Corporación Mexicana de Investigación en Materiales

División de estudios de Postgrado

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Desarrollo, Experimentación e Implementación de Moldeo Científico.

Tesis

Que para Obtener el grado Académico de

Maestro en Ciencia y Tecnología en la Especialidad de Ingeniería Industrial y Manufactura

Presenta

Ing. Antonio Salcedo Calleros

Saltillo Coahuila, México a 20 de Diciembre del 2007

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.

Gerencia de Desarrollo Humano

División de Estudios de Postgrado

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial recomendamos que la Tesis **"Desarrollo, Experimentación e Implementación de Moldeo Científico".** Realizada por el alumno **Antonio Salcedo Calleros**, matrícula **026IM3023,** sea aceptada para su defensa como Maestro en Ciencia y Tecnología con Opción Terminal en **Ingeniería Industrial y Manufactura.**

El Comité Tutorial

Tutor Académico
Director de Tesis
Dr. Luis Martín Torres Treviño

Tutor en Planta
Ing. Carlos Dávalos Vivanco

Asesor
Dr. Pedro Pérez Villanueva

Asesor
Dr. Manuel Román Piña Monarrez

VoBo.
M.C. Claudia A. González Rodríguez
Coordinación General de Estudios de Posgrado CQMIMSA

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C. V.

Gerencia de Desarrollo Humano

División de Estudios de Postgrado

Los abajo firmantes, miembros del Jurado del Examen de Grado del alumno **Antonio Salcedo Calleros**, una vez leída y revisada la Tesis titulada **"Desarrollo, Experimentación e Implementación de Moldeo Científico"**, aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por el alumno para aspirar al grado de **Maestro** en Ciencia y Tecnología en la opción terminal de **Ingeniería Industrial y Manufactura** durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente a los 18 días del mes de Diciembre del año dos mil siete.

Dr. Manuel Román Piña Monarrez
Presidente

Dr. Pedro Pérez Villanueva
Secretario

M.C. Félix de Jesús Sánchez Pérez
Vocal

M.C. Martina Aguilar Alanís
Vocal

Dr. Luís Martín Torres Treviño
Vocal (Tutor Principal)

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

POSGRADO INTERINSTITUCIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES, S.A. DE C. V.

DESARROLLO, EXPERIMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MOLDEO CIENTÍFICO

TESIS

Presentada como requisito parcial para la obtención del Título de

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Especialidad en Ingeniería Industrial y de Manufactura

Por

ANTONIO SALCEDO CALLEROS

20 de Diciembre del 2007

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

POSGRADO INTERINSTITUCIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES, S.A. DE C.V.

DESARROLLO, EXPERIMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MOLDEO CIENTÍFICO

TESIS

Que presenta como requisito parcial para la obtención del Título de

MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Especialidad en Ingeniería Industrial y de Manufactura

Por

ANTONIO SALCEDO CALLEROS

Bajo la dirección del Dr. Luís Martín Torres Treviño

20 de Diciembre del 2007

Miembros del jurado:

Dr. Luis Martín Torres Treviño	COMIMSA-CONACYT / Tutor académico
Dr. Pedro Pérez Villanueva	COMIMSA-CONACYT / Asesor
Dr. Manuel Piña Monarrez	COMIMSA-CONACYT / Asesor
M. C. Félix de Jesús Sánchez Pérez	UAAAN / Revisor
M.C. Martina Aguilar Alanís	MABE / Revisor

RESUMEN

La presente tesis desarrolló, experimentó e implementó una metodología científica llamada Moldeo Científico. Esta metodología tiene su aplicación en los procesos de inyección del plástico, iniciando primeramente en la selección de la parte o pieza en la cual se llevará esta metodología, en segunda instancia se toma como base las especificaciones dimensionales que la pieza debe cumplir y que fueron definidas previamente en un plano o dibujo, llamadas críticos para la calidad en este caso: ANCHO (especificación 26.660 +/- 0.030 pulgadas) y LARGO (especificación 25.837 +/- 0.070 pulgadas) ya que si la pieza moldeada no cumple con estas especificaciones al momento de ser ensamblada en la lavadora puede generar ruido y por lo tanto un reclamo del cliente. En un tercer paso se lleva acabo un análisis estadístico llamado capacidad de proceso tomando los resultados dimensionales históricos de los críticos de calidad obtenidos en las auditorias de calidad que se realizan a la pieza del día con día, plasmadas en el plan de control del historial dimensional de la pieza para tener un punto de partida y comparar los resultados del antes con el después. El cuarto paso es mejorar el proceso y la pieza moldeada mediante diseños de experimentos, en esta investigación, se empleo el software MINITAB®, en el cual se deben tomar en cuenta las variables que afectan al proceso y a la pieza ya que es importante aclarar que la pieza ya está moldeada es decir está completamente formada. El quinto paso es que cuando ya se tiene el control de las dimensiones que fueron mejoradas mediante el diseño de experimentos se procede a optimizar el tiempo de ciclo de inyección, mediante el análisis de gráficos de reología empleando para ello el software EXCEL®, esto es con la finalidad de que el proceso sea productivo, obteniendo ganancias económicas y dejando procesos bien documentados bajo una metodología científica.

A Dios y a la Virgen de Guadalupe que me prestan la vida para llevar mi formación personal como profesional, a mi esposa Thania y a mi hija Elizabeth por su amor y soporte a lo largo de mi formación académica, las amo.

AGRADECIMIENTOS

Como todo trabajo de investigación, el presente es el resultado del esfuerzo y colaboración de un gran número de personas. Aunque siempre es difícil agradecer a todos y cada una de las personas involucradas, quiero comenzar por mi familia en especial a mi esposa Thania Torres Martínez y a mi hija Elizabeth Saledo Torres, por su paciencia motivación e impulso para mantenerme competitivo, así mismo un amplio agradecimiento para mis padres, hermanos, suegros y cuñadas.

En el plano académico, agradezco a mi tutor el Dr. Luís Martín Torres Treviño por su ayuda y consejos a lo largo de estos 2 años de mi formación como Maestro en Ciencias y Tecnología. Debido a mi enfoque práctico, sus pacientes asesorías me ayudaron a enfocar la investigación de manera más clara y objetiva bajo un marco de rigor científico, lo que resultó ciertamente complejo para ambos.

Del mismo modo, quiero agradecer a la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V. por la oportunidad de conocer tanto a profesores como al Dr. Pedro Pérez Villanueva, Dr. Manuel Piña Monarrez, C. a Dr. M.C. Cuauhtemoc Sánchez Ramírez, Dr. Miguel Gastón Cedillo y al M. C. Félix de Jesús Sánchez Pérez, además de alumnos igualmente motivados por la búsqueda de soluciones innovadoras a problemas de la industria mexicana. Pienso sobre todo en Cuauhtemoc Sánchez, Ariel Sandoval, Guillermo Gudiño, Alejandro Chang y Julio Valdez, con quienes compartí grandes momentos de incertidumbre ante los desafiantes retos que nuestra formación nos ofrecía. Otro soporte decisivo para poder hacer esta entrega lo es mi asesor en planta, Ing. Carlos Dávalos Vivanco, Ing. Germán Arango Estrada, M.C. Martina Aguilar Alanís y el M.C. Sergio Aguilar quienes además de información y soporte, me brindaron tiempo, recurso muy valioso en el entorno laboral, lo que me permitió tomar asesorías, clases y prácticas en horarios asignados al trabajo. Un último, pero no menos importante, un sentido agradecimiento para el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a Mabe, ya que gracias a su apoyo económico me ha sido posible mejorar mis competencias y transferir a través de mi tesis, prácticas y conocimientos de utilidad a otros profesionales interesados en el tema Moldeo Científico.

