



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

**“APLICACIÓN DEL DISEÑO DE
EXPERIMENTOS AL PROCESO DE
MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICO
DE LA PIEZA FCP 52” W 70.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

OCTAVIO OLMOS SÁNCHEZ

DIRECTOR:

M. en I. I. JAZMÍN GEORGINA LICONA OLMOS



MINERAL DE LA REFORMA, Hgo., JUNIO 2007

DEDICATORIAS

**A mis padres
y hermanos.**

AGRADECIMIENTOS

Por tu dedicación e interés en la elaboración de este trabajo de tesis, pero sobre todo por la alegría y consejos que me has brindado desde la niñez; amiga, prima y confidente Jazmín Licona Olmos.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABLAS.....	VII
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
GENERALIDADES.....	6
1 OBJETIVO GENERAL.....	6
2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
3 PROBLEMA.....	6
4 JUSTIFICACIÓN.....	8
5 HIPÓTESIS.....	9
CAPÍTULO I MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICO.....	10
I.1 INTRODUCCIÓN.....	10
I.2 MAQUINARIA Y EQUIPO AUXILIAR PARA LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO.....	16
I.3 MATERIALES PLÁSTICOS.....	23
I.4 MOLDE.....	26
I.5 MOLDEO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO ASISTIDO POR GAS NITRÓGENO..	27
I.6 CICLO DE INYECCIÓN.....	29
I.7 COMPORTAMIENTO DEL PLÁSTICO EN EL PROCESO.....	35
I.8 PROBLEMAS EN EL MOLDEO POR INYECCIÓN.....	38
CAPÍTULO II DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	41
II.1 INTRODUCCIÓN.....	41
II.2 EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN LA INDUSTRIA	42
II.3 DEFINICIONES BÁSICAS EN EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	43
II.4 ETAPAS EN EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	47
II.5 APLICACIONES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	49
II.6 USO DE LOS MÉTODOS ESTADÍSTICOS EN LA EXPERIMENTACIÓN.....	50
II.7 CLASIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS EXPERIMENTALES.....	52
II.7.1 DISEÑOS PARA ESTUDIAR LOS EFECTOS DE VARIOS FACTORES.....	53
II.7.2 ANÁLISIS DEL DISEÑO FACTORIAL 2 ³	54
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	59
III.1 CICLO DEMING.....	59
III.2 METODOLOGÍA.....	61

III.3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	61
III.3.1 PLANEAR EL CAMBIO O MEJORA.....	61
III.3.2 ANÁLISIS DEL EXPERIMENTO.....	77
III.3.3 VERIFICAR.....	83
III.3.4 ACTUAR.....	83
CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	90
ANEXOS.....	i
ANEXO A: PROCESO GENERAL DE PRODUCCIÓN DE MASA.....	i
ANEXO B: CONFIGURACIÓN DE LA PIEZA FCP 52" W 70.....	li
ANEXO C: CARACTERÍSTICAS DE MÁQUINA CINCINNATI MILACRON.....	lii
ANEXO D: HOJA TÉCNICA DE RESINA 731G NOVA.....	v
ANEXO E: VALORES DE F, Y PROBABILIDAD ASOCIADA AL F, $P(X>x) = 0.10$	Vii
ANEXO F: VALORES DE T STUDENT Y PROBABILIDAD P ASOCIADA EN FUNCIÓN DE LOS GRADOS DE LIBERTAD.....	Viii

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Televisión R52 W H 76	4
Figura 2. Hundimiento en pieza FCP 52" w 70.	7
Figura I. Procesos de transformación, por la industria del plástico en México.	10
Figura I.2. Pieza front control panel 52" w 70.	11
Figura I.3. Piezas moldeadas por inyección de plástico.	14
Figura I.4. Sistema de inyección con tornillo alternativo.	17
Figura I.6. Principales partes de un tornillo.	19
Figura I.7. Controles de máquina: cincinati milacron (a), nissie(b).	20
Figura I.8. Diferentes tipos de equipos auxiliares.	21
Figura I.9. Junior utilizado para la pieza FCP 52" w 70.	21
Figura I.10. Thermolator utilizado para la pieza FCP 52" w 70.	22
Figura I.11. Succionador.	22
Figura I.12. Estructura de polímeros termofijos (a), termoplásticos (b).	23
Figura I.13. Estructura química del poliestireno.	24
Figura I.14. Símbolo internacional del poliestireno.	25
Figura I.15. Molde FCP 52" w 70.	26
Figura I.16. Impacto entre moléculas, en un recipiente.	28
Figura I.17. Cierre del molde y comienzo de la inyección.	29
Figura I.18. Inyección del material hacia el molde.	30
Figura I.19. Aplicación de la presión de sostenimiento.	30
Figura I.20. Plastificación del material para la siguiente inyección.	31
Figura I.21. Enfriamiento y extracción de la pieza.	32
Figura I.22. Proceso de moldeo de las pieza FCP 52" w 70.	34
Figura I.23. Secuencia de ciclo de inyección de la pieza FCP 52" w 70.	35
Figura II.1. Modelo general de un proceso o sistema.	46
Figura II.2. Clasificación de los diseños experimentales.	53
Figura II.3. Diseño factorial 2 ³ (a) y su representación geométrica (b).	55
Figura II.4. Pasos para llegar al ANOVA, en un diseño 2 ³	58
Figura III.1. Ciclo PHEA-Deming.	60
Figura III.2. Número de piezas defectuosas FCP 52" w 70 en el mes de octubre.	62
Figura III.3. Número de piezas defectuosas FCP 52" w 70 en el mes de noviembre.	62
Figura III.4. Número de piezas defectuosas FCP 52" w 70 en el mes de diciembre.	63
Figura III.5. Diagrama causa efecto al problema de hundimiento en la pieza FCP 52" w 70.	64
Figura III.6. Máquina cincinati milacron antes del experimento.	68
Figura III.7. Preparación de máquina para el experimento.	69
Figura III.8. Revisión de molde.	69
Figura III.9. Introducción de valores a parámetros de máquina.	70
Figura III.10. Pantalla de máquina cincinati milacron.	70
Figura III.11. Modo automático de la máquina.	71
Figura III.12. Piezas moldeadas durante el experimento.	71
Figura III.13. Molde cerrado, tiempo de enfriamiento.	72
Figura III.14. Brazo del robot colocando la pieza en banda transportadora.	72
Figura III.15. Pieza FCP 52" w 70, sobre banda transportadora.	73
Figura III.16. Piezas revisadas en banda transportadora.	73
Figura III.17. Pieza con hundimiento combinación (-1, -1, -1).	74
Figura III.18. Pieza con hundimiento combinación (1, -1, -1).	74

Figura III.19. Pieza con hundimiento combinación (-1, -1, 1).....	74
Figura III.20. Pieza con hundimiento combinación (-1, 1, 1).	75
Figura III.21. Pieza sin hundimiento combinación (1, 1, -1).	75
Figura III.22. Pareto de efectos estimados para piezas FCP 52" w 70.....	82
Figura III.23. Secuencia de ciclo de inyección de la pieza FCP 52" w70 (proceso nuevo). ...	84
Figura III.24. Proceso de moldeo de las pieza FCP 52"w 70.	85
Figura 3. Número de piezas defectuosas por mes.....	86
Figura 4. Ciclo de pieza a pieza proceso anterior y proceso nuevo.....	87

LISTA DE TABLAS

Página

Tabla 1. Problemas de rutina en el moldeo por inyección de plásticos.....	7
Tabla II.1. Tabla de signos del diseño factorial 2^3	56
Tabla II.2 ANOVA para el diseño 2^3	57
Tabla III.1. Factores y niveles del experimento.	66
Tabla III.2. Aleatorización de la primera réplica.	67
Tabla III.3. Aleatorización de la segunda réplica.	67
Tabla III.4. Matriz corrida 1.	76
Tabla III.5. Matriz segunda corrida.	76
Tabla III.6. Totales de las dos corridas.....	76
Tabla III.7. ANOVA del experimento.	80
Tabla III.8. Efectos estimados.	80
Tabla 2. Comparación antes y después del experimento.....	88

RESUMEN

Este trabajo describe una investigación aplicada, ya que se utilizó el diseño de experimentos para reducir la cantidad de piezas rechazadas por presentar hundimiento en su superficie, está se identifica en la empresa MASA, como *front control panel 52" w 70*, producida mediante moldeo por inyección de plástico. Se decidió desarrollar un experimento basado en un diseño factorial 2^3 lo cual implicó el análisis de dos niveles, alto y bajo para tres factores (variables), los cuales son: velocidad de inyección, tiempo y presión de gas, representados como A, B y C respectivamente, que impactan de manera significativa. Después de ejecutar las corridas y analizar los resultados, se determinó que la mejor combinación, es de niveles alto para A y B lo que equivale a 4 in/seg y 5 seg, y bajo para C lo que representa 500 psi, que al emplearse en el área de producción, se redujo la cantidad de piezas con hundimientos.

ABSTRACT

This work describes an applied investigation, since the design of experiments was used to reduce the amount of rejected pieces that present a sink in its surface, which is identified in the company MASA like front control panel 52" w 70, produced by injection molding of plastic. It was decided to develop an experiment based on a factorial design 2^3 which implied the analysis of two levels, low and high for three factors (variable), which are: speed of injection, time and pressure of gas, represented like A, B and C respectively, that had a significant way. After executing the runs and analyzing the results it was determined that the best combination is, of levels high to A and B equivalent to 4 in/sec and 5 sec, and low for C which represents 500 psi, that when being used in the production area, the amount of pieces with sink was reduced.

INTRODUCCIÓN

Toda organización transformadora se encuentra en una constante búsqueda en la reducción de los tiempos de producción y la mejora continua en los aspectos de calidad, lo cual implica una disminución de piezas rechazadas por las pérdidas que generan; y la industria del plástico no es la excepción.

Algunas de las acciones que las empresas desarrollan para el logro de sus objetivos son el adaptar sus métodos productivos, además de procurar aprovechar al máximo, los elementos de los mismos, así como optimizar los tiempos de ciclo, entre otras cosas. Puntualizando en la empresa Manufacturas Avanzadas (MASA), es una de tres plantas ensambladoras de televisión que pertenecen al corporativo *TCL Thomson Electronic (TTE)*, fusión de dos grandes empresas *RCA Corporation* y *Thomson Consumer Electronic*.

MASA inicia sus operaciones en el año de 1998, dentro de los logros alcanzados se encuentra la certificación en ISO 9000 en Enero del 2000, en ese mismo año se llega a las 3, 000,000 televisiones construidas y en Noviembre del 2003 se certifica en ISO 14000.

MASA se localiza en Blvd. Independencia # 2151, parque industrial Salvarcar, en Cd. Juárez Chihuahua, actualmente trabajaban 1,102 personas de las cuales 499 son mujeres y 603 hombres, de estos 90 son personal administrativo, 105 jefes de grupo y 907 personal operativo, que laboran en diferentes departamentos durante tres turnos normales y 4 turnos especiales para el área de plásticos. Trabajando con la misión estipulada como: consolidar y optimizar los procesos de manufactura mediante la integración y el desarrollo de nuestros recursos, creando grupos de innovación para mejorar la calidad y el desempeño de nuestro negocio a través de la filosofía Kaizen y seis Sigma; y su visión para el año 2009: ser el centro líder de la manufactura interna y de servicios de productos electrónicos para el consumidor, rentable, innovador y de alta calidad proporcionando total satisfacción a nuestros clientes.

La planta cuenta con una superficie total de 329,010 m², de los cuales solo se encuentran construidos 60,577 m², en general se encuentra dividida en tres áreas principales las cuales son: operación, almacén y oficinas. El proceso general de producción, se muestra en el anexo A.

En la cual se elaboran 14 modelos diferentes de televisión, de 27, 34, 52, y 61 pulgadas, en el área de plásticos se encuentran 24 maquinas moldeadoras de plástico, de diferentes capacidades. Las prensas están numeradas empezando por el número 101, siguiendo una secuencia de manera ascendente, donde se moldean los chasis frontales y traseros de la televisión. En la prensa número 102 se encuentra la máquina *Cincinnati Milacron*, moldeadora de inyección de plástico cuya capacidad es de 1000 toneladas de cierre, donde se aplica el proceso del moldeo por inyección para la elaboración de la pieza *front control panel 52" w 70* (FCP 52" w 70), dicha pieza es parte de la televisión identificada comercialmente como el modelo R52 W H 76, la cual se muestra en la figura 1.



Figura 1. Televisión R52 W H 76
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2005.

Se observó una cantidad considerable que representaba pérdidas en la producción, en la elaboración de la pieza, por ello se propuso utilizar la herramienta de diseño de experimentos para optimizar el proceso.

Dicha experiencia se desea documentar y compartir mediante este trabajo de tesis. Empezando por las generalidades, conformado por, el objetivo general, objetivos específicos, descripción del problema, justificación e hipótesis. Seguido de tres capítulos, el primero titulado “Moldeo por inyección de plástico”, grosso modo explica la importancia, desarrollo y elementos que intervienen en el moldeo mediante este método, especificando, maquinaria, equipo, tipo de resina y molde que se requiere para la elaboración de la pieza en estudio, así como el comportamiento del plástico durante este proceso. El segundo capítulo describe la teoría del diseño de experimentos, conceptos básicos que son de importancia para su entendimiento. El tercer capítulo describe la metodología que se utilizó para la aplicación de dicha herramienta, el análisis y los resultados que arrojaron el experimento, los cuales se describen en las conclusiones y por último el apartado de recomendaciones en el que se enuncian algunas alternativas.

GENERALIDADES

1 Objetivo General

Determinar los valores óptimos de los factores controlables en el proceso de producción de la pieza *front control panel 52" w 70*, por el método de inyección de plástico, mediante la aplicación del diseño de experimentos, para reducir el número de piezas que no cumplen con los estándares requeridos de calidad.

2 Objetivos Específicos

- ➔ Recopilar información acerca del proceso de moldeo por inyección de plásticos.
- ➔ Recopilar información sobre diseño de experimentos.
- ➔ Desarrollar la metodología a aplicar.
- ➔ Ejecutar la metodología planteada y hacer modificaciones en caso de ser necesario.
- ➔ Obtención, interpretación y análisis de resultados.
- ➔ Elaboración del reporte de la investigación.

3 Problema

Si se realiza una observación cuidadosa de nuestro entorno permite percatarnos de la presencia de artículos plásticos en diferentes circunstancias de la vida diaria, cuyas aplicaciones son innumerables, con un desempeño único. Sin embargo, la obtención de un buen artículo plástico no está exenta de dificultades.

En México, la industria del plástico representa un área en continuo desarrollo, siendo el moldeo por inyección uno de los procesos más importantes para transformar los materiales plásticos. Dentro de este proceso existen una gran variedad de problemas relacionados principalmente con la calidad de los productos (Sánchez V.,

2002, p.13). En la tabla 1 se muestran los principales problemas de rutina según diversos autores. Esta información se ha corroborado con base en la experiencia adquirida en la industria del plástico a lo largo de 4 años.

Tabla 1. Problemas de rutina en el moldeo por inyección de plásticos.

AUTORES	OBRA	PROBLEMAS DE RUTINA
Harold Belofsky.	Plastics: product design and process engineering (USA, 1995).	Piezas cortas, rebaba, hundimiento, splay.
Sánchez Valdés.	Moldeo por inyección de termoplásticos (México, 2002).	Piezas cortas, rebaba, hundimiento, marcas de expulsores
Grupo dextro.	Moldeo por inyección de plásticos (México, 2001).	Piezas cortas, rebaba, hundimiento.
Richardson Terry.	Industrial plastics, theory and application (USA, 1983).	Piezas cortas, rebaba, hundimiento,
Society of the plastics industry, Inc.	Plastics engineering handbook (USA, 1976).	Piezas cortas, rebaba, splay.

Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente la pieza FCP 52" w 70, es parte de un televisor, por lo cual se considera una pieza estética puesto que debe tener buena apariencia, sin embargo el problema que presenta con mayor frecuencia dicha pieza es el hundimiento (como se observa en la figura 2), que se define como una depresión sobre la superficie.

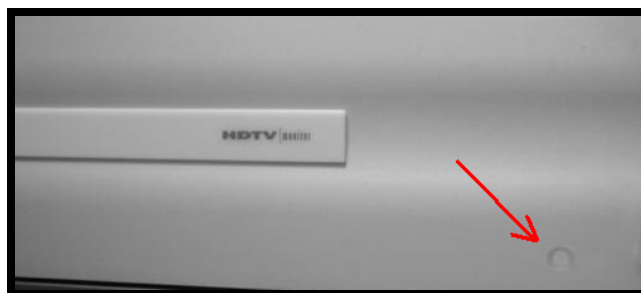


Figura 2. Hundimiento en pieza FCP 52" w 70.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2005.

Para resolver este problema los ingenieros y técnicos de proceso realizan de forma habitual en la práctica cambios en los valores de los parámetros del proceso, sin documentarlos, básicamente esto es un experimento, aunque en muchos casos ni siquiera sean conscientes de ello, lo cual conduce con frecuencia a que dichos experimentos sean ineficaces e ineficientes.

Como lo menciona el manual del ingeniero industrial, MAYNARD, la amplitud del ingeniero industrial incluye el análisis de sistemas, el uso de estadísticas avanzadas y el desarrollo y uso de modelos de simulación.(Hodson W.,1996, p 1.15).

4 Justificación

La producción global de la manufactura del plástico se concentra en Estados Unidos, Japón y Alemania, países que al mismo tiempo, consumen más del 90% de la producción mundial. La posición de la industria mexicana dentro del mercado internacional, se define como de importados netos, situación que comparte con regiones como América Latina y gran parte del continente Asiático (con excepción de Japón).

Con base en el Directorio Industrial del Estado de Hidalgo (DIEH), el consumo en México de materiales plásticos pasó de 15 kg/hab en 1992 a 24 kg/hab en 2004, este dato ofrece una referencia adecuada para estimar el potencial de crecimiento de la industria para los próximos años (DIEH, 2004, p. 100).

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI, "Industria química en México", 2005, p. 55) existen 3, 419 unidades económicas en toda la republica mexicana dedicadas a este giro, 61 unidades se encuentran en Chihuahua, en este estado se ubica la empresa MASA, (como se mencionó en la introducción).

De acuerdo a los reportes de producción del departamento de moldeo de MASA, se observó que durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2005, se desecharon en promedio 43 piezas FCP 52" w 70 por día, debido a que presentaban

hundimiento en su superficie. Este problema origina un tiempo muerto de la máquina de 34 minutos, debido al reajuste del proceso de moldeo por inyección para lograr el estándar de calidad de la pieza. Cada pieza moldeada se costea en 1.20 dólares.

Aproximadamente al año esto representaría un total de 14,440 piezas desechadas, 190 horas de tiempo muerto de la máquina y 17,328 dólares en pérdidas.

Como se mencionó en el apartado anterior, para la solución de este problema se generan experimentos al proceso, de manera intuitiva, es por eso que en este trabajo de investigación se aplica la metodología del diseño de experimentos (la cual se detalla en el manual del ingeniero industrial, MAYNARD, en la sección de matemáticas y técnicas de optimización, en la página 14.101), para obtener la información necesaria que permita resolver el problema que presenta la pieza en estudio.

5 Hipótesis

Aplicando el diseño de experimentos se pueden determinar los valores de los parámetros del proceso (velocidad de inyección, tiempo de gas, presión de gas) óptimos, para moldear la pieza *front control panel 52" w 70*.

CAPÍTULO I MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICO

I.1 INTRODUCCIÓN

La creciente expansión en el uso de los plásticos en todos los mercados, ha hecho de esa industria una de las de mayor crecimiento en el mundo, los principales procesos de transformación involucrados en esta industria son: moldeo por inyección y extrusión, donde aproximadamente 33% en peso de todos los plásticos son procesados por inyección y 30% por extrusión, como se puede observar en la figura I.

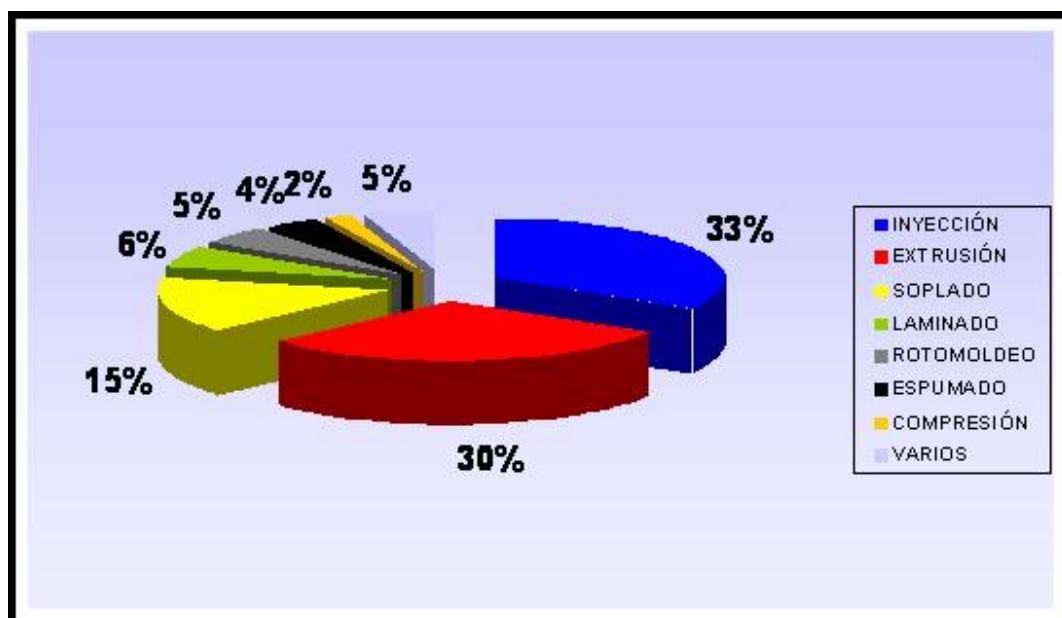


Figura I. Procesos de transformación, por la industria del plástico en México.

Fuente: Sánchez Valdés, "Moldeo por inyección de termoplásticos", Ed. Limusa, México, 2002, p.14.

La actividad esencial de la industria de transformación consiste en procesar materia prima comprada y transformarla en nuevos productos terminados.

En la figura I.1 se muestra un esquema general de la transformación. Se puede concluir que la pieza en estudio está basada en este esquema.

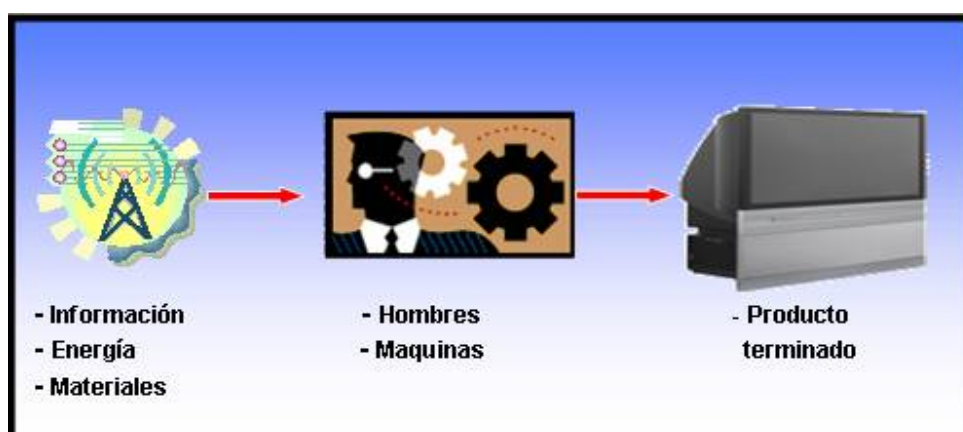


Figura I.1. Esquema de la industria de transformación.

Fuente: Velásquez M., "Administración de los sistemas de producción", Ed. Limusa, México, 2000, p.14.

Como se mencionó en las generalidades la pieza FCP 52" w 70 (figura I.2), es la parte frontal de la televisión RCA HDT de 52 ", en ella se encuentran los botones principales de esta televisión. La pieza mide 52 pulgadas de largo y 7 pulgadas de ancho y se describe como una pieza cosmética, por lo cual no debe presentar defectos como: manchas, ralladuras, hundimientos, cortas. En el anexo B se muestra la configuración que se utiliza en la línea de producción cuando se moldea dicha pieza.



