodología de Trabajo

Sin entrar en demasiado detalle en este capítulo, se explicará como se pretende llegar a la fabricación de piezas de mayor calidad, para luego exponer en los últimos capítulos como afectan esos resultados al total de la cadena productiva.

La fabricación de piezas por inyección plástica consiste de la introducción de material plástico más un colorante dentro de un molde, donde esa masa conjunta es enfriada para luego ser expulsada como producto final.

Durante este proceso de inyección, entran en juego una gran cantidad de variables y parámetros.

Los parámetros determinan las condiciones en las que las piezas serán inyectadas, y pueden ser cambiados por el operador. El mismo suele iterar valores de estos parámetros hasta que obtiene las piezas con las especificaciones que desea.

Además, las características del producto terminado también dependen de ciertas variables, como son la humedad y temperatura ambiente. Al ser éstas características del ambiente que varían aleatoriamente, aumentan la variabilidad del proceso.

Dicha variabilidad resultará despreciable si se considera que las mediciones se realizan en lapsos de tiempo relativamente cortos.

Centrándose este trabajo en los parámetros de inyección, se buscará aprovechar al máximo las posibilidades que ofrecen las máquinas. El estudio se basará en máquinas ENGEL, provenientes de Austria, que ofrecen una interesante gama de posibilidades para la inyección de termoplásticos.

Mediante el uso correcto de las mismas, se intentará realizar un proceso controlado, sobre el cual se podrá aplicar un control estadístico.

Luego de la realización del control estadístico, se utilizarán límites de especificación (LE) aportados por el cliente para verificar la aptitud del proceso. Más adelante se especificarán los LE, así como las razones de su elección.

Uno se preguntará: ¿para qué se busca hacer un control estadístico? La respuesta radica en el propósito principal de este trabajo; un control estadístico permite:

- ▣ analizar que el proceso este bajo control
- ▣ identificar con antelación algún problema en la maquinaria
- ▣ verificar la aptitud de la maquinaria (que la maquinaria se capaz de inyectar un producto de calidad).

Todos estos puntos concluyen en un mismo objetivo: lograr calidad. Calidad que implica reducción de costos totales, implica clientes satisfechos.

2 MODELO OPERATIVO – ESTUDIO DEL PROCESO

2.1 Proceso Productivo General

Para poder controlar el proceso, primero se deberá estudiar el mismo, y conocer los pasos que implican dicha producción y los elementos necesarios para obtener el producto terminado. En este capítulo se explicará el proceso productivo; es decir, desde la recepción de los pallets de materia prima a la fábrica, pasando por todos los procesos intermedios, hasta la obtención de las tapas como producto terminado.

Para la mejor visualización de los procesos, se utilizarán diagramas de flujo (ver figuras 2.1-01 y 2.1-02).

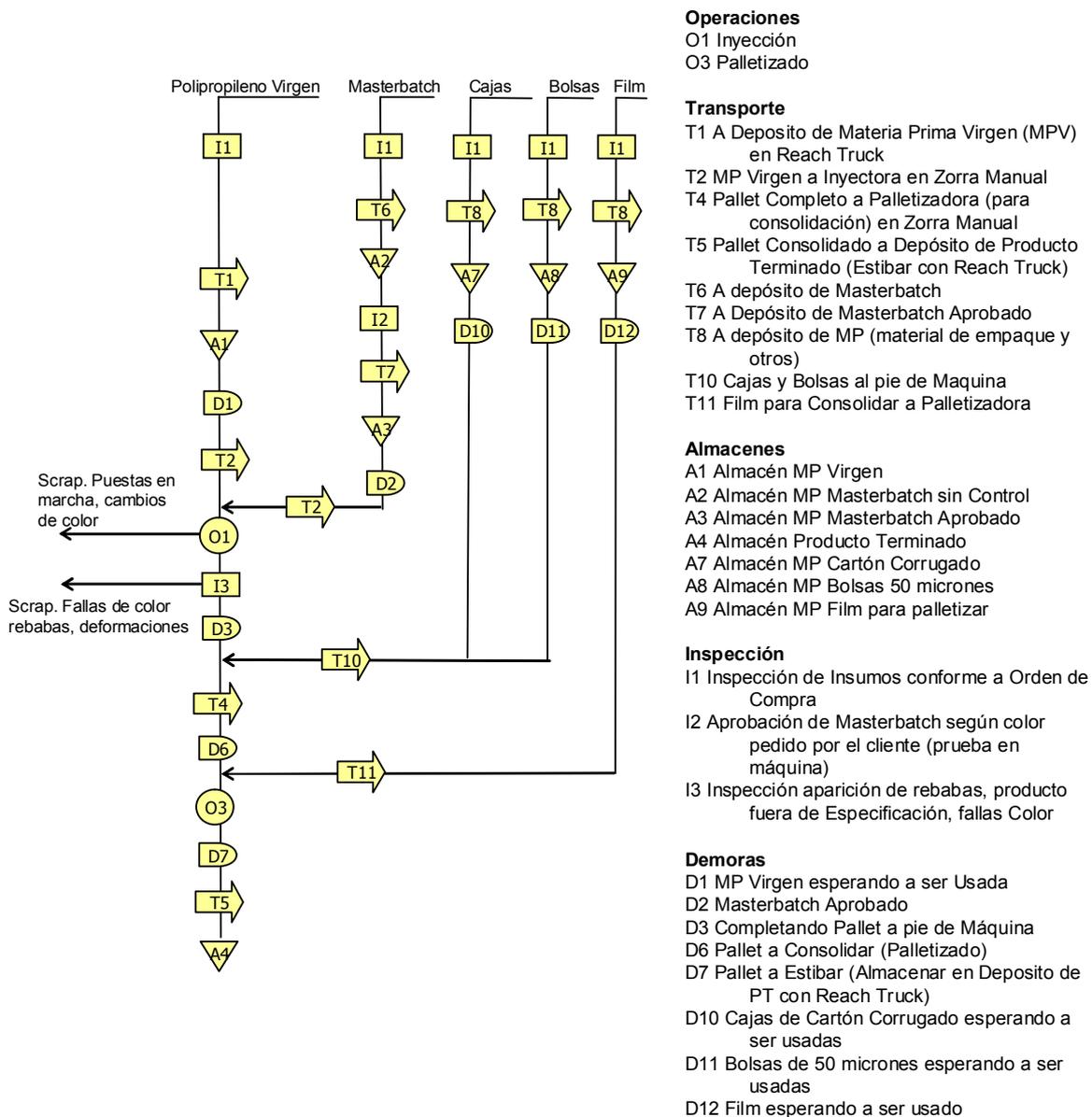


Figura 2.1-01. Flujograma de Proceso

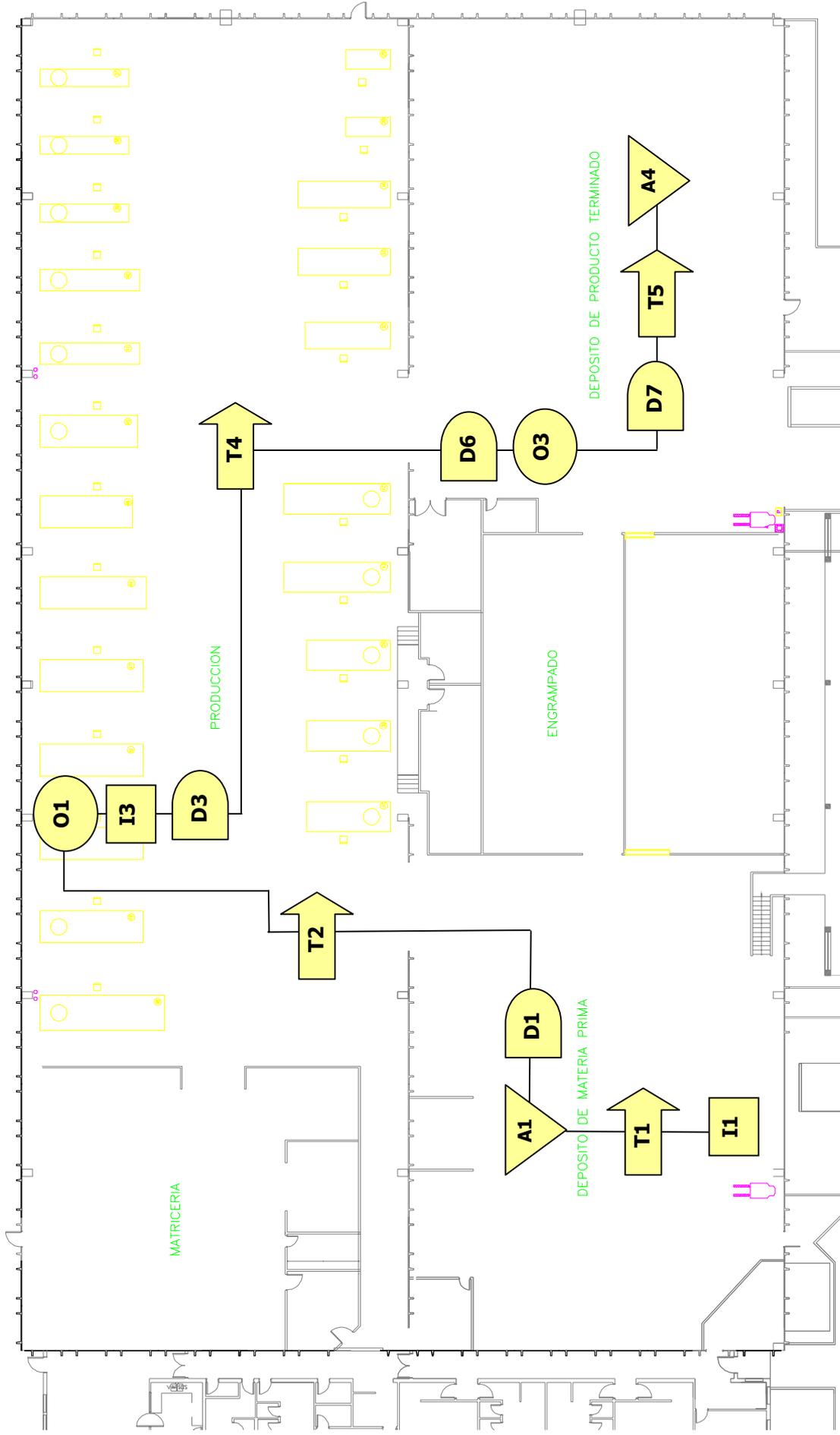


Figura 2.1-02. Diagrama de planta con flujos de MP.

2.1.1 Descripción de los Elementos del Flujograma

Operaciones

O1 - Inyección: Este consiste en el proceso de inyección propiamente dicho; entran material virgen y materbatch, para salir como subproducto la pieza moldeada, con sus características físicas, geométricas y de color adecuadas.

Mediante aspersores de vacío el material virgen se carga en una tolva, y un dosificador de masterbatch provee la cantidad de pigmento necesaria para lograr el color que se busca. La mezcla ingresa al cilindro donde un tornillo sinfín en su interior actúa de igual manera que el émbolo de una jeringa, elevando su temperatura de forma controlada. Cuando el plástico se funde, se transforma en un estado semi-liquido, y es inyectado a alta presión en el interior de un molde de acero, que le da forma a la pieza.

Luego el molde es enfriado mediante canales interiores, por los que circula agua refrigerada, logrando que las piezas se solidifiquen y sean expulsadas en un rango de temperaturas de 80 a 120 °C aproximadamente.

Al ser expulsadas, las piezas caen y son extraídas de la máquina inyectora mediante cintas transportadoras. Al desplazarse por las cintas se enfrían las piezas a temperatura ambiente y luego son depositadas en cajas de cartón.

En el proceso actual, aproximadamente 1% del peso total inyectado se desperdicia. El mismo corresponde a puestas en marcha y cambios de color. A esto se lo denomina *scrap*.

Este proceso completo se realiza en la nave central del sector de producción (ver fig. 2.1-03).



Figura 2.1-03. Zona de Inyección.

O3 – Palletizado: Para poder manipular y estibar la carga –cajas en pallets- sin dañar el producto terminado, se deberá consolidar la misma mediante un film plástico diseñado para tal fin. Los operarios de depósito se encargan de de esta etapa, así como de la estiba de los pallets de producto terminado. Consiste en simplemente “envolver” el pallet con el film plástico, de manera que la carga quede rígida y sea segura para manipular (ver fig. 2.1-04).



Figura 2.1-04. Zona de Palletizado

Transportes

T1 – A Depósito de Materia Virgen: Allí se estiba –almacena- la materia prima entregada por el proveedor en estanterías selectivas o mediante autoestiba de 2 niveles. En el caso de autoestiba, se refiere a la posibilidad de “apilar” un pallet sobre el otro. En el caso de la materia prima virgen, la carga permite que se puedan encimar solamente uno sobre otro.

T2 – A Máquina Inyectora: El material virgen se transporta con una zorra manual hasta el pie de máquina, generalmente de a bolsas de 25 Kg. Allí se vuelca el material en contenedores, donde los mismos alimentan la tolva de la maquina mediante aspiradores de vacío.