ÍNDICE

Resumen **5**

Agradecimientos **7**

Índice **9**

Lista de figuras **12**

Lista de tablas **13**

Lista de gráficas **14**

1. Introducción **16**

1.1. Motivación 16

1.2. Definición del problema y justificación 20

1.3. Preguntas claves de la investigación 21

1.3.1. Alcances y limitaciones de la investigación 21

1.3.2. Contribución de la investigación 22

1.3.3. Contribución industrial 23

1.4. Organización del documento 23

1.5. Publicaciones 24

2. Antecedentes **25**

2.1. Implementación de moldeo científico 25

2.2. Como controlar las variaciones de proceso, alto a las rebabas 27

2.3. Capacidad de proceso 28

2.4. Análisis de gráficos de reología 29

2.5 Monitoreo de presión interior del molde para reducir los costos de producción 33

2.6 Conclusiones 34

3. Metodo **36**

3.1. Etapa 1. Definición del equipo de apoyo técnico y definición de la parte o pieza a mejorar y proceso a optimizar..... 38

3.1.1. Definición del equipo de apoyo..... 38

3.1.2. Definición de la parte o pieza a mejorar y proceso a optimizar..... 39

3.2. Etapa 2. Evaluación de la maquina de inyección, evaluación del molde de inyección..... 39

3.2.1. Evaluación de la maquina de inyección..... 39

3.2.2. Evaluación del molde de inyección 39

3.3. Etapa 3. Aseguramiento del sistema de medición repetibilidad y reproducibilidad, capacidad de proceso Z´s y PPM´s (antes de la mejora).... 40

3.3.1 Aseguramiento del sistema de medición repetibilidad y reproducibilidad... 40

3.3.2. Capacidad de Proceso Z´s y PPM´s (antes de la mejora)..... 41

3.4. Etapa 4. Diseño de experimentos (mejora de la parte moldeada) Capacidad de Proceso (después de la mejora) 41

3.4.1 Diseño de experimentos (mejora de la parte moldeada)..... 41

3.4.2. Capacidad de proceso (después de la mejora)..... 44

3.5. Etapa 5. Gráficos de reología (Optimización del Tiempo de Ciclo)..... 44

3.5.1. Parámetros de la unidad de prensa..... 44

3.5.2. Parámetros de inyección..... 46

3.5.3 Parámetros de proceso de inyección..... 49

3.5.4. Prueba de aceptación del proceso de inyección..... 50

3.5.5. Instalación del molde y revisión del criterio del ciclo en seco..... 52

3.5.6. Desarrollo del grafico de reología..... 54

3.6. Etapa 6. Control de la mejora 57

3.7. Conclusiones 58

4. Experimentación 59

4.1.Experimentación Etapa 1. Definición del equipo de apoyo técnico y definición de la parte o pieza a mejorar y proceso a optimizar 59

4.2. Experimentación Etapa 2. Evaluación de la maquina de inyección, evaluación del molde de inyección 63

4.3. Experimentación Etapa 3. Aseguramiento del sistema de medición repetibilidad y reproducibilidad, capacidad de proceso Z´s y PPM´s (antes de la mejora)..... 64

4.3.1 Aseguramiento del sistema de medición repetibilidad y reproducibilidad..... 64

4.3.2. Capacidad de proceso Z´s y PPM´s (antes de la mejora)..... 68

4.4. Experimentación Etapa 4. Diseño de experimentos (mejora de la parte moldeada) capacidad de proceso (después de la mejora)..... 74

4.4.1. Etapa 4. Diseño de experimentos (mejora de la parte moldeada)..... 74

4.4.2 Capacidad de proceso (después de la mejora)..... 86

4.5. Experimentación Etapa 5. Gráficos de reología (Optimización del tiempo de ciclo)..... 88

4.6. Experimentación Etapa 6. Control de la mejora 92

5. Conclusiones 93

5.1. Resumen de resultados 93

5.2. Conclusiones y contribución a la investigación..... 94

5.3. Trabajo a futuro..... 98

Bibliografía 99

Anexo A: Capacidad de proceso (después de la mejora) , en forma manual..... 101

Anexo B: Autobiografía..... 108

Referencia de escritura de tesis..... 109

LISTA DE FIGURAS

1.1.	Área de inyección de plástico.....	16
1.2.	Maquina de inyección de plástico.....	18
1.3.	Molde de inyección de plástico.....	19
2.1.	Problemas con variabilidad de proceso.....	25
2.2.	Variabilidad mejorada de proceso.....	26
2.3.	Pieza con rebabas..	27
2.4.	Ensamble cubierta gabinete.....	35
3.1.	Diagrama de flujo de las etapas que se siguieron para el desarrollo, experimentación e implementación de moldeo científico.....	36
3.2.	Ayuda visual pieza moldeada y proceso de inyección.....	58
4.1.	Parte o pieza moldeada antes de ensamblar.....	60
4.2.	Parte o pieza moldeada ya ensamblada en lavadora.....	60
4.3.	Dibujo de parte o pieza.....	61
4.4.	Acercamiento a la dimensión ANCHO (Dim. A)	61
4.5.	Acercamiento a la dimensión LARGO (Dim. B).....	62
4.6.	Formato de evaluación de maquina o molde.....	63
4.7	Plan de control de producto y proceso.....	92
4.8	Ayuda visual pieza moldeada y proceso de inyección.....	94
A.1.	Curva normal.....	101
A.2.	Estandarización de los datos.....	103
A.3.	Calculo de Z forma manual.....	104
A.4.	Disminución de variabilidad.....	105

LISTA DE TABLAS

3.1. Comparación de diseños de experimentos..... 43

3.2. Lista de verificación de la instalación del molde..... 52

4.1. Estudio de gage RyR para variable ANCHO..... 66

4.2 Estudio de gage RyR para variable LARGO..... 67

4.3 Base de datos históricos para el calculo inicial del Z´s y PPM´s..... 70

4.4. Factores y Niveles..... 75

4.5. Corridas de diseño de experimentos y resultados..... 76

4.6. Primer ANOVA ANCHO..... 78

4.7. Segundo ANOVA ANCHO..... 79

4.8. Primer ANOVA LARGO..... 82

4.9. Segundo ANOVA LARGO..... 83

4.10. Tercer ANOVA LARGO..... 84

4.11. Registro de temperaturas de la masa plástica..... 88

4.12. Estudio de reología..... 91

5.1. Resultados de Z´s..... 93

5.2. Resultados de tiempo de ciclo y ganancias económicas..... 93

A.1. Calculo Z´s EXCEL®..... 107

LISTA DE GRÁFICAS

2.1 Curva de reología 29

3.1 Curva de reología 56

4.1 Prueba de normalidad dimensión ANCHO..... 71

4.2 Prueba de normalidad dimensión LARGO..... 71

4.3 Calculo de capacidad inicial de proceso dimensión ANCHO..... 72

4.4 Calculo de capacidad inicial de proceso dimensión LARGO 73

4.5 Pareto dimensión ANCHO..... 77

4.6 Pareto dimensión ANCHO principales contribuidores..... 78

4.7 Grafica de cubo dimensión ANCHO..... 80

4.8 Pareto dimensión LARGO 81

4.9 Pareto dimensión LARGO principales contribuidores 82

4.10 Grafica de cubo dimensión LARGO..... 85

4.11 Calculo de capacidad de proceso después de la mejora dimensión ANCHO... 86

4.12 Calculo de capacidad de proceso después de la mejora dimensión LARGO... 87

4.13 Ventana de Proceso curva de reología..... 90

1. INTRODUCCIÓN

La industria de los electrodomésticos en un esfuerzo constate por mejorar sus objetivos la calidad, costos, oportunidad, rentabilidad y productividad de cada uno de sus ensambles así como sus procesos de inyección de plásticos se ve obligada a estar siempre a la vanguardia en las innovaciones tecnológicas, nuevas metodologías, y en las herramientas que existen actualmente en el mundo para alcanzar sus objetivos, los procesos de inyección de plásticos actuales son llevados por un personal experto y altamente capacitado, es debido a esta razón que se tiene que estar trabajando en cada uno de los objetivos de la organización.