Figura I.2. Pieza front control panel 52" w 70.

Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2005.

Se considera que el moldeo por inyección de plásticos tiene sus orígenes en Inglaterra durante los años 1929 y 1930. Sin embargo, ya para 1928 la compañía alemana Cellaon Werkw AG había presentado una patente que describió la inyección de materiales plásticos celulósicos.

El interés de esta compañía se enfocó principalmente al manejo de acetato de celulosa, el cual se describió en ese tiempo como celuloide no flamable.

Así, esta patente, que en principio describió el proceso de vaciado sobre un dado metálico, estuvo enfocada de manera primordial al moldeo de materiales termoplásticos celulósicos.

El carácter flamable de la nitrocelulosa (celuloide) bajo las condiciones de este proceso, condujo a la salida de este material y como en ese tiempo la etil celulosa era poco conocida y relativamente cara, el polvo de acetato de celulosa se convirtió en la mejor opción por muchos años hasta la aparición de los termoplásticos conocidos, como poliestireno, PVC, polietilenos, entre otros.

La contraparte británica de la patente alemana dio origen a ciertas ambigüedades durante su traducción. Así, la compañía F.A. Hughes Ltd., adquirió los derechos británicos de esta patente, correspondiendo a Jhon Beard y posteriormente a Meter Delafield al desarrollo de este proceso en Inglaterra. Durante los años treinta existieron en Inglaterra solo dos firmas que utilizaron este proceso. Una era la British Syphon Co., que elaboraba sifones de colores para recipientes de agua, los cuales al comercializarlos fueron una gran novedad.

Al finalizar los años treinta y con la creciente aplicación de la polimerización, que dio ímpetu para la producción de más polímeros, la tecnología moderna comenzó su desarrollo y las grandes mejoras en los materiales, permitieron al moldeo por inyección convertirse en un proceso económico viable.

Durante esta época se conocía poco sobre las características de procesamiento de plásticos. Se presentaban grandes dificultades para alcanzar un calentamiento completo del material, lo cual contribuyó en gran medida al diseño del barril de la máquina con un torpedo interno con objeto de incrementar la superficie del material expuesto al flujo de calor. Este diseño que favorecía la relación área volumen y

aumentaba la eficacia en la fusión del material, fue patentado por Hans Gastrow y posteriormente adaptado por la mayoría de los fabricantes de máquinas en el mundo.

Apartir de 1945 la industria de inyección de plásticos experimentó un crecimiento que fue sin precedentes, aun para aquellos que tuvieron un punto de vista de lo más optimista del futuro de esta industria. Sin embargo el desarrollo de la maquinaria en los últimos años no ha dado como resultado cambios fundamentales, si no que ha proporcionado perfeccionamientos que han contribuido a mejorar la eficacia de los equipos.

Entre las principales mejoras en las máquinas de inyección durante los últimos años destacan el incremento en la capacidad de peso de los moldes para piezas mayores, el diseño de moldes y piezas por computadora mediante herramientas de software, tales como: Diseño Asistido por Computadora (*CAD-Computer Aided Design*) ; y/o Manufactura Asistida por Computadora (*CAM-Computer Aided Manufacturing*); el uso del software para el análisis de flujo y enfriamiento en el molde, así como para la capacitación y análisis económico del proceso.

El control y la automatización cada vez más eficiente del proceso, así como el uso de sistemas más sofisticados para la extracción de piezas (bandas transportadoras, ordenadores de piezas por tamaños, brazos mecánicos o robotizados, etc.) permiten ahorrar mano de obra y optimizar la calidad del producto.

Así por más de 60 años el moldeo por inyección de plásticos ha crecido. Puede considerarse que el desarrollo de la parte de ingeniería de este proceso ha ido de la mano con el desarrollo de los materiales poliméricos. (Sánchez V., 2002, p.13).

El moldeo por inyección comparado con otros procesos de transformación de plásticos presenta una serie de aspectos tanto favorables como desfavorables que lo caracterizan. Las piezas pueden producirse con una rapidez tal, que permiten alcanzar altos volúmenes de producción. Las piezas requieren poco o ningún

acabado, elaborándose piezas que serían casi imposibles de fabricar en gran cantidad por otros métodos como se observa en la figura 1.3(a).

Pueden obtenerse diferentes tipos de superficies, acabados y colores, moldeándose diferentes materiales como se observa en la figura 1.3(b). Permite mantener buena tolerancia dimensional, moldear piezas con inserciones, etc.

Por otro lado, algunos aspectos desfavorables que lo caracterizan son: costos relativamente altos de moldes y equipo auxiliar y, en algunos casos, la calidad de la pieza es difícil de determinar de forma inmediata, entre otros. (Terry., 1983, p.288).



(a)



(b)

Figura 1.3. Piezas moldeadas por inyección de plástico.

Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2005.

Cuando se aplica calor a un material termoplástico para fundirlo, se dice que se plastifica. El material ya fundido o plastificado por calor puede hacerse fluir mediante la aplicación de presión y llenar un molde donde el material solidifica y toma la forma del molde, este proceso se conoce como moldeo por inyección.

El principio básico del moldeo por inyección comprende las tres operaciones básicas siguientes:

- a) Elevar la temperatura del plástico a un punto donde pueda fluir bajo la aplicación de presión. Normalmente esto se hace calentando y masticando los gránulos sólidos del material hasta formar una masa fundida con una viscosidad y temperatura uniforme. Actualmente, esto se hace dentro del barril de la máquina mediante un tornillo, el cual aporta el trabajo mecánico (fricción) que en conjunto con el calor del barril funden (plastifican) el plástico. Es decir, el tornillo transporta, mezcla y plastifica el material plástico.

- b) Permitir la solidificación del material en el molde cerrado. En esta etapa el material fundido ya plastificado en el barril de la máquina se transfiere (se inyecta) a través de una boquilla, que conecta el barril hacia los varios canales del molde hasta llegar a las cavidades donde toma la forma del producto final.

- c) Apertura del molde para la extracción de la pieza. Esto se hace después de mantener el material bajo presión dentro del molde y una vez que el calor (el cual se aplico para plastificarlo) es removido para permitir solidificar el material en la forma deseada.

Actualmente existe una técnica auxiliar en el moldeo por inyección de plástico, este es la inyección de gas nitrógeno, este sistema ayuda a las piezas de gran tamaño que requieren una superficie plana y libre de hundimientos.

Para que sea efectuado el moldeo por inyección exitosamente, depende del adecuado funcionamiento de una máquina, la cual opera con un material y produce artículos moldeados mediante un molde. Cada uno de estos tres elementos es muy importante, para producir piezas de calidad, por lo cual se describirán a continuación.

I.2 MAQUINARIA Y EQUIPO AUXILIAR PARA LA INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

Una máquina de inyección de plástico es capaz de fundir plástico e inyectarlo a un molde. Existen diferentes tipos de máquinas para el moldeo por inyección de plásticos, dentro de las más comunes se enlistan las siguientes:

- Máquina moldeadora de inyección con pistón.
- Máquina con sistema de preplastificación.
- Máquina de inyección con tornillo alternativo.
- Máquina para inyección multicolor.
- Máquina giratoria.
- Máquina de coinyección.
- Máquina con diferente arreglo en su unidad.
- Máquina para la inyección de espumas rígidas.
- Máquina de moldeo por inyección reactiva.

La pieza FCP 52" w 70 se moldea en una máquina de inyección con tornillo alternativo, esta máquina realiza la fusión e inyección del material mediante un tornillo alternativo, el cual alterna su función de plastificar e inyectar el material fundido.

El movimiento de giro del tornillo transporta el material hacia adelante mientras va fundiendo, al tiempo que gira, retrocede para dejar espacio, delante de él, al material fundido. Cuando se tiene el volumen necesario para la inyección, el tornillo deja de girar y se mueve axialmente hacia adelante, actuando como pistón para inyectar el material dentro del molde. La figura I.4 muestra un esquema de los elementos esenciales de este sistema.

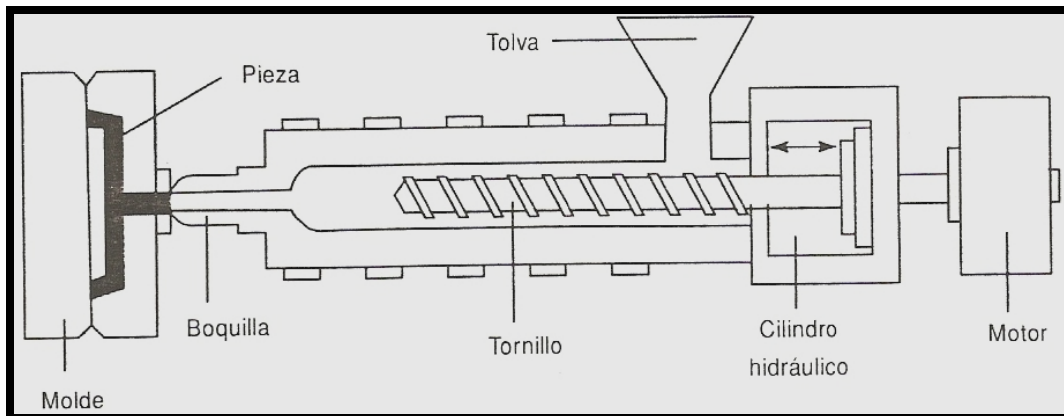


Figura I.4. Sistema de inyección con tornillo alternativo.

Fuente: Sánchez Valdés, "Moldeo por inyección de termoplásticos", Ed. Limusa, México, 2002, p.87.

Las partes fundamentales de la máquina inyectora de plásticos se agrupan dentro de las siguientes unidades.

Unidad de cierre. Consta de los dispositivos necesarios para la colocación, accionamiento y funcionamiento de las dos mitades del molde. Sus principales partes son las platinas porta – moldes fijas y móviles y el mecanismo para apertura y cierre del molde.

La platina estacionaria frontal se encuentra fija (no se mueve) a la base de la máquina, ocupando normalmente la parte central de la misma y conectada, por un lado, la unidad de inyección y, por otro lado, la unidad de cierre. Esta platina es la que soporta una de las mitades (la parte fija) del molde.

La platina móvil soporta la otra mitad del molde. Esta se mueve axialmente (hacia delante y hacia atrás) sobre las columnas guía, permitiendo que el molde cierre y abra. En la figura I.5 se muestran las platinas de la máquina cincinnati milacron.

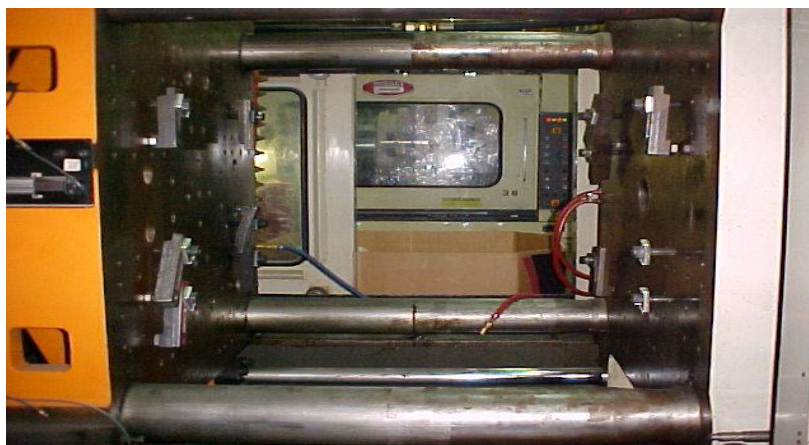


Figura I.5. Platinas de maquina moldeadora cincinnati milacron.
Fuente: Manufacturas avanzadas, 2005.

Unidad de inyección. Comprende las partes necesarias de la máquina para la carga, plastificación (fusión) e inyección del plástico. La unidad de inyección realiza las funciones de cargar y plastificar el material solidó mediante el giro del tornillo, mover el tornillo axialmente para inyectar el material plastificado hacia las cavidades del molde y mantenerlo bajo presión hasta que sea eyectado. Además de girar para fundir el plástico se mueve de manera axial al actuar como pistón durante la etapa de inyección.

La unidad de inyección consta de un barril (o cilindro) de acero capaz de soportar altas presiones, este va cubierto con bandas calefactoras para calentar y fundir el material mientras avanza por el tornillo. El calentamiento del tornillo se hace por zonas y el número de zonas dependerá del tamaño del barril (normalmente se divide en 3).

Dentro del barril se encuentra un tornillo de acero muy duro, el cual de manera regular esta pulido o cromado para facilitar el movimiento del material en su superficie. El tornillo se encarga de recibir el plástico, fundirlo, mezclarlo y alimentarlo en la parte delantera hasta que se junta la cantidad suficiente para luego inyectarlo hacia el molde. La misión del tornillo de moldeo por inyección consiste en tomar gránulos fríos en la tolva (transportar), llevar y compactar el material en la zona de

transición, eliminar gases y fundir (plastificar) el material en la misma. Su principal ventaja es su acción mezcladora (mezclar), que permite obtener un material fundido muy homogéneo en temperatura, composición y color. Además, el tornillo debe alternar estas funciones con la función de inyección, actuando como pistón para inyectar el material plastificado y mantener una presión que haga permanecer el material dentro del molde hasta que enfrié.

La figura I.6 muestra las principales partes de un sistema tornillobarril.

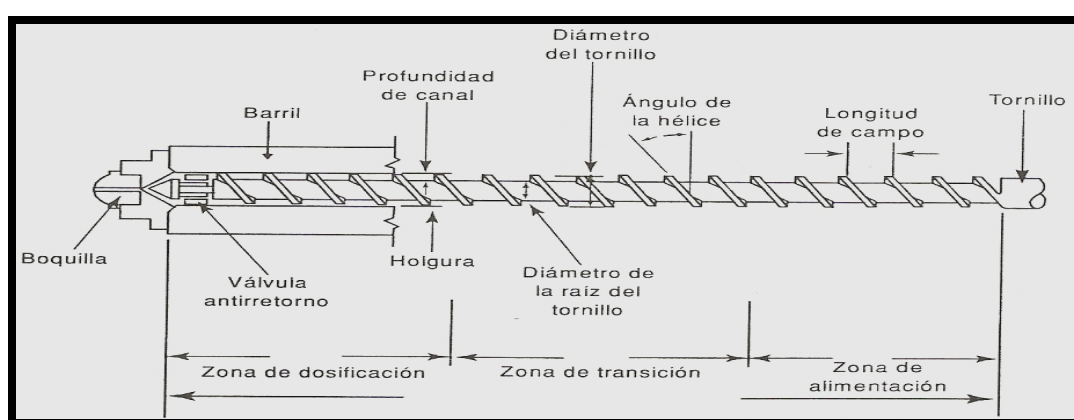


Figura I.6. Principales partes de un tornillo.

Fuente: Sánchez Valdés, "Moldeo por inyección de termoplásticos", Ed. Limusa, México, 2002, p.123.

Unidad de potencia. Comprende el conjunto de dispositivos necesarios de la máquina para transformar y suministrar la fuerza motriz a las unidades de inyección y de cierre.

Unidad de control. Es la parte necesaria de la máquina para que se realice el proceso de una forma predeterminada y pueda variarse a voluntad. El sistema de control está ligado al de potencia, a través del cual las distintas señales se convierten en movimientos de las unidades de inyección y cierre.

Cada una de esas partes realizan un cierto número de funciones, que pueden mezclarse, como lo requiera el proceso de inyección.

Existen diversos tipos de controles para las máquinas de inyección de plástico, en la figura I.7(a) se observa la pantalla de la máquina cincinnati milacron y en la figura I.7(b) de la máquina nissie.



(a)



(b)

Figura I.7. Controles de máquina: cincinnati milacron (a), nissie(b).

Fuente: Ingeniería metálica y plástica de México, 2006.

Las características generales de la máquina se incluyen en la especificación del fabricante (como se muestra en el anexo C), las cuales hay que conocerlas y analizarlas para valorar alcances y limitaciones que se tienen para moldear la pieza. Para que trabaje una máquina moldeadora necesita de equipos auxiliares, los cuales pueden variar dependiendo del tipo de resina y del molde. Algunos equipos auxiliares se enlistan a continuación:

- Secadores de resina.
- Calentadores de agua (thermolator).
- Enfriadores de agua (chiller).
- Agua de torre.
- Tolva y succionadores.
- Controlador de temperatura del molde (DME).
- Equipo de suministro de nitrógeno (junior).

La figura 1.8(a) muestra un enfriador chiller, 1.8(b) controlador de temperatura del molde, 1.8(c) secador de resina.

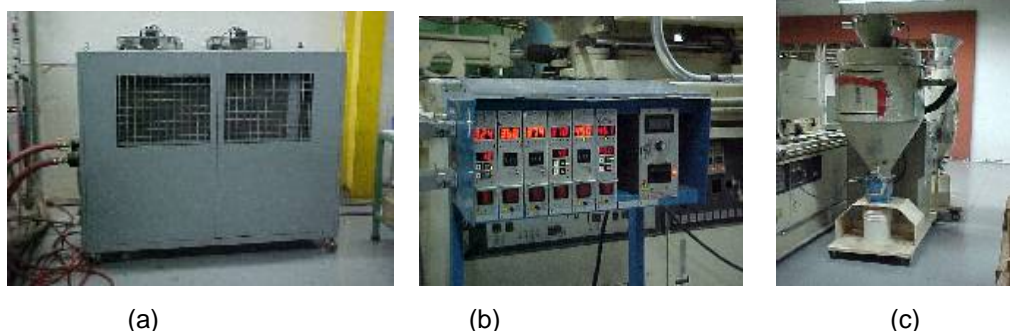


Figura I.8. Diferentes tipos de equipos auxiliares.

Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2005.

El proceso de la pieza en estudio requiere de los siguientes equipos auxiliares:

Equipo de suministro de aire (junior). Algunas piezas debido a su calidad cosmética, requieren ser inyectadas de gas nitrógeno, el cual se suministra según el diseño del molde, puede ser por la nariz o por el molde, este equipo llamado junior, permite la entrada de presión de gas con los valores deseados dependiendo la pieza moldeada, y entra al molde después del tiempo de sostenimiento, y termina con el tiempo que se programe en el junior. Se muestra en la figura I.9 el junior utilizado en el proceso.



Figura I.9. Junior utilizado para la pieza FCP 52" w 70.

Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2005.

Equipo de enfriamiento del molde (thermolator). Dependiendo de la forma y tamaño de la parte a moldear y de la resina, es necesario condicionar las temperaturas del molde para que el plástico fluya apropiadamente, algunos moldes requieren ser calentados con agua, la cual circula por medio de circuitos interiores que tienen los moldes. Esto se hace mediante un equipo llamado thermolator (figura I.10), que calienta agua a la temperatura deseada.



Figura I.10. Thermolator utilizado para la pieza FCP 52" w 70.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2005.

Succionador. La resina se alimenta a la unidad de inyección de varias maneras, una de ellas es colocando una tolva (deposito en forma de embudo) en al parte superior de la unidad de inyección, la cual puede ser cargada de forma manual o mediante un succionador que estará jalando el material desde un deposito, figura I.11.



Figura I.11. Succionador.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2005.

I.3 MATERIALES PLÁSTICOS

Los plásticos son polímeros orgánicos, la palabra polímero deriva de poli= muchos, mero= parte, es decir, grandes moléculas (macromoléculas) formadas por la unión repetida de una o varias moléculas. Las moléculas que se combinan para formar las moléculas de polímero se denominan monómeros.

El proceso químico mediante el cual cientos o miles de pequeñas moléculas de monómero se enlazan entre si para formar una gran molécula de polímero es una reacción de polimerización. El monómero es el reaccionante original que se transforma químicamente en un polímero. Es posible que dos o más monómeros sean polimerizados juntos en las proporciones deseadas dando lugar a copolímeros. Una clasificación utilizada ampliamente para los plásticos es la que se basa en el comportamiento termomecánico de estos materiales, en la cual los plásticos se agrupan en: termofijos y termoplásticos.

Los termofijos fueron de los primeros materiales de moldeo, producidos comercialmente. Durante la reacción de polimerización de estos polímeros, las moléculas se enlazan químicamente entre si formando una estructura (red) tridimensional permanente como se muestra en la figura I.12(a).

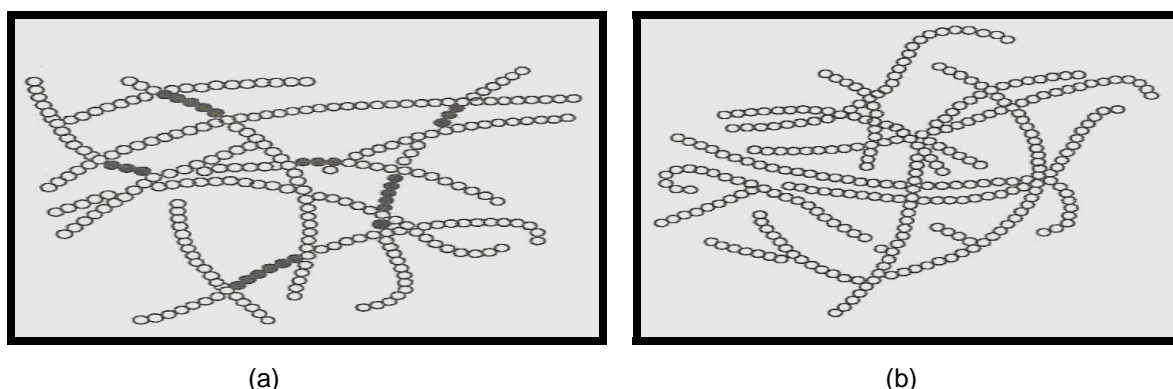


Figura I.12. Estructura de polímeros termofijos (a), termoplásticos (b).

Fuente: Sánchez Valdés, "Moldeo por inyección de termoplásticos", Ed. Limusa, México, 2002, p.23.

A diferencia de los termofijos, en los termoplásticos las moléculas no se entrecruzan, como se muestra en la figura I.12(b). Por esto pueden ser calentados, fundidos, moldeados y enfriados repetidas veces. Dos terceras partes de los plásticos utilizados en el mundo son termoplásticos.

Otra clasificación de los plásticos con base a su volumen de producción/costo, esta dada por:

- Plásticos de ingeniería.
- Plásticos de especialidad.
- Plásticos de gran volumen.

La pieza FCP 52”w70 se moldea con poliestireno, la cual pertenece a los plásticos de gran volumen.

La polimerización del estireno produce un termoplástico transparente, incoloro, duro y rígido llamado poliestireno para uso general (*General Purpose Polystyrene – GPPS*). Para ciertas aplicaciones, se le añaden cauchos (dienicos y de otras clases), con el objeto de impartir extensibilidad, tenacidad y resistencia al impacto. Estos materiales se denominan poliestirenos resistentes al impacto (*High Impact Polystyrene – HIPS*). . En la figura I.13 se muestra la estructura química del poliestireno.

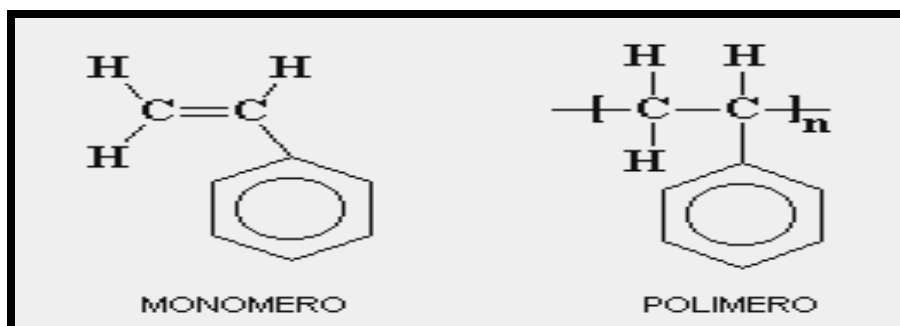


Figura I.13. Estructura química del poliestireno.

Fuente: Rubin, "Materiales plásticos propiedades y aplicaciones", Ed. Limusa, México, 1999, p.131.

El estireno se conoce por lo menos desde 1831. Inglaterra comenzó a producir poliestireno en los años treinta y en 1936 empezó la producción comercial en Estados Unidos. En la figura I.14 se muestra el símbolo internacional del poliestireno.