T4 – A Palletizadora: Una vez completadas todas las cajas que conforman la cantidad equivalente a un pallet completo, se transportan desde el pie de máquina hasta la zona de palletizado mediante una zorra manual.

T5 – A Depósito de PT: Una vez consolidada la carga, los pallets se llevan mediante Reach Truck al deposito de PT donde serán estibados en posiciones destinadas a ese producto. Todo el depósito de Producto Terminado trabaja con estanterías selectivas.

T6 – A Depósito de Masterbatch: Los pigmentos al ser recibidos por el proveedor, aguardan en esta zona hasta ser aprobados. Al ser volúmenes muy pequeños no es necesario el uso de una zorra manual.

T7 - A Depósito de Masterbatch Aprobado: Luego de ser aprobado por el Departamento de Administración de Calidad, éste es llevado al deposito de Masterbatch aprobado.

T8 - A depósito de MP (material de empaque y otros): Cuando se reciben insumos secundarios, se llevan al depósito de MP destinado para tal fin.

T10 - Cajas y Bolsas al pie de Maquina: Se provee de las cajas y bolsas al pie de la máquina para su deposición.

T11 – Film a Palletizadora: este insumo de la palletizadora es transportado hasta la zona de palletizado.

Almacenes

A1 - Almacén MP Virgen: Allí se almacena todo el material virgen, identificados según el proveedor y con los datos de su composición química y especificaciones. Sea realiza mediante autoestiba de hasta 2 niveles (ver fig. 2.1-05).



Figura 2.1-05. Almacén de Materia Prima e Insumos Varios

A2 - Almacén MP Masterbatch sin Control: Antes de ser controlado, el Masterbatch que es recibido del proveedor se almacena siendo identificado con etiquetas “A INSPECCIONAR”.

A3 - Almacén MP Masterbatch Aprobado: luego de ser controlado, esta “APROBADO” para poder ser usado en la producción.

A4 - Almacén Producto Terminado: Allí se depositan las tapas embolsadas (fig. 2.1-06), puestas en cajas y paletizadas (fig. 2.1-07), listas para ser despachados al cliente.



Figura 2.1-06. Cajas de PT



Figura 2.1-07. Almacén de PT

A7, A8, A9 – Almacén MP (insumos varios): Allí se almacenan todos los insumos de menor volumen que son necesarios para el producto, así como materiales de empaque y embalado del mismo.

Inspecciones

I1 - Inspección de Insumos correspondiente a la Orden de Compra: Se confirma que el material que ingresa al depósito sea el solicitado el proveedor. Se controlan especificaciones del insumo así como también a cantidad.

I2 - Aprobación de Masterbatch: Se hacen pruebas de color en moldes diseñados específicamente para ello, y se comparan los colores con una muestra patrón aprobada por el departamento de marketing de la empresa cliente. Esta aprobación debe hacerse por el Departamento de Aseguramiento de Calidad.

Ya que la pigmentación de las piezas inyectadas tiene una íntima relación con la calidad del producto final, la utilización de gerenciamiento visual cobra real importancia. No puede llegar a la etapa de producción ninguna bolsa de masterbatch que no haya sido inspeccionada. Se identifican con etiquetas de diferente color; anaranjado para producto sin inspeccionar –ver figura 2.1-08- , y verde para producto OK listo para producción.



Figura 2.1-08. Bolsa de Masterbatch no Inspeccionado

En caso de haber inspeccionado un producto que resulta fuera de especificación, se le coloca una etiqueta color rojo de insumo rechazado, y se devuelve al proveedor.

I3 - Inspección aparición de rebabas, productos fuera especificación: Se hace un control de calidad, tomando muestras de las piezas inyectadas, y verificando sus características críticas conforme a las especificaciones para dicha pieza. Toda pieza fuera de especificación, sin importar el tipo de defecto, es considerado scrap, presentándose generalmente este tipo de defectos en el 0,5% del total de peso inyectado.

Este scrap se puede molinar y reutilizar para otros productos, o en caso de no poder hacerlo, se vende a terceros.

Demoras

D1 - Materia Prima Virgen esperando a ser Usada: Materia prima que esta en el depósito de MP

D2 - Masterbatch Aprobado: Pigmento listo para producción.

D3 - Completar Cajas en Pallet a pie de Máquina: las piezas se extraen de la máquina inyectora mediante una cinta transportadora. Las mismas son juntadas en bolsas a granel, y luego dentro de cajas de cartón corrugado. Al llegar a la carga correspondiente a un pallet, recién ahí este es transportado mediante una zorra a la zona de palletizado.

D6 - Pallet a Consolidar (Palletizado): Se acumulan pallets en esta zona en caso de que la maquina Palletizadora esta muy cargada de trabajo.

D7 - Pallet a Estibar: Pallets que están listos, esperando a que el autoelevador las ubique en el depósito.

D10, D11, D12 – Insumos varios en MP: Stock disponible de cartón, bolsas y film en depósito de MP.

2.1.2 Estructura de Productos e Insumos

En el proyecto de inversión, se realizaba la producción de tubos y tapas para la industria farmacéutica.

En el desarrollo de este proyecto, se hará hincapié en la producción de tapas. Esto se debe a que en las tapas existe una característica significativa para el cliente sobre la cual se puede basar el control estadístico. Más adelante se detallará esta característica.

Las tapas son conformadas por plástico virgen más un colorante o pigmento (fig. 2.1-09). Según varíen las propiedades de los mismos, se pueden obtener piezas con distinta coloración, terminación, dureza, flexibilidad, durabilidad, resistencia al impacto, etc.

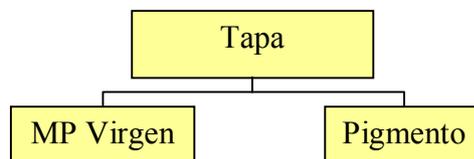


Figura 2.1-09. Estructura de Producto

Materia Prima (Plástico Virgen)

Si bien existen más de cien tipos de plásticos, los más comunes en la inyección de plásticos son los siguientes, y se los identifica con un número dentro de un triángulo a los efectos de facilitar su clasificación para el reciclado (ver tabla 2.1-01).

TIPO / NOMBRE	CARACTERISTICAS	USOS / APLICACIONES
 PEBD Polietileno de Baja Densidad	<p>Se produce a partir del gas natural. Al igual que el PEBD es de gran versatilidad y se procesa de diversas formas: Inyección, Soplado, Extrusión y Rotomoldeo.</p> <p>Su transparencia, flexibilidad, tenacidad y economía hacen que esté presente en una diversidad de envases, sólo o en conjunto con otros materiales y en variadas aplicaciones.</p>	<p>Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc.. Streech film, base para pañales descartables.</p> <p>Bolsas para suero, contenedores herméticos domésticos. Tubos y pomos (cosméticos, medicamentos y alimentos), tuberías para riego.</p>

 <p>PP</p> <p>Polipropileno Homopolímero y Copolímero</p>	<p>El PP es un termoplástico que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando etileno durante el proceso. El PP es un plástico rígido de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, excelente resistencia química y de más baja densidad. Al adicionarle distintas cargas (talco, caucho, fibra de vidrio, etc.), se potencian sus propiedades hasta transformarlo en un polímero de ingeniería. (El PP es transformado en la industria por los procesos de inyección, soplado y extrusión / termoformado)</p>	<p>Película/Film (para alimentos, snacks, cigarrillos, chicles, golosinas, indumentaria). Bolsas tejidas (para papas, cereales). Envases industriales (Big Bag). Hilos cabos, cordelería. Caños para agua caliente. Jeringas descartables. Tapas en general, envases. Bazar y menaje. Cajones para bebidas. Baldes para pintura, helados. Potes para margarina. Fibras para tapicería, cubrecamas, etc. Telas no tejidas (pañales descartables). Alfombras. Cajas de batería, paragolpes y autopartes.</p>
 <p>PS</p> <p>Poliestireno</p>	<p>PS Cristal: Es un polímero de estireno monómero (derivado del petróleo), cristalino y de alto brillo. PS Alto Impacto: Es un polímero de estireno monómero con oclusiones de Polibutadieno que le confiere alta resistencia al impacto. Ambos PS son fácilmente moldeables a través de procesos de: Inyección, Extrusión/Termoformado, Soplado.</p>	<p>Potes para lácteos (yogurt, postres, etc.), helados, dulces, etc. Envases varios, vasos, bandejas de supermercados y rosticerías. Heladeras: contrapuestas, anaqueles. Cosmética: envases, máquinas de afeitar descartables. Bazar: platos, cubiertos, bandejas, etc. Juguetes, casetes, blisters, etc. Aislantes: planchas de PS espumado.</p>

Tabla 2.1-01. Tipos de Materiales Plásticos para su utilización en Inyección.

La materia prima viene en bolsas de 25 Kg., en forma de pequeñas esferas, llamadas pellets, de unos 4mm de diámetro. Este tamaño y forma permiten que sea fácilmente manejable y evite problemas de atascamiento en aspiradoras y tolvas.

Masterbatch (Pigmento)

El pigmento, colorante, o Masterbatch como suele usarse en la jerga de la industria, se utiliza generalmente en un 3% del peso de plástico inyectado. Viene presentado en forma de pellets, al igual que el material virgen, pudiéndose ambos mezclar de forma muy exacta y lograr poca variabilidad de color entre lotes. Esto se logra utilizando un dosificador ubicado a un lado de la tolva de alimentación de material virgen, donde se mezcla antes de ingresar al cilindro de inyección. El masterbatch viene presentado normalmente en bolsas de 25kg o menor.

2.2 Estabilización del Proceso – Detalle del Proceso de Inyección

Este trabajo se focalizará en uno de los elementos del flujograma; el proceso de inyección plástica.

En esta operación se aplicará un control estadístico, y se verificará luego la aptitud del proceso en relación a las especificaciones exigidas por el cliente. Por esta razón se estudiará más detalladamente este proceso.

2.2.1 Funcionamiento de una Máquina de Inyección

El proceso de inyección trata del moldeo de un plástico, y no de la posterior transformación de semifabricados, sino del moldeo del propio plástico. El proceso de inyección es una transformación, que mediante el empleo máquinas y moldes logra el moldeo de una pieza en un solo proceso.

Para este proceso se utilizan generalmente máquinas inyectoras (fig. 2.2-01) de hasta 45 toneladas de fuerza de cierre, y moldes de 4, 6, 8, 12, 16, 32 y hasta 64 cavidades.



Figura 2.2-01. Máquina de Inyección ENGEL

2.2.2 Ciclo de Inyección

En la transformación de plásticos se denomina *ciclo* a los movimientos de maquina sucesivos, los cuales corresponden a determinadas técnicas de proceso, las cuales incluyen los procesos de trabajo necesarios para la producción de una pieza moldeada.

El ciclo viene denomina según el tiempo que exige, lo que suele llamarse tiempo de ciclo. A menor tiempo de ciclo, mayor cantidad de unidades se moldearán por unidad de tiempo. Reducir este tiempo optimizando el proceso de inyección resulta generalmente en un cambio significativo en la productividad.

Las fases dentro de un ciclo de inyección son las correspondientes:

- I Cierre de molde
- II Apoyo de la unidad de inyección
- III Inyección, Postpresión
- IV Dosificación
- V Retroceso de Unidad
- VI Apertura de Molde y Expulsión

A continuación se explicará cada uno de ellos.

I - Cierre de Molde

El ciclo de inyección comienza con el cierre de molde. Con ello se mueve la placa portamoldes (ver fig. 2.2-02) de manera que las placas del molde se acercan, con una velocidad ajustada y un perfil de presión predeterminado. Al alcanzar la carrera de protección de molde se conmuta a baja presión, para proteger al molde. Esto ocurre para evitar daños en caso de que haya alguna obstrucción al cierre del molde –ej. una pieza inyectada que no hubiera sido expulsada-. Cuando el molde esta cerrado (aprox. 0,2mm) se conmuta de nuevo a alta presión, y se aplica la fuerza de cierre necesaria para la inyección.

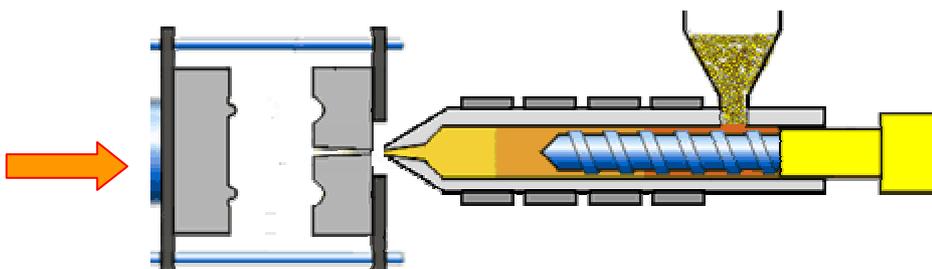


Figura 2.2-02. Movimiento de Cierre de Molde.