1.1. Motivación

El área en donde se llevó acabo esta metodología cuenta con 26 máquinas de inyección de plástico que van desde las 75 toneladas hasta las 1500 toneladas de presión, se muestra en figura 1.1 como referencia.

Figura 1.1: Área de inyección de plástico

Mensualmente se consumen 421 toneladas de material plástico como polipropileno, en un total de 182 piezas que van de un peso de 4.5 Kg. a 8 grs., además de la inyección de ABS para cubiertas plásticas de las lavadoras.

Introducción al Moldeo de los Plásticos;

Un proceso de inyección de plástico se lleva con una máquina de inyección, resina o material plástico y un molde (Mabe-Plásticos, 2001). La primera máquina de inyección se hizo en 1872 para la inyección de nitrato de celulosa, pero debido a su flamabilidad y a los peligros que era trabajar con este tipo de plásticos el proceso no floreció. Posteriormente en 1920 se construyo en Alemania una maquina para la producción de piezas de materiales termoplásticos mediante el proceso de inyección, dicha máquina era totalmente manual, al abrir y cerrar el molde y la inyección la efectuaba el operador a mano mediante mecanismos de leva. En 1927 y también en Alemania se desarrolló una máquina de inyección de plásticos accionada con cilindros neumáticos, pero no logró mucho éxito debido a que se requerían de máquinas con presiones superiores. Siguieron las máquinas accionadas hidráulicamente, cuya construcción alcanzó su verdadero desarrollo hasta el término de la Segunda Guerra Mundial. Existen plantas industriales con instalación de una serie de máquinas trabajando totalmente en ciclo automático, incluyendo la alimentación de la materia prima (plástico) a la tolva la extracción de las piezas moldeadas y de su movimiento para completar el ciclo de producción.

El Moldeo por Inyección hace posible la producción de piezas complicadas de alto desempeño, y altas tolerancias con muy pocas operaciones secundarias y el mínimo de desperdicio, se muestra en figura 1.2 máquina de inyección de plástico.

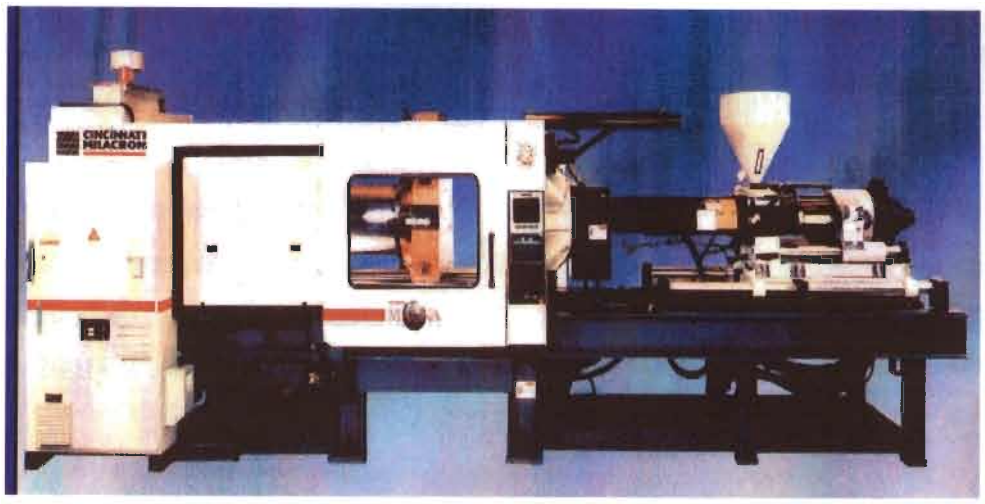


Figura 1.2: Maquina de inyección de plástico.

Breve Descripción de los Plásticos;

La palabra plástico deriva del griego "Plastikos" que significa "Capaz de ser Moldeado", sin embargo, esta definición no es suficiente para describir de forma clara a la gran variedad de materiales que así se denominan; a continuación se aborda el tema con mayor detenimiento. Los plásticos son materiales polímeros orgánicos (compuestos por moléculas orgánicas gigantes) que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de procesos como la extrusión, el moldeo, la inyección, y el hilado, entre otros.

Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule) natural; o sintéticas, como el polietileno y el nylon. Los materiales empleados en su fabricación son resinas en forma de bolitas o polvo en disolución. Con estos materiales se fabrican los plásticos terminados.

Se caracterizan por una relación resistencia-densidad propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico; y una buena resistencia a los ácidos y disolventes. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico. Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticas (se ablandan con el calor), mientras que las entrecruzadas son termoendurecibles (se endurecen con el calor). Los plásticos de gran volumen son los

polietilenos , polipropileno , poliestrineno o pliclorurо de vinilo , actualmente 2 terceras partes de los plásticos utilizados en Estados Unidos son de este tipo.

Molde de inyección de plástico;

El molde es una herramienta cuya función es dar la forma deseada y la textura superficial al plástico fundido y que determina las condiciones finales del producto (Mabe-Plásticos,2001) se muestra en figura 1.3 molde de inyección de plástico.

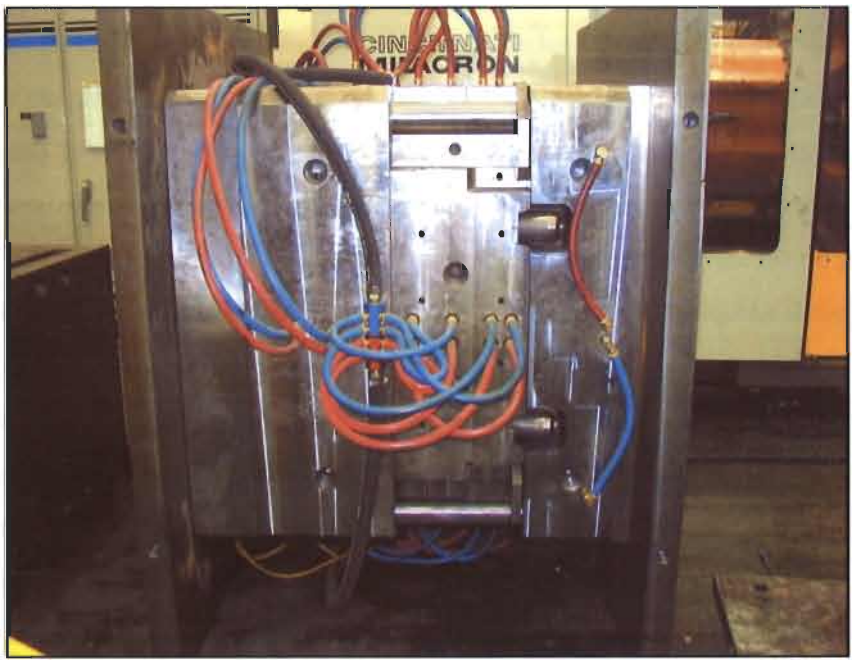


Figura 1.3: Molde de inyección de plástico

El molde es un instrumento de precisión de muy alto costo que debe de ser lo suficientemente resistente para soportar centenares miles de ciclos de moldeo a muy alta presión.

1.2. Definición del Problema y Justificación

Hace cien años al mencionar el término plástico éste se podía entender como algo relativo a la reproducción de formas o a las artes plásticas. En la actualidad, esta palabra se utiliza con mayor frecuencia, y tiene un significado que implica no sólo arte, sino también tecnología y ciencia (Escalona, 2002). Actualmente casi todos los productos que se manufacturan en el mundo contienen partes plásticas en sus ensambles.