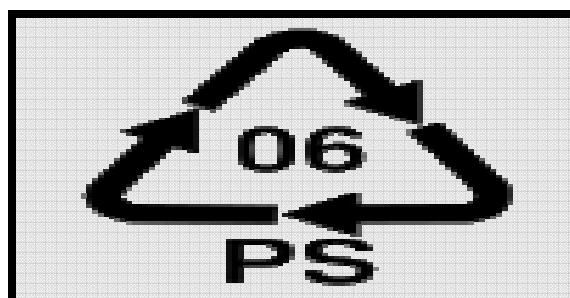


Figura I.14. Símbolo internacional del poliestireno.
Fuente: Hoja técnica poliestireno 731, Nova.

El poliestireno tiene excepcionales propiedades de resistencia eléctrica y por ello se extendió rápidamente su aplicación en aparatos eléctricos, la producción de estireno se dedicó a la producción de caucho sintético durante la Segunda Guerra Mundial para completar los limitados suministros del caucho natural, los años de la recuperación, 1946 a 1950, se caracterizaron por un rápido cambio en el uso del estireno que pasó de ser un precursor del caucho o hule sintético a materia prima básica.

El poliestireno se procesa fácilmente mediante técnicas de transformación de termoplásticos, como el moldeo por inyección. Las temperaturas de plástico en el proceso de inyección varía de una baja de 300° F en la zona de alimentación a una alta de 525° F en la boquilla.

Los polímeros estírenos se procesan sin ser sometidos previamente a un procesamiento de desecación, los HIPS absorben únicamente 0.07% de humedad en peso y los GPPS absorben 0.01%. La hoja técnica de la resina que se utiliza para moldear la pieza FCP 52" w 70 se muestra en anexo D.

I.4 MOLDE

El molde es el “block” de metal que se encuentra en la parte central de la máquina. La parte interna del molde tiene “cavidades” o huecos que se llenan con el plástico derretido y al “abrir” el molde obtenemos la parte de plástico que se forma rellenando los huecos del molde.

El molde de la pieza en estudio es de acero y fue diseñado en Francia, figura I.15, es de la categoría de dos platos, en el cual las cavidades del molde se montan en un plato y los machos (o núcleos) en otro. El bebedero central va situado en la mitad fija del molde y suministra directamente al sistema de canales de alimentación. El molde es de colada fría, se le llama así debido al remanente de polímero solidificado que queda en los canales, y que es necesario cortar de la pieza final. Conocido en la industria del plástico como colada.

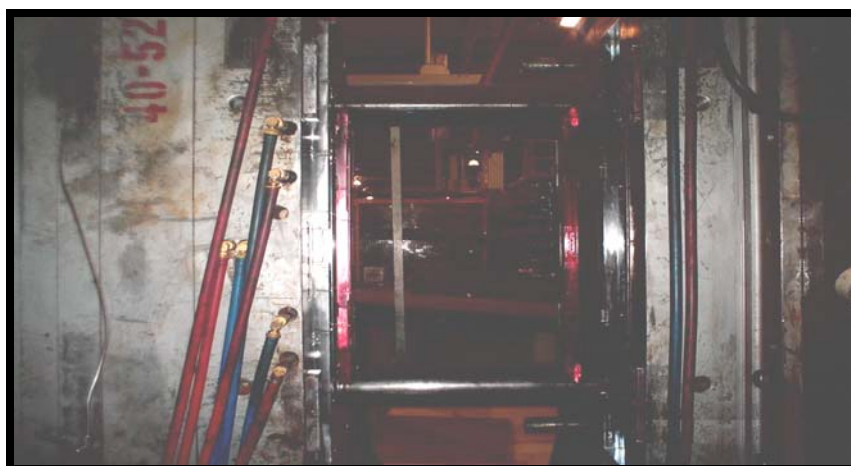


Figura I.15. Molde FCP 52” w 70.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2005.

El molde FCP 52” w 70 está compuesto de las siguientes partes:

- 1.- Bebedero o Espera (sprue busing).
- 2.- Anillo de registro (retainer ring).
- 3.- Placa de cavidades (cavity plate).
- 4.- Placa de núcleos (core plate).
- 5.- Varillas de expulsión (ejector pins).
- 6.- Perno saca colada (sprue puller pin).
- 7.- Placa de soporte (support pillars).
- 8.- Pilar de soporte (support pillars).
- 9.- Placa retenedora de expulsores (ejector and retainer plates).
- 10.- Barras o pernos guías (guide pins).
- 11.- Líneas de enfriamiento (cooling lines).
- 12.- Entrada para suministro de nitrógeno (gas in).

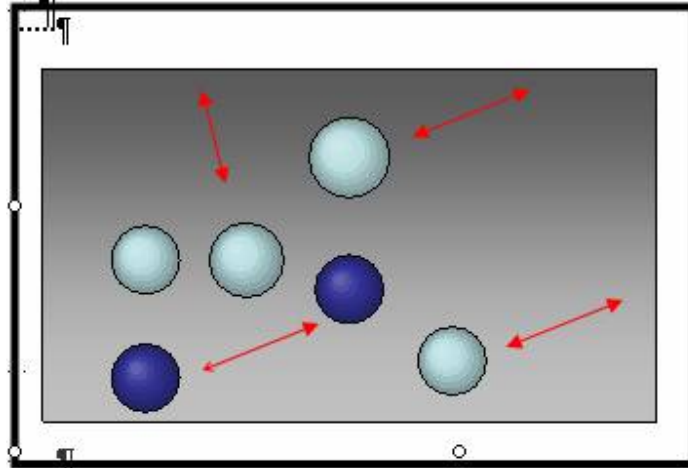
I.5 MOLDEO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO ASISTIDO POR GAS NITRÓGENO

Como se mencionó anteriormente, existe una técnica auxiliar al moldeo por inyección de plástico, el cual es el suministro de gas nitrógeno a través del molde, (principalmente a piezas grandes). Este sistema ayuda a las piezas que requieren una superficie plana y libre de hundimientos, que debido a su magnitud no se pueden eliminar simplemente con la presión de empaque o sostenimiento que la máquina moldeadora proporciona.

El nitrógeno (también llamado ázoe) es un gas inerte, componente principal de la atmósfera terrestre (78,1% en volumen), es un elemento químico de número atómico 7 y su símbolo es N.

De acuerdo a la teoría de Bernoulli, un gas está formado por un gran número de moléculas que se mueven caóticamente a través del espacio en todas direcciones, cuando las moléculas de un gas se encuentran contenidas en un recipiente, se mantienen en constante movimiento, por lo que chocan, entre sí o contra las paredes

del recipiente que las contiene y casi todo el tiempo ejercen una presión permanente, (Kauzman W., 1970, p.46.), como se muestra en la figura I.16.



En el proceso de moldeo por inyección de plástico, el nitrógeno se inyecta a alta presión en la masa de polímero fundida, donde vacía la parte central de la pieza y presiona el material fundido contra la superficie del molde. Después de la solidificación del material, se evacua el nitrógeno de la cavidad del molde.

El resultado es una pieza con mejores características respecto a las de una pieza maciza, como por ejemplo: Producto más ligero, con prácticamente la misma resistencia, ciclos más cortos gracias a un enfriamiento más rápido, libre de hundimientos. (Belofsky H., 1995, p.343).

I.6 CICLO DE INYECCIÓN

El ciclo de inyección es la secuencia de operaciones para la producción de una pieza y comprende las siguientes etapas:

1.- Se cierra el molde vacío, mientras se tiene lista la cantidad de material fundido que se va a inyectar dentro del barril de la máquina, como se muestra en la figura I.17. Normalmente, el molde se cierra en varias etapas: primero con alta velocidad y baja presión, deteniéndose antes de que hagan contacto las platinas, posteriormente se mueve a baja velocidad y baja presión hasta hacer contacto con las platinas y, por ultimo, a alta presión hasta alcanzar la fuerza de cierre necesaria para que el molde no se abra durante la inyección.

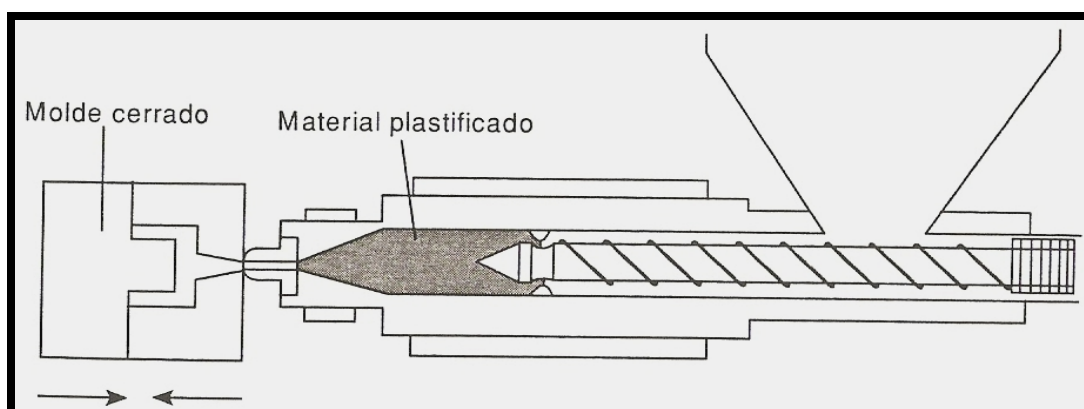


Figura I.17. Cierre del molde y comienzo de la inyección.

Fuente: Sánchez Valdés, "Moldeo por inyección de termoplásticos", Ed. Limusa, México, 2002, p.134.

2.- Se realiza la inyección al introducir el material mediante el tornillo, el cual actúa como un pistón (sin girar), forzando el material a pasar a través de la boquilla hacia las cavidades del molde, con una determinada velocidad y presión de inyección, figura I.18.

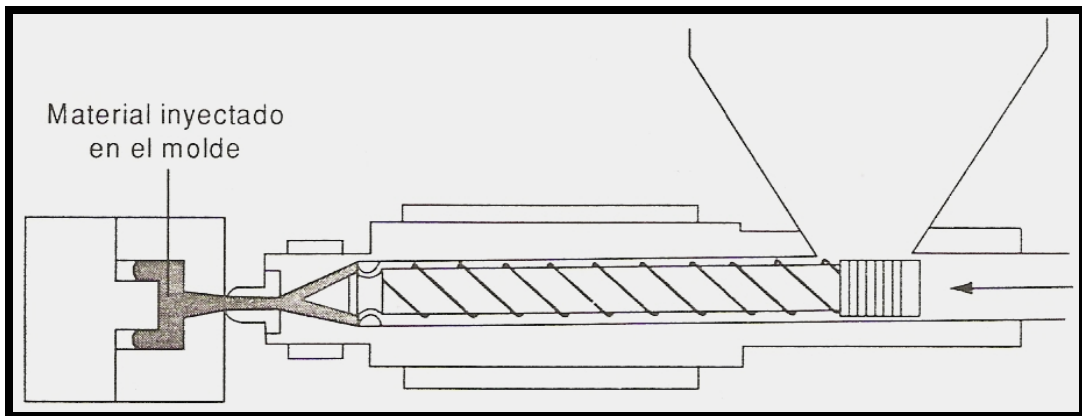


Figura I.18. Inyección del material hacia el molde.

Fuente: Sánchez Valdés, "Moldeo por inyección de termoplásticos", Ed. Limusa, México, 2002, p.135.

3.- Una vez terminada la inyección, se mantiene la presión sobre el material inyectado en el molde, antes que solidifique para contrarrestar la contracción de la pieza durante su enfriamiento. Esto, se conoce, como aplicar la presión de sostenimiento y normalmente se aplican valores menores a los de inyección, figura I.19. Una vez que comienza a solidificar la pieza puede liberarse la aplicación de esta presión.

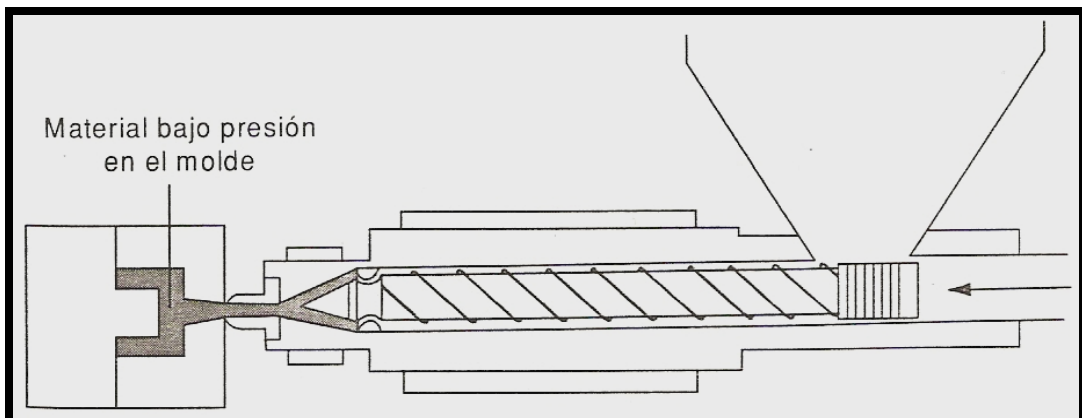


Figura I.19. Aplicación de la presión de sostenimiento.

Fuente: Sánchez Valdés, "Moldeo por inyección de termoplásticos", Ed. Limusa, México, 2002, p.135.

4.- Se inicia el giro del tornillo, al hacerlo, toma gránulos sólidos de la tolva y los funde (plastificando) con el calor generado por la fricción al girar el tornillo y por el suministrado por las bandas calefactoras, figura I.20. Posteriormente, hace pasar el material fundido a la parte delantera del tornillo, por lo que comienza a desarrollarse presión contra la boquilla cerrada, orillando a que el tornillo se retraiga (se mueva hacia atrás), mientras sigue girando hasta acumular (dosificar) en su parte delantera la cantidad de material fundido necesaria para la siguiente inyección.

Al término de esta dosificación, el material puede descomprimirse al retroceder ligeramente el tornillo para evitar que el material se tire por la boquilla antes de ser inyectado.

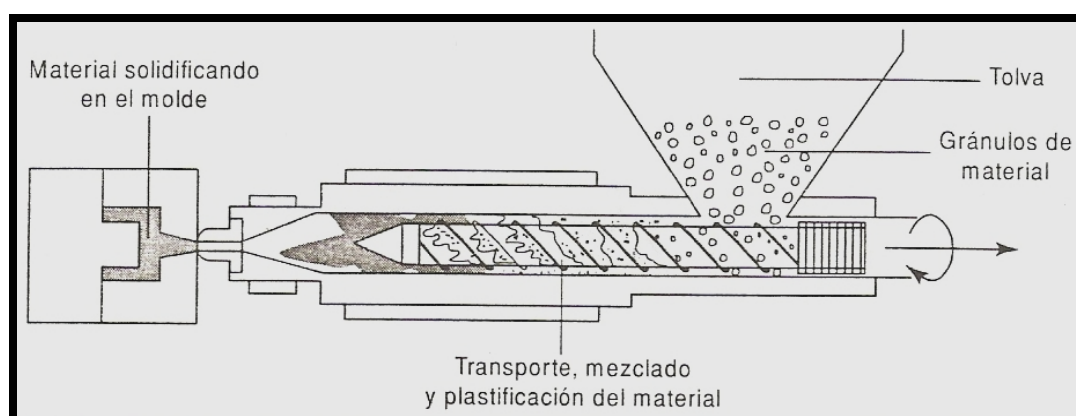


Figura I.20. Plastificación del material para la siguiente inyección.

Fuente: Sánchez Valdés, "Moldeo por inyección de termoplásticos", Ed. Limusa, México, 2002, p.135.

5.- El material dentro del molde continúa enfriando y transfiriendo su calor hacia el molde donde es disipado por el líquido de enfriamiento. Una vez que ha terminado el tiempo de enfriamiento, se abren las dos partes del molde y el mecanismo de expulsión extrae la pieza, como se observa en la figura I.21.

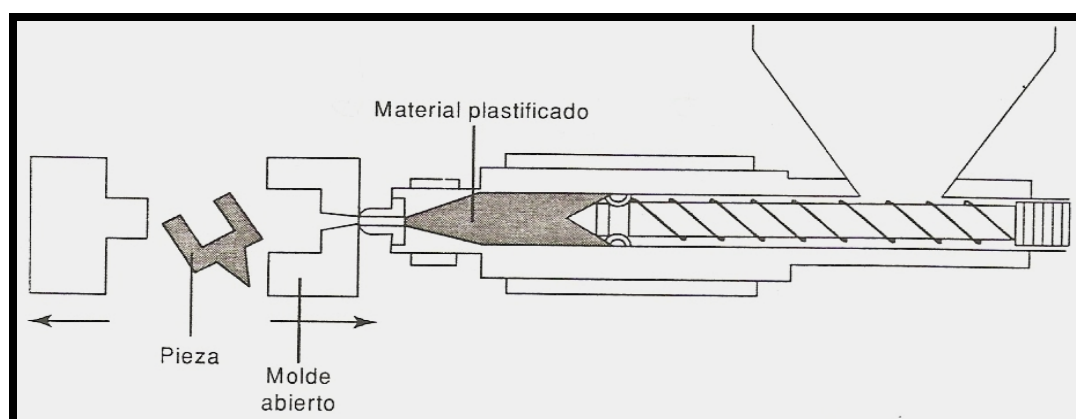


Figura I.21. Enfriamiento y extracción de la pieza.

Fuente: Sánchez Valdés, "Moldeo por inyección de termoplásticos", Ed. Limusa, México, 2002, p.135.

6.- El molde cierra de nuevo y el ciclo se repite.

El tiempo que tarda un ciclo, permite establecer el tiempo necesario para producir un número determinado de piezas, el costo y la rentabilidad de producción.

Para conocer el tiempo total de ciclo, es preciso calcular los tiempos de las etapas restantes que varían en función de la pieza moldeada según su forma, sus características y el material plástico empleado.

Dichas etapas son:

- Tiempo de inyección.
- Tiempo de aplicación de la presión de sostenimiento.
- Tiempo de plastificación.
- Tiempo de solidificación (o enfriamiento).

Tiempo de inyección.- También conocido como tiempo de llenado del molde, es el lapso necesario para que el material fundido pase desde el barril a las cavidades del molde al estar ejercitándose la presión de su inyección, este tiempo en el proceso de la pieza FCP 52" w 70 es de 3 segundos.

Tiempo de presión de sostenimiento.- Este tiempo viene determinado por el lapso de parada del tornillo, una vez que se ha terminado la inyección. Su objetivo es evitar

la formación de hundimientos, en este tiempo, el tornillo actúa como pistón y empuja material adicional en el molde para compensar su encogimiento.

La presión de gas nitrógeno suministrada al molde de la pieza en estudio, actúa como presión de sostenimiento, por esta razón la presión de sostenimiento que se le programa a la máquina moldeadora es un valor mínimo, en este caso 0.5 segundos, la cual puede observarse en la página 8 de la figura 1.22, este es el formato que la empresa utiliza para anotar los valores de los parámetros.

Tiempo de plastificación.- Es el tiempo requerido para la fusión (plastificación) del material.

Tiempo de solidificación o enfriamiento.- Es el tiempo comprendido entre el final de la aplicación de la presión de sostenimiento y el comienzo de la apertura del molde. Es el lapso requerido para asegurar que el material fundido ha solidificado y podrá ser extraído sin ser distorsionado, este tiempo es el más largo del ciclo.

Este tiempo depende de varios factores:

- Del dispositivo de refrigeración del molde.
- Del líquido de refrigeración.
- De la forma y el espesor de la pieza.
- Del tipo de material a inyectar.

Generalmente, este tiempo, se establece en función de la experiencia en el moldeo de una pieza similar o por ensayos. Por ejemplo, se inyectan piezas, reduciendo de forma progresiva el tiempo de enfriamiento hasta que se obtengan sin distorsión apreciable. El proceso de la pieza en estudio tiene 45 segundos de enfriamiento, este valor se determinó de acuerdo a la magnitud de la pieza y a que el molde se le suministra agua a temperatura de 110 grados Fahrenheit.

En la figura 1.23 se muestra el proceso de la pieza FCP 52" w 70, antes del experimento.

<p>TTE Manufacturas Avanzadas S.A. de C.V.</p> <p>FECHA <input type="text" value="18/08/2005"/> SUPERVISOR <input type="text" value="H.Gonzalez"/> ING. DE PROCESOS <input type="text" value="E.Varela"/> MASA</p> <p>TECNICO <input type="text" value="M.Torres"/> MATERIAL <input type="text" value="731 PS"/> PR. CIM: <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/> Z# <input type="text" value="1"/> NOMBRE DE PARTE <input type="text" value="FCP 52" w70"=""/></p>																										
<p>Page # 3 Clamp Set-Up</p> <p>Fast (in/s) Inter (in/s) Mold Protect (Psi) <input type="text" value="12.00"/> <input type="text" value="8.00"/> <input type="text" value="300"/></p> <p>Slowdown 1 Slowdown 2 Mold touch <input type="text" value="28.00"/> <input type="text" value="12.00"/> <input type="text" value="2.25"/></p> <p>Open Limit Slowdown Fast <input type="text" value="38.00"/> <input type="text" value="35.00"/> <input type="text" value="9.00"/> H Ton <input type="text" value="500"/></p> <p>Fast (in/s) Breakaway(in/s) Lo Ton <input type="text" value="10.00"/> <input type="text" value="0.50"/> <input type="text" value="450"/></p>			<p>Page # 4 Ejection Set-Up</p> <p>Star Eject (in) Pulses <input type="text" value="38.0"/> <input type="text" value="1"/></p> <p>Retract Limit (in) Intern (in) Fast FWD(in) FWD(in) <input type="text" value="0.20"/> <input type="text" value="1.00"/> <input type="text" value="1.50"/> <input type="text" value="2.00"/></p> <p>Retract (in) FWD SPD 1(in/s) FWD SPD 2 (in/s) <input type="text" value="0.20"/> <input type="text" value="0.80"/> <input type="text" value="1.50"/></p> <p>Dwell 1 Dwell 2 <input type="text" value="0.00"/> <input type="text" value="0.90"/></p>			<p>Page # 5 Temperature Set-Up (Tol ± 20%)</p> <p>Alarm Band % <input type="text" value="10"/></p> <p>Nozzle Nozzle Valve Zone 1 Zone 2 Zone 3 Zone 4 <input type="text" value="420"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="410"/> <input type="text" value="410"/> <input type="text" value="400"/> <input type="text" value="400"/></p> <p>Z1 Z2 Z3 Z4 Z5 <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/></p> <p>Z6 Z7 Z8 Z9 Z10 <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/></p> <p>Z11 Z12 Z13 Z14 <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/></p>			<p>Page # 6 Timers</p> <p>Cycle Alarm limit <input type="text" value="70.0"/></p> <p>Most recent cycle <input type="text" value="66.9"/></p> <p>Open Dwell <input type="text" value="0.50"/></p> <p>Inject High 20% <input type="text" value="5.00"/></p> <p>Fill (Act) <input type="text" value="3.5"/></p> <p>Pack <input type="text" value="0.50"/></p> <p>Hold <input type="text" value="0.50"/></p> <p>Cooling 20% <input type="text" value="45.0"/></p> <p>Extruder Delay <input type="text" value="0.00"/></p>																	
<p>Page # 7 Injection Velocity</p> <p>Shot Control %Error Cushion (in) <input type="text" value="OFF"/> <input type="text" value="10"/> <input type="text" value="0.3"/></p> <p>20% Shot XFER % % % % % Size (in) <input type="text" value="0.3"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="30"/> <input type="text" value="70"/> <input type="text" value="4.10"/></p> <p>in/s 5 in/s 4 in/s 3 in/s 2 in/s 1 <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="NA"/> <input type="text" value="1.50"/> <input type="text" value="1.50"/></p> <p>20% 20% 20% 20% 20%</p>				<p>Page # 8 Pack and Hold</p> <p>High Limit <input type="text" value="1600"/> Psi Pack <input type="text" value="0.50"/> Sec <input type="text" value="100"/> Psi Hyd. TFER <input type="text" value="NA"/> Psi</p> <p>Hold <input type="text" value="0.5"/> Sec <input type="text" value="100"/> Psi</p>		<p>Page # 9 Extruder RPM</p> <p>Decomp. (in) <input type="text" value="0.10"/></p> <p>Shot Size (in) 20% <input type="text" value="4.10"/></p> <p>Screw Speed (rpm) % 1 <input type="text" value="55"/> 2 <input type="text" value="NA"/> Back Pressure (Psi) % 1 <input type="text" value="200"/> 2 <input type="text" value="NA"/></p>		<p>Page # 19 Core Set-Up</p> <p>Core set Core Pull A1 <input type="text" value="NA"/> B1 <input type="text" value="NA"/></p> <p>A2 <input type="text" value="NA"/> B2 <input type="text" value="NA"/></p> <p>A3 <input type="text" value="NA"/> B3 <input type="text" value="NA"/></p> <p>A4 <input type="text" value="NA"/> B4 <input type="text" value="NA"/></p> <p>Core Timed <input type="text" value="NA"/></p> <p>Set. Time: <input type="text" value="NA"/> sec</p> <p>Pull. Time: <input type="text" value="NA"/> sec</p>																		
<p>Page # 20 Auxiliary</p> <p>Mold Gate enable <input type="text" value="NA"/></p> <p>Auxiliary mold eject <input type="text" value="NA"/></p>			<p>Gain</p> <p>Injection Delay <input type="text" value="0.00"/></p> <p>P1 <input type="text" value="2000"/> Psi t1 <input type="text" value="1.00"/> sec P2 <input type="text" value="NA"/> Psi t2 <input type="text" value="NA"/> sec P3 <input type="text" value="NA"/> Psi t3 <input type="text" value="NA"/> sec P4 <input type="text" value="NA"/> Psi t4 <input type="text" value="NA"/> sec P5 <input type="text" value="NA"/> Psi t5 <input type="text" value="NA"/> sec P6 <input type="text" value="NA"/> Psi t6 <input type="text" value="NA"/> sec</p> <p>Vent on <input type="text" value="NA"/> inj. Cycle <input type="text" value="NA"/></p>			<p>SECUENCIADOR</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td> </tr> <tr> <td>NA</td><td>NA</td><td>NA</td><td>NA</td><td>NA</td><td>NA</td> </tr> <tr> <td>NA</td><td>NA</td><td>NA</td><td>NA</td><td>NA</td><td>NA</td> </tr> </table> <p>Commentaries: AGUA DE THERMO A 110°F</p>			1	2	3	4	5	6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	2	3	4	5	6																					
NA	NA	NA	NA	NA	NA																					
NA	NA	NA	NA	NA	NA																					
<p>Page # 100 Screen Config.</p> <p>A Injection Speed (1 - 5) <input type="text" value="2"/></p> <p>B Pack Pressure (1 - 5) <input type="text" value="1"/></p> <p>C Hold Pressure (1 - 5) <input type="text" value="1"/></p> <p>D Screw RPM and Back (1 - 5) Pressure <input type="text" value="1"/></p>			<p>Water Configuration</p> <p>Chiller <input type="text" value="NA"/> Core</p> <p>Tower <input type="text" value="NA"/> Core</p> <p>Thermo <input checked="" type="checkbox"/> Cavity <input checked="" type="checkbox"/> Core</p>																							
<p>NOTA: ESTOS SON DATOS DE REFERENCIA Todos los parametros con % son para el monitoreo y control del proceso.</p>																										

Figura I.22. Proceso de moldeo de las pieza FCP 52" w 70.

Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2005.

En la figura I.23 muestra la secuencia y duración del ciclo de inyección de la pieza en estudio.

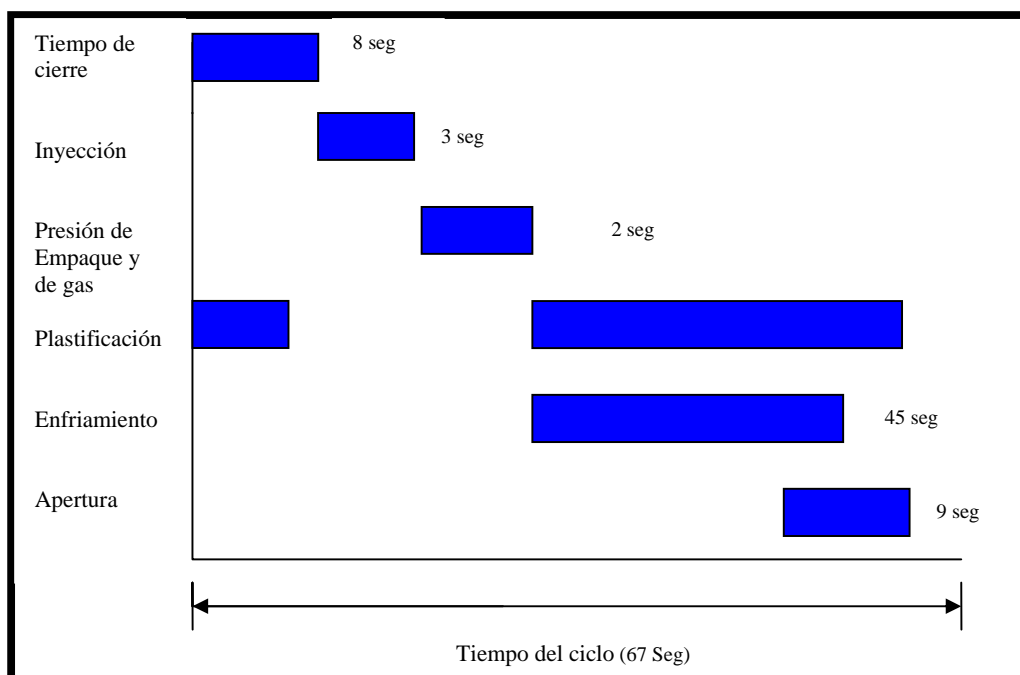


Figura I.23. Secuencia de ciclo de inyección de la pieza FCP 52 w 70.

Fuente: Proceso de moldeo por inyección FCP 52 w 70, Manufacturas Avanzadas, 2005.

I.7 COMPORTAMIENTO DEL PLÁSTICO EN EL PROCESO

Con objeto de lograr piezas de calidad, es preciso entender como influyen las velocidades, presiones y temperaturas, al plástico, que se presentan en el proceso de moldeo por inyección.

La velocidad de inyección es una medida de la cantidad de material que entra en el molde durante el tiempo de llenado la cual nos indica la rapidez con la que se llenan las cavidades del molde con el material plástico. En general, es bueno utilizar una velocidad tan alta como lo permita la maquina.

El perfil de velocidad de un plástico tiende a ser plano en la parte central de la tubería por la que fluye, sin embargo en la región cercana a las paredes, se da una reducción en la velocidad del fluido a medida que este se acerca a las paredes.

La orientación molecular se incrementa si se aumenta la velocidad del flujo o si se disminuye el ancho de la tubería por donde pasa el plástico.

La viscosidad de un material afecta seriamente su flujo, un material altamente viscoso no fluirá tan fácilmente como uno que posea una baja viscosidad, casi todos los fluidos conservan su viscosidad al variar su velocidad de flujo, a este tipo de fluidos se les conoce como fluidos newtonianos, sin embargo el plástico es un fluido no newtoniano, lo que significa que su viscosidad puede llegar a variar seriamente con pequeñas variaciones en la velocidad del flujo, mientras mas alta sea esta velocidad, provocara una disminución en la viscosidad del plástico, esto se manifiesta como una menor resistencia al flujo.

El plástico continuara perdiendo viscosidad a medida que se aumente la velocidad, sin embargo llega un momento en el que prácticamente se han orientado todas sus moléculas, provocando que la viscosidad se estabilice. Al llegar a este punto, un aumento de velocidad en el flujo no servirá de nada pues la viscosidad permanecerá constante. La ventaja de los flujos no-newtonianos radica en que una disminución en la viscosidad del fluido hace más fácil el llenado de las cavidades muy angostas.

Además, este tipo de fluidos generan menos pérdidas de presión que los fluidos newtonianos. Sin embargo tienen la desventaja de ser muy difíciles de controlar ya que su viscosidad puede cambiar con la presión, la temperatura o con la velocidad, otra desventaja radica en que las propiedades de las piezas moldeadas varían debido a la orientación molecular.

La presión de inyección obliga al material fundido a introducirse en las cavidades del molde. La estructura molecular de los polímeros impide que la presión se transmita igualmente en todas las direcciones, de tal forma que la presión transmitida al molde es menor que la aplicada por el tornillo de inyección.

Al considerar que los polímeros en estado fundido son líquidos compresibles, la presión de sostenimiento determina el grado de contracción de la pieza moldeada. Durante la fase de sostenimiento, el material inyectado en las cavidades, comienza a disminuir su temperatura, al finalizar el llenado del plástico alojado en el centro del espesor del producto, posee cierta temperatura con la fluidez necesaria para tratar de salir de las cavidades y regresar al barril de inyección, por lo tanto mientras los puntos de inyección (puntos por donde entra el plástico) no han solidificado, se debe seguir aplicando presión sobre el material.

Una adecuada presión de sostenimiento principalmente reduce la contracción, y ayuda a eliminar hundimientos. Cuando se realiza un sobreempacamiento, regularmente ocasiona problemas para extraer la pieza, y provoca que las piezas se tensionen.

Otra presión de importancia es la de retroceso, cuando el tornillo gira y va moviéndose hacia atrás durante la etapa de plastificación del material, este va luchando contra la presión que ejerce el aceite del pistón de inyección.

La presión generada en el plástico, debida a la presión del aceite contra la que actúa el tornillo al retroceder, se conoce como presión de retroceso y se controla mediante una pequeña válvula localizada en la parte trasera del pistón de inyección.

Alta presión de retroceso aumenta la homogeneidad del fundido, mejoran normalmente las propiedades de las piezas, muchas veces, desaparecen problemas de control dimensional, contracción, dispersión de color, etc. Sin embargo, también el uso de altas presiones de retroceso aumenta el tiempo en el que el tornillo termina de plastificar, por lo que aumenta el tiempo de ciclo.

Otro factor importante en el moldeo es la temperatura de la masa, la temperatura óptima de la masa, dependiendo del tipo de resina debe coincidir con la temperatura del barril, en tal forma que el flujo del material sea uniforme, el peso de la pieza está

directamente relacionado con la temperatura de la masa, a mayor temperatura el peso se reduce por la reducción real de la presión de inyección de la pieza.

El incremento en la temperatura de la masa ayuda a una mejor fluidez del material y transmisión de presión, reduce el tiempo de residencia en el barril y requiere mayor tiempo de enfriamiento.

Parte del calor requerido para plastificar el plástico proviene de giro del tornillo. Por lo tanto, para alcanzar una cierta temperatura del material, el tornillo puede moverse de forma rápida a altas velocidades o despacio a bajas velocidades.

Esto se hace mediante la velocidad de giro del tornillo, a menores revoluciones por minuto del tornillo, el riesgo de degradación térmica del plástico decrece y la homogeneidad del plástico aumenta. Este parámetro junto con la contrapresión, define el tiempo de plastificación.

I.8 PROBLEMAS EN EL MOLDEO POR INYECCIÓN

Los problemas que se presentan de manera más común en el moldeo por inyección de plásticos están relacionados con defectos en la calidad de las piezas moldeadas. A continuación se enlistan algunos de los problemas que se pueden presentar en las piezas moldeadas por inyección de plástico:

- Cortas.
- Rebaba.
- Splay.
- Hundimiento
- Fracturas.
- Marcas de expulsores.
- Líneas de flujo.
- Alabeamiento.

El defecto que presenta la pieza en estudio como ya se ha mencionado es el hundimiento, es por eso que se analizaron las causas que originan este problema y las posibles soluciones para eliminar el hundimiento, según diversos autores.

Sánchez Valdés comenta que normalmente los hundimientos se deben a una presión insuficiente sobre el fundido o al empacado insuficiente de material en la cavidad. En algunos casos la causa es que el material trae humedad, monómero residual o algún aditivo que pueden formar burbujas o huecos a la temperatura de procesamiento. Lista las siguientes causas probables:

- Presión de inyección baja.
- Tiempo de presión de sostenimiento muy cortó.
- Velocidad de inyección baja.
- Material sobrecalentado.
- Material húmedo.
- Enfriamiento del molde, muy caliente.
- Tamaño de la boquilla muy pequeña. (Sánchez V., 2002, p.195).

Morton menciona que los hundimientos también se pueden solucionar por medio del diseño del molde, esta falla se produce cuando la sección del producto es demasiado gruesa. La parte gruesa retiene calor y se hunde por las fuerzas de contracción. (Morton D., 1999, p.192).

Harold Belofsky comenta que las causas por hundimiento pueden ser:

- Contracción termal durante el proceso.
- Pieza muy caliente al momento de ser expulsada.
- Resina muy fría.
- Resina muy caliente.
- Resina contaminada.

Sugiere, incrementar la presión de inyección, incrementar la presión de sostenimiento, reducir la temperatura de la superficie, reducir las temperaturas del barril, aumentar el tiempo de enfriamiento, secar la resina. (Belofsky Harold, 1995, p. 619).

(Grupo Dextro, 2001, p. 62). Propone que al remedio para este defecto es elevar la presión en la cavidad durante el empaclado de la pieza y asegurarse de no retirar la presión de sostenimiento hasta que el material en las compuertas haya solidificado completamente.

(Beaumont, 2002, p.194). Afirma que la causa de los hundimientos es debido a una presión de sostenimiento muy pobre.

Mientras que la sociedad de la industria del plástico menciona que los hundimientos son causados por una presión insuficiente de sostenimiento y en el diseño del molde (Plastic engineeringg handbook, 1976, p. 117).

(Terry, 1983, p. 291) comenta que los posibles remedios para eliminar el hundimiento son: incrementar la velocidad de inyección, reducir la temperatura del cilindro e incrementar la presión de inyección.

Podemos observar que se casi todos los autores sugieren incrementar la presión de sostenimiento.

CAPÍTULO II DISEÑO DE EXPERIMENTOS

II.1 INTRODUCCIÓN

Los investigadores realizan experimentos virtualmente en todos los campos del saber, por lo general para descubrir algo acerca de un proceso o sistema en particular. Las investigaciones pueden ser para descubrir o confirmar algún conocimiento. Literalmente un experimento, es una prueba o ensayo en el cual se pueden modificar o manipular diferentes factores llamados variables. Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

De acuerdo al manual del ingeniero industrial, MAYNARD, define a un experimento estadístico como un conjunto de varios experimentos diferentes, cada uno de los cuales se efectúa bajo condiciones controladas. (Hodson W.,1996,p.14.101).

Suele ser posible visualizar el proceso como una combinación de máquinas, métodos, personas y otros recursos que transforman alguna entrada en una salida que tiene una o mas respuestas observables. Algunas variables del proceso son controlables, mientras que otras son incontrolables. Entre los objetivos del experimento pueden incluirse.

- 1.- Determinar cuales variables tienen mayor influencia en la respuesta "y".
- 2.- Determinar el mejor valor de las "x" que influyen en "y", de modo que "y" tenga casi siempre un valor cercano al valor nominal deseado.
- 3.- Determinar el mejor valor de las "x" que influyen en "y", de modo que la variabilidad de "y" sea pequeña.
- 4.- Determinar el mejor valor de las "x" que influyen en "y", de modo que se minimicen los efectos de las variables incontrolables. (Montgomery D., 1991, p.1).

Sir Ronald A. Fisher fue el innovador del uso de los métodos estadísticos en el diseño de experimentos. Durante algunos años estuvo a cargo de la estadística y el análisis de los datos en la Estación Agrícola Experimental Rothamsted en Londres, Inglaterra. Fisher fue quien desarrollo y uso por primera vez el análisis de varianza como la herramienta primaria para el análisis estadístico en el diseño experimental. Muchas de las primeras aplicaciones de los métodos del diseño experimental se dieron en el área de la agricultura y ciencias biológicas. Como resultado de ello, gran parte de la terminología proviene de estos antecedentes agrícolas. Sin embargo, las primeras aplicaciones industriales del diseño experimental se hicieron en la década de 1930, en las industrias textil y de la lana británica. Después de la segunda guerra mundial, los métodos del diseño experimental se introdujeron en las industrias químicas y de transformación en Estados Unidos y Europa. Estos grupos industriales son todavía áreas muy fértiles para el uso del diseño experimental en el desarrollo de productos y procesos.

En años recientes ha habido un renovado interés por el diseño experimental en Estados Unidos, en virtud de que varias industrias han descubierto que sus competidores han estado usando por muchos años experimentos diseñados y que ha sido un factor importante en su éxito competitivo. (Montgomery D., 1991, p.10).

II.2 EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN LA INDUSTRIA

Algunos problemas típicos de la industria que se pueden resolver con el diseño y análisis de experimentos son los siguientes:

- 1.- Comparar a dos o más proveedores del mismo material con el fin de elegir al que mejor cumple los requerimientos.
- 2.- Comparar varios instrumentos de medición para verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud.

- 3.- Proponer una nueva manera de operar el proceso, variar sus condiciones y hacer cambios con el objetivo de reducir el número de defectos.
- 4.- Determinar los factores o fuentes de variabilidad que tienen impacto en la capacidad del proceso para cumplir con sus requerimientos más importantes.
- 5.- Localizar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad; por ejemplo) donde el proceso logra su desempeño óptimo.
- 6.- Proponer un nuevo método de muestreo igual de efectivo, pero más económico que el actual.
- 7.- Reducir el tiempo de ciclo del proceso.
- 8.- Hacer el proceso insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales.
- 9.- Apoyar en el diseño o rediseño del producto o proceso para mejorar su desempeño. (Gutiérrez H., 2004, p.4).

Donde el punto número cuatro y cinco son de gran importancia en esta investigación.

II.3 DEFINICIONES BÁSICAS EN EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Experimento. Un experimento es un cambio en las condiciones de operación de un sistema o proceso, que se hace con el objetivo de medir el efecto del cambio sobre una o varias propiedades del producto. Dicho experimento permite aumentar el conocimiento acerca del sistema. Por ejemplo, en un proceso químico se pueden probar diferentes temperaturas y presiones, y se mide el cambio observado en el rendimiento del proceso.

Esta experimentación genera conocimiento acerca del proceso químico, lo que permite mejorar su desempeño.

Diseño de experimentos. El diseño de experimentos consiste en planear un conjunto de pruebas experimentales, de tal manera que los datos generados puedan analizarse estadísticamente para obtener conclusiones válidas y objetivas acerca del sistema o proceso.

Unidad experimental. La unidad experimental es la muestra de artículos que es necesario producir en una condición de operación del proceso para obtener, a partir de ellos, una medición o dato representativo de lo que allí ocurre. En cada diseño de experimentos es importante definir cuidadosamente la unidad experimental, ya que esta puede ser una pieza o un conjunto de piezas producidas, dependiendo del proceso que se estudia. (Gutiérrez H., 2004, p.9 -10).

En todo proceso intervienen distintos tipos de variables o factores como los que se definen a continuación:

Variable de respuesta. Es la característica, variable de salida o propiedad del producto cuyo valor interesa mejorar, por lo general el valor de dicha característica determina algún aspecto de la calidad del producto. La conjetura típica para utilizar diseño experimental es que existe otra manera de operar el proceso en la cual el comportamiento de una o varias variables de respuesta sería mejor que el actual.

Factores controlables. Son variables de proceso o variables de entrada que se pueden fijar en un punto o en un nivel de operación. Algunos de estos son los que usualmente se controlan durante la operación normal del proceso, y se distinguen por que para cada uno de ellos existe la manera o el mecanismo para cambiar o manipular su nivel de operación. Esto último es lo que hace posible que se pueda experimentar con ellos, a los factores controlables también se les llama variables de entrada, condiciones de proceso, variables de diseño, parámetros del proceso, o simplemente factores.

Factores no controlables o de ruido. Son variables que no se pueden controlar durante la operación normal del proceso.

Factores estudiados. Son las variables que se investigan en el experimento, en cuanto a como influyen o afectan a las variables de respuesta.

Los factores estudiados pueden ser factores controlables o no controlables, donde estos últimos fue posible y de interés controlarlos durante el experimento. Para que

un factor pueda ser estudiado es necesario que durante el experimento se haya probado en al menos dos niveles o condiciones.

En principio cualquier factor que sea controlable o no, puede tener alguna influencia en la variable de respuesta que se refleja en su medida o en su variabilidad. Para fines de un diseño de experimentos deben seleccionarse los factores que se considera, por conocimiento del proceso y conjeturas, que pueden tener efecto sobre la respuesta de interés. Y parte de la problemática a superar durante el diseño es ver la manera en que se controlara durante el experimento un factor que normalmente es no controlable.

Niveles y tratamientos. Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman niveles. Una combinación de niveles de todos los factores se llama tratamiento o punto de diseño.

Error aleatorio y error experimental. Siempre que se realiza un estudio experimental, parte de la variabilidad observada no se podrá explicar por los factores estudiados.

Esto es, siempre habrá un remanente de variabilidad que se debe a causas comunes o aleatorias que generan la variabilidad natural del proceso. Esta variabilidad constituye el llamado error aleatorio, que no es error en el sentido de equivocación, si no variabilidad no explicada. Por ejemplo será parte de este error aleatorio el pequeño efecto que tienen los factores que no se estudiaron, siempre y cuando se mantenga pequeño o despreciable, así como la variabilidad de las mediciones hechas bajo las mismas condiciones. Sin embargo, el error aleatorio también absorberá todos los errores (ahora si, en el sentido de equivocación) que el experimentador comete durante los experimentos y si estos son graves, más que error aleatorio hablaremos de error experimental, y de predominar este, la detección de cuales de los factores estudiados tienen efecto real sobre la respuesta, será difícil.

Cuando se corre un diseño experimental es importante que la variabilidad de la respuesta observada se deba principalmente a los factores estudiados y en menor medida al error aleatorio. Cuando la variabilidad observada se debe a factores no estudiados o a error no aleatorio, no se podrá distinguir cual es el verdadero efecto que tienen los factores estudiados, con lo que el experimento resultaría inútil. De aquí la importancia de no dejar variar libremente a ningún factor que pueda influir de manera significativa sobre el comportamiento de la respuesta (principio de bloqueo). (Gutiérrez H., 2004, p.11-13).

En la figura II.1 se muestra el modelo general de un sistema.



Figura II.1. Modelo general de un proceso o sistema.

Fuente: Montgomery Douglas, "Diseño y análisis de experimentos", Ed. Iberoamericana, México, 1991, p.2.

Aleatorización. Consiste en hacer las corridas experimentales en orden aleatorio y con material seleccionado también aleatoriamente, este principio aumenta la probabilidad de que el supuesto de independencia de los errores se cumpla, que es un requisito para la validez de las pruebas de estadísticas que se realizan. También es una manera de asegurar pequeñas diferencias provocadas por materiales, equipo y todos los factores no controlados, se repartan de manera homogénea en todos los tratamientos.

Repetición. Es correr más de una vez un tratamiento o combinación de factores dada. No confundir este principio con medir varias veces el mismo producto o artículos fabricados de una sola vez en cierta combinación de factores. Repetir es volver a correr el proceso, partir desde volver a fijar las condiciones de operación,

para obtener un nuevo producto, hasta el medir resultado de esta otra corrida del proceso. Las repeticiones permiten distinguir mejor que parte de la variabilidad total de los datos se debe al error aleatorio y cual a los factores. Cuando no se hacen repeticiones no hay manera de estimar la variabilidad natural o error aleatorio y esto dificulta la construcción de estadísticas realistas en el análisis de los datos.

Bloqueo. Es nulificar o tomar en cuenta en forma adecuada todos los factores que puedan afectar la respuesta observada.

II.4 ETAPAS EN EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Un diseño experimental es algo más que un conjunto de condiciones de prueba; más bien es una secuencia de etapas o actividades que deben realizarse para cumplir con éxito los objetivos que se persiguen. Dichas etapas se mencionan a continuación, siendo la planeación la actividad más importante y a la que se le debe dedicar mayor tiempo.

Planeación.

1.- Encontrar un problema de calidad que causa pérdidas importantes a la compañía o que es de interés para un investigador. Definir y medir el punto de partida (situación actual o inicial) es el primer paso en cualquier esfuerzo de mejora; por ello, aquí se puede utilizar el análisis de Pareto o estudios de la capacidad del proceso. Es fundamental además tener un conocimiento inicial sobre el proceso donde se ubica el problema.

2.- Determinar cuales factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta.