II - Apoyo de Unidad de Inyección

Una vez finalizado el movimiento de cierre del molde, la unidad de inyección desplaza la boquilla a la posición de contacto con la entrada de boquilla del molde (ver fig. 2.2-03).

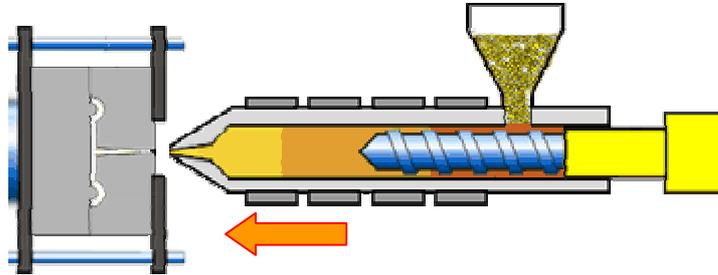


Figura 2.2-03. Movimiento de Apoyo de la Unidad de Inyección.

III – Inyección, Postpresión

El pistón de trabajo del cilindro de inyección -también llamado husillo- es impulsado con un perfil de velocidad ajustable en movimiento hacia delante (ver fig. 2.2-04). En esta acción es inyectada la masa fundida que se encuentra en el pistón a través de la boquilla y canal del molde en la cavidad del mismo. Esto se realiza a una alta presión, alrededor de 600 kg/cm³.

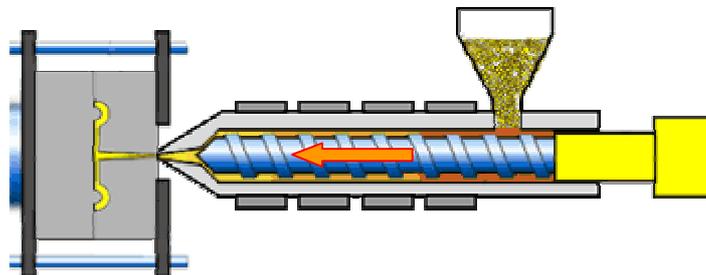


Figura 2.2-04. Fase de Inyección y Postpresión.

Al tener el molde una temperatura diferente a la masa, comienza el endurecimiento con la entrada de la masa en el molde. Para que no existan rechupes, problemas de llenado, o piezas con poca compactación, después de llenada la cavidad tiene que conectarse, la postpresión, para compensar el volumen perdido por el enfriamiento y hasta que la colada quede solidificada.

La estabilización del proceso dependerá de variables ajustadas en esta fase, y debido a esto, se analizará con más profundidad en el capítulo 2.2.3.

IV - Dosificación

El material cae desde la tolva a la zona de entrada del husillo pistón a través del orificio del cilindro plastificador y es transportado por los pasos del husillo

mediante la rotación del mismo en dirección a la boquilla a través del cilindro calentado exteriormente (ver fig. 2.2-05). En los filetes del husillo las partículas son mezcladas estando en continuo contacto con la pared interior del cilindro, de forma que la masa fundida fluye delante a la punta del husillo. Esta acumulación de material crea un movimiento axial de retroceso del husillo, soportando una contrapresión. De esta manera se alcanza el volumen de masa fundida requerido para llenar el molde, llamado carrera de dosificación.

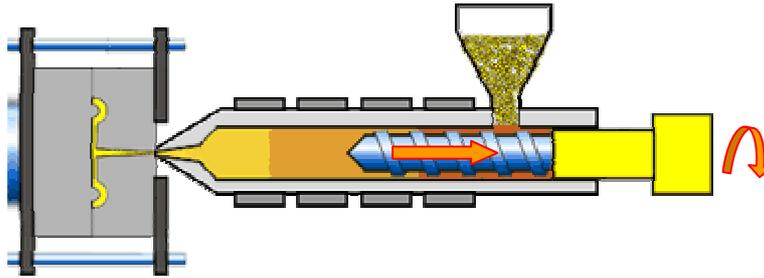


Figura 2.2-05. Carrera de Dosificación. Rotación Axial y Desplazamiento del Husillo.

V - Retroceso de la Unidad de Inyección

La unidad de inyección se separa del casquillo de entrada de colada o canal caliente del molde (ver fig. 2.2-06). Esto es a veces importante para que la colada se rompa, para que la entrada de material en el molde no se caliente excesivamente y finalmente para que la boquilla calentada no se enfríe demasiado.

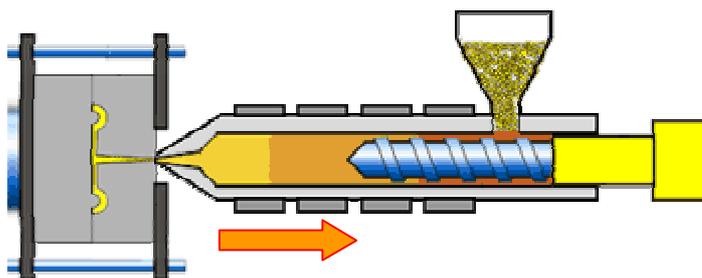


Figura 2.2-06. Movimiento de Retroceso de la Unidad de Inyección.

VI - Desmoldeo

Con el final del tiempo de enfriamiento, el molde abre con un perfil de velocidades ajustado (ver fig. 2.2-07). Después de alcanzar la posición de inicio avanza el expulsor, donde con la ayuda de varillas expulsoras es expulsada la pieza moldeada. Seguidamente se inicia un tiempo de pausa (tiempo de desmoldeo), y al finalizar se termina el ciclo, dando a lugar el inicio del ciclo nuevo.

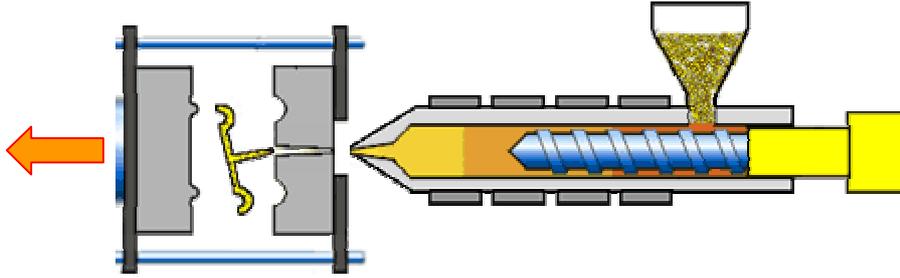


Figura 2.2-07. Apertura de Molde y Desmoldeo de la pieza.

2.2.3 Detalle de la Fase III - Inyección y Postpresión

Como se explicó anteriormente, en esta etapa se realiza la inyección de la masa plástica dentro del molde desde C2 y luego se conmuta en C3 a la fase de postpresión (ver fig. 2.2-08).

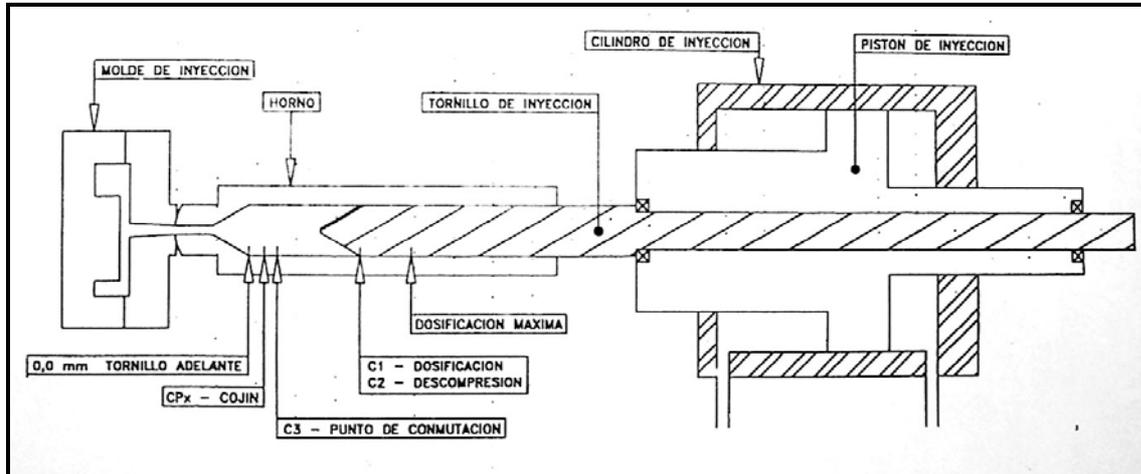


Figura 2.2-08. Puntos de referencia en la fase de Inyección y Postpresión

En la primera etapa –la de inyección–, *se controla la velocidad del tornillo*. La carrera C2-C3 se determina según el volumen a ser inyectado dentro del molde (ver fig. 2.2-09).

$$VM + VC = (C2-C3) \cdot (\pi \cdot D^2) / 4$$

donde VM : Volumen Molde
 VC: Volumen Canal
 C2-C3: Carrera de Inyección
 D: Diámetro del Tornillo

Figura 2.2-09. Cálculo para determinar la carrera de inyección según el volumen del molde

Se debe tener en cuenta que la presión dentro del cilindro de inyección depende de:

- la velocidad de inyección
- la viscosidad del material
- la resistencia al flujo debido a la geometría de los canales y orificios por donde fluye el material
- la temperatura a la que es inyectado el material

Se debe considerar también que al inyectar en orificios pequeños a alta velocidad, se puede quemar el material inyectado, dando a lugar un material con distintas propiedades a las buscadas –en general con menor resistencia-. Por otro lado, al inyectar a poca velocidad, la vena fluida –material plástico a alta temperatura- no llega a toda la pieza, y se obtienen piezas cortas o reviradas.

Una vez que se llega al punto C3 –punto de conmutación-, se inicia la postpresión. En esta etapa, *se debe controlar la presión y el tiempo*.

Se busca lograr una compactación adecuada mientras las piezas se van enfriando, y la postpresión logra eso. En este momento queda un restante de material en el cilindro llamado cojín o colchón, utilizado para la postcompresión –pero no para terminar de llenar la pieza-.

Una postpresión excesiva conduce a tensiones internas en la pieza. Como consecuencia salen piezas reviradas. Por el contrario, una postcompresión insuficiente resulta en una pieza poco compactada o con rechupes, derivando también a piezas fuera de especificación.

2.2.4 Tipos de Conmutación

Ahora que se comprende el funcionamiento de la fase de inyección y postcompresión de la máquina, se pondrá énfasis en buscar la **estabilidad** del proceso.

Un factor que afecta notablemente a la estabilidad del proceso es el **tipo de conmutación**. Se recuerda que la conmutación era el punto C3, donde se pasa de la *inyección de material con velocidad controlada a postpresión con presión y tiempo controlados*.

Existen 3 tipos de conmutación:

- Dependiente del Tiempo de Inyección
- Dependiente de Carrera
- Dependiente de la Presión Hidráulica

El primer tipo queda descartado, ya que no tiene un buen control sobre la cantidad de material inyectado en el molde, aumentando la variabilidad y resultando poco práctico.

El segundo –Conmutación por Carrera- es el que generalmente se estaba utilizando en producción, ya que tiene un cierto control sobre el volumen a inyectar y resulta el tipo de conmutación más fácil de utilizar. No requiere de un detallado conocimiento del proceso, por lo que resulta el más práctico.

La tercera es la **conmutación por presión hidráulica**. Tras haber realizado una capacitación sobre el tema, y habiendo comprendido el proceso de inyección con más detalle, se cuestionó si la utilización este método en el proceso podría llevar a una mejora.

La conmutación por presión realiza la conmutación cuando el molde termina de llenar las cavidades del molde, y la presión se eleva al no poder introducir más material dentro del mismo. En ese momento se activa la postpresión.

De esta manera se asegura que siempre entra la misma cantidad de material dentro de las cavidades, y además logra que no haya piezas cortas -faltantes de material- o con poca compactación.

Esto implica también se solucionan los problemas de dosificación. Al tener un punto de conmutación variable –que depende de la presión hidráulica-, una desviación en la cantidad de material dosificado por ciclo no afecta a la compactación de la pieza moldeada.

Este tipo de conmutación ayuda de la detección de obstrucciones en los canales de las cavidades, ya que al ocurrir dicha obstrucción, la máquina conmuta en un momento anterior de la carrera de inyección y se activa la alarma de cojín máximo. De esta manera la máquina ayuda a prevenir piezas cortas o cavidades tapadas –problemas que suelen bajar el índice de productividad-.

Por último se puede mencionar que este tipo de conmutación permite, mediante la medición del cojín, observar la situación del proceso y realizar un control estadístico sobre el mismo.

Es la finalidad de este proyecto la de demostrar que si se aplican estos conceptos teóricos en el proceso actual, podría aprovecharse completamente el potencial de la maquinaria disponible. Se logrará un proceso más estable, y más fácilmente controlable; se obtendrá un proceso cuya calidad será notablemente superior.

3 MEJORA DEL PROCESO UTILIZANDO CONTROL ESTADISTICO

Vale mencionar que el control estadístico es una herramienta de calidad. El control estadístico no es una solución por sí misma, sino que se utilizará para asegurar que la mejora buscada en el proceso sea efectiva.