Los procesos de inyección de plásticos y los problemas de ajustes de parámetros que suelen presentarse en procesos nuevos o de producción son un proceso complicado y altamente dependientes de la experiencia o habilidades tanto de los operadores como de los ingenieros de procesos de manufactura, así mismo cuando se presenta la oportunidad de integrar un nuevo proceso es decir cuando se compra o recibe un nuevo molde para hacer alguna pieza plástica, actualmente estos procesos son implementados sin una metodología documentada y aplicada bajo un modelo científico, en donde se documente el cálculo de parámetros de proceso, así pues se trabaja en la inyección de la pieza, en la máquina determinada, pero aunque se está en el supuesto de que se tiene el mejor proceso de inyección , al revisar el proceso se observa que es factible a mejoras, con esto se logra incrementar la productividad, reducción de piezas defectuosas o desperdicio, reducción de tiempo de ciclo y mejorar la calidad , generando un impacto económico y haciendo que el negocio obtenga mejores resultados financieros.

Por esto se requiere una metodología con el fin de mejorar y optimizar el sistema de manufactura que se tiene en los procesos de inyección de plásticos, así pues esta metodología permita determinar el mejor proceso de inyección bajo una metodología científica y bien documentada.

1.3. Preguntas Claves de la Investigación

El principal objetivo de esta investigación, es desarrollar, experimentar e implementar la metodología Moldeo Científico, que servirá de apoyo para mejorar y optimizar el sistema de manufactura que se tiene en los procesos de inyección de plásticos. Para dar solución al objetivo planteado se debe contestar las siguientes preguntas:

- ¿Es posible aprovechar la experiencia de los operadores e ingenieros de procesos que día a día trabajan con la máquina y molde?
- ¿Por qué es novedosa esta metodología?
- ¿Cuáles parámetros debo de controlar y mejorar mediante un diseño de experimento cuando la parte o pieza ya se encuentra moldeada?
- ¿Cómo se generan los gráficos de reología y cuál es su interpretación o análisis?

Para la aplicación de metodología es necesario contar con el apoyo de personal experto en el área de inyección de plásticos así como molde y máquina en buenas condiciones de uso con esto se mejorará y optimizará el proceso de inyección de plástico científicamente, aplicable tanto a procesos actuales como nuevos, logrando obtener una pieza o parte moldeada con altos niveles de calidad y un tiempo de ciclo mínimo por consecuencia desarrollo científico y tecnológico, también como productividad y ganancias económicas.

1.3.1. Alcances y Limitaciones de la Investigación

Esta investigación busca, desarrollar, experimentar e implementar una metodología científica integrando la experiencia laboral "científico-práctica", cálculos estadísticos, diseño de experimentos y análisis de gráficos de reología mejorando la calidad y optimizando el tiempo de ciclo, primeramente se seleccionó la parte o pieza, el segundo paso se tomó como base las especificaciones dimensionales que la pieza debe de cumplir ya definidas en un plano o dibujo, en un tercer paso se lleva acabo un análisis estadístico de la capacidad de proceso de cada una de las variables que en este caso son 2 ancho y

largo, el cuarto paso es mejorar el proceso y la pieza moldeada mediante diseños de experimentos, el quinto paso se procede a optimizar el tiempo de ciclo de inyección, mediante el análisis de gráficos de reología.

1.3.2. Contribución de la Investigación

La principal contribución de esta tesis es el desarrollo, experimentación e implementación de una metodología científica, que servirá de apoyo en la mejora de calidad y optimización de los tiempos de ciclo de los procesos de inyección para las partes o piezas moldeadas, esperando contribuir al crecimiento tecnológico y científico resumiendo las características principales de esta metodología en;

- Toma de la experiencia del personal operario e ingenieros de procesos científico-práctico.
- Análisis estadísticos mediante los desarrollos y certificaciones del sistema de calidad, pruebas de normalidad y capacidad de proceso de los críticos de calidad para controlar los procesos.
- Mejora del proceso mediante el diseño de experimentos y definición de los factores que nos llevaron a tener esta mejora.
- Característica innovadora del desarrollo de esta investigación fue la aplicación de análisis de gráficos de reología, con esto optimizando el proceso de inyección de plástico a diferencia del proceso de moldeo.
- Una ventaja de la metodología es que se puede aplicar a cualquier proceso de inyección de plástico, materiales tanto de ingeniería como de uso común considerando máquinas hidráulicas, mecánicas, eléctricas. Moldes de alto y bajo tonelaje, una cavidad o multicavidad, colada fría o colada caliente.
- Una parte importante también es que esta metodología es atractiva para mandos medios y bajos por su aplicación científico-práctica con herramientas científicas.

1.3.3. Contribución Industrial

1. Se espera que esta investigación sea útil a Mabe México S. de R. L. de C. V. empresa en donde se recibió todo el apoyo para el desarrollo, experimentación e implementación de esta metodología, cooperando al cumplimiento de los objetivos, y pueda ser llevada acabo en otros procesos y empresas de la organización manteniendo altos niveles de calida y productividad que se reflejará en mayor participación y posicionamiento de mercado.
2. Por medio de esta metodología se mejorará la calidad de las partes o piezas así como la optimización del tiempo de ciclo de los procesos de inyección de plástico.
3. Contribuir al desarrollo científico y tecnológico del país.

1.4. Organización del Documento

Este documento se encuentra organizado por capítulos en el primer capítulo se aborda una introducción a la infraestructura necesaria en donde se desarrolló esta tesis, se muestra en forma general la propuesta que se planteo para solucionarla, se describen los objetivos y alcances de la investigación.

En el segundo capítulo de la tesis se hace una revisión bibliográfica de los antecedentes de la aplicación de soluciones a problemas a los procesos de inyección de plástico en procesos mediante moldeo científico principalmente en la industria automotriz países como Estados Unidos de América, aunque no con la metodología que adelante se mostrará, así mismo se hace una revisión bibliográfica de análisis de gráficos de reología y diseño de experimentos así como una tabla comparativa entre los diferentes diseños de experimentos.

En el tercer capítulo explicará la metodología que se desarrolló, implementó y experimentó.

El cuarto capítulo se explica a detalle la experimentación efectuada, los resultados generados y como fue el comportamiento de los datos así como la aplicación del análisis de gráficos de reología. Por último en el quinto capítulo resumen de resultados, conclusiones y trabajo a futuro.

1.5. Publicaciones

Durante el desarrollo de este trabajo se realizó una publicación:

1. *Appliances Scientific Molding Implementation*, A. Saleedo-Calleros , L. Torres-Treviño , M. Piña-Monarrez , presentado y publicado en 12th Annual International Conference of Industrial Engineering Theory, Applications & Practice realizado en Cancún Quintana Roo del 4 al 7 de Noviembre del 2007.

2. ANTECEDENTES

Bases científico-prácticas así como herramientas científicas para el desarrollo de esta metodología.

2.1. Implementación de Moldeo Científico

Problemas en el proceso, desperdicios, embarques de producto terminado retrasados, dinero perdido, ¿dónde empezar? , esto fue lo que le sucedió a Hobbs Corp. El problema era en una pieza de la rueda del odómetro, que al momento de aplicar una impresión en la misma se estaba fracturando, las piezas se tenían que revisar al 100 % con un alto impacto en costo (Sloan, 2001).El gerente de moldeo, gerente de ingeniería y el black belt, fueron los responsables de realizar la investigación. El equipo en conjunto con personal de producción y operadores , recolectaron datos y analizaron las variables , rápidamente detectaron que la parte moldeada tenía un problema de burbujas y que al entrar al proceso de impresión se fracturaban , basados en este resultado realizaron mejoras se instalaron alarmas, absorbentes del impacto , se reemplazaron los dispositivos y se agregó un regulador del vacío, esto no funcionó se muestra en figura 2.1 problemas con variabilidad de proceso.