3.- Elegir la(s) variable(s) de respuesta que serán medidas en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable. La elección de esta(s) variable(s) es vital, ya que son el objetivo del experimento, y son las que se pretende mejorar. Por

ello se debe elegir aquellas que mejor reflejen el problema ya sea en términos de calidad o productividad.

Es frecuente que haya más de una variable de respuesta. Además se debe tener la confianza que las mediciones que se obtengan sobre esas variables sean confiables. En otras palabras se debe garantizar que los instrumentos y/o métodos de medición son capaces de repetir y reproducir una medición, que tienen la precisión (error) y exactitud (calibración) necesaria.

4.- Seleccionar el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento. Este paso también implica determinar cuantas repeticiones se harán para cada tratamiento, tomando en cuenta el tiempo, costo y la precisión deseada. Con la siguiente fórmula se calcula la estimación de número de piezas a correr.

$$M = (2.5)^2 \frac{[1 - p_0]}{p_0}$$

Donde p_0 es la proporción utilizada como base.

5.- Planear y organizar el trabajo experimental. Con base en el diseño seleccionado, organizar y planear con detalle el trabajo experimental.

6.- Realizar el experimento. Seguir al pie de la letra el plan previsto en la etapa anterior

Análisis.

Se debe determinar el modelo de análisis de varianza Anova o la técnica estadística que mejor describa el comportamiento de los datos.

Interpretación.

Aquí se debe ir mas allá del análisis estadístico formal, y se debe analizar con detalle lo que ha pasado con el experimento, desde contrastar las conjeturas iniciales con los resultados del experimento, hasta observar los nuevos aprendizajes que sobre el proceso se lograron, verificar supuestos y elegir al ganador.

Conclusiones finales.

Para concluir el proyecto se recomienda decidir que medidas implementar para generalizar el resultado del estudio y para garantizar que las mejoras se mantengan. (Gutiérrez H., 2004, p.14-16).

II.5 APLICACIONES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Los métodos del diseño experimental tienen amplia aplicación en muchas disciplinas. En efecto, es posible considerar a la experimentación parte del proceso científico y una de las formas en que aprendemos acerca de la forma en que funcionan los sistemas o procesos. Por lo general este aprendizaje se da a través de una serie de actividades en los cuales hacemos conjeturas acerca de un proceso, realizamos experimentos para generar datos a partir del proceso, y entonces usamos la información del experimento para establecer nuevas conjeturas, que llevan a realizar nuevos experimentos, y así sucesivamente.

El diseño experimental es de importancia crítica en el ámbito de la ingeniería para mejorar el rendimiento de un proceso de manufactura. También se emplea extensamente en el desarrollo de nuevos procesos. La aplicación de técnicas de diseño experimental en una fase temprana del desarrollo de un proceso puede dar por resultado:

- 1.- Mejora en el rendimiento del proceso.
- 2.- Menor variabilidad y mayor apego a los requerimientos nominales u objetivo.
- 3.- Menor tiempo de desarrollo.
- 4.- Menores costos globales.

Los métodos de diseño experimental también tienen un cometido importante en las actividades de diseño técnico (o diseño de ingeniería), en las cuales se desarrollan nuevos productos y se mejoran otros ya existentes. Algunas aplicaciones del diseño experimental, en el diseño técnico son:

- 1.- Evaluación y comparación de configuraciones de diseño básicas.
- 2.- Evaluación de materiales alternativos.
- 3.- Selección de parámetros de diseño de modo que el producto funcione bien en una amplia variedad de condiciones de campo, esto es, de modo que el producto sea consistente.

El uso del diseño experimental en las áreas antes señaladas y otras, puede dar por resultado productos con mayor confiabilidad y mejor funcionamiento en el campo, menores costos, y menor tiempo de diseño y desarrollo del producto.

(Montgomery D., 1991, p.2).

II.6 USO DE LOS MÉTODOS ESTADÍSTICOS EN LA EXPERIMENTACIÓN

Gran parte de la investigación en el campo de la ingeniería, ciencia e industria es empírica y emplea en forma extensiva la experimentación. Los métodos estadísticos pueden incrementar la eficiencia de estos experimentos y, a menudo, reforzar las conclusiones obtenidas. El uso de las técnicas estadísticas en la experimentación requiere que el investigador tenga en mente los siguientes puntos:

1.- Uso del conocimiento no estadístico del problema. Generalmente los investigadores conocen a fondo su campo de especialidad, en algunos campos puede utilizarse una gran cantidad de teoría para explicar las relaciones que hay entre los factores y las respuestas. Este tipo de conocimiento no estadístico es invaluable al elegir los factores y sus niveles, al decidir el número de replicas que se requiere realizar. Al analizar los resultados y en las demás etapas de un proceso.

2.- Mantener el diseño y el análisis tan simples como sean posible. No se debe exagerar el uso de técnicas estadísticas complejas y muy refinadas, por lo general lo más adecuado son los métodos de diseño y análisis relativamente simples. Si se realiza el diseño cuidadoso y correctamente, el análisis será con frecuencia, relativamente directo.

3.- Reconocer la diferencia entre la significación práctica y la estadística. No hay seguridad de que una diferencia sea suficiente grande, desde el punto de vista práctico, por el solo hecho de que dos condiciones experimentales producen respuestas medias, estadísticamente diferentes.

4.- Usualmente los experimentos son iterativos. Hay que recordar que en la mayoría de los casos no es conveniente diseñar experimentos demasiados extensos en las primeras etapas de un estudio. Un diseño exitoso requiere que se conozcan los factores importantes, los intervalos en los que estos factores van a ser investigados, el número apropiado de niveles para cada factor y las unidades de medición adecuadas a cada factor y a la respuesta. Generalmente, al inicio de un experimento no se esta en condiciones de responder adecuadamente a estas preguntas pero, es posible conocer las respuestas a medida que avanza la experimentación. Esto favorece el empleo del enfoque iterativo o secuencial ya considerado. Por supuesto que existen situaciones en que los experimentos de gran extensión son del todo apropiados, pero por regla general, la mayoría de los experimentos son iterativos. (Montgomery D., 1991, p.10).

II.7 CLASIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS EXPERIMENTALES

Se han inventado y propuesto muchos diseños experimentales para poder estudiar la gran diversidad de problemas o situaciones que ocurren en la práctica. Esta cantidad de diseños hace necesario saber como elegir el más adecuado para el problema que se quiere resolver y por ende, conocer cómo es que se clasifican los diseños de acuerdo a su objetivo y a su alcance dentro del objetivo en cuestión.

Los cinco aspectos que más influyen en la selección de un diseño experimental, en el sentido de que cuando cambian nos llevan generalmente a cambiar su diseño son:

- 1.- El objetivo del experimento.
- 2.- El número de factores a controlar.
- 3.- El número de niveles que se prueba en cada factor.
- 4.- Los efectos que interesa investigar.
- 5.- El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

Estos puntos no son independientes entre sí, pero es pertinente señalarlos por separado ya que al modificar cualquiera de ellos, cambia el diseño experimental a utilizar. El objetivo del experimento se ha utilizado como un criterio general de clasificación de los diseños experimentales, mientras que los otros cuatro puntos son útiles para subclasificarlos. En este sentido, de acuerdo con su objetivo, los diseños se pueden clasificar como:

- 1.- Diseños para comparar dos o más tratamientos.
- 2.- Diseños para estudiar el efecto de varios factores sobre la(s) respuesta(s).
- 3.- Diseños para determinar el punto óptimo de operación del proceso.
- 4.- Diseños para la optimización de una mezcla.
- 5.- Diseños para hacer el producto insensible a factores no controlables.

(Gutiérrez H., 2004, p.19).

En la figura II.2 se observa la clasificación general de acuerdo con su objetivo.

En esta investigación, se requiere conocer los efectos que implica cada factor sobre la variable de respuesta, que en este caso es el hundimiento de la pieza, por esta razón, se analizara el diseño para estudiar el efecto de varios factores.

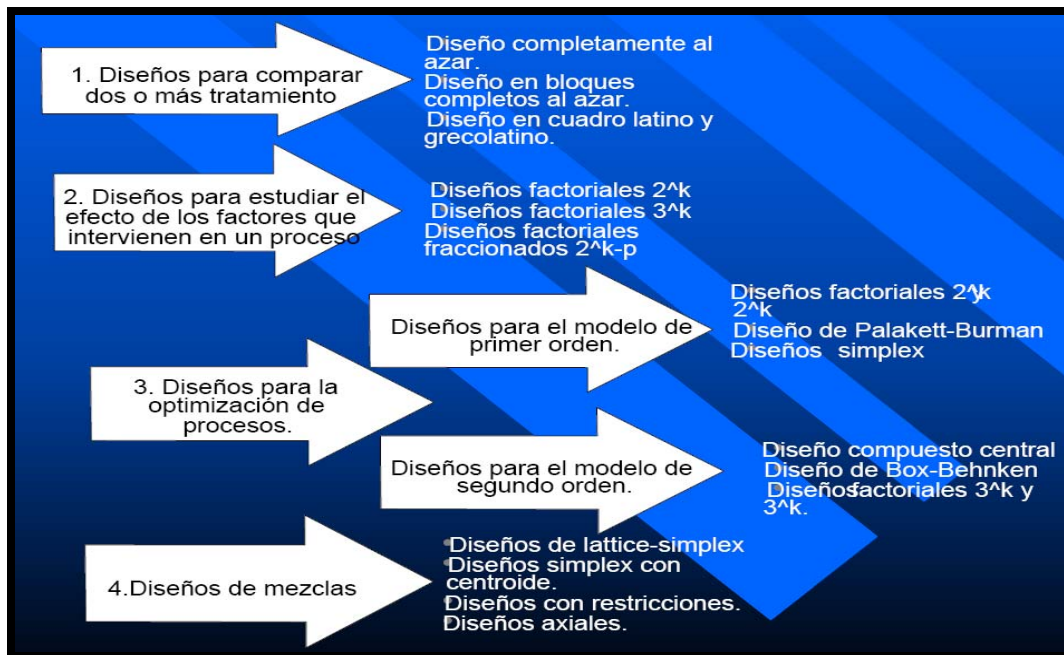


Figura II.2. Clasificación de los diseños experimentales.

Fuente: Gutiérrez Humberto, "Análisis y diseño de experimentos", Ed. Mc Graw Hill, México, 2004, p.20.

II.7.1 Diseños para estudiar los efectos de varios factores

Los diseños que sirven para estudiar el efecto de varios factores son llamados diseños factoriales. Los factores pueden ser de tipo cualitativo (máquinas, tipos de material, operador, la presencia o ausencia de una operación previa, etc.), o de tipo cuantitativo (temperatura, humedad, velocidad, presión, etc.). Para poder estudiar la manera en que influye cada factor sobre la variable de respuesta es necesario elegir al menos dos niveles de prueba para cada uno de ellos (tres máquinas, dos operadores, tres velocidades, dos temperaturas). A continuación se enumeran las ventajas de los diseños factoriales:

1) Los diseños factoriales requieren relativamente de pocas corridas experimentales, lo que se traduce en ahorro de recursos. Son más eficientes que el típico experimento de mover un factor a la vez, que utilizan las personas que no saben diseño de experimentos.

2) Son diseños que se pueden aumentar para formar diseños compuestos en caso de que se requiera una exploración más completa. Por ejemplo, es útil aumentar el diseño si el comportamiento de la respuesta no es lineal en los factores controlados.

3) Se pueden correr fracciones de diseños factoriales, las cuales son de gran utilidad en las primeras etapas de una investigación que involucra muchos factores y se quiere desechar los que no son importantes, antes de utilizar un diseño más grande.

4) Pueden utilizarse en combinación con diseños de bloques en situaciones en las que no puede correrse todo el diseño factorial complejo bajo las mismas condiciones ambientales.

5) La interpretación y cálculo de los efectos se puede hacer mediante aritmética y lógica elemental. (Montgomery D., 1991, p.175).

En el experimento se analizarán tres factores, es por esto que se aplicará el diseño factorial 2^3 .

II.7.2 Análisis del diseño factorial 2^3

Como su nombre lo indica, con el diseño 2^3 se estudian tres factores en dos niveles cada uno. Consta de $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ tratamientos diferentes, los tratamientos de este diseño y su representación geométrica se muestran en la figura II.3 (a) y (b) respectivamente. La región experimental es un cubo regular centrado en el origen (0, 0,0), cuyos vértices son los ocho tratamientos. La matriz de diseño se construye fácilmente alternando el signo menos y el signo más en la primera columna, dos menos y dos más en la segunda columna, y cuatro menos y cuatro más en la tercera;

el diseño resulta acomodada en el orden estándar o de Yates (totales o sumas de las observaciones en cada tratamiento).

Con este diseño se pueden estudiar: tres efectos principales A, B, C; tres interacciones dobles AB, AC, BC y una interacción triple ABC, o sea $2^3 - 1 = 7$ efectos.

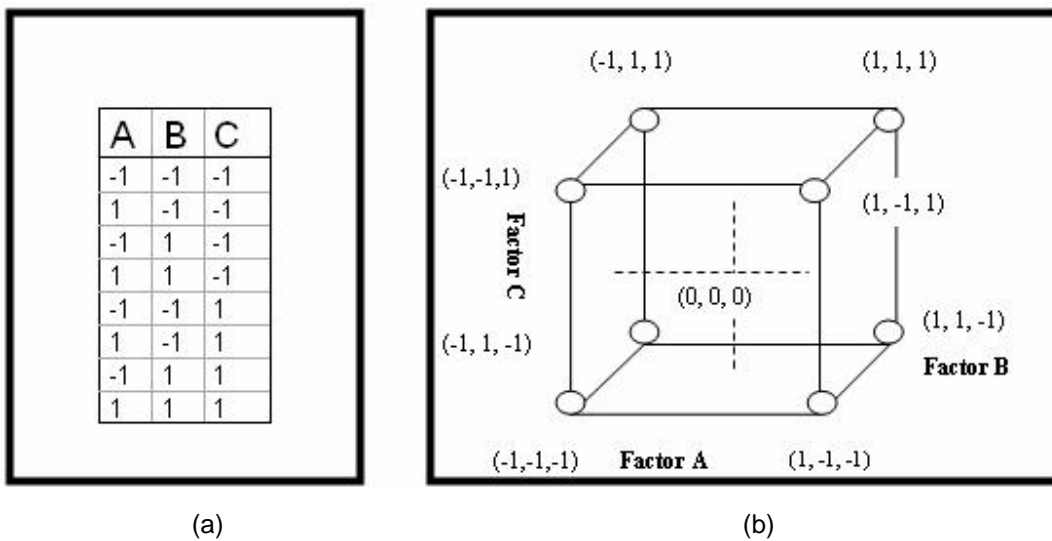


Figura II.3. Diseño factorial 2^3 (a) y su representación geométrica (b).

Fuente: Gutiérrez Humberto, "Análisis y diseño de experimentos", Ed. Mc Graw Hill, México, 2004, p.222.

Sean A, B y C los factores que se requieren estudiar y sean (l), a, b, ab, c, ac, bc, y abc, los totales observados en cada uno de los ocho tratamientos escritos en su orden estándar.

Las columnas de los efectos principales A, B y C son las mismas que en la matriz de diseño y las columnas de los efectos de interacción se obtienen multiplicando las columnas correspondientes.

Los términos "a", efecto A y factor A representan cosas diferentes: "a" es el total o suma de las mediciones hechas en el tratamiento (más, menos, menos), el efecto A es la diferencia de medias de "Y" en los niveles alto y bajo del factor A, y el factor A es uno de los factores que se estudian en el experimento.

Tabla II.1. Tabla de signos del diseño factorial 2³

Totales	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
(1)	-	-	-	+	+	+	-
a	+	-	-	-	-	+	+
b	-	+	-	-	+	-	+
ab	+	+	-	+	-	-	-
c	-	-	+	+	-	-	+
ac	+	-	+	-	+	-	-
bc	-	+	+	-	-	+	-
abc	+	+	+	+	+	+	+

Fuente: Gutiérrez Humberto, "Análisis y diseño de experimentos", Ed. Mc Graw Hill, México, 2004, p.223.

Al multiplicar las columnas de signos de la tabla II.1 por la columna de totales representados por la notación de Yates, se obtienen los contrastes para los siete efectos, dados por:

$$\text{Contraste A} = (a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc)$$

$$\text{Contraste B} = (b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac)$$

$$\text{Contraste C} = (c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab)$$

$$\text{Contraste AB} = (ab - b - a + abc + (1) - bc - ac + c)$$

$$\text{Contraste AC} = ((1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc)$$

$$\text{Contraste BC} = ((1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc)$$

$$\text{Contraste ABC} = (abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1))$$

Si se hacen n réplicas de cada tratamiento, los efectos de un diseño 2³ se estiman dividiendo los contrastes entre 4 n, así por ejemplo, el efecto principal de A se estima de la siguiente manera:

$$\text{Efecto A} = \frac{\text{Contraste A}}{n 2^{(k-1)}}$$

Para afirmar que los efectos contribuyen a explicar el comportamiento de respuesta se debe hacer un análisis de varianza (ANOVA), La suma de cuadrados que componen el ANOVA se pueden calcular de forma fácil, a partir de sus contrastes con la formula:

$$SC \text{ Efecto} = \frac{(\text{Contraste Efecto})^2}{n \cdot 2^k}$$

La suma total de cuadrados se obtiene de manera usual como:

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

Y finalmente, la suma de cuadrados del error se calcula por sustracción,

Con esta información se puede escribir la tabla de ANOVA (Análisis de varianza) para el diseño 2³, como se muestra en la tabla II.2.

Tabla II.2 ANOVA para el diseño 2³.

FV	SC	GL	CM	F0
A	SCA	1	CM A	CM A / CME
B	SCB	1	CM B	CM B / CME
C	SCC	1	CM C	CM C / CME
AB	SCAF	1	CM AB	CM AB / CME
AC	SAAC	1	CM AC	CM AC / CME
BC	SCBC	1	CM BC	CM BC / CME
ABC	SCABC	1	CM ABC	CM ABC / CME
Error	SCE	2 ³ (n-1)	CM E	
Total	SCT	n2 ³ - 1		

Fuente: Gutiérrez Humberto, "Análisis y diseño de experimentos", Ed. Mc Graw Hill, México, 2004, p.224.

En la figura II.4 podemos observar que la suma de los cuadrados se pueden obtener ya sea de los efectos o directamente de los contrastes sin calcular los efectos, pero como los efectos proporcionan información mas interpretable que los contrastes acerca de los resultados del experimento, es recomendable siempre calcularlos.

Además de que los efectos poblacionales son las cantidades sobre las que interesa hacer inferencia, comenzando por decidir si están o no activos.

Los contrastes y la suma de cuadrados son pasos intermedios que no representan un objetivo por si mismos, como el ANOVA y los efectos estimados, pero es de los contrastes de donde parte toda la información relevante del experimento.

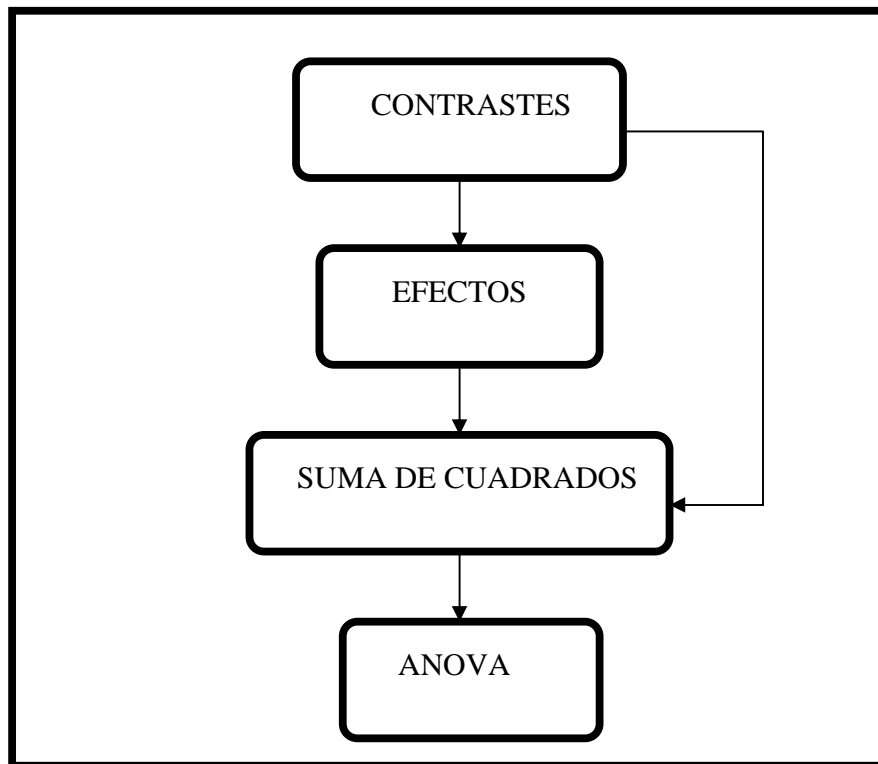


Figura II.4. Pasos para llegar al ANOVA, en un diseño 2^3 .

Fuente: Gutiérrez Humberto, "Análisis y diseño de experimentos", Ed. Mc GrawHill, México, 2004, p. 205.

La interpretación de la tabla ANOVA se hace con la observación de la primera y la última columna, si $F_0 > F_{\alpha, GL \text{ num}, GL \text{ denom}}$ (de la tabla de valores de F) significa que el efecto de ese factor o interacción es estadísticamente significativo.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

III.1 CICLO DEMING

El ciclo de Deming representa una estrategia a seguir para mejorar continuamente cada producto o proceso, el cual consiste en cuatro pasos: planear, hacer, verificar o estudiar y actuar, como se muestra en la figura III.1.

1.- Planear un experimento.- Es localizar un problema importante que sea susceptible de atacarse en el diseño de experimentos, una vez ubicado el problema se determinan los factores controlables que pudieran tener alguna influencia sobre la característica de calidad de interés.

2.- Hacer las corridas experimentales.- Se prueba el proceso en cada tratamiento especificado en la etapa de planeación.

3.- Verificar o analizar los resultados.- Analizar los datos con las técnicas adecuadas, verificar los supuestos y determinar el mejor tratamiento para la variable de respuesta.

4.- Implementación de los resultados.- Hacer pruebas confirmatorias para tener una mejor representatividad del desempeño del proceso en el nuevo tratamiento. (Gutiérrez H., 2004, p.395).

Con base en este ciclo, se desarrolla la metodología del diseño de experimento para la pieza en estudio.

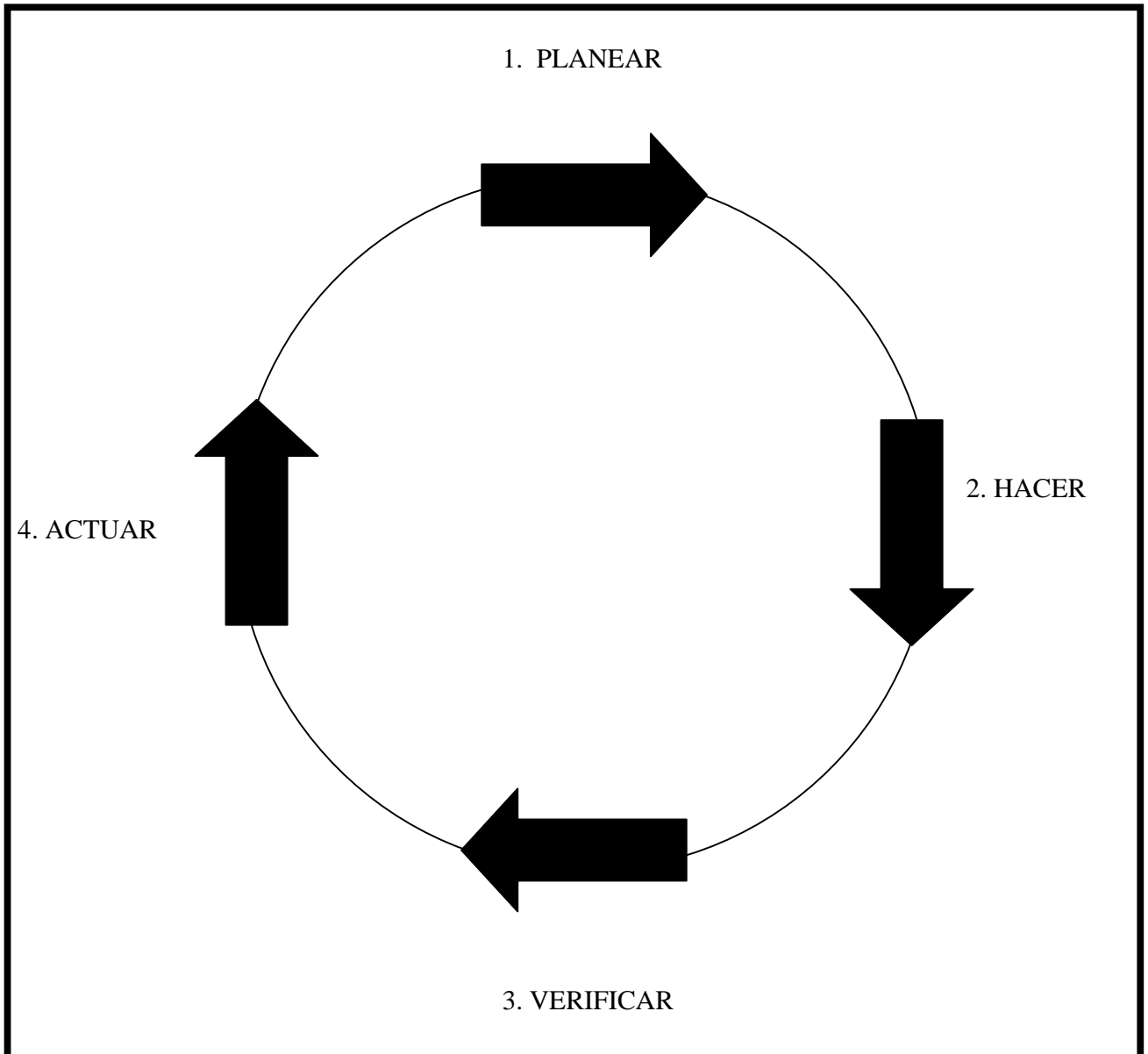


Figura III.1. Ciclo PHEA-Deming.