3.1 Característica Significativa – Alternativas

Para realizar el control estadístico sobre la producción, se podía elegir entre las siguientes características para ser utilizada como variable de medición:

- ▣ Color
- ▣ Terminación superficial
- ▣ Dimensiones (altura, espesor, diámetros)
- ▣ Fuerza de apertura de la tapa

El proceso de selección implicaba una serie de consideraciones que se explicarán a continuación:

- ▣ Incidencia sobre el cliente. Se debe elegir una característica que sea valorada por el cliente; una característica que represente las exigencias del mismo.
- ▣ Propiedad alterable. Se debe optar entre aquellas características donde una modificación de los parámetros de inyección tengan algún efecto.
- ▣ Facilidad de medición. Una característica que resulta difícil de medir, termina implicando una cantidad de trabajo o costos no aceptables. Se busca practicidad.

Se estudiarán las distintas posibilidades, considerando sus ventajas y desventajas para concluir en la elección de alguna de ellas.

3.1.1 Color

El color depende mayormente de 3 factores:

- ▣ de la proporción de mezcla del material virgen con el masterbatch
- ▣ de la calidad de las materias primas utilizadas
- ▣ de un ocasional quemado del material (excesiva velocidad de inyección a través de orificios pequeños, etc.)

3.1.2 Terminación Superficial

La terminación superficial de las piezas depende de la terminación de las superficies de las cavidades en el molde, así como también de las propiedades del material inyectado. También puede en casos depender de calor deficiente –ej. falta de calefacción- o de temperatura excesiva –ej. problemas de enfriamiento en el molde-.

3.1.3 Dimensiones

Generalmente las dimensiones de las piezas no tienen gran variación, debido a la ajustada precisión de cierre y de los elementos que conforman al molde. Solamente en casos de excesivo desgaste de moldes y máquinas comienza a detectarse problemas de variación más importantes.

Las dimensiones del producto terminado pueden variar además según el índice de contracción del material, pero se asume que este índice permanece constante. También puede variar levemente por parametría –de inyección-.

3.1.4 Fuerza de Apertura

Esta característica representa el esfuerzo necesario para la apertura del cerramiento. Puede depender de factores como propiedades del material, parametría y temperaturas durante la inyección.

3.2 Característica Elegida – Fuerza de Apertura

Por un lado, tanto el **color** como la **terminación superficial** tienen la ventaja de ser aspectos importantes para el cliente. Por lo general se rigen por controles visuales, comparando las piezas producidas con una muestra de referencia aprobada por el cliente.

Como desventaja aparece el problema de la medición; la misma suele tener cierta subjetividad, a menos que se tenga el herramental adecuado –que no suele ser económico–.

Además, éstas no dependen de los parámetros de inyección, por lo que resultan inviables para la realización de este estudio, y quedan descartadas.

Respecto de las **dimensiones**; se tiene como ventaja la facilidad de medición. Por otro lado, a menos que impliquen algún cambio en la funcionalidad de la pieza, la variación en este tipo de característica no tiene significativo peso. Un ejemplo sería el consumidor final de un frasco de pastillas; nunca diferenciará variaciones de $\pm 0,1\text{mm}$ en la altura de la tapa.

La **fuerza de apertura** cobra gran importancia, ya que posee la mayor cantidad de ventajas:

- ▣ Es significativa sobre la calidad que exige y ofrece el cliente al consumidor final
- ▣ Resulta fácilmente medible si se considera que no se necesita más que un dinamómetro.
- ▣ Es fuertemente influenciable por parametría de inyección.

Estas ventajas y la última especialmente indican a ésta como la más apropiada para realizar este proyecto.

En el próximo capítulo se explicará como se midió dicha característica, y cuales fueron las condiciones y precauciones que debieron ser tomadas en cuenta.

3.3 Instrumentación Utilizada para la Medición

La fuerza de apertura se mide con un dinamómetro –ver figura 3.3-01-. Este registra la fuerza pico necesaria para la apertura del cerramiento en cuestión. Se pueden utilizar distintas unidades –tanto kilogramos como Newton-, pero se adoptó el uso de unidades en kilogramos.



Figura 3.3-01. Dinamómetro para medición de fuerza de apertura en cerramientos para envases.

3.3.1 Condiciones de Ensayo y Especificaciones

El cliente determina que el ensayo de fuerza de apertura debe cumplir con ciertas condiciones.

Para empezar, el cliente requiere que la medición sea una vez transcurridas las 3 hs de la producción de las piezas –aunque generalmente en 2 horas ya se pueden obtener valores muy similares al valor final-. Esto es necesario para que las piezas se enfríen y se estabilicen en una temperatura igual para todas las muestras. Al bajar su temperatura, la rigidez de las piezas suele aumentar, así como también sus tensiones internas.

Es recomendable que todas las piezas se enfríen el mismo tiempo y de la misma manera antes de la medición para no acarrear variaciones que no sean atribuibles al proceso.

La fuerza necesaria para la apertura se mide realizando el ensayo a una velocidad determinada –que para este caso se setea en 100 mm/min-.

En consideración de los resultados que se esperan del producto terminado, se exigen ciertos límites de especificación para esta variable. Generalmente se ofrece una tolerancia de +/- 30-40% respecto de la media especificada como fuerza de apertura ideal.

Para el caso específico que se tomó como ejemplo, se tuvieron las siguientes especificaciones:

- ▣ LES (límite específico superior) 1,00 Kg.
- ▣ LEI (límite específico inferior) 0,50 Kg.

Estas especificaciones fueron las guías para la mejora del proceso. De ninguna manera tenía sentido reducir la variabilidad de la fuerza de apertura en la pieza estudiada, si los valores que se obtuvieran en el proceso modificado resultaban en un apartamiento de la media especificada como ideal.

3.3.2 Estudio del Instrumental de Medición

No fue necesario realizar un ensayo de R&R, ya que solamente una persona realizó las mediciones, y el instrumento de medición cumple con las fechas de recalibración programada.

3.4 Análisis de la Parametría Actual (Proceso Original)

Antes de comenzar con los cambios en los parámetros de inyección, se debió evaluar la salida del proceso actual para tener una referencia sobre la cual hacer comparaciones.

Como se había explicado anteriormente, el proceso se estaba realizando mediante *conmutación por carrera*. Esto consiste en especificarle a la máquina que el pistón inyecte desde una posición –punto de dosificación- hasta otra posición –punto de conmutación- con un perfil de velocidades fijado. En ese punto, pasaba a aplicar una cierta postpresión durante un tiempo fijado –tiempo de postpresión-.

Los parámetros de inyección son:

▣ Carrera de Inyección	49 mm
▣ Velocidad de Inyección	144 mm/s
▣ Punto de Conmutación	11,4 mm
▣ Postpresión	58 bar
▣ Tiempo de Postpresión	1,5 seg.

Manteniendo estos parámetros constantes, se realizó el muestreo de las piezas del proceso actual para la posterior estimación de su media y desvío standard.

También se mantuvieron estos parámetros para la recolección de datos y realización de un control estadístico de procesos. Utilizando la presión de conmutación como variable a medir, se confeccionó un gráfico de control para utilizarlo como herramienta de control. Esto se verá en mayor detalle el capítulo 3.6.

3.4.1 Muestreo y Simplificaciones

Cabe aclarar que se debió simplificar el muestreo utilizando una cavidad, ya que un molde generalmente tiene 12, 16 o hasta 32 cavidades.

Se recuerda que el objetivo de este estudio era la reducción de la variabilidad con la modificación de parámetros de inyección. El estudio de la totalidad de las cavidades hubiera podido además ofrecer conclusiones respecto de la diferencias en la fuerza de apertura *entre* cavidades, pero éstas diferencias no pueden ser afectadas por parámetros o condiciones de inyección. En caso de buscar soluciones a diferencias entre cavidades, puede recurrirse diseño mismo del molde -modificando de la geometría del mismo-, o variando temperaturas en los pin points –puntos de entrada de material, en sistemas con colada caliente-.

Para afirmar que los datos obtenidos sean un buen estimador poblacional, debe poderse sacar conclusiones confiables a partir de ellos. Esto ocurre si se dan determinadas condiciones:

- a) las muestras deben ser obtenidas de una población estable y
- b) deben además ser representativas de la totalidad de la población.

Para cumplir con la primera condición basta analizando la distribución poblacional. Si la población de la cual se extrajeron las muestras es estable, entonces la distribución de los promedios muestrales se distribuirá normalmente. Mediante el Input Analyzer que viene con Arena –un software de simulación- se obtuvo que los datos se ajustan con poco error a la distribución Normal –ver fig. 3.4-01-.

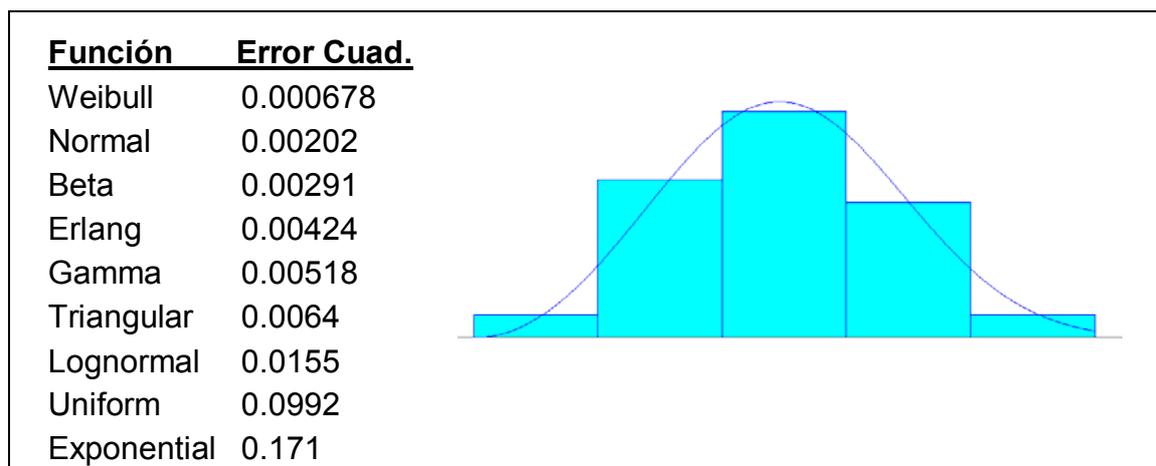


Figura 3.4-01 Ajuste de distintas Distribuciones a la Distribución de Promedios Muestrales

Con la segunda condición se adoptan ciertos supuestos; las condiciones ambientales se mantienen estables o varían sin afectar al proceso. Todas las otras variables, como la temperatura de agua de refrigeración se mantienen también estables. Se puede entonces asumir que la muestra es representativa del total de la población.

Se efectuó una serie de mediciones utilizando muestreo racional. Cada 10 minutos se extrajeron 5 inyecciones consecutivas de una cavidad, realizando 125 mediciones, para un total de 25 muestras.

Los datos recolectados en el proceso fueron alimentados en un software estadístico –Minitab–, para obtener el siguiente gráfico de control –fig. 3.4-02–.

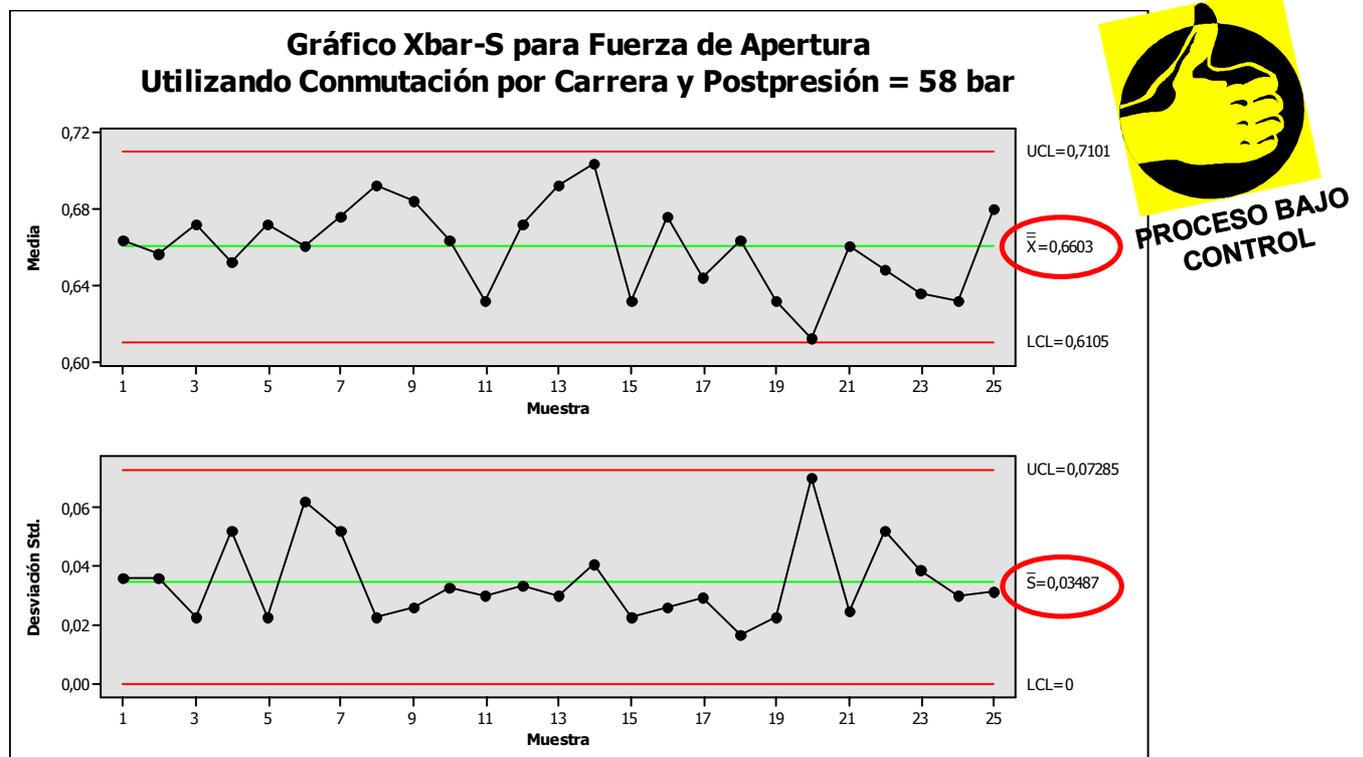


Figura 3.4-02. Gráfico de Control para el proceso Actual.