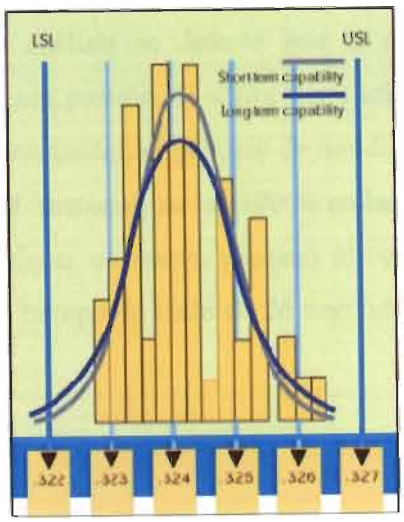


Figura 2.1: Problemas con variabilidad de proceso.

Después de rigurosos análisis y frustrados por no poder estabilizar el molde decidieron implementar Moldeo Científico y una vez concluida esta la calidad de la rueda mejoró inmensamente figura 2.2 variabilidad mejorada de proceso.

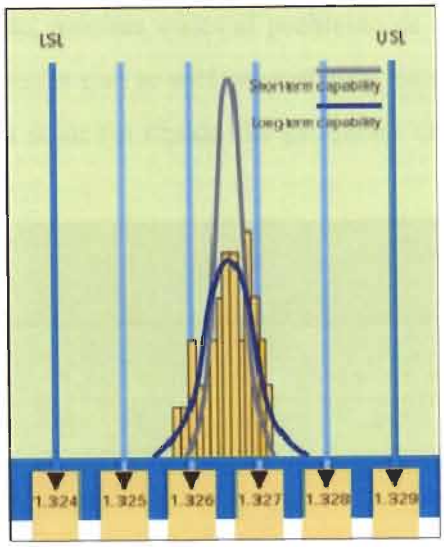


Figura 2.2: Variabilidad mejorada de proceso.

Al iniciar el proceso de análisis se detectó que la máquina utilizaba toda su presión disponible, no había ninguna presión de sobra para utilizar en los cambios de viscosidad que ocurren naturalmente en cualquier proceso de moldeo. El proceso de moldeo se debe de basar en las variables del material, no al 100 % en las variables de la máquina, bajo este principio se llegó a establecer un nuevo proceso el cual trajo como consecuencia partes buenas y la reducción del tiempo de ciclo de 26 segundos a 18.8 segundos es decir, un 27 % de reducción.

2.2. Como Controlar las Variaciones de Proceso, Alto a las Rebabas

Rebabas en una parte plástica pueden ocurrir por muchas razones, desde las variaciones en el proceso, material o un problema en el molde (Bozzeli ,2004). La rebaba aparece en los bordes de las piezas en las líneas de partimiento o en cualquier lugar en donde el molde no este sellando correctamente, muchas veces el problema es la herramienta lo cual se puede reconocer por el tipo de rebaba que se está presentando, cuando esto es debido al molde se puede reparar y tener una solución rápida del problema en la figura 2.3 se muestra una pieza con rebabas.

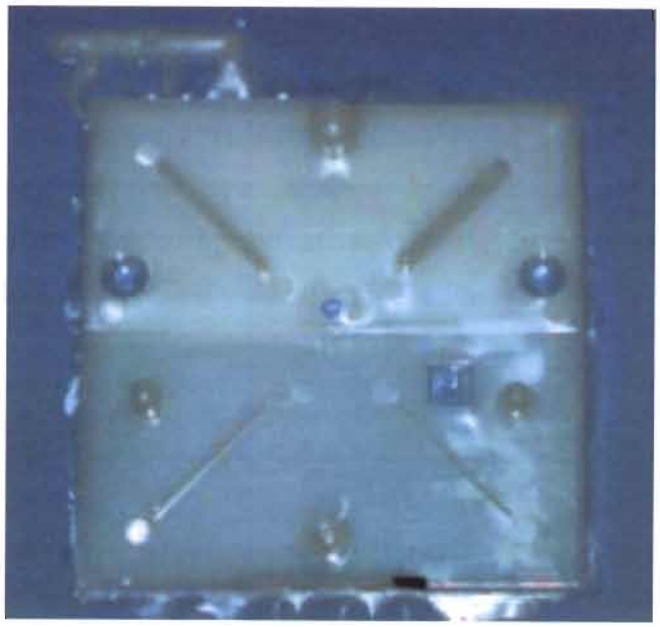


Figura 2.3: Pieza con rebabas.

Una respuesta inicial para reducir rápidamente la rebaba es reducir el índice de inyección de material, mientras se reduce el índice de inyección se tiene un aumento en la viscosidad del material, esto incrementa el tiempo de ciclo y aún haciendo estos ajustes todavía no se tiene la solución de raíz. La rebaba puede aparecer durante la primera fase de llenado o durante el empaque y sostenimiento de la pieza, el determinar exactamente en que fase sucede la rebaba ayuda a reducir la complejidad para resolver el problema.

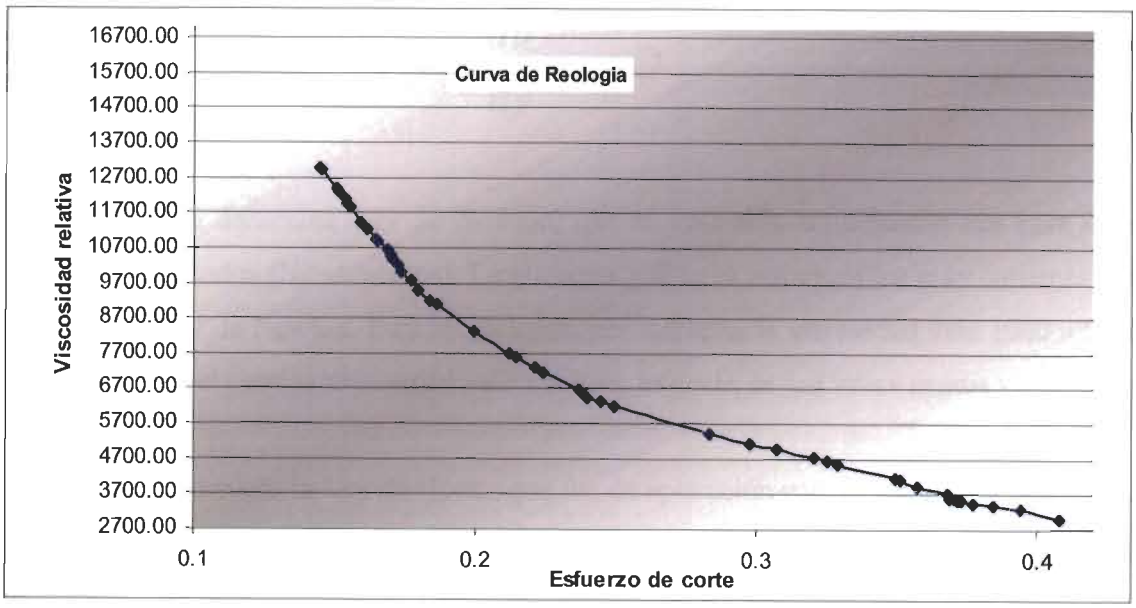
2.3. Capacidad de Proceso

Mediante el Moldeo Científico el autor de este artículo ha tenido la experiencia de trabajar con muchas plantas de la industria automotriz optimizando los procesos por medio de esta metodología (Cardinal, 2000). La mayoría de estas plantas han tenido una gran mejora en los procesos de moldeo lo cual incluye también el mismo entrenamiento en sus técnicas de moldeo entrenando a sus ingenieros de calidad y personal bajo su control. Este entrenamiento se trabaja fuertemente en el orden de los datos recolectados en un una forma exacta del proceso de inyección, la prensa y todos los equipos periféricos del mismo proceso. Estas técnicas han ayudado a mejorar máquinas con fuga de material, segundas etapas de presión, retracción del tornillo, temperaturas en los moldes, y en general un excelente control de los procesos. Para lograr todo esto se debe de saber si la máquina y en general el proceso es totalmente capaz de hacer lo que la compañía está requiriendo, mediante la práctica del Moldeo Científico usted podrá tener un excelente control de proceso, reducción de costos, calidad y una alta productividad.