Fuente: Münich Lourdes, "Calidad y mejora continua, principios para la competitividad y productividad", Ed. Trillas, México, 2005, p.35.

III.2 METODOLOGÍA

1.- Planear el cambio o mejora.

- Creación de un equipo de trabajo.
- Generación de métricos (piezas con hundimientos).
- Análisis de oportunidades.
- Diagrama causa efecto.
- Selección del diseño de experimentos.
- Preparación de máquina y corrida con parámetros del experimento.
- Tomar nota de resultados de la corrida experimental.

2.- Análisis de resultados.

- Cálculos estadísticos.

3.- Verificar el cambio.

4.- Actuar.

III.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

III.3.1 Planear el cambio o mejora

Creación de un equipo de trabajo. El equipo de trabajo esta conformado por el técnico de mantenimiento Sergio López, por el técnico de procesos Luís Gutiérrez , ingeniero de moldeo Octavio Olmos, por la inspectora de calidad Eva Quezada, por la operadora América Hernández, todos trabajadores de MASA del departamento de moldeo del turno especial B.

Generación de métricos (piezas con hundimiento). Con base en los reportes de producción del área de plásticos se realizan las graficas (figuras III.2, III.3 y III.4) que representan el número de piezas FCP 52” w 70 defectuosas en los meses de octubre, noviembre y diciembre, durante el turno B (viernes, sábados y domingos) del año 2005.

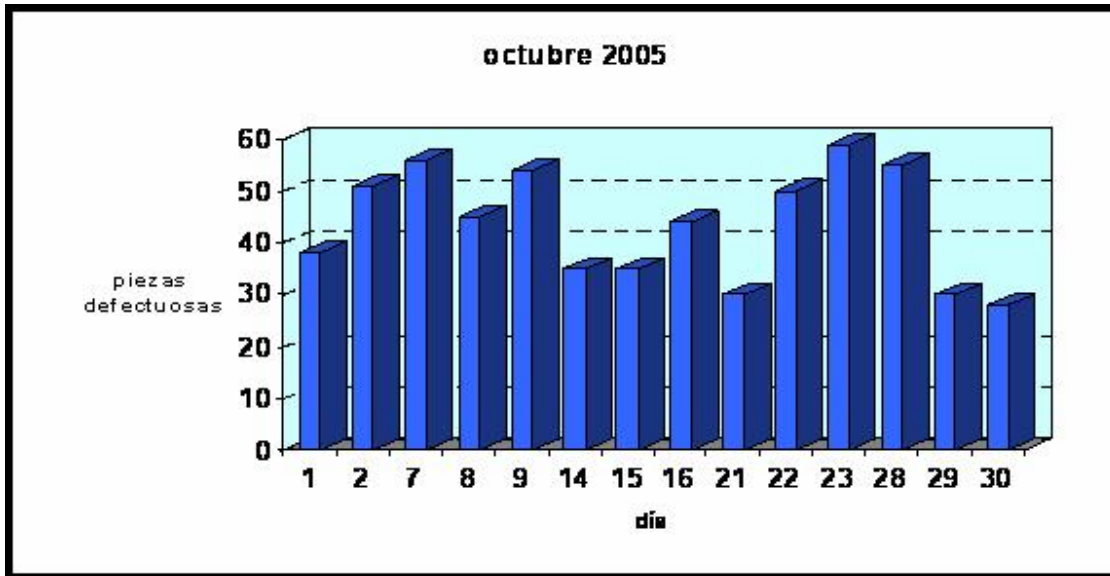


Figura III.2. Número de piezas defectuosas FCP 52" w 70 en el mes de octubre.
Elaboración propia.

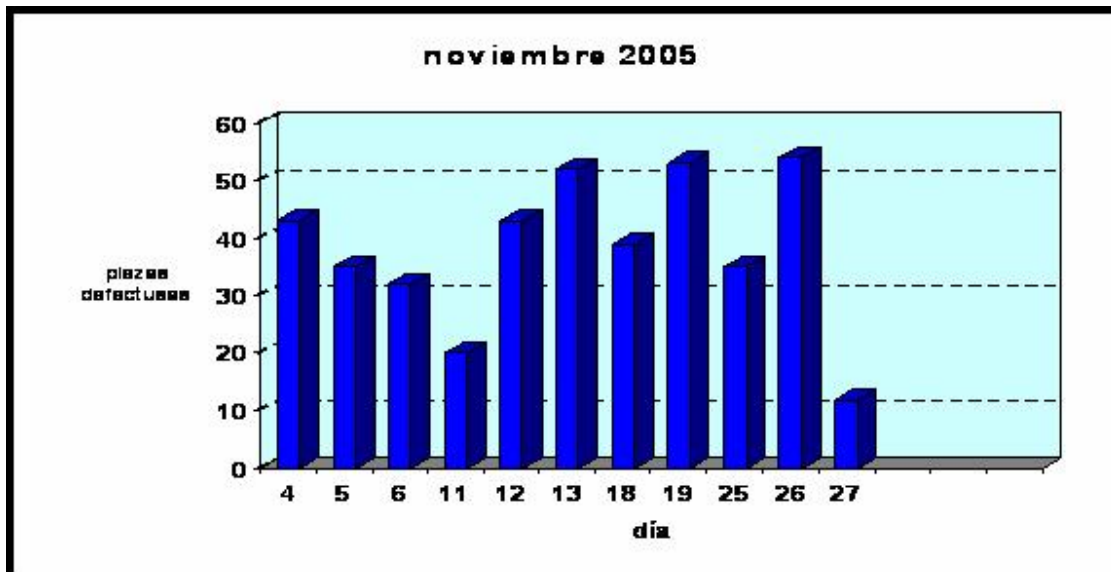


Figura III.3. Número de piezas defectuosas FCP 52" w 70 en el mes de noviembre.
Elaboración propia.

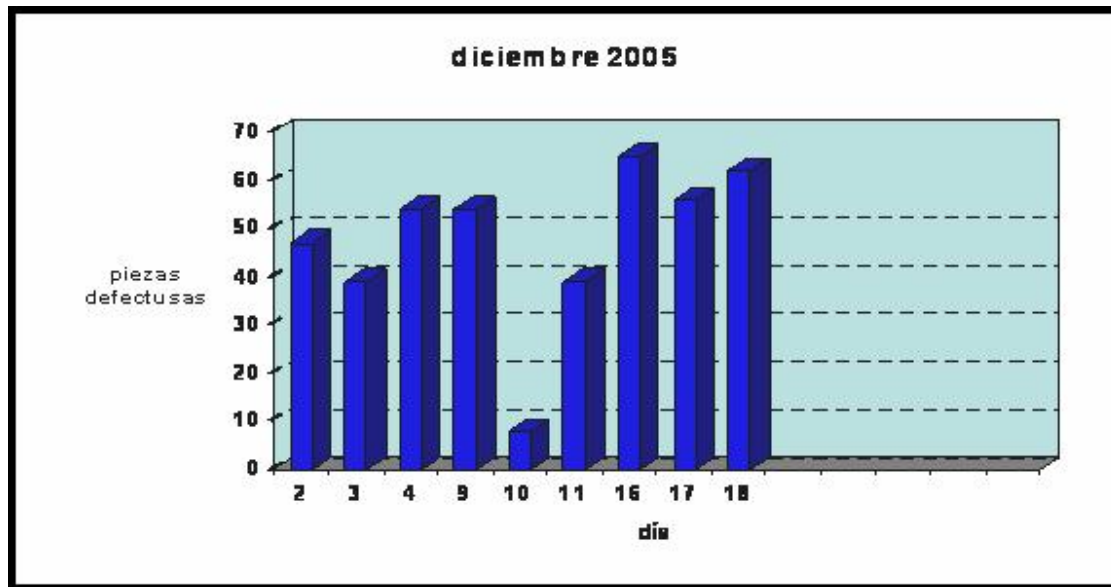


Figura III.4. Número de piezas defectuosas FCP 52" w 70 en el mes de diciembre.
Elaboración propia.

Análisis de oportunidades. Respecto a la teoría del moldeo por inyección se enumeran las posibles causas del hundimiento en la pieza.

- Resina.
- Equipo auxiliar.
- Presión de nitrógeno.
- Enfriamiento del molde.
- Diseño del molde.
- Medio ambiente.
- Operador.
- Técnico de proceso.
- Máquina de inyección.
- Velocidad de inyección.
- Tiempo de presión de nitrógeno.
- Temperatura del barril.

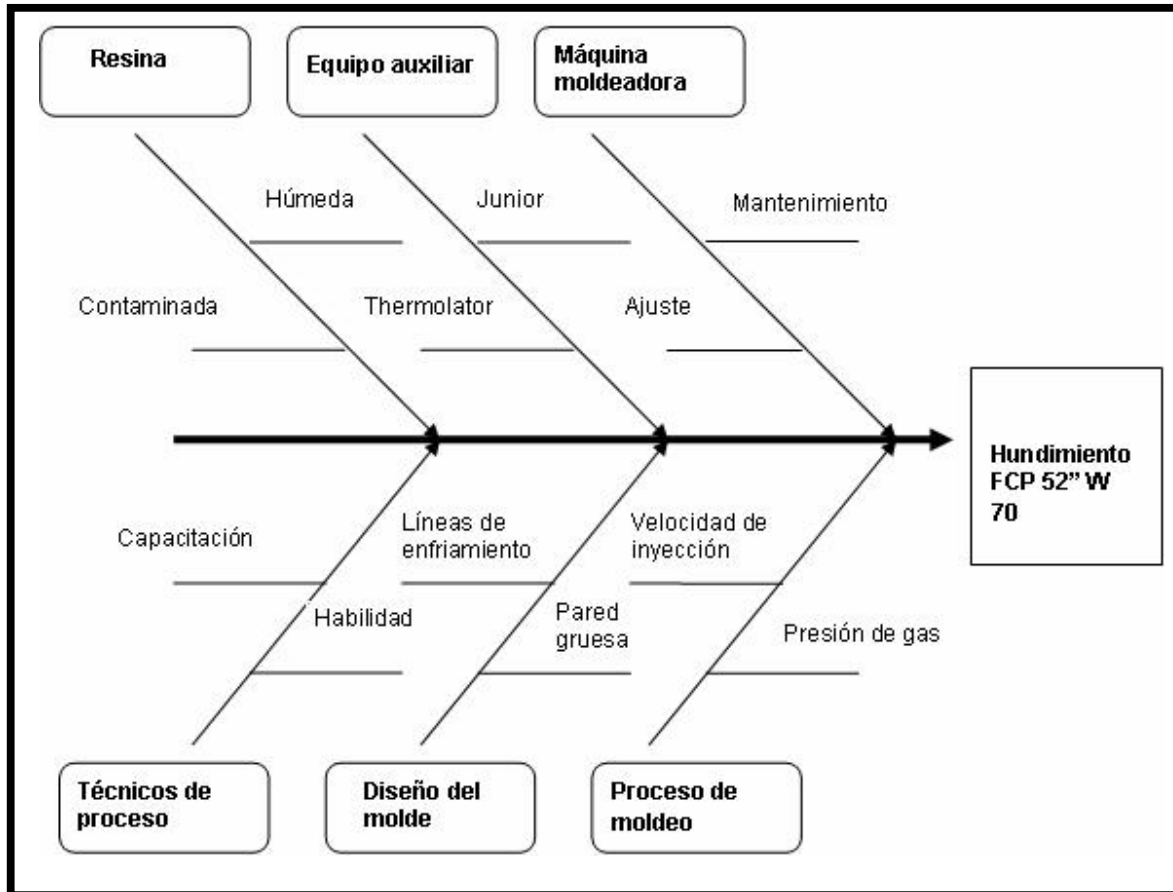


Figura III.5. Diagrama causa efecto al problema de hundimiento en la pieza FCP 52'' w 70. Elaboración propia.

Diagrama causa efecto. Por medio de este se analizan las causas que originan el problema. Las cuales se determinan a partir de una lluvia de ideas que puede conducir a encontrar las causas más probables que originan el problema. Es conocido también como diagrama de pescado o de Ishikawa (Münch L., 2005, p.71). Se elabora este diagrama para nuestro problema el cual se muestra en la figura III.5.

Selección del diseño de experimentos. La variable de respuesta para nuestro experimento es: Hundimiento en la pieza FCP 52'' w 70, nuestros factores controlables, son la velocidad de inyección, presión de nitrógeno, temperatura del

barril, diseño del molde, temperatura del molde, presión de sostenimiento. Podemos considerar que los factores de ruido son: la resina, el equipo auxiliar, las condiciones de la máquina, el clima, la humedad en el área de trabajo.

Con anterioridad se comentó acerca del comportamiento del plástico en el proceso tiene relación directa con los hundimientos, los cuales, básicamente se eliminan aumentando la presión de sostenimiento, en el caso de la pieza en estudio, está función la realiza la presión de gas de nitrógeno, es por eso que se considero estos tres factores importantes:

- Velocidad de inyección.
- Presión de nitrógeno.
- Tiempo de nitrógeno.

Los factores temperatura de resina y temperatura del molde se pudieron incluir pero resultaría más complicado el experimento, el diseño del molde es otro factor importante, pero debido a que el cambio de diseño es muy costoso se eliminó esta opción.

Factores que van a quedar fijos:

- Máquina.
- Operador.

Elección de los niveles. Los valores que los factores de interés tomaron, en este experimento se eligieron valores altos y bajos con respecto al nivel actual (velocidad de inyección 1.5 in/seg, tiempo de gas 1 seg, presión de gas 2000 psi), estos valores fueron determinados por gente involucrada en el proceso (ingeniero de proceso, técnico de proceso).

Los tres factores controlados y sus niveles, en unidades originales se muestran en la tabla III.1

Tabla III.1. Factores y niveles del experimento.

Factores a Controlar	Niveles	
	1	-1
Velocidad de inyección	4 (in/s)	1.5 (in/s)
Tiempo de gas	5 (seg)	0.5 (seg)
Presión de gas	1500 (psi)	500 (psi)

Elaboración propia.

Referente a la información se utilizó un diseño experimental 2^3 con el objetivo de localizar una combinación en el cual minimice el número de piezas con hundimientos.

Las piezas moldeadas en este experimento toman un valor binario, 1 si la pieza presenta hundimiento y 0 si no presenta hundimiento.

Se calcula el tamaño de prueba, es decir el número de piezas a procesar en cada repetición. Se sabe que el número de piezas defectuosas en promedio por día es de 43 por cada 600 piezas, lo que equivale a una proporción de $p_0 = 0.07$.

Aplicamos la fórmula para calcular la estimación de número de piezas a correr.

$$M = \frac{(2.5)^2 [1 - p_0]}{p_0}$$

En este experimento p_0 toma el valor de 0.07 y sustituyéndolo en la fórmula anterior se obtiene que $M = 83$.

Debido a que es muy costoso moldear tantas piezas para un experimento se decide correr dos réplicas, de 50 piezas procesadas, en cada réplica se deciden repartirlas en 5 lotes de tamaño de 10.

En las tablas III.2 y III.3 se muestran el orden aleatorio de las combinaciones del experimento para cada réplica.

Tabla III.2. Aleatorización de la primera réplica.

Corrida	V	T	P
3	-1	-1	-1
6	1	-1	-1
2	-1	1	-1
5	1	1	-1
1	-1	-1	1
7	1	-1	1
4	-1	1	1
8	1	1	1

Elaboración propia.

Tabla III.3. Aleatorización de la segunda réplica.

Corrida	V	T	P
7	-1	-1	-1
3	1	-1	-1
1	-1	1	-1
4	1	1	-1
6	-1	-1	1
8	1	-1	1
2	-1	1	1
5	1	1	1

Elaboración propia

Preparación de máquina para moldear la pieza en estudio. Se mencionan doce puntos para moldear la pieza, los cuales son:

- 1.- Verificar que el equipo auxiliar se encuentre en su lugar y listo para operar.- El técnico de mantenimiento revisara, que el equipo auxiliar se encuentre en condiciones óptimas, el junior alcance las presiones, el thermolator caliente a la temperatura.
- 2.- Verificar que haya plástico en la tolva de alimentación.
- 3.- La unidad de inyección debe estar atrás, alejada del molde.

- 4.- El calentamiento del tornillo debe estar encendido con los parámetros del proceso.
- 5.- Verificar el cierre y la apertura del molde.
- 6.- Verificar el funcionamiento de los mecanismos de seguridad en la puerta de seguridad.
- 7.- Encender las bombas hidráulicas.
- 8.- Purgar el cilindro para desplazar la resina contaminada.
- 9.- Programar los parámetros del proceso a la máquina.
- 10.- Mover la unidad de inyección al frente contra la espera del molde.
- 11.- Modo semiautomático.
- 12.- Modo automático.

El día del experimento se realizó el 8 de Enero del 2006, empezando a las 5:30 a.m., con la preparación de la máquina, la primera pieza se moldea 6:15 a.m., con los primeros datos programados por el diseño de experimentos, cabe mencionar que para no influir en el experimento, no se detiene la máquina en los cambios de valores a los parámetros. Durando el experimento, todo el turno B y 3 horas del turno C.

En la figura III.6 se muestra la máquina antes de la corrida experimental.



Figura III.6. Máquina cincinnati milacron antes del experimento.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

Se revisa que todo el equipo este en orden para correr como se muestra en la figura III.7.



Figura III.7. Preparación de máquina para el experimento.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

En la figura III.8 se observa la revisión del molde, que estén correctamente conectadas las líneas de gas y que el molde este limpio.



Figura III.8. Revisión de molde.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

En la figura III.9 se observa que se introducen los parámetros de la primera corrida experimental que en este caso la primera combinación fue -1, -1, 1. (1.5 in/seg de velocidad de inyección, 0.5 seg de tiempo de gas y 1500 psi de presión de gas).



Figura III.9. Introducción de valores a parámetros de máquina.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006

En la página número 7 de la pantalla de la máquina cincinnati milacron se introducen los parámetros de la velocidad de inyección, figura III.10.



Figura III.10. Pantalla de máquina cincinnati milacron.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

En la figura III.11 se observa como se programa el robot para mantener la máquina en ciclo automático.



Figura III.11. Modo automático de la máquina.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

En la figura III.12 se observan las piezas FCP 52" w 70 moldeadas en el experimento.



Figura III.12. Piezas moldeadas durante el experimento.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

En la figura III.13 la máquina se encuentra en tiempo de enfriamiento, el robot espera a que abra el molde para extraer la pieza.



Figura III.13. Molde cerrado, tiempo de enfriamiento.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

Se observa en la figura III.14 el momento en el que el brazo del robot coloca la pieza en la banda transportadora.



Figura III.14. Brazo del robot colocando la pieza en banda transportadora.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

Cuando la pieza se encuentra sobre la banda transportadora como se muestra en la figura III.15, esta lista para ser revisada.

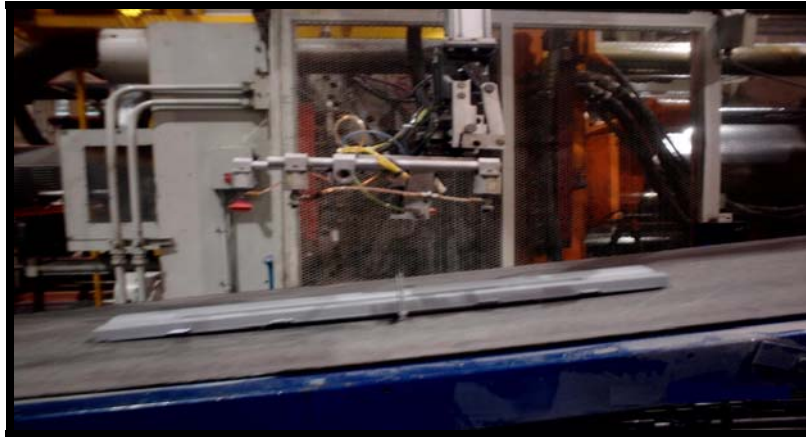


Figura III.15. Pieza FCP 52" w 70, sobre banda transportadora.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

Las piezas se revisan en la banda transportadora figura III.16.



Figura III.16. Piezas revisadas en banda transportadora.
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

Se puede observar en la figura III.17 la pieza con hundimiento de la combinación (-1, -1, -1).



Figura III.17. Pieza con hundimiento combinación (-1, -1, -1).
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

En la figura III.18 se muestra una pieza de la combinación (1, -1, -1) el hundimiento aparece en la esquina.

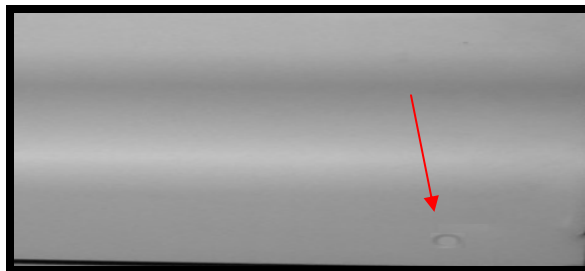


Figura III.18. Pieza con hundimiento combinación (1, -1, -1).
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

Como se puede observar en la figura III.19 con la combinación (-1, -1, 1) el hundimiento cambia de lugar ahora se encuentra en la parte superior de la pieza y en medio.



Figura III.19. Pieza con hundimiento combinación (-1, -1, 1).
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

En la figura III.20 se muestra una pieza de la combinación (-1, 1, 1) el hundimiento se presenta casi al centro de la pieza pero esta vez del lado inferior.



Figura III.20. Pieza con hundimiento combinación (-1, 1, 1).
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

Con la combinación (1, 1, -1) la pieza no presenta hundimiento figura III.21.



Figura III.21. Pieza sin hundimiento combinación (1, 1, -1).
Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

Tomar nota de resultados de la corrida experimental. En la tabla III.4 se muestra el número de piezas con hundimiento en cada lote y la proporción por cada 50 procesadas, de la corrida 1, y en la tabla III.5 de la segunda corrida.

Tabla III.4. Matriz corrida 1.

V	T	P	10	10	10	10	10	P
-1	-1	-1	3	4	2	3	5	0.34
1	-1	-1	2	5	4	2	6	0.38
-1	1	-1	1	0	1	1	0	0.06
1	1	-1	0	0	0	0	0	0
-1	-1	1	1	1	0	1	3	0.12
1	-1	1	0	1	0	2	0	0.06
-1	1	1	3	2	2	4	5	0.32
1	1	1	1	0	2	1	0	0.08

Elaboración propia.

Tabla III.5. Matriz segunda corrida.