En esta etapa se pudo identificar que el proceso estaba *bajo control*, ya que no presentaba puntos que fallaran en alguno de los 8 test –o evaluaciones– que el software aplica sobre los datos.

Se obtuvieron como resultados:

- ▣ Una media muestral de 0,6603
- ▣ Un desvío standard muestral de 0,03487

3.4.2 Tests de Causas Especiales

Estos test consisten en las reglas que ofrece el control estadístico para identificar que un proceso este o no afectado por causas especiales de variación. A continuación se presentan estas reglas –ver tabla 3.4-03-.

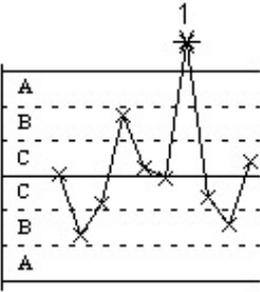
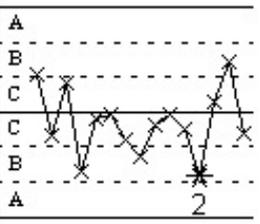
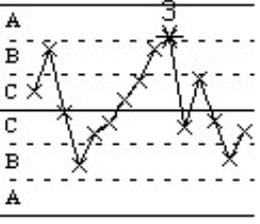
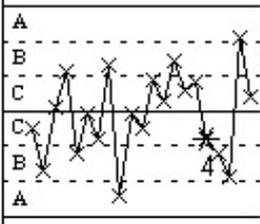
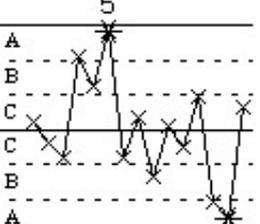
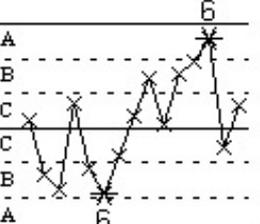
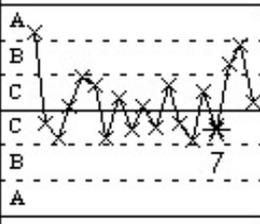
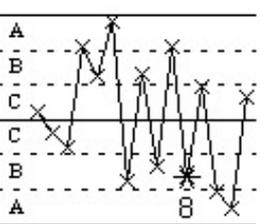
<p style="text-align: center;">TEST 1</p>  <p style="text-align: center;">1 punto más allá de 3s de la línea central</p>	<p style="text-align: center;">TEST 2</p>  <p style="text-align: center;">9 puntos seguidos de un lado de la línea central</p>	<p style="text-align: center;">TEST 3</p>  <p style="text-align: center;">6 puntos seguidos crecientes o decrecientes</p>
<p style="text-align: center;">TEST 4</p>  <p style="text-align: center;">14 puntos seguidos alternando</p>	<p style="text-align: center;">TEST 5</p>  <p style="text-align: center;">2 de 3 puntos más allá de 2s de la línea central (mismo lado)</p>	<p style="text-align: center;">TEST 6</p>  <p style="text-align: center;">4 de 5 puntos más allá de 1s de la línea central (mismo lado)</p>
<p style="text-align: center;">TEST 7</p>  <p style="text-align: center;">15 puntos seguidos dentro de 1s de la línea central</p>	<p style="text-align: center;">TEST 8</p>  <p style="text-align: center;">8 puntos seguidos más allá de 1s de la línea central</p>	

Tabla 3.4-03. Tests que indican Causas Especiales de Variación. En caso de fallas alguno de ellos, indica un proceso fuera de control.

3.4.3 Aptitud del Proceso

Teniendo en cuenta las especificaciones que fueron entregadas por el cliente para esta pieza, se pudo realizar –también utilizando el Minitab- un análisis de aptitud o capacidad –ver fig.3.4-04-.

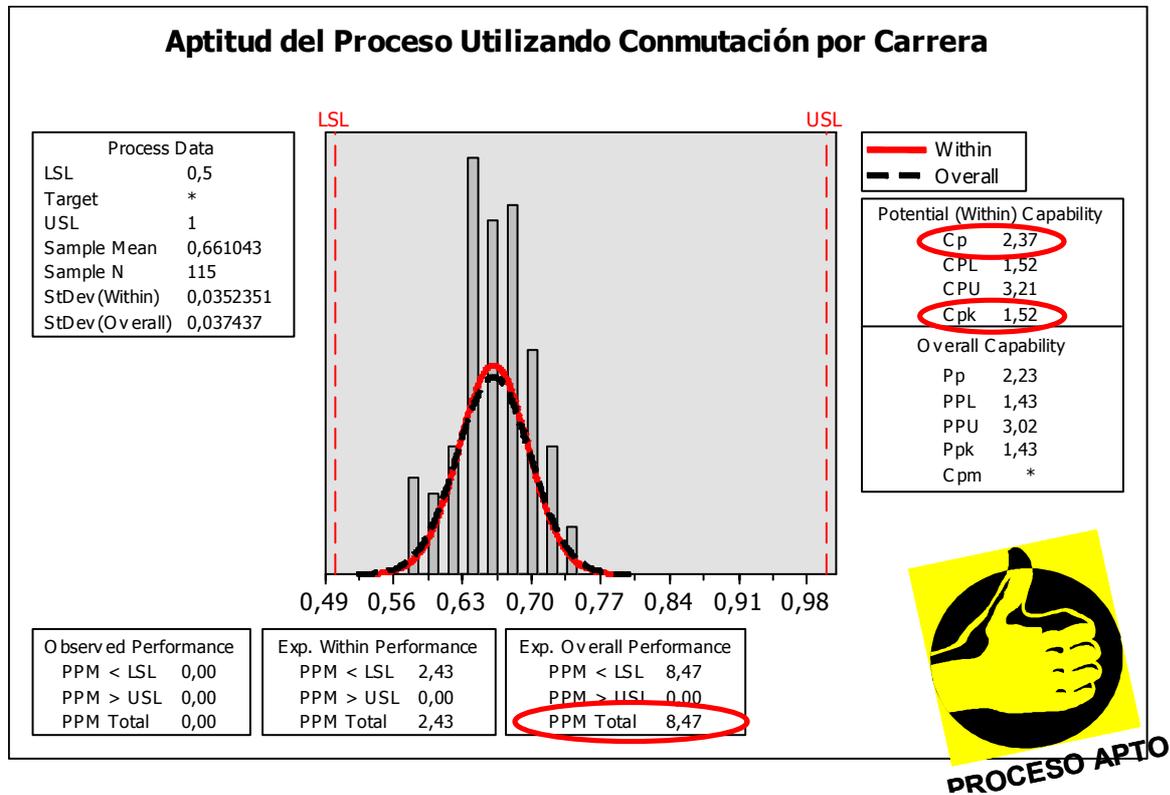


Figura 3.4-04. Aptitud de proceso de Inyección para el Proceso Actual.

La aptitud implica en que medida la maquinaria y los elementos de fabricación tienen la capacidad –respecto a su diseño- de fabricar la pieza que se solicita acorde a las especificaciones demandadas por el cliente.

3.5 Mejora del Proceso

3.5.1 Primera Solución Propuesta

Para la mejora del proceso se comenzó buscando una solución fundamentándola con la teoría presentada en los capítulos anteriores.

Se buscó implementar el concepto de *conmutación por presión*. Como consecuencia de una dosificación más estable, se logra una compactación más estable. Lógico era pensar que esta característica ayudaría a disminuir la variabilidad en la fuerza de apertura.

Mientras el proceso seguía conmutando por carrera, se registraron valores de presión en el instante de conmutación, y se adoptó 136 bar como la nueva presión de conmutación.

3.5.2 Prueba en Máquina de Primera Solución

Se implementó la conmutación por presión. Luego de desarrollar un muestreo y compararlo con los resultados del proceso original, se encontró que la variabilidad aumentaba, y además disminuía la aptitud del proceso.

La media muestral se redujo a 0,5797 kg. con una desviación std. de 0,0542 kg.



3.5.3 Segunda Solución Propuesta

Al no encontrar una razón lógica para tal resultado, se decidió acudir a una persona que se especializa en máquinas de inyección. Se especializa en cursos de capacitación y asesoramiento técnico en procesos de inyección plástica. Esta persona no dio una explicación certera de por qué pudo haber pasado aquello, pero alentó a perseverar; a seguir buscando. Se sabía que con el cambio del tipo de conmutación se estaba en el camino correcto.

Se necesitaba estabilizar la compactación de la pieza, y esto se logra en ocasiones aumentando la compactación de la misma. De manera que se decidió *aumentar la postpresión de 58 a 65 bar*. Para evitar que la máquina conmutara a postpresión aún cuando no se terminara de llenar el molde, se *aumentó a 137 bar la presión de conmutación*. Se debía tener cuidado de no obtener piezas con rebabas –generalmente ocasionadas por una presión de inyección excesiva–.

3.5.4 Prueba en Máquina de Segunda Solución

Se verificó que se los datos cumplieran con las condiciones para asegurarse de tener un buen estimador; *normalidad* –ver fig. 3.5-01- y *representatividad*.

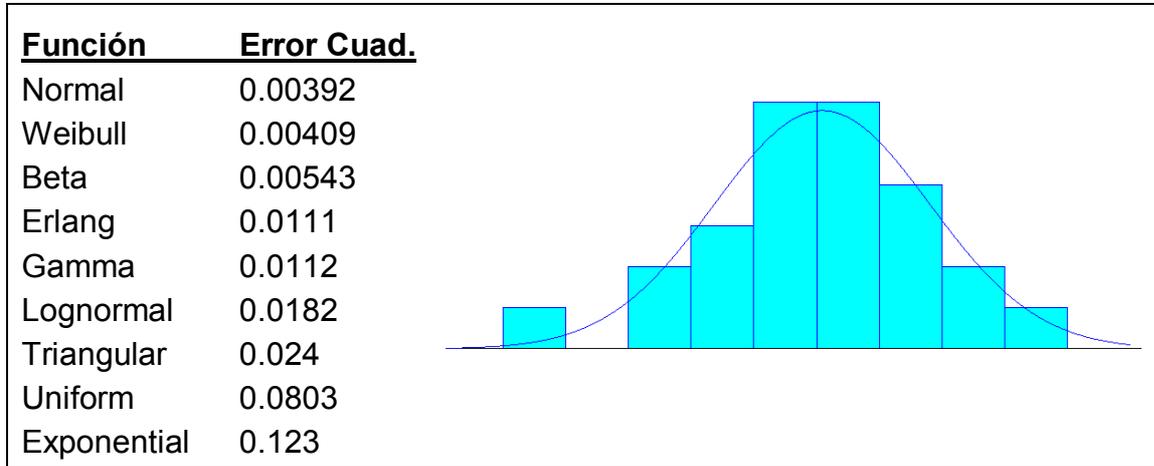


Tabla 3.4-01 Ajuste de distintas Distribuciones a la Distribución de Promedios Muestrales.