2.4. Análisis de Gráficos de Reología

Definición:

La Reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. Su estudio es esencial en muchas industrias, incluyendo las de plásticos, pinturas, alimentación, tintas de impresión, detergentes o aceites lubricantes (Pinelli, 2004) grafica 2.1 curva de reología.



Grafica 2.1: Curva de reología.

Historia de la Reología:

En 1678 Robert Hooke fue el primero que habló de la reología en su libro "Verdadera teoría de la Elasticidad". Dicha teoría se resumía en lo siguiente:"Si se dobla la tensión, se dobla deformación".

Nueve años después, Isaac Newton publicó en "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" una hipótesis asociada al estado simple del esfuerzo de corte, "La resistencia derivada de la falta de deslizamiento de las partes de un líquido es proporcional a la velocidad con que se separan unas de otras dentro de él". Esta necesidad de deslizamiento

es lo que ahora se denomina "Viscosidad", sinónimo de fricción interna. Dicha viscosidad es una medida de la resistencia a fluir.

La fuerza por unidad de área que se requiere para el movimiento de un fluido se define como F/A y se denota como "σ" (tensión o esfuerzo de corte). Según Newton la tensión de cizalla o esfuerzo cortante es proporcional al gradiente de velocidad (du/dy), o también denominado como D. Si se duplica la fuerza, se duplica el gradiente de velocidad:

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy} = \mu \cdot D \tag{2.1}$$

Esta fórmula se denomina Ley de Newton, que es aplicable actualmente aún para unos fluidos determinados (Newtonianos). La glicerina y el agua son ejemplos muy comunes que obedecen la Ley de Newton. Para la glicerina, por ejemplo, la viscosidad vale 1000 mPa·s, en cambio para el agua la viscosidad vale 1 mPa·s, es decir, es mil veces menos viscosa que la glicerina.

En esta época apareció la Ley de Hooke que fue de aplicación para el estudio de la reología de sustancias sólidas:

$$\sigma = G \bullet \gamma \tag{2.2}$$

Siendo:

σ: Esfuerzo de corte (Pa)

G: Módulo de rigidez (Pa).

γ : Deformación (%).

La fórmula nos dice que si se aplica una carga σ sobre un cuerpo sólido, éste va a sufrir una cierta deformación γ. El valor de dicha deformación se mantendrá hasta que cese el esfuerzo aplicado.

Hace 300 años los estudios relacionados con la Reología se reducían a aplicar la Ley de Newton para líquidos y la Ley de Hooke para sólidos. Fue a partir del siglo XIX cuando los científicos comenzaron a tener dudas acerca de la validez universal de estas leyes lineales.

En 1835 W. Weber llevó a cabo una serie de experimentos con gusanos de seda y vio que no eran perfectamente elásticos. Lo que observó fue que una carga longitudinal producía una extensión inmediata, seguida de un posterior alargamiento conforme transcurría el tiempo. Al eliminar la carga se producía una contracción inmediata, seguida de una contracción gradual de la longitud hasta llegar a la inicial. Estas características se asocian a la respuesta de un líquido.

En 1867 J.C Maxwell, en su artículo "Sobre la teoría dinámica de los gases", incluido en la Enciclopedia Británica, propuso un modelo matemático para describir los fluidos que poseen propiedades elásticas, es decir, elementos asociados a la respuesta de un sólido:

$$\sigma = \beta \bullet \gamma \tag{2.3}$$

donde β es un parámetro semejante al módulo de rigidez (Parámetro no-nulo). Tanto la conducta que observó Weber en sólidos como Maxwell en líquidos se denominó posteriormente "Viscoelasticidad".

Después de Maxwell no se profundizó más en el estudio hasta la segunda década del siglo XX, apareciendo una serie de modelos lineales (flujo plástico y punto de fluidez) y no lineales de comportamiento.

A partir de la Segunda Guerra Mundial, la Reología cobró mucha fuerza con la búsqueda de materiales viscoelásticos para lanzallamas. Aparecieron poco a poco modelos que asumieron que tanto el módulo de rigidez podían variar con la tensión aplicada. Además se observó que la viscosidad también dependía del tiempo (Tixotropía y Reopexia) y se profundizó en que los materiales reales pueden presentar comportamiento viscoso, elástico, o una combinación de ambos.

En 1945 M. Reiner definió el número de Deborah, De como:

$$D_e = \frac{\tau}{T} \tag{2.4}$$

En donde " τ" es el tiempo característico del material y " T" el tiempo característico del proceso de deformación. Si D_e era muy alto se consideraba al material como un sólido elástico, y si D_e era muy bajo se le consideraba como un líquido viscoso. A partir de ese año, el interés por la reología fue aumentando con la aparición de las fibras sintéticas, plásticos, detergentes, aceite multigrado, pinturas y adhesivos entre otros, estudiándose para ello suspensiones newtonianas tanto diluidas como concentradas.

La reología ha sido muy importante y lo seguirá siendo para el desarrollo de múltiples industrias, como por ejemplo la industria de los PLÁSTICOS, así que es de gran relevancia un estudio minucioso de ésta.

2.5. Monitoreo de Presión Interior del Molde para Reducir los Costos de Producción

El crecimiento de la productividad y la reducción de costos son los principales beneficios de la utilización de métodos modernos para el control de los procesos de inyección de plástico en forma automática (Hanser, 2002).

En las últimas décadas los sistemas basados en la mejora de los procesos de inyección mediante el uso de herramientas estadísticas y tecnología como sensores de presión interna o métodos de optimización en los moldes han demostrado en múltiples aplicaciones su eficacia para asegurar la alta consistencia del proceso con una calidad mejorada a largo plazo. Estos sistemas de producción dan la posibilidad de trabajar con costos reducidos y siempre orientados a aumentar la productividad realizando lo siguiente;

- Reducción de la taza de rechazos.
- Reducción de costos relativos de materiales.
- Reducción del tiempo de ciclo.
- Protección activa contra daños de moldes.
- Reducción de tiempo en ajustes de máquina.
- Reducción de costos energéticos.
- Reducción de costos de mano de obra.

De esta forma el trabajo puede ser ampliamente automatizado haciendo las operaciones muy simples. Estas condiciones básicas requieren soluciones de sistema, establecen un círculo cerrado desde el monitoreo de la presión interior del molde con la ayuda de sensores de cuarzo pasando por circuitos electrónicos inteligentes hasta un sistema de computación amigable el cual nos ayuda a comunicar en forma oportuna y autónoma en conjunto con la inyectora como mejorar los parámetros de operación.

2.6. Conclusiones

La historia de la industria muestra que hoy por hoy si se hacen compromisos en referencia a la parte o producto, diseño de la herramienta y se escoge el material para inyectar, pero muy a menudo es el moldeador quien vive día a día con los problemas y es él mismo quien tiene que compensarlos. Moldeo Científico en el punto de vista del plástico, es formar partes idénticas consecuentemente, llegando a establecer todo un acercamiento científico en las variables de moldeo. Comenzamos por comprensión los cuatro componentes críticos de la aplicación de cualquier proceso plástico exitoso:

- Diseño de la Parte o Producto.

Es un hecho que en toda la industria se enfocan los recursos al diseño de la parte o producto, dedicándose el personal altamente capacitado, con tecnologías de punta y con una serie de pruebas para validar el diseño.

- Selección Material y Manipulación.

Es muy importante el saber cual será el material que se estará utilizando esto siempre está ligado de una forma muy cercana al diseño del producto y la parte.

- Diseño de la Herramienta y Construcción.

Como en los dos puntos antes mencionados el diseño y construcción de la herramienta inician casi desde las primeras etapas del proyecto, y es directamente relacionado con el diseño de la parte así como la selección del material.

- Proceso de Inyección.