V	T	P	10	10	10	10	10	P
-1	-1	-1	2	6	3	3	4	0.36
1	-1	-1	4	2	2	3	2	0.26
-1	1	-1	1	0	1	0	0	0.04
1	1	-1	0	0	0	0	0	0
-1	-1	1	1	2	3	1	0	0.14
1	-1	1	1	0	1	0	0	0.04
-1	1	1	1	2	1	3	0	0.14
1	1	1	0	1	1	2	0	0.08

Elaboración propia.

Con los datos anteriores realizamos una tabla con los totales de las dos réplicas, como se muestra en la tabla III.6.

Tabla III.6. Totales de las dos corridas.

Combinación de tratamientos	Replica		Total	Yates
	I	II		
(-1, -1, -1)	0.34	0.36	0.7	1
(-1, -1, 1)	0.38	0.26	0.64	A
(-1, 1, -1)	0.06	0.04	0.1	B
(-1, 1, 1)	0	0	0	Ab
(1, -1, -1)	0.12	0.14	0.26	C
(1, -1, 1)	0.06	0.04	0.1	Ac
(1, 1, -1)	0.32	0.14	0.46	Bc
(1, 1, 1)	0.08	0.08	0.16	Abc

Elaboración propia.

III.3.2 Análisis del experimento

El análisis y cálculos para este experimento es sencillo y puede llevarse a cabo manualmente en unos minutos, es por eso que no se utilizó un software estadístico.

Cálculos estadísticos de los resultados

Calculamos los contrastes:

$$\begin{aligned}\text{Contraste A} &= [(0.64) + (0) + (0.1) + (0.16) - (0.7) - (0.1) - (0.26) - (0.46)] \\ &= -0.62\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Contraste B} &= [(0.1) + (0) + (0.46) + (0.16) - (0.7) - (0.64) - (0.26) - (0.1)] \\ &= -0.98\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Contraste C} &= [(0.26) + (0.1) + (0.46) + (0.16) - (0.7) - (0.64) - (0.1) - (0)] \\ &= -0.46\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Contraste AB} &= [(0) - (0.1) - (0.64) + (0.16) + (0.7) - (0.68) - (0.2) + (0.16)] \\ &= -0.18\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Contraste AC} &= [(0.7) - (0.64) + (0.1) - (0) - (0.26) + (0.1) - (0.46) + (0.16)] \\ &= -0.30\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Contraste BC} &= [(0.7) + (0.64) - (0.1) - (0) - (0.26) - (0.1) + (0.46) + (0.16)] \\ &= 1.5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Contraste ABC} &= [(0.16) - (0.46) - (0.1) + (0.26) - (0) + (0.1) + (0.64) - (0.7)] \\ &= -0.10\end{aligned}$$

Ahora calculamos los efectos:

$$\text{Efecto A} = \frac{-0.62}{8} = -0.0775$$

$$\text{Efecto B} = \frac{-0.98}{8} = -0.1225$$

$$\text{Efecto C} = \frac{-0.46}{8} = -0.0575$$

$$\text{Efecto AB} = \frac{-0.18}{8} = -0.0225$$

$$\text{Efecto AC} = \frac{-0.3}{8} = -0.0375$$

$$\text{Efecto BC} = \frac{1.5}{8} = 0.1875$$

$$\text{Efecto ABC} = \frac{-0.1}{8} = -0.0125$$

Calculamos la suma de cuadrados:

$$\text{SCA} = \frac{(-0.62)^2}{16} = 0.024025$$

$$\text{SCB} = \frac{(-0.98)^2}{16} = 0.060025$$

$$SCC = \frac{(-0.46)^2}{16} = 0.013225$$

$$SCAB = \frac{(-0.18)^2}{16} = 0.002025$$

$$SCAC = \frac{(-0.3)^2}{16} = 0.005625$$

$$SCBC = \frac{(1.5)^2}{16} = 0.140625$$

$$SCABC = \frac{(-0.1)^2}{16} = 0.000625$$

Calculamos la suma total de los cuadrados:

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} =$$

$$(.34)^2 + (.38)^2 + (.06)^2 + (0)^2 + (.12)^2 + (.06)^2 + (.32)^2 + (.08)^2$$

$$+ (.36)^2 + (.26)^2 + (.04)^2 + (0)^2 + (.14)^2 + (.04)^2 + (.14)^2 + (.08)^2 - \frac{(2.42)^2}{16}$$

$$= 0.270375$$

Podemos calcular el error:

$$0.270375 - [(0.024025 + 0.060025 + 0.013225 + 0.002025 + 0.005625 + 0.140625 + 0.000625)] = 0.0242$$

Con estos datos podemos elaborar la tabla de análisis de varianza como se representa en la tabla III.7.

Tabla III.7. ANOVA del experimento.

Factor variable	Suma cuadrados	GL	Cm	Fo
Veloiny A	0.024025	1	0.024025	7.9
Tiempogas B	0.060025	1	0.060025	19.8
Pres gas C	0.013225	1	0.013225	4.37
AB	0.002025	1	0.002025	0.66
AC	0.005625	1	0.005625	1.85
BC	0.140625	1	0.140625	46.48
ABC	0.000625	1	0.000625	0.20
Error	0.0242	8	0.003025	
Total	0.270375	15		

Elaboración propia.

En el anexo E, calculamos de la tabla el valor de F, $F_{0.01, 1, 8} = 3.46$, en este caso la velocidad de inyección, el tiempo de gas, la velocidad, la presión de gas y la interacción tiempo y presión de gas aparece como significativo. Podemos observar que el tiempo de gas y la interacción del tiempo y presión de gas son las más significantes.

Tabla III.8. Efectos estimados.

Efecto	Estimación
A	- 0.0775
B	- 0.1225
C	- 0.0575
AB	- 0.0225
AC	- 0.0375
BC	0.1875
ABC	- 0.0125

Elaboración propia.

Por medio de los efectos estimados que se muestran en la tabla III.8, podemos también observar estadísticamente los efectos que son significativos para el diseño.

Calculamos el error estándar de una estimación, es una estimación de su desviación estándar, y este a su vez es una estimación de la variación muestral o experimental que tiene dicho estimador, con la siguiente fórmula:

$$\text{Efecto estandarizado} = \frac{\text{Efecto}}{\sqrt{\frac{\text{CM}_{Error}}{n^{(k-2)}}}}$$

El cuadrado medio del error, es 0.0242 el cual habíamos calculado anteriormente, sustituimos valores en la fórmula para calcular los efectos estandarizados.

$$\text{Efecto estandarizado de A} = \frac{-0.0775}{0.0777} = -0.99$$

$$\text{Efecto estandarizado de B} = \frac{-0.1225}{0.0777} = -1.5$$

$$\text{Efecto estandarizado de C} = \frac{-0.0575}{0.0777} = -0.74$$

$$\text{Efecto estandarizado de AB} = \frac{-0.0225}{0.0777} = -0.28$$

$$\text{Efecto estandarizado de AC} = \frac{-0.0375}{0.0777} = -0.48$$

$$\text{Efecto estandarizado de BC} = \frac{0.1875}{0.0777} = 2.41$$

$$\text{Efecto estandarizado de ABC} = \frac{-0.0125}{0.0777} = -0.16$$

Los efectos calculados se pueden graficar en un diagrama de Pareto, el cual nos ayudara a visualizar los efectos que tienen mayor impacto sobre la variable de respuesta, se demuestra que el efecto estandarizado sirve de estadístico de prueba para probar la hipótesis. H_0 : Efecto poblacional = 0.

Contra la alternativa de que el efecto poblacional es diferente de cero, así se rechaza H_0 si el valor absoluto del efecto estandarizado es mayor que el valor crítico de tablas de la distribución de T student con v grados de libertad, en este ejemplo, el error tiene 8 grados de libertad y trabajando con $\alpha = 0.1$, de la tabla de T student, $t = 1.3$ (Anexo F), por lo tanto si el valor absoluto de la estimación del efecto estandarizado es mayor que 1.39, entonces el efecto poblacional correspondiente será estadísticamente diferente de cero, una forma fácil de hacer esta prueba es agregar una línea en el diagrama de Pareto estandarizado a la altura del valor crítico, por lo tanto, los efectos cuyas barras superen esta línea serán los efectos significativos. Con una simple inspección visual del orden de magnitud de los efectos estimados resulta eficiente en la práctica. Como se muestra en la figura III.22.

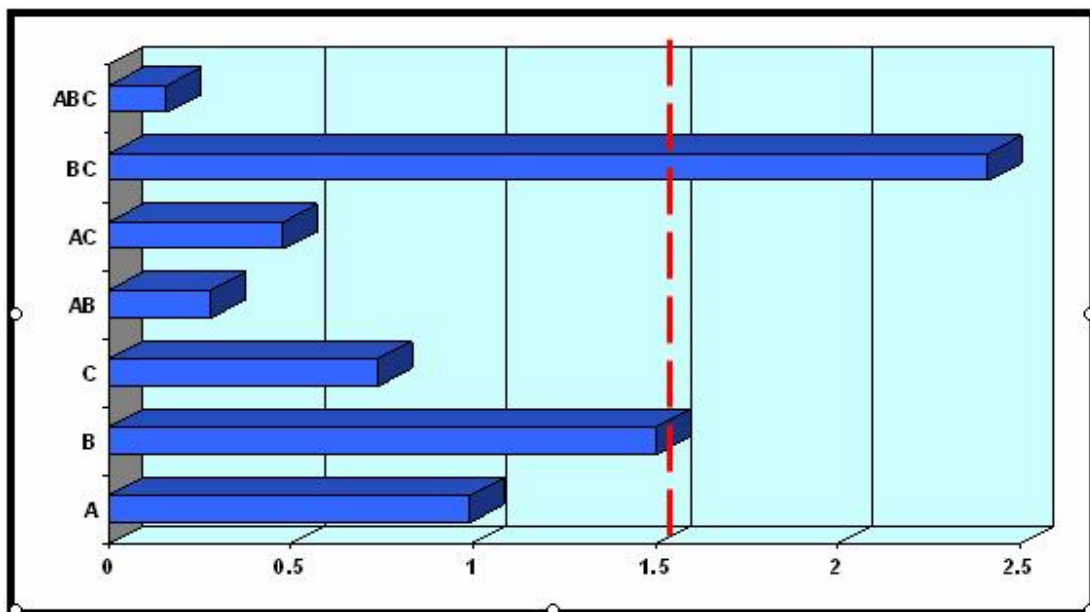


Figura III.22. Pareto de efectos estimados para piezas FCP 52" w 70.
Elaboración propia.

El diagrama muestra que los efectos significativos son: B, y la interacción BC.

Sorprendentemente, al menos para los técnicos de proceso, la presión de gas no es significativa por si sola. Los técnicos de procesos cuando tenían problemas de hundimiento aumentaban solo la presión de gas, pero el experimento arroja que si se aumenta el tiempo de gas y se reduce la presión de gas, disminuyen las piezas con hundimiento, se deduce que tal vez solo al aumentar la presión no alcanzaba a llegar las moléculas de gas hasta las orillas de la pieza que era donde básicamente se marcaban los hundimientos. Como se mencionó en el apartado, comportamiento del plástico en el proceso: La velocidad de inyección es la rapidez con la que se llena la cavidad del molde con el material plástico. Entre mas rápido se llena la pieza, las moléculas se orientan mejor, la viscosidad del plástico es menor, esto facilita el flujo del gas nitrógeno dentro de la pieza.

Se concluye que hay una interacción que minimiza el número de hundimientos en la pieza (1, 1, -1) = (4 in/seg, 5 seg, 500 psi).

III.3.3 Verificar

Se mantiene todo el turno C corriendo con la combinación (1, 1, -1) sin cambiar parámetros, se anexa en la prensa una hoja de observaciones para analizar problemas consecuentes o se realizan cambios al proceso los técnicos de este turno. Se encuentra corriendo la máquina en el turno A y según el reporte de producción, solo 7 piezas resultaron con hundimiento, y la máquina paro 20 minutos debido a que el supervisor de este turno lo solicitó por tener material acumulado.

III.3.4 Actuar

Teniendo la combinación que minimiza los hundimientos en la pieza, al proceso se le hacen cambios a los parámetros de apertura y cierre del molde, para reducir el ciclo de pieza a pieza, cabe aclarar que estos cambios no afectan en la variable de respuesta trazada en la pieza en estudio.

La velocidad de cierre de 8 in/seg a 5 in/seg, se puede observar que es una disminución en la velocidad de 3 in/seg, pero el slowdown 2 de cierre se encontraba en 12 in y lo reducimos a 4 in que es el mínimo que nos permite la máquina sin que el molde tenga un golpe, dicha combinación redujo 2 segundos en el cierre al proceso que se tenía anteriormente, al aumentar la velocidad de inyección a 4 in/seg, el tiempo de inyección se redujo de 3 seg a 1.5 seg. Pero se aumentó de 2 seg a 6 seg el tiempo de presión de empaque y de gas.

En la apertura del molde el breakway lo cambiamos de 0.5 in/s a 1.5 in/s esto es la velocidad de apertura que tiene el molde en la distancia de 2.25 in a 9 in, y el molde se frena en 36.5 in, donde en el proceso anterior frenaba en 35 in, este cambio provoca que el molde abra mas rápidamente teniendo un tiempo de apertura de 6 segundos, además el tiempo de enfriamiento se reduce en 3 segundos, de la nueva combinación se obtiene un tiempo total de ciclo de 61.5 segundos de pieza a pieza, en la figura III.23 se representa gráficamente los tiempos del nuevo proceso, y en la figura III.24 se observa el nuevo proceso de la pieza.

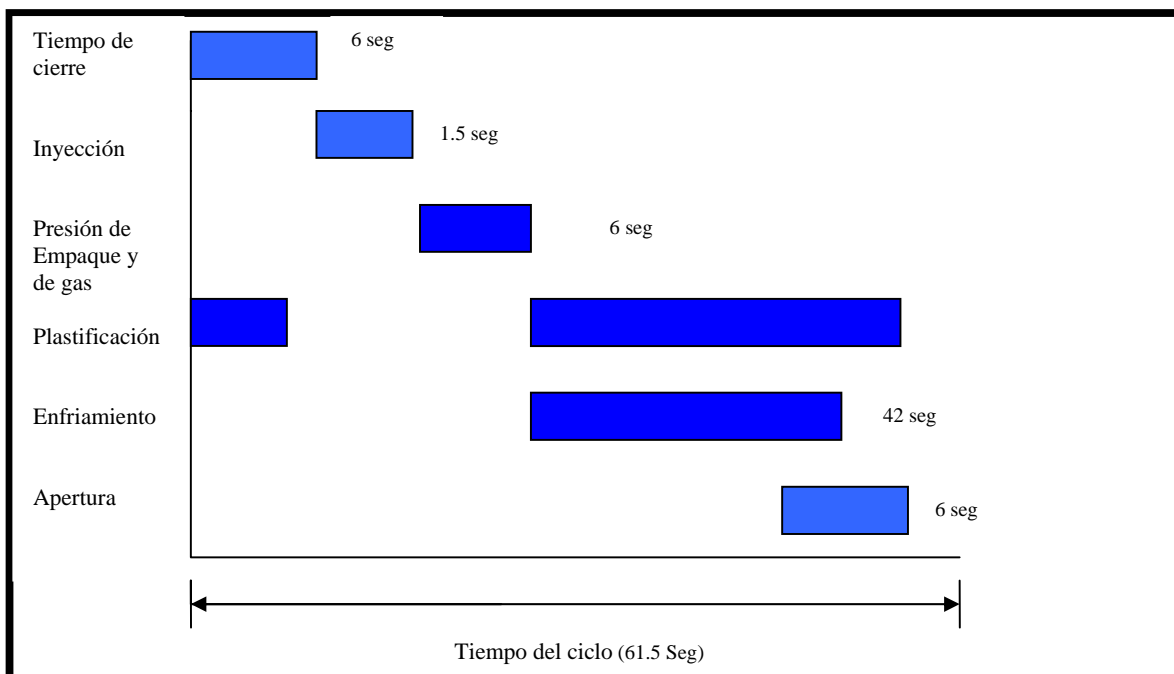


Figura III.23. Secuencia de ciclo de inyección de la pieza FCP 52" w70 (proceso nuevo).
Fuente: Proceso de moldeo por inyección FCP 52" w 70, Manufacturas Avanzadas, 2006.

TTE Manufacturas Avanzadas S.A. de C.V.											
FECHA		SUPERVISOR		ING. DE PROCESOS		MASA					
19/01/2006		H.Gonzalez		O.Olmos							
TECNICO		MATERIAL		PR. CIN1:		Z#		NOMBRE DE PARTE			
L.Gutierrez		731 PS		1 0 2		1		FCP 52" W70			

Page # 3 Clamp Set-Up Fast (in/s) Inter (in/s) Mold Protect (Psi) 12.00 5.00 300 Slowdown 1 Slowdown 2 Mold touch 28.00 4.00 2.25 Open Limit Slowdown Fast 38.00 36.50 9.00 H Ton 500 Fast (in/s) Breakaway (in/s) Lo Ton 12.00 1.50 450	Page # 4 Ejection Set-Up Star Eject (in) Pulses 38.0 1 Retract Limit (in) Intern (in) Fast FWD (in) FWD (in) 0.20 1.00 1.50 2.00 Retract (in) FWD SPD 1 (in/s) FWD SPD 2 (in/s) 0.20 0.80 1.50 Dwell 1 Dwell 2 0.00 0.90	Page # 5 Temperature Set-Up (Tol ± 20%) Alarm Band % 10 Nozzle Nozzle Valve Zone 1 Zone 2 Zone 3 Zone 4 420 N/A 410 410 400 400 Z1 Z2 Z3 Z4 Z5 N/A N/A N/A N/A N/A Z6 Z7 Z8 Z9 Z10 N/A N/A N/A N/A N/A Z11 Z12 Z13 Z14 N/A N/A N/A N/A	Page # 6 Timers Cycle Alarm limit 65.0 Most recent cycle 61.6 Open Dwell 0.50 Inject High 20% 5.00 Fill (Act) 1.5 Pack 0.50 Hold 0.50 Cooling 20% 42.0 Extruder Delay 0.00
Page # 7 Injection Velocity Shot Control %Error Cushion (in) OFF 10 0.3 20% Shot XFER % % % % Size (in) 0.3 N/A N/A 30 70 4.10 in/s 5 in/s 4 in/s 3 in/s 2 in/s 1 N/A N/A N/A 4.00 4.00 20% 20% 20% 20% 20%	Page # 8 Pack and Hold High Limit 1600 Psi Pack 0.50 Sec 100 Psi N/A Psi Hyd. TFER N/A Psi Hold 0.5 Sec 100 Psi	Page # 9 Extruder RPM Decomp. (in) 0.10 Shot Size (in) 20% 4.10 Screw Speed (rpm) % 1 55 N/A 2 50 Back Pressure (Psi) 1 200 N/A 2	Page #19 Core Set-Up Core set Core Pull A1 N/A B1 N/A A2 N/A B2 N/A A3 N/A B3 N/A A4 N/A B4 N/A Core Timed N/A Set. Time: N/A sec Pull. Time: N/A sec
Page # 20 Auxiliary Mold Gate enable N/A Auxiliary mold eject N/A	Gain Injection Delay 0.00 P1 500 Psi t1 5.00 sec P2 N/A Psi t2 N/A sec P3 N/A Psi t3 N/A sec P4 N/A Psi t4 N/A sec P5 N/A Psi t5 N/A sec P6 N/A Psi t6 N/A sec Vent on N/A inj. Cycle N/A	SECUENCIADOR 1 2 3 4 5 6 N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A Commentaries: AGUA DE THERMO A 110°F	Water Configuration Chiller N/A Core Tower N/A Core Thermo <input checked="" type="checkbox"/> Cavity <input checked="" type="checkbox"/> Core
Page #100 Screen Config. A Injection Speed (1 - 5) 2 B Pack Pressure (1 - 5) 1 C Hold Pressure (1 - 5) 1 D Screw RPM and Back (1 - 5) Pressure 1			

NOTA: ESTOS SON DATOS DE REFERENCIA
Todos los parametros con % son para el monitoreo y control del proceso.

Figura III.24. Proceso de moldeo de las pieza FCP 52" w 70.

Fuente: Manufacturas Avanzadas, 2006.

CONCLUSIONES

Después del análisis de los resultados obtenidos en esta investigación se concluye que el diseño de experimentos es una herramienta adecuada para encontrar los

valores óptimos de operación al proceso de moldeo por inyección de plástico de la pieza FCP 52" w 70. Por lo cual, el objetivo y la hipótesis planteados en las generalidades se cumplen.

Como se puede observar en la figura 3 de acuerdo a los reportes de producción de los meses de enero y febrero del 2006 el número de piezas FCP 52" w 70 defectuosas disminuyeron en comparación con los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2005 además de reducir el ciclo de pieza a pieza como se muestra en la figura 4.

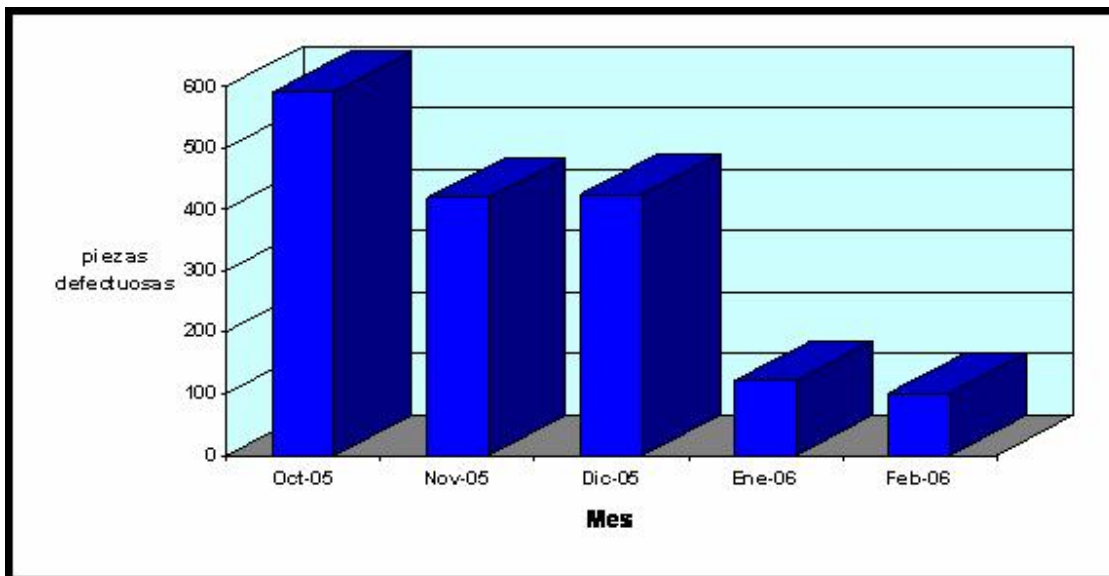


Figura 3. Número de piezas defectuosas por mes.
Elaboración propia.

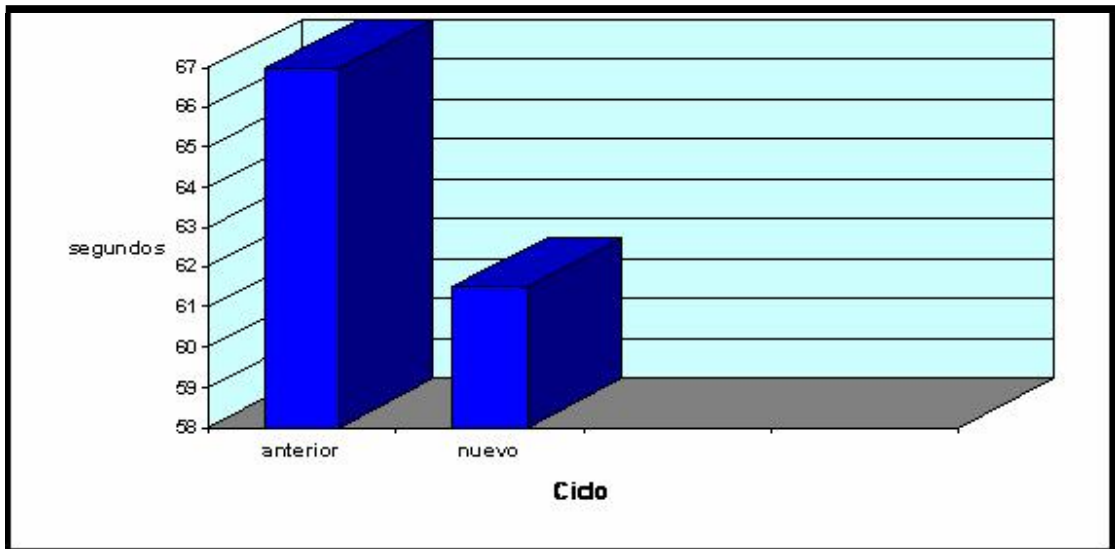


Figura 4. Ciclo de pieza a pieza proceso anterior y proceso nuevo.
Elaboración propia.