Con la misma metodología usada en las anteriores muestras, se realizó el muestreo y con Minitab se obtuvieron los siguientes resultados –ver fig.3.5-02 y fig. 3.5-03:

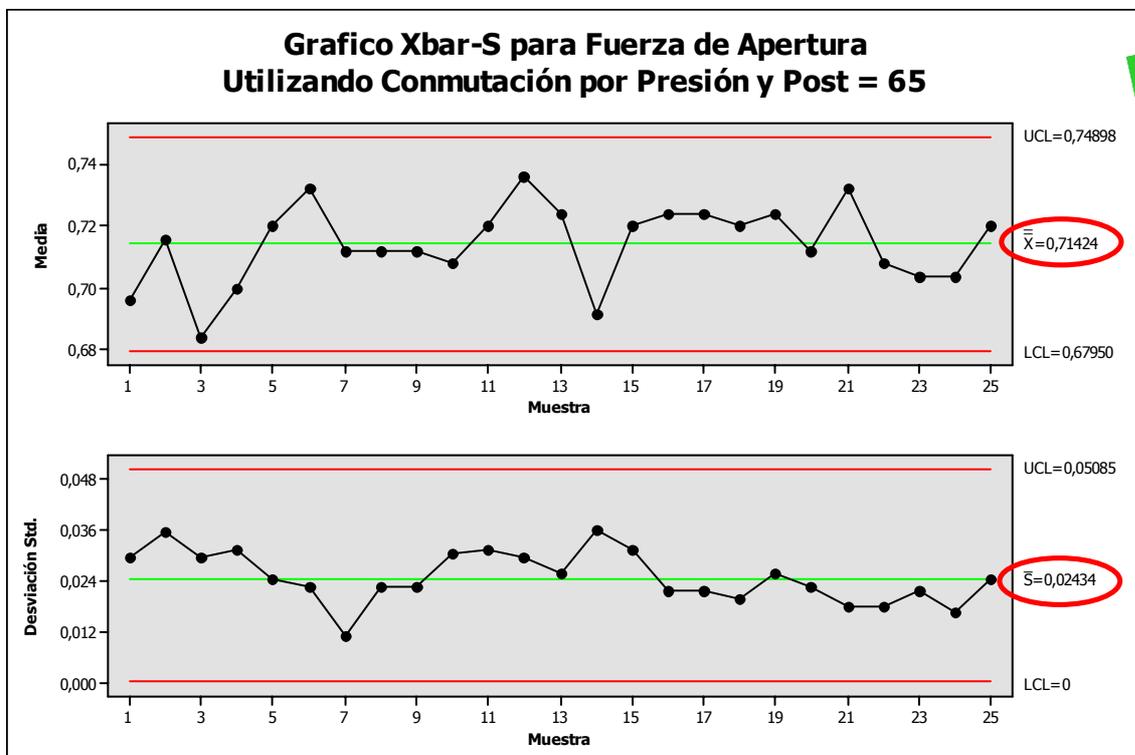


Figura 3.5-02. Gráfico de Control para la segunda Solución Propuesta

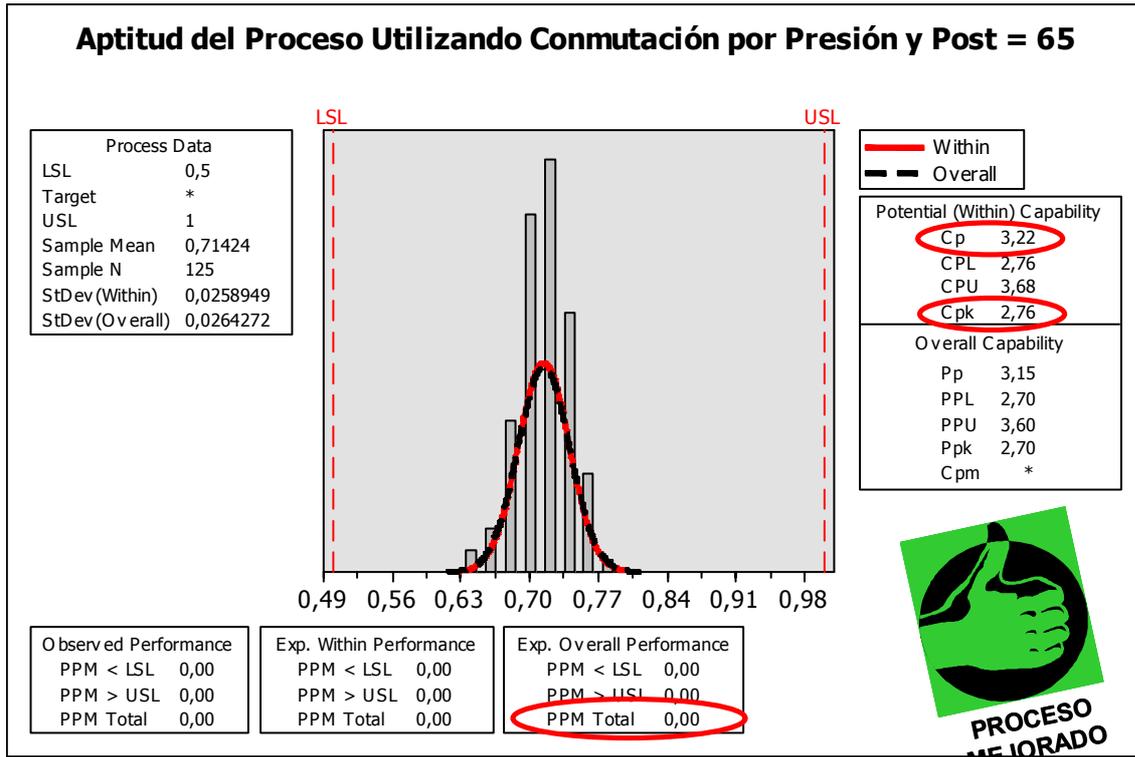


Figura 3.5-03. Capacidad del Proceso una vez implementada la mejora.

3.5.5 Comparación de los Resultados con el Proceso Original

Si comparamos los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos –ver tabla 3.5-01-, se podrá apreciar lo siguiente:

Sin duda alguna, la primera alternativa quedó descartada. Se pasará a analizar la comparación entre el proceso original y la segunda propuesta.

Como resultado de la segunda propuesta se lograron piezas con una mayor compactación. No solamente bajó la variabilidad –el desvío std. pasó de 0,035kg a 0,024kg-, sino que también aumentó la media poblacional, acercándose al objetivo fijado según los límites especificados.

	PROCESO ORIGINAL	1° PROPUESTA	2° PROPUESTA	OBJETIVO SEGÚN L.E.
MEDIA (Kg.)	0,6603	0,5797	0,71424	0,75
DESVIO STD. (Kg.)	0,03487	0,0542	0,02434	0
Cp	2,37	-	3,22	>5
Cpk	1,52	-	2,76	>5
CONCLUSION				-

Tabla 3.5-01. Comparación entre soluciones propuestas, el proceso original y el objetivo.

Originalmente esta media estaba por debajo del ideal especificado, por lo que esta mejora ayudó también a fabricar piezas con un mayor Cpk.

La disminución en la variabilidad ayudó a mejorar ambos índices Cp y Cpk, pero el centrado de la campana respecto de los Límites de Especificación (LE) impacta exclusivamente en el Cpk. Puede determinarse que utilizando esta parametría, la maquinaria es *apta* o *capaz* de producir piezas con un grado superior de calidad al proceso original.

En el proceso original 8,47 PPM –partes por millón- serían piezas fuera de especificación. Como resultado de esta mejora, ese valor bajó a cero. Teóricamente, si no inciden causas especiales de variación, el proceso mejorado tiene cero posibilidades de fabricar una piezas defectuosas –siempre y cuando refiriéndose a la característica elegida; la fuerza de apertura-.

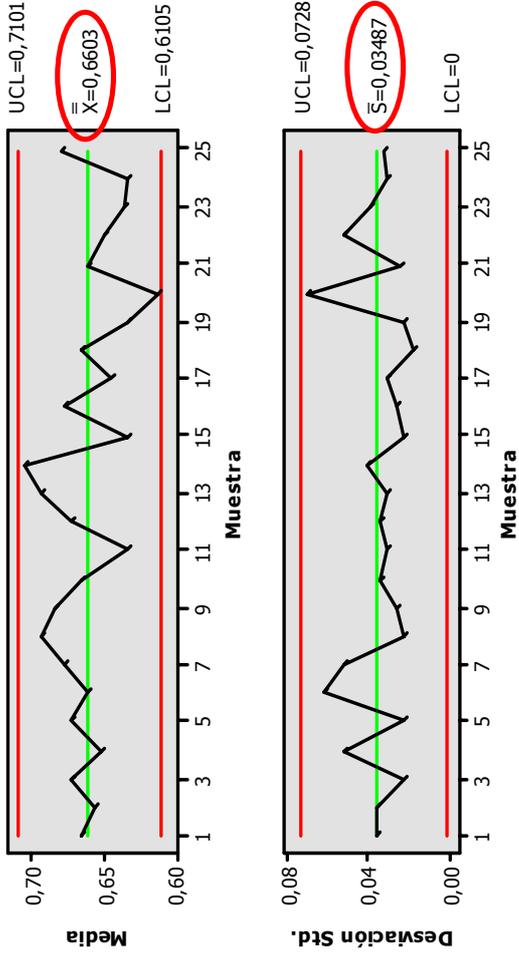
En la siguiente página se tiene un cuadro comparativo para los resultados obtenidos con el método original y con el método mejorado.

PROCESO ORIGINAL

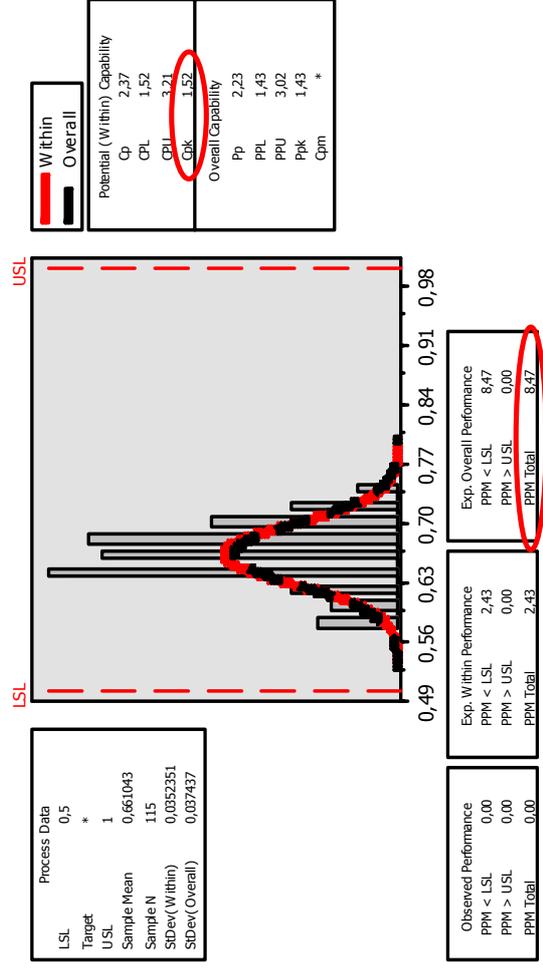
PROCESO MODIFICADO

Calidad en Procesos de Inyección Plástica

Gráfico Xbar-S para Fuerza de Apertura Utilizando Conmutación por Carrera y Postpresión = 58 bar

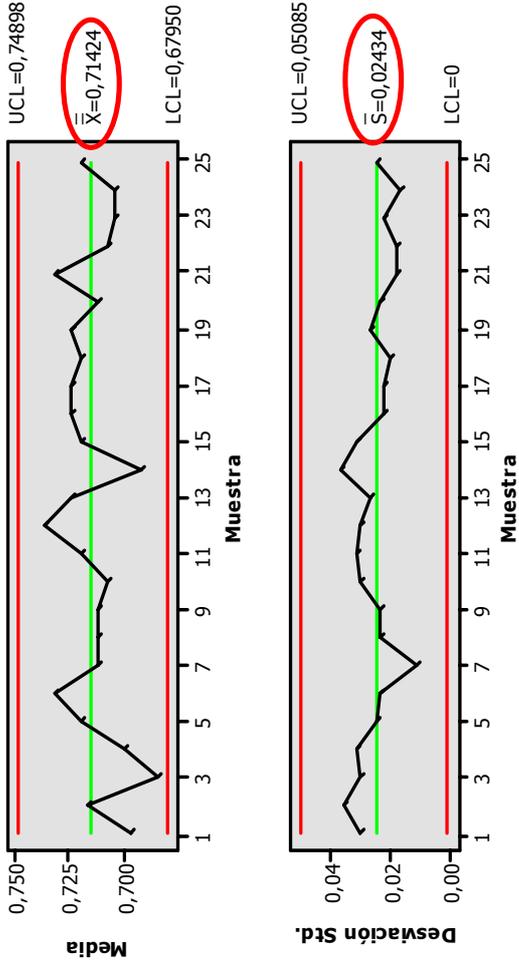


Aptitud del Proceso Utilizando Conmutación por Carrera

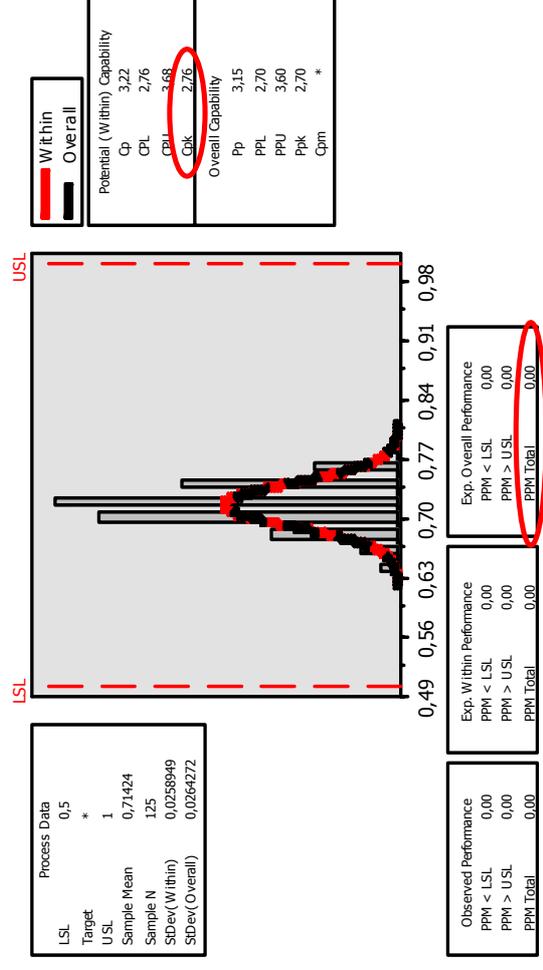


Modelo Operativo

Gráfico Xbar-S para Fuerza de Apertura Utilizando Conmutación por Presión y Post = 65