Es la parte final de los tres pasos anteriores y es al que se le da menos tiempo para ser desarrollado y perfeccionado porque las etapas antes mencionadas por lo regular ya se llevaron el tiempo y el proyecto tiene que estar listo, cada uno de los cuatro procesos son igualmente importantes, cada uno de las cuatro fases se debe hacer correctamente.

El corazón de Moldeo Científico es la habilidad científica descubrir en que parte del proceso de moldeo e inyección están los problemas y dejarlos muy bien documentados, no opiniones personales.

Desde el inicio de cualquier proyecto se representa cada componente y los compromisos son establecidos para llevar acabo y con éxito cada una de las fases de la metodología, dejando huella a través del tiempo con menos costos de la producción.

Todo producto tiene que satisfacer o cumplir varios objetivos, funcionar satisfaciendo los deseos del cliente, ser fácil de ensamblar, de mantener y reparar y a un precio justo. Aquellas empresas que quieran triunfar deben considerar todos estos objetivos desde las primeras etapas del proceso de diseño. El moldeo científico es un proceso de manufactura aplicada a los procesos de inyección del plástico, se refiere a la inyección del plástico tomando en cuenta las variables que le afectan la calidad de las partes o piezas moldeadas, para definir procesos de inyección productivos con el ciclo de inyección mínimo.

El objetivo es desarrollar, experimentar e implementar la metodología de Moldeo Científico de la parte o pieza plástica controlando sus 2 dimensiones criticas ANCHO y LARGO así con esto aumentar la productividad, calidad, y optimizar el tiempo de ciclo. Esta tiene su alcance a la máquina Cincinati 880 con el molde de la cubierta lavadora se muestra en la figura 2.4 ensamble cubierta gabinete.

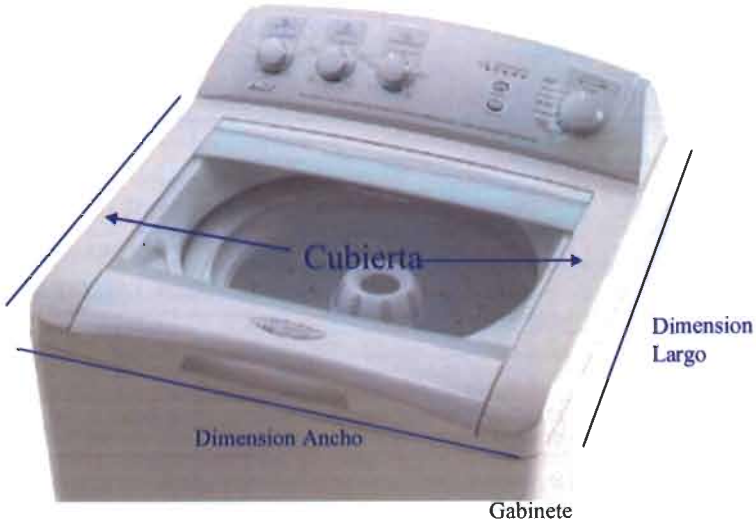


Figura 2.4: Ensamble cubierta gabinete.

3. METODO

En este capítulo se describe el método o metodología desarrollada para la experimentación e implementación de "moldeo científico" con la finalidad de mejorar la calidad de la pieza o parte, así como optimizar el tiempo de ciclo los pasos se muestran en la figura 3.1.

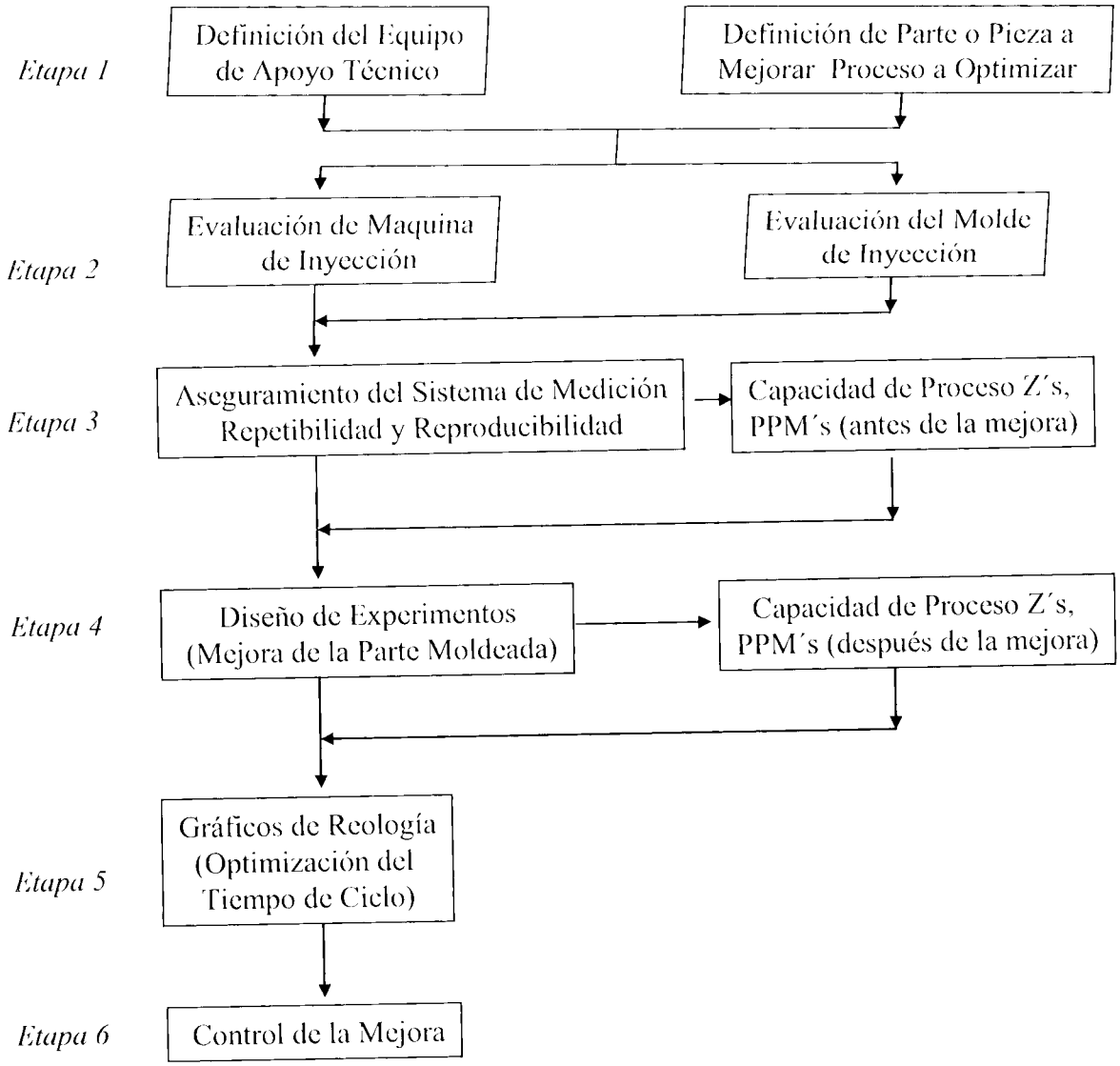


Figura 3.1: Diagrama de flujo de las etapas que se siguieron para el desarrollo, experimentación e implementación de moldeo científico.

La metodología se encuentra formada por 6 etapas, estas etapas serán brevemente descritas a continuación.