Cabe aclarar que antes del experimento, no existía una metodología para resolver el problema debido a que se trabajaba, apelando a la experiencia y a la intuición; en lugar de seguir un plan experimental adecuado.

Al proponer el diseño de experimentos se tenía cierta expectativa por parte del departamento acerca de esta herramienta y metodología.

La investigación de esta tesis arrojó que para la aplicación del diseño de experimentos, no se requieren análisis estadísticos sofisticados, ni diseños complicados, sino experimentos bien conducidos, para tener mejoras importantes.

En la tabla 2 se muestran las comparaciones significativas antes y después del experimento.

Tabla 2. Comparación antes y después del experimento

	Antes del experimento	Después del experimento
Pérdidas económicas, piezas defectuosas por mes	1, 599 dlls	148 dlls
Promedio piezas con hundimiento	43 pzs	4 pzs
Promedio tiempo muerto de máquina debido a reajuste	34 min	6 min
Ciclo de producción de pieza a pieza	67 seg	61.5 seg
Producción de piezas por turno (12 horas)	644 pzs	702 pzs
Velocidad de Inyección	1.5 in/seg	4 in/seg
Tiempo de Gas	1 seg	5 seg
Presión de Gas	2000 psi	500 psi

Elaboración propia.

La base del conocimiento es el aprendizaje, aprendiendo sobre los procesos (cualquiera que sea el caso), se podrán mejorarlos. El diseño de experimentos, al posibilitar la obtención eficiente de datos altamente informativos constituye por tanto una herramienta esencial para el progreso de los conocimientos, que son la única base sobre la que puede sustentarse un proceso permanente de mejora continua de la calidad y la productividad.

Es por eso que documentar y conocer a fondo sobre cualquier proceso, es esencial para un ingeniero industrial.

RECOMENDACIONES

1.- Se recomienda a los ingenieros de procesos de moldeo por inyección de plásticos aplicar el diseño de experimentos a los diferentes problemas que se puedan presentar en este proceso.

2.- Para la elección de los niveles de los factores, se recomienda basarse en el proceso de una pieza similar.

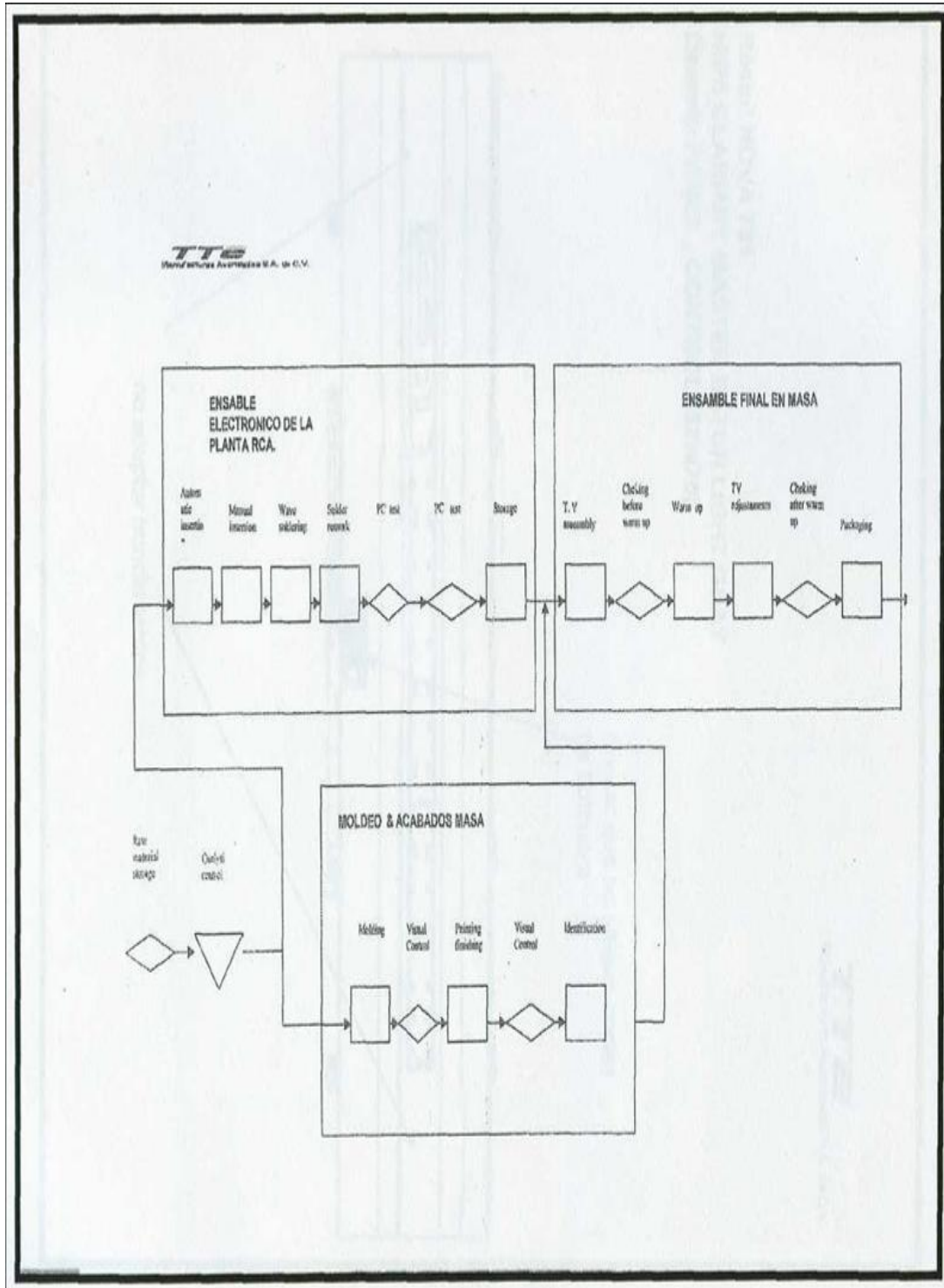
3.- La demanda de productos de plástico se encuentra estrechamente vinculada al crecimiento de la población, es por eso que esta industria esta creciendo. En el año 2004 existían 2,500 empresas en nuestro país y por experiencia propia las industrias solicitan ingenieros industriales que conozcan los procesos de moldeo por inyección de plástico, es por eso que se recomienda al Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, que se amplíe mas sobre este tema.

BIBLIOGRAFÍA

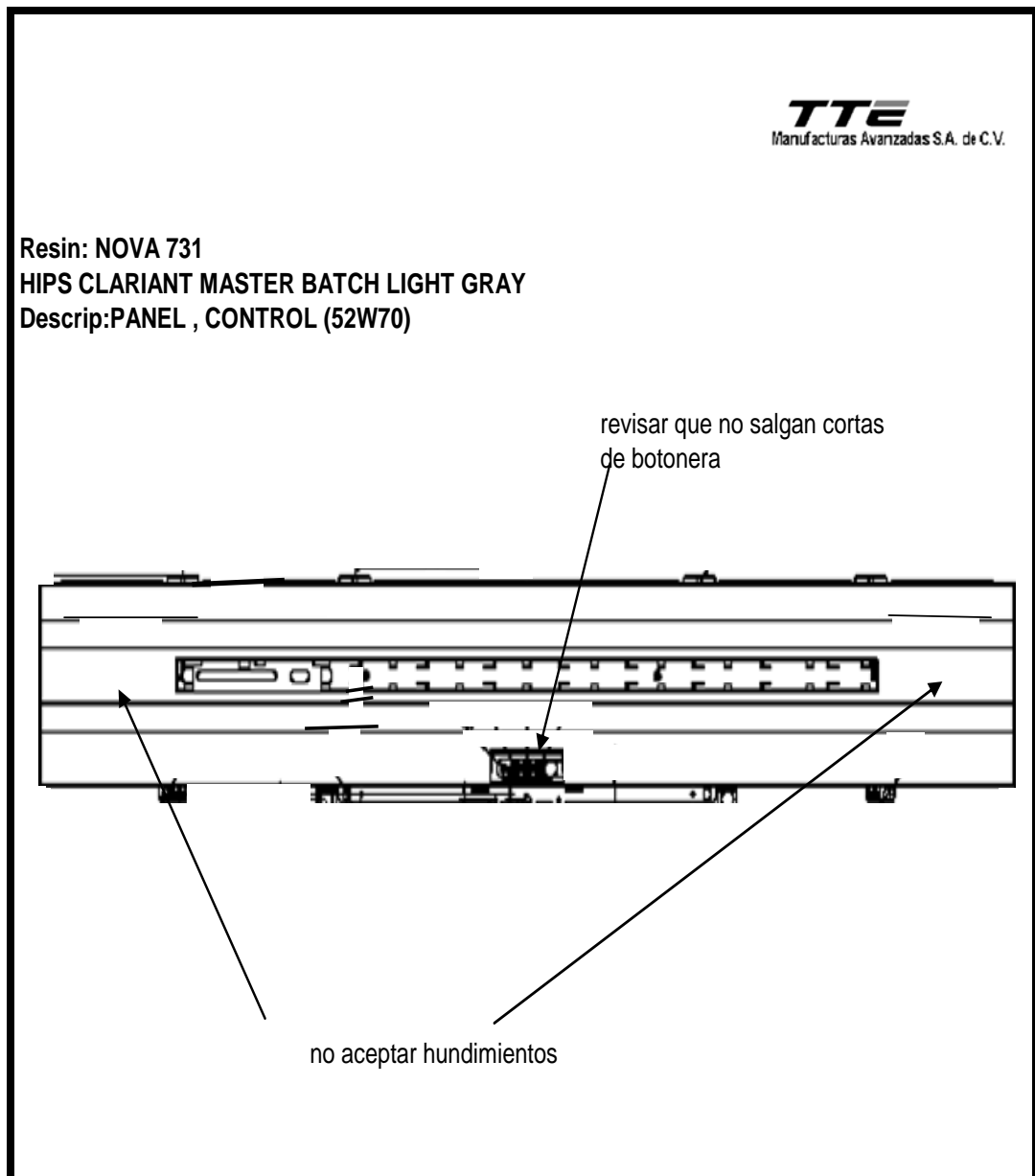
1. Beaumont J. P., "Successful injection molding, process, design and simulation", USA, Hanser, 2002, 362 p.
2. Belofsky H., "Product design and process engineering", USA, Hanser, 1995, 630 p.
3. Hodson W., "MAYNARD, Manual del ingeniero industrial", México, Mc Graw Hill, 1996, 15.86p.
4. Gutiérrez H., "Análisis y diseño de experimentos", México, Mc Graw Hill, 2004, 571 p.
5. Kauzmann W., "Teoría cinética de los gases", España, Reverté, 1970, 241 p.
6. Montgomery D., "Diseño y análisis de experimentos", México, Iberoamericana, 1991, 589 p.
7. Morton D., "Procesamiento de plásticos, inyección moldeo, hule, pvc", México, Limusa, 1999, 302 p.
8. Münich Lourdes., "Calidad y mejora continua, principios para la competitividad y la productividad", México, Trillas, 2005, 124p.
9. Plastics engineering handbook of the society of the plastics industry, Inc., USA, VNR, 1976, 909 p.
10. Richardson T., "Industrial plastics, theory and application", USA, South-Western publishing co., 1983, 661 p.
11. Rubin I., "Materiales plásticos, propiedades y aplicaciones", México, Limusa, 1999, 235 p.
12. Sánchez V., "Moldeo por inyección de termoplásticos", México, Limusa, 2002, 222 p.

ANEXOS

ANEXO A: PROCESO GENERAL DE PRODUCCIÓN DE MASA.



ANEXO B: CONFIGURACIÓN DE LA PIEZA FCP 52" W 70.



ANEXO C: CARACTERÍSTICAS DE MÁQUINA CINCINNATI MILACRON.

1000 Ton Hydraulic Clamp Plastics Injection Molding Machine Wide Platen

Standard Features	Standard Options	Clamp Unit Specifications	
Machine leveling pads	Air ejection	Clamping force, tons	1000
Linear clamp position control	Pulsating ejection	Clamp opening force, tons	47
Bi-metallic barrel	Core pull/selectable	Main ram diameter, in.	30-25
Automatic strain rod lubrication	Water saver valve	Clamp traverse cylinders (2) piston/rods dia's.	6/4
Swing away hopper	Vented barrel	Clamp stroke, in.	48
Fully automatic cycling	Nozzle shutoff valve	Distance between tie rods (HxV), in.	60 x 44
Full SPI knockout pattern	Run time meter	Platen size (HxV), in.	79 x 63
Low pressure mold protection	Holes in knockout bar	Maximum mold space (HxV), in.	60 x 63
Melt decompression	Sprue break	Maximum daylight, in.	
Injection hi-lo limit switch	Mixing head	(with ejector box and 12" spacer)	60
Ballcheck screw tip	PVC molding	(with ejector box)	72
Clamp low pressure mold holding	Cycle counter	(without ejector box and spacer)	92.5
Full range paint colors	HDPE molding	Minimum mold thickness, in.	
Purge shield	Flow molding	(with ejector box and 12" spacer)	12
Manifolded hydraulics	Process control	(with ejector box)	24
Screw speed tachometer	24:1 L/D	(without ejector box and spacer)	44.5
Full hydraulic clamp	Pyrometer control nozzle heat	Clamp ram speeds, in.	
Power operated gate	Oil temperature alarm	Fast close	1488
Mechanical ratchet jam bar		Slow close	108
Direct hydraulic screw drive		Fast open	1500
Power-pivoting injection unit		Slow open	88
Solid state machine control		Stationary platen pilot ring dia. in.	5 (+.002"-.001")
		Tie rod diameter, in.	7.5
		System hydraulic pressure, psi.	2000
		Clamp holding pressure, psi.	2600
		Parts drop clearance, in.	24
		Oil reservoir capacity, gal.	770
		Hydraulic ejection system	
		Ejection force, tons	28
		Stroke, in.	8
		Forward speed, in/sec.	0-5.0
		Reverse speed, in/sec.	7.7

Machine Dimensions Overall			
Model	1000-165	1000-225	1000-300
Length, in.	446	479	511
Width, in.	106	106	106
Height, in.	144	144	144
Shipping weight (est.), lbs.	140000	142000	147000

1000 Ton Hydraulic Clamp Plastics Injection Molding Machine

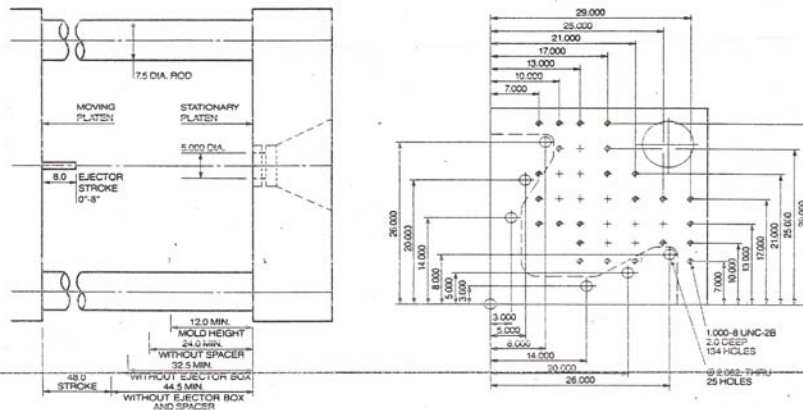
Injection Unit Specifications

Model	1000-165	1000-225	1000-300
Maximum injection capacity (oz.) G.P. Polystyrene	165	225	300
Maximum injection capacity (cu. in)	286	390	565
Screw diameter (inches)	4.5	5.25	6.0
L/D ratio	20:1	20:1	20:1
Rate of Injection (cu. in./sec.)	75	78	78
Injection stroke (inches)	18	18	20
Maximum injection pressure—(PSI)	20,000	20,000	20,000
Screw torque (in.-lbs.) max	91,200	120,000	180,000
Screw speed max. RPM.	125	135	100

Electrical Specifications

Model	1000-165	1000-225	1000-300
Number of electric motors	2	2	3
Total rated HP	175	175	225
Total heating wattage, kW.	50	58.4	73.5
Number of heat control zones (barrel / nozzle)	4/1	4/1	4/1


Mold Space and Platen Layout Data



All specifications reflect average values based on typical machine layouts. Actual figures will vary depending on final machine configuration. If you require more specific data, consult a certified installation print for your particular machine. Performance specifications are based on theoretical data. Shipping weights reflect average historical values. Due to continual improvements, specifications are subject to change without notice.

For more detailed technical data, please write to:
Cincinnati Milacron
Plastics Machinery Division
4165 Hartsacre Road, Batavia, Ohio 45103
Phone 513/536-2000
Telex 21-4103 MILACRON SATV

ANEXO D: HOJA TÉCNICA DE RESINA 731G NOVA.

731G		 NOVA Chemicals Polystyrene			
High Impact Product Data Sheet					
FEATURES: <ul style="list-style-type: none"> • Balance of Stiffness and Toughness • High Impact • UL 94 HB Classification • USP Class VI 			APPLICATIONS: <ul style="list-style-type: none"> • Razor Components • Personal Care • Consumer Goods 		
Properties (1)	S.I. Units	Typical Values (2) (S.I.)	English Units	Typical Values (2) (Eng.)	ASTM
Tensile Strength, Yield	MPa	25	psi	3600	D 638
Elongation at Failure	%	40	%	40	D 638
Tensile Modulus	MPa		psi x 10 ³		D 638
Flexural Strength @ 5%	MPa	34	psi	5,000	D 790
Flexural Modulus	MPa	1,724	psi x 10 ³	250	D 790
Impact Strength, Notched Izod, 1/8" bar, 0.010" Notch Radius	J/m	133	ft-lb/in of notch	2.5	D 256
Melt Flow Rate, 200/5.0	g/10 min	4.0			D 1238
Vicat Softening Temp. Method B	°C	101	°F	214	D 1525
DTUL @ 1.8 MPa (264 psi)	°C	90	°F	194	D 648
Specific Gravity	-	1.04	-	1.04	D 792
Linear Mold Shrinkage	mm/mm	0.004 – 0.007	in/in	0.004 – 0.007	D 955

(1) Properties were determined on injection molded specimens following the protocols of ASTM D4549 "Standard Specification for Polystyrene Molding and Extrusion Materials" unless otherwise specified.

(2) Typical Values represent average laboratory values and are intended as guides only, not as specific specification limits.

IMPACT PS


NOVA Chemicals
 PRODUCT DATA SHEET
731G

(continued)

TEST METHODS

The product properties designated in this standard have been determined in accordance with the current issues of the specified testing methods. Methods of the American Society for Testing and Materials (ASTM) are used wherever applicable.

AVAILABILITY

NOVA Chemicals polystyrene resins are available in bulk, railcar, truckload quantities, multiwall bags or 500 kg (1,102 lb.) cartons.

PROCESSING

Recommended Melt Temp.	375°F – 525°F 190°C – 274°C
Recommended Mold Temp.	100°F – 180°F 38°C – 82°C
Hardness, Rockwell M Scale	
Electrical Properties:	
Dielectric Constant at 10 ⁶ CPS	2.59
Dielectric Strength, 1/8"	500

In addition, exposure to gamma radiation in the 2.02-6.06 megarad range has no significant effect on the physical and optical properties of the material.



Each of NOVA Chemicals polystyrene manufacturing facilities has achieved ISO 9002 certification, a further assurance of our quality products, services, and solutions.



A Responsible Care® Company

We are guided by Responsible Care principles; we will never compromise our commitment to personal and corporate integrity, workplace health and safety, and protection of the environment. NOVA Chemicals is a leader in emergency response and community outreach.

JUNE 2003

FOOD PACKAGING STATUS

Canada: Please contact NOVA Chemicals for information on the use of this resin in the packaging of specific foodstuffs in Canada.

United States: 731G complies with the specifications contained in U.S.A. Food and Drug Administration (FDA) regulation 21 CFR 177.1640 for polystyrene and rubber-modified polystyrene, and thus may be used in the United States as an article or a component of an article intended for use in contact with food, subject to any limitations described in the regulations.

ENVIRONMENTAL

NOVA Chemicals polystyrene resins are biologically and chemically inert, but improper disposal may present an ingestion hazard to wildlife. Where recycling of NOVA Chemicals polystyrene resins is not possible, disposal to landfill or incineration in accordance with all applicable government laws and regulations is recommended. Please contact NOVA Chemicals Technical Service for further information on recycling and disposal of NOVA Chemicals resins.



is the SPI resin code developed for polystyrene to identify material type for sorting and recycling purposes.

TECHNOLOGY

NOVA Chemicals
 Styrenics Technology Center
 400 Frankfort Road
 Monaca, PA 15061
 Phone: (800) 206-0768

SALES AND MARKETING

NOVA Chemicals
 Styrenics Sales & Marketing
 Westpointe Corporate Center
 1550 Coraopolis Heights Road
 Pittsburgh, PA 15108
 Phone: (866) ASK-NOVA
 Or Phone: (866) 275-6682


NOVA Chemicals

ANEXO E: VALORES DE F, Y PROBABILIDAD ASOCIADA AL F, $P(X>x) = 0.10$.

d./n.	1	2	3	4	5	6
1	39.863458	49.500000	53.593245	55.832961	57.240077	58.204416
2	8.526316	9.000000	9.161790	9.243416	9.292626	9.325530
3	5.538319	5.462383	5.390773	5.342644	5.309157	5.284732
4	4.544771	4.324555	4.190860	4.107250	4.050579	4.009749
5	4.060420	3.779716	3.619477	3.520196	3.452982	3.404507
6	3.775950	3.463304	3.288762	3.180763	3.107512	3.054551
7	3.589428	3.257442	3.074072	2.960534	2.883344	2.827392
8	3.457919	3.113118	2.923796	2.806426	2.726447	2.668335
9	3.360303	3.006452	2.812863	2.692680	2.610613	2.550855
10	3.285015	2.924466	2.727673	2.605336	2.521641	2.460582
11	3.225202	2.859511	2.660229	2.536188	2.451184	2.389067
12	3.176549	2.806796	2.605525	2.480102	2.394022	2.331024
13	3.136205	2.763167	2.560273	2.433705	2.346724	2.282979
14	3.102213	2.726468	2.522224	2.394692	2.306943	2.242559
15	3.073186	2.695173	2.489788	2.361433	2.273022	2.208082
16	3.048110	2.668171	2.461811	2.332745	2.243758	2.178329
17	3.026232	2.644638	2.437434	2.307747	2.218253	2.152392
18	3.006977	2.623947	2.416005	2.285772	2.195827	2.129581
19	2.989900	2.605612	2.397022	2.266303	2.175956	2.109364
20	2.974653	2.589254	2.380087	2.248934	2.158227	2.091322
21	2.960956	2.574569	2.364888	2.233345	2.142311	2.075123
22	2.948585	2.561314	2.351170	2.219274	2.127944	2.060497
23	2.937356	2.549290	2.338727	2.206512	2.114911	2.047227
24	2.927117	2.538332	2.327390	2.194882	2.103033	2.035132
25	2.917745	2.528305	2.317017	2.184242	2.092165	2.024062
26	2.909132	2.519096	2.307491	2.174469	2.082182	2.013893
27	2.901192	2.510609	2.298712	2.165463	2.072981	2.004519
28	2.893846	2.502761	2.290595	2.157136	2.064473	1.995851
29	2.887033	2.495483	2.283069	2.149415	2.056583	1.987811
30	2.880695	2.488716	2.276071	2.142235	2.049246	1.980333
40	2.835354	2.440369	2.226092	2.090950	1.996820	1.926879
60	2.791068	2.393255	2.177411	2.040986	1.945710	1.874720

ANEXO F: VALORES DE T STUDENT Y PROBABILIDAD P ASOCIADA EN FUNCIÓN DE LOS GRADOS DE LIBERTAD

Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800