Aptitud del Proceso Utilizando Conmutación por Presión y Post = 65



Eduardo Douglal

3.6 Control Estadístico de Procesos -CEP-

Más allá de una mejora significativa en la calidad del producto fabricado, se puede también tomar en cuenta una herramienta de calidad que permite el control y el seguimiento del proceso. Esta herramienta denominada *Control Estadístico de Procesos* consiste en la medición de una serie de variables, ultimando en un análisis de estas mediciones para verificar que el mismo siga *bajo control* –que no hayan causas especiales que afecten la media o la variabilidad del proceso- e identificarlas en el caso de que aparezcan. Esto permite anticiparse a problemas en la producción antes o poco tiempo después de que comiencen a producirse productos fuera de especificación.

Además de poder cuantificar una mejora en un proceso, un gráfico de control también puede ser utilizado para registrar valores a lo largo del tiempo y mantener un registro del estado del proceso en esos instantes.

Las siglas CEP significan Control Estadístico de Procesos, implican que un gráfico de control puede ser utilizado para llevar un registro de un parámetro del proceso, implicando que el control ya no se realiza sobre el producto sino sobre el proceso. De esta manera, se sabe que estando el proceso bajo control, el producto está bajo control.

Generalmente la lectura de un parámetro del proceso resulta más fácilmente medible que la medición de una muestra sobre el producto. Ese es el caso de ejemplo de este proyecto, donde estas mediciones son realizadas por la máquina, y el muestreo se realiza simplemente tomando nota de los valores que aparecen en una pantalla.

Con el avance tecnológico existente, pronto se tendrán máquinas de inyección que registran los datos, y los procesan automáticamente para facilitar el estudio, la mejora y el control del proceso.

3.6.1 Variables a medir para el CEP

En una máquina de inyección se pueden medir diversas variables para poder aplicar un control estadístico, como por ejemplo:

- ▣ temperatura del horno
- ▣ temperatura de salida del agua refrigerante del molde.
- ▣ tiempo de inyección real
- ▣ velocidad de inyección real

Estas pueden incidir sobre las propiedades del producto final, y la aplicación de un CEP en ellas puede ser de ayuda para mantener el proceso controlado.

Ahora también pueden medirse otras variables que toman importancia según el tipo de conmutación que se utilice. Se interiorizará sobre éstas en las siguientes secciones.

3.6.2 CEP en Inyección Utilizando Conmutación por Presión

Al utilizar conmutación por presión se logra que entre en el molde la misma cantidad de material en cada uno de los ciclos. Esto implica que si hay alguna variación en la dosificación, el tornillo recorrerá la carrera suficiente para llenar el molde, pero sobraré o faltará en la punta de inyección esa cantidad de material que representa la variación.

Esa cantidad de material es el colchón o cojín. Este muestra, en milímetros, la cantidad de carrera de pistón disponible –plástico sin inyectar- para que actúe la postpresión.

Para el caso del proceso que se mejoró, se ve el siguiente gráfico de control – ver fig.3.6-01-.

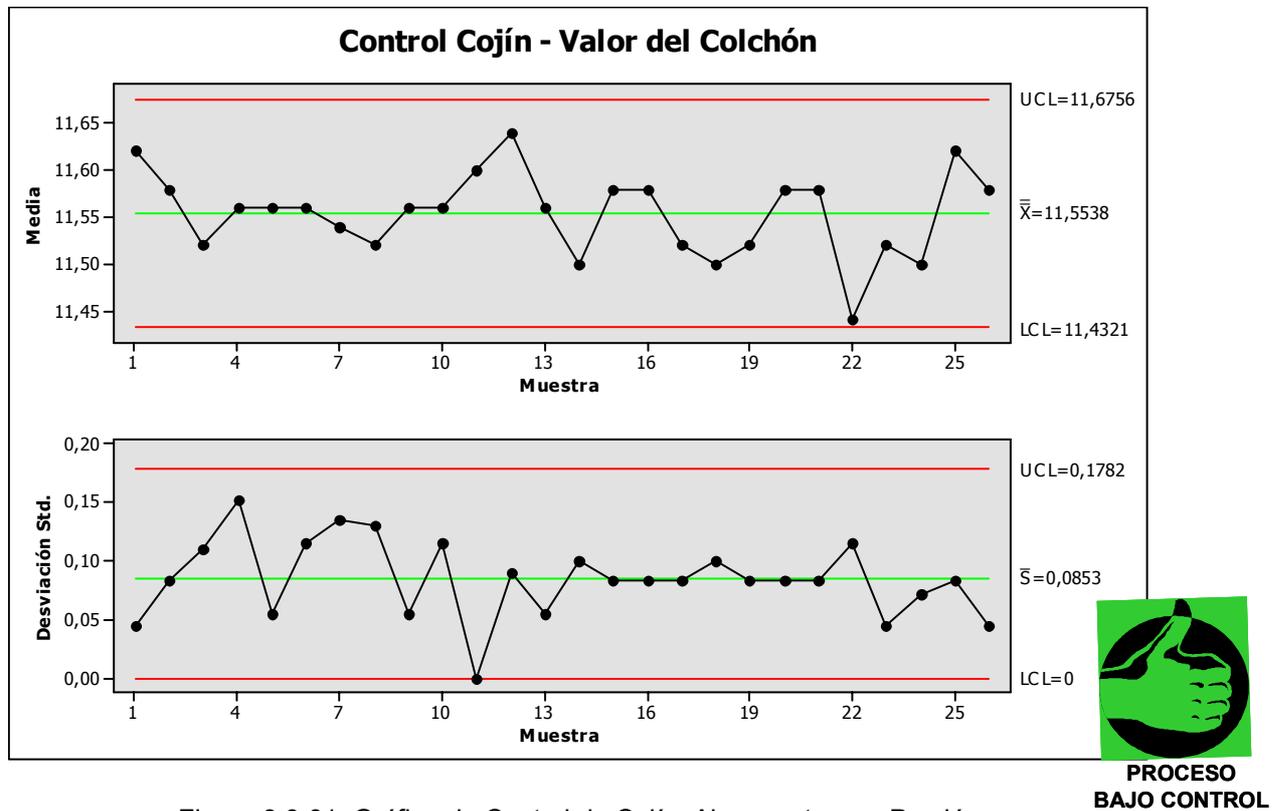


Figura 3.6-01. Gráfico de Control de Cojín. Al conmutar por Presión

Si se lo ve como un indicador de variación, este puede alertar en caso de que haya problemas de cavidades tapadas, cambios en la viscosidad del material – utilización incorrecta de materia prima, o fallas en calefactores-, problemas de dosificación, etc.

3.6.3 CEP en Inyección Utilizando Conmutación por Carrera

Como se vio en el capítulo 3.5.2, resultó más estable la fabricación utilizando el tipo de conmutación por presión, pero también hay casos en donde un análisis de semejanza profundidad no haya sido llevado a cabo aún. Para estos casos, también es posible la aplicación del CEP.

Volviendo a los conceptos del ciclo de inyección, se recuerda que la máquina dosificaba una cierta cantidad de material, y el pistón inyecta ese material a lo largo de una cantidad de milímetros –carrera- especificados.

Al estar efectuando un ciclo donde la conmutación es en una determinada posición –conmutación por carrera-, una de las variables que además se puede medir es la **presión** en ese instante -a diferencia de la conmutación por presión, donde la presión en este instante es siempre la misma que se puso como parámetro-. La máquina de inyección puede medir esta presión real al instante de la conmutación, y la exhibe en la pantalla de la misma. De esa manera se puede obtener sencillamente la presión de conmutación en cada inyección. Si se realiza un muestreo se puede entonces aplicar los resultados para realizar un gráfico de control –ver fig.3.6-02-.

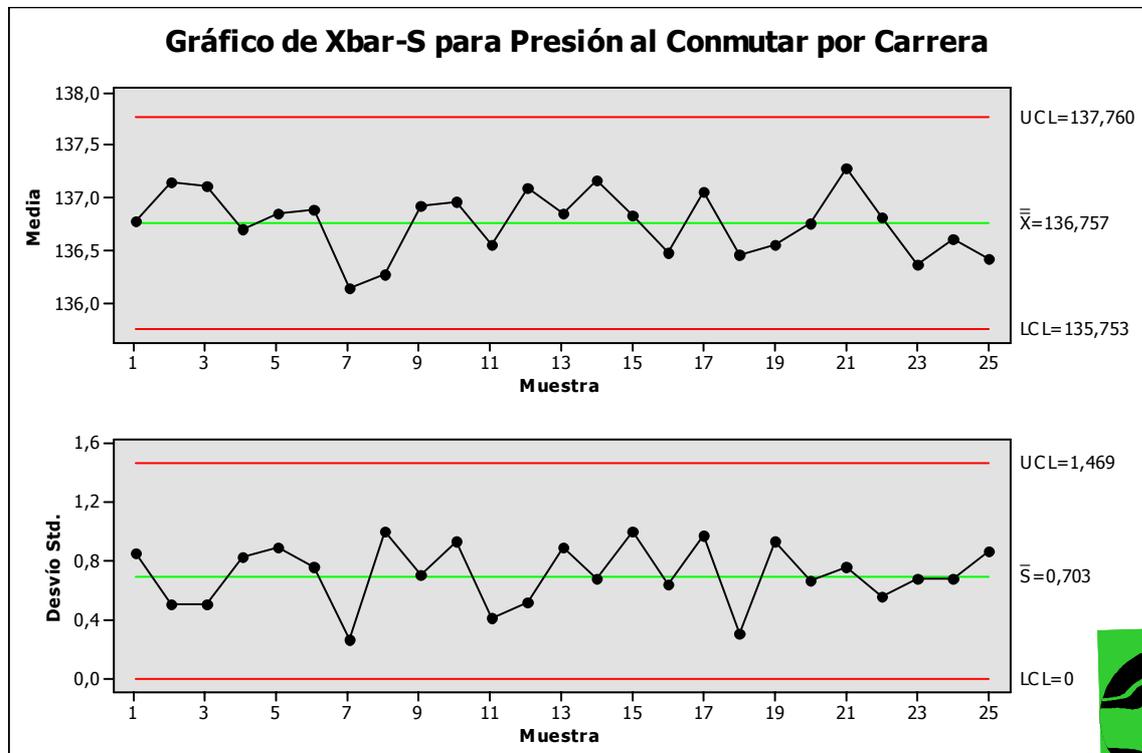


Figura 3.6-02. Gráfico de Control de Presión. Al conmutar por Carrera, la máquina mide la presión en ese instante y registra su valor en bars.



**PROCESO
BAJO CONTROL**

¿Qué representa esta presión?

Este valor implica que cuando el molde está terminando de llenarse, la masa plástica dentro del mismo busca llenar las partes de las cavidades donde el flujo se dificulta más, finalmente compactándose y ofreciendo resistencia a la entrada de más material. Por esta razón la presión de inyección se eleva bruscamente llegando al final.

Resulta un buen indicador cuando surgen problemas en la inyección ya sea por cavidades tapadas, falta de calefacción adecuada de la masa plástica, dosificación excesiva/deficiente, etc. Por esta razón, al graficar estos valores en un gráfico de control se pueden ayudar a detectar fallas en los ítems mencionados.

4 VIABILIDAD ECONOMICA, IMPLEMENTACION Y GESTION DEL CAMBIO

Cuando se busca determinar la viabilidad de un determinado proyecto de inversión, se debe considerar la repercusión de este proyecto en su entorno. Por esa razón se realiza generalmente una factibilidad comercial, técnica, y económico-financiera. Haciendo estos estudios, se puede estimar si un proyecto tendrá posibilidades de llevarse a cabo exitosamente, y cuales son los riesgos que involucra.

Esa visión escapa del alcance de este proyecto, donde se hace hincapié en la base técnica, y se busca por un lado representar los resultados que pueden ofrecer una mejora de calidad. Por otro lado, se debe verificar que esos resultados justifiquen los costos de implementación.

Habiendo realizado el desarrollo del proyecto en la empresa donde se llevaría a cabo la implementación, se pudo apreciar el impacto que tendría no solamente en los resultados, sino también en los recursos que la empresa debía disponer para llevarlo a cabo.

El detalle de la implementación permitirá identificar los costos involucrados en cada una de las etapas, de manera que se estime si el proyecto es económicamente viable.

4.1 Plan de Implementación

El plan de implementación consta de las siguientes fases:

- ▣ Capacitación y Estudio del Proceso –Cáp.4.1.1-
- ▣ Método de Mejora –Cáp.4.1.2-
- ▣ Implementación –Cáp.4.1.3-
- ▣ Control y Mejora Continua –Cáp.4.1.4-

A continuación se detallará cada uno de estos ítems para lograr una implementación eficiente y eficaz. Con ello no solamente se refiere a lograr los objetivos de mejora propuestos. Se debe planificar y alcanzar dichos objetivos optimizando los recursos disponibles, logrando *eficientemente* una mejora.

4.1.1 Capacitación y Estudio del Proceso Particular

Como se vio en el desarrollo de este proyecto, para la implementación de este método de mejora, se debe primero realizar un profundo estudio de los conceptos físicos que rigen el proceso.

Se debe seleccionar un grupo de personas aptas para llevar a cabo este proceso de mejora.

Para mantener un orden y control sobre el proceso, no se le permitirá a todo el personal la modificación del proceso, sino aquel que tenga una cierta responsabilidad sobre la producción y su calidad.

Las personas a capacitar deben poseer dicha responsabilidad, y deben tener algún tipo de base técnica, ya sea formada por estudios y/o por experiencia. Esto no significa que el demás personal involucrado no deba estar al tanto del por qué de los cambios realizados. No debe olvidarse que son los operarios quienes trabajan día tras día con aquella maquinaria; son ellos quienes realmente la conocen. Los operarios deben tener siempre presente que la calidad del producto se logra alineando los esfuerzos de *todas* las personas que afectan la cadena productiva.

La capacitación en inyección plástica consta de un curso que en general requiere de 30 horas. Estas horas incluyen un curso teórico de 15hs, más 15hs de aplicación práctica en las máquinas. Es recomendado el dictado de las mismas en las instalaciones de la planta, en cursos de 6 horas semanales, durante 5 semanas.

En este curso se aprenden las distintas configuraciones de la máquina, ofreciendo una base teórica que explica como estas configuraciones afectan a la pieza inyectada. Luego estos conceptos son orientados a la fabricación de las piezas que se inyectan específicamente en la planta, y se busca lograr una aplicación practica en alguno de los productos actualmente en la línea.

4.1.2 Método de Mejora

Una vez realizada la capacitación del grupo de mejora, debe internalizarse sobre cual es la característica significativa para el producto en especial. Al ser fijada la misma como un objetivo a mejorar, debe plantearse como las modificaciones en los parámetros de inyección pueden lograr un cambio en esta característica.

Aquí entran en juego los conceptos aprendidos, la capacidad y la experiencia de las personas que forman parte del grupo de mejora.

Pueden usarse herramientas como tormenta de ideas para buscar alguna solución. La idea es utilizar los conocimientos sobre el comportamiento físico de los materiales -tanto los que conforman la maquina así como también el producto a inyectar- para desarrollar una propuesta de mejora. Se deberá buscar un consenso y sugerir alternativas en caso de que la primera opción no refleje resultados satisfactorios.

4.1.3 Implementación

Habiéndose encontrado un método de mejora lógico y fundamentado, se procede a implementarlo modificando los parámetros de inyección. De la misma manera que se realizó en el desarrollo de este proyecto, debe buscarse la estabilidad de la maquinaria de inyección para comenzar la toma de datos. Generalmente se debe esperar alrededor de 1 hora para obtener datos representativos de la totalidad de la población.

La utilización de gráficos de control y de estudios de aptitud –o capacidad- resultan buenos indicadores, y reflejarán que se esta en buen camino.

En caso de no encontrar resultados satisfactorios, se debe buscar una explicación de ese resultado y reaccionar de acuerdo a el, o probar con alguna de las alternativas sugeridas anteriormente.

Si se logra una mejora en la variabilidad de esta característica significativa, se deberá tomar nota de los cambios realizados en los parámetros. Se registrarán estos cambios para futura referencia y se establecerán los nuevos parámetros en las hojas de proceso para ese producto.

4.1.4 Control y Mejora Continua

Luego de la implementación de esta mejora, se deberá mantener mediante el uso de gráficos de control, un control de producto para asegurar que el cambio es efectivo en un más largo plazo. Ese plazo podrá ser definido por la empresa, siguiendo criterios como la vida útil del producto, etc.

Si se resuelve que el cambio es efectivo, se podrá aducir que además de tener un proceso con menor variabilidad, uno es capaz de reducir la necesidad de control de esa característica sobre el producto. Esto es debido a que mediante el uso del CEP –Control Estadístico de Procesos-, uno puede monitorear el estado del proceso, y aseverar que si el proceso es estable, también lo será el producto que deriva del proceso.

Ni bien el CEP indique una causa especial de variación, se estará bajo la presencia de algún cambio en las variables que afectan al proceso, y motivará a un estudio de la causa que lo afecta.

Este tipo de mejoras forman parte de un ciclo continuo, donde no solo se puede lograr una reducción de la variabilidad en una característica, sino que también se puede buscar una mejora en la productividad. Se recuerda que un aumento de la productividad implica el más eficiente uso de los recursos para una determinada producción.

Por ejemplo, puede utilizarse esta metodología para reducir el tiempo de ciclo de inyección, resultando en una mayor cantidad de piezas por unidad de tiempo. Generalmente este tipo de mejoras implica una reducción notable en los costos, y en un aumento de la capacidad productiva de la planta.

4.2 Viabilidad Económica

El desarrollo de la implementación de esta metodología implica únicamente una capacitación, y la disponibilidad por un tiempo no muy prolongado de la maquinaria y el personal. Al formar parte del trabajo diario del personal de producción y calidad, la mejora continua del proceso productivo no incurre a costos adicionales.

4.3 La Calidad en Términos de Objetivos

Generalmente en las empresas resulta fácil asociar el concepto de la calidad como un costo adicional. En muchas de ellas se considera a la calidad un gasto y no una inversión. Afortunadamente, este tipo de tendencias se están debilitando, y la gerencia está consciente de que la calidad en un producto –o servicio- es una buena manera de llegar a los objetivos que se proponen.

La implementación de buenas prácticas de calidad puede no solo llegar a cumplir con las necesidades del cliente, sino adelantarse, y ofrecer un producto *superior*.

La calidad ofrece la oportunidad de mejorar el producto/servicio para brindar: mayor satisfacción al cliente –cumplimiento de especificaciones-, reducción de costos, aumento de la capacidad productiva, etc. Estos puntos, que en general son objetivos genéricos para cualquier empresa, derivan a los siguientes beneficios: aumento de la productividad –producción sobre recursos utilizados-, precio de venta más competitivo en el mercado –al ser trasladada la reducción de costos al precio final-, entre otros.

Habiendo *digerido* estos conceptos, se logra una percepción distinta de la noción de calidad. En el mundo competitivo de estos días, la buena calidad resulta ser simplemente un debe ser o “must be quality”, más que un “attractive quality”. Considerando esta manera de ver la calidad, no resultaría extraño pensar de manera inversa a como se hacía anteriormente. Ahora la calidad es una exigencia y la falta de la misma implica un costo. Esto es denominado *costo de la no calidad*.

4.4 Costos Asociados a la NO Calidad

Si se toman en cuenta los resultados obtenidos de los estudios de capacidad, se obtiene una mejora en el índice Cpk desde 1,52 a 2,76. Esto significa que en un principio se obtenían 8 ppm defectuosas, mientras que luego de la mejora se llegó a 0 ppm.

De todas formas, todavía existe una cuestión. Se sabe que 8 ppm es un nivel de calidad muy bueno, entonces uno comienza a cuestionarse si esta mejora realmente puede tener algún impacto importante en la empresa.

Uno debe tratar de ver más allá, y comprender que la empresa no es solamente un proceso productivo interno, sino un proceso que forma parte de una gran cadena. Entonces debe uno preguntarse como afecta uno a los demás integrantes de la cadena; ¿Como se refleja mi calidad en el cliente?

Para el caso de esta empresa en particular, se tienen dos ejemplos:

4.4.1 Ejemplo 1

Un ejemplo que se aplica a Novoplast S.A. es el caso de productos donde el envase se almacena con el cerramiento apuntando hacia abajo.

Este es el caso específico de los desenredantes de cabello. Como se vio en capítulos anteriores, se tomó como característica significativa la fuerza de apertura de la tapa. En caso de que su valor este por debajo del límite especificado, puede ocasionarse un derrame en un pallet de producto terminado ya consolidado, contaminándolo completamente y dando a lugar la necesidad de un retrabajo por parte del cliente.

4.4.2 Ejemplo 2

Novoplast S.A. tiene algunos clientes que realizan operaciones de armado o embotellado posterior. Esto implica que el producto que se entrega debe cumplir con ciertas especificaciones para poder funcionar correctamente en las líneas de armado/envasado/embotellado.

Como ejemplo se puede poner una empresa cliente que dosifica un fluido en un envase y luego coloca el cerramiento –que es fabricado por Novoplast S.A.-.

La no conformidad de ciertas características del cerramiento –como la fuerza de apertura de la tapa- puede no afectar al proceso de embotellado. Por otro lado, existen fallas que si tienen repercusiones. En caso de que una pieza esté corta –tenga faltante de material y se vean perjudicadas sus dimensiones-, la máquina de envasado puede tomar y orientar la pieza incorrectamente. Al momento del armado, el cerramiento y el envase chocan, se rompen ambas piezas y se derrama al fluido del contenido del envase. Obviamente esto implica una parada de línea.

Si el cliente tiene una producción de 3 millones de envases por mes, y se sabe que tiene una única línea de producción, puede deducirse lo siguiente –ver Tabla 4.3-01- :

Paradas de Línea		
Uns Vendidas / Mes	3.000.000	
Cant Turnos	2	
Horas / Turno	8	
Días / Mes	24	
Uns / Hora	7812,5	
Uns / Min	130	
Uns / Seg	2,2	
ppm	8	
1 millón	1.000.000	
1 Error cada	125.000	uns
Envasadora Falla cada	960	minutos
	16,00	horas
	1,0	días
Mins de Parada	20	
Uns Perdidas	2.604	

Tabla 4.4-01. Ejemplo de cálculo de parada de línea causado por un defecto en un insumo

Si se trabaja 24 días mensuales, a 2 turnos de 8 hs, se necesitan envasar 7800 uns/h. Si se tuvieran 8 ppm defectuosas, se concluye que en promedio la máquina envasará 125.000 unidades sin problemas -funcionará durante 960 minutos hasta encontrar la primera pieza fallada-.

Cuando ocurre la parada de línea -que se estima en 20 minutos-, se pierden esos minutos de producción. Si se traduce en términos de productividad: el cliente pierde 2.600 unidades de producto terminado cada día, que representa un 2% la capacidad productiva de la envasadora.

5 CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este proyecto se confirmó que la utilización de herramientas de calidad en la inyección de termoplásticos, puede ayudar a reducir la posibilidad de entrega de piezas no conformes al cliente.

Dentro de ellas se cuenta con distintos tipos. Herramientas que ayudan a entender el proceso, como flujogramas; y herramientas que ayudan a mantenerlo bajo control, como el CEP y el uso de gerenciamiento visual.

Fue de gran utilidad el uso de gráficos de control para demostrar el beneficio de utilizar una parametría de proceso respecto de otra. Se lograron encontrar mediante el estudio detallado del proceso, soluciones que permiten la fabricación de piezas con menor variabilidad.

También se controló que la maquinaria en uso tuviera la aptitud necesaria para fabricar con los estándares establecidos por el cliente.

La realización de este proyecto ayudó además a reforzar ciertos conceptos positivos que benefician a sus clientes. Más allá de reducir los rechazos internos, la empresa recibe un reconocimiento por su mayor confiabilidad.

Se resume entonces que la medición de la calidad no solamente debe realizarse verificando que se cumplen o no las especificaciones. Se debe recordar que si bien para la empresa se deben optimizar los resultados económicos y financieros, la calidad es lo más importante para la satisfacción del cliente.

Solamente trabajando juntos proveedores y clientes se puede llegar a progresar en un mercado donde el conformismo conduce al fracaso; donde la calidad no es una mera exigencia sino el camino para llegar al éxito.