La etapa inicial de la metodología consiste primeramente en la definición de equipo de apoyo técnico para generar una base de conocimientos aprovechando la experiencia (científico practica) de los ingenieros en procesos y personal del área de plásticos y producción, así también la selección de la parte o pieza en la cual se llevara esta metodología se toma como base las especificaciones dimensionales que la pieza debe de cumplir ya definidas en un plano o dibujo llamadas críticos para la calidad en este caso, ANCHO (especificación 26.660 +/- 0.030 pulgadas) y LARGO (especificación 25.837 +/- 0.070 pulgadas) ya que si la pieza moldeada no cumple con estas especificaciones al momento de ser ensamblada en la lavadora puede generar ruido y por lo tanto un reclamo del cliente. En la segunda etapa se realiza una evaluación y calificación de la maquinaria así como del molde en donde se llevara acabo esta metodología ya que estos no deben de presentar ningún problema de mantenimiento o funcionamiento. En la tercer etapa se utilizan herramientas estadísticas para realizar el aseguramiento del sistema de medición (gage ryr por sus siglas en ingles) y capacidad de proceso (Z´s y Partes por Millón de Defectos PPM´s), tomando los resultados dimensionales históricos de los críticos de calidad obtenidos en las auditorias de calidad que se realizan a la pieza del día con día, plasmadas en el plan de control del historial dimensional de la pieza para tener un punto de partida y comparar los resultados del antes con el después, la cuarta etapa es mejorar el proceso y la pieza moldeada mediante diseños de experimentos en el cual se deben tomar en cuenta las variables que afectan al proceso y a la pieza ya que es importante aclarar que la pieza ya esta moldeada es decir esta completamente formada, la quinta etapa es que cuando ya se tiene el control de las dimensiones que fueron mejoradas mediante el diseño de experimentos se procede a optimizar el tiempo de ciclo de inyección, mediante el análisis de gráficos de reología esto es con la finalidad de que el proceso sea productivo, obteniendo ganancias económicas y dejando procesos bien documentados bajo una metodología científica, la sexta etapa es el control de la mejora para que la metodología implementada sea mantenida.

3.1. Etapa 1. Definición del Equipo de Apoyo Técnico y Definición de la Parte o Pieza a Mejorar y Proceso a Optimizar

3.1.1. Definición del Equipo de Apoyo

Todo proyecto y nueva metodología debe de contar con personal altamente capacitado y relacionado con los procesos y partes que se quieren mejorar u optimizar, la definición del equipo de apoyo técnico juega un papel determinante en el éxito de los proyectos así como de las empresas. Las características de cada uno de sus integrantes deberán de ser en base a los conocimientos en relación con el proceso de inyección de la parte o pieza que se desea mejorar, así pues se definirá el equipo de apoyo técnico sin importar el orden de aparición contando con:

1. Personal del departamento de producción. Soporte y conocimiento de los procesos productivos así como el prestar la maquinaria y equipo para el desarrollo e implementación de la metodología.
2. Personal del departamento de mantenimiento. Soporte y conocimiento del mantenimiento de la maquinaria y equipo para el desarrollo e implementación de la metodología.
3. Personal del departamento de calidad. Soporte y conocimiento de los problemas de calidad tanto en variables como atributos de la pieza o parte moldeada así como apoyo en mediciones en el departamento de metrología.
4. Personal del departamento de lean sigma. Soporte y conocimiento en el uso de las herramientas estadísticas así como en el análisis e interpretación de los resultados.
5. Personal del departamento de procesos de manufactura. Soporte y conocimiento en el proceso de inyección de plástico, maquina y molde, variables del proceso de inyección así como a problemas de inyección.

3.1.2. Definición de la Parte o Pieza a Mejorar y Proceso a Optimizar

Como parte de esta metodología es importante el definir la parte o pieza a mejorar y por consiguiente el proceso a optimizar, existen una serie de herramientas o métodos ya establecidos que pueden ser de gran ayuda ; diagramas de árbol, análisis de modo y efecto de falla (AMEF), diagramas de bloque, lluvia de ideas, despliegue de las funciones de calidad o casa de la calidad (QFD por sus siglas en ingles), matriz impacto desempeño, matriz causa efecto, encuestas con los clientes internos y externos, matriz es o no es, tablas de quince palabras, mapeo del procesos, etc. Ahora bien siempre es importante tomar en consideración los costos de la no calidad, el desperdicio por la falta de control en los procesos y por que no la falta de una documentación de los procesos de inyección mediante una metodología científica.

3.2. Etapa 2. Evaluación de la Maquina de Inyección, Evaluación del Molde de Inyección

3.2.1. Evaluación de la Maquina de Inyección

La base de un buen proceso de inyección es la maquina de inyección, para esto es necesario que la maquina no presente ningún problema de operación en cada una de las fases del proceso como son, la inyección del plástico, que levante la presión que se esta requiriendo, así mismo que mantenga la presión requerida, que cuente con todos sus mantenimientos completos, así mismo evitar enfocar el proyecto a maquinas conflictivas para su funcionamiento ya que se deben de descartar maquinas con cualquier problema.

3.2.2. Evaluación del Molde de Inyección

Para obtener una pieza moldeada y llevar acabo esta metodología es necesario que el molde no presente ningún problema durante cada uno de las variables que afectan el moldeo, se debe de revisar los mantenimientos del molde para evitar problemas de

enfriamiento, expulsión de la pieza, así para evitar enfocar el proyecto a moldes conflictivos para su funcionamiento ya que se deben de descartar moldes con cualquier problema.

3.3. Etapa 3. Aseguramiento del Sistema de Medición Repetibilidad y Reproducibilidad, Capacidad de Proceso Z´s Y PPM´s (Antes de la Mejora)

3.3.1 Aseguramiento del Sistema de Medición Repetibilidad y Reproducibilidad

El Estudio para el aseguramiento del sistema de medición (gage ryr por sus siglas en ingles) es un método usado para analizar un sistema de medición para determinar la cantidad y el tipo de variación (error) cuando se mide algo el estudio esto nos permite:

- Determinar si el error de medición es pequeño y aceptable relativo a la variación del proceso o especificación del producto.
- Determinar la confianza de la "certeza" de los datos.
- Obtener una adecuada resolución del estudio (gage ryr).
- Enfocar los esfuerzos de mejora si la variación de la medición es inaceptable.
- Donde se deberán enfocar los esfuerzos de mejora si el sistema de medición es inaceptable.
- Confianza en la "veracidad" de los datos.
- Adecuada resolución del dispositivo de medición.

Breve descripción de;

Repetibilidad; Variación de la medición cuando una persona usa el mismo instrumento para medir la misma parte.

Reproducibilidad; Variación en el promedio de las mediciones obtenidas cuando dos o más personas usan el mismo instrumento para medir las mismas partes.

Exactitud; La diferencia entre el promedio observado de las mediciones y el promedio real (Mabe Seis Sigma, 2000).

3.3.2. Capacidad de Proceso Z´s y PPM´s (Antes de la Mejora)

Antes de intentar realizar cualquier mejora en en proceso es necesario obtener la capacidad de proceso inicial para tener un punto de partida a continuación se describe brevemente.

El estudio de Z´s o habilidad de proceso es cuantificar la capacidad de un proceso existente usando datos muéstrales antes de que cualquier mejora se implemente. (Mabe Seis Sigma, 2000), así mismo se expresan también resultados de partes por millón de defectos PPM´s.

• Rendimiento de Proceso

- La "Potencial" (Z.st) muestra datos a corto plazo con todas las medias de subgrupos centradas. Enfoque en reducir la variación para mejorar la capacidad a corto plazo.
- La "Actual" (Z.lt) muestra la variación total e incluye cualquier desplazamiento del proceso. Enfoque en ambos, reducir la variación y mejorar el centrado para mejorar la capacidad a largo plazo (Rauwendal, 2000)

3.4. Etapa 4. Diseño de Experimentos (Mejora de la Parte Moldeada) Capacidad de Proceso (Después de la Mejora)

3.4.1 Diseño de Experimentos (Mejora de la Parte Moldeada)

El diseño estadístico de experimentos, se debe usar como una metodología que permite plantear distintas estrategias para seleccionar, controlar, analizar e interpretar diferentes condiciones de estudio en un fenómeno natural de manera objetiva y sistemática (Castaño-Dominguez, 2001). El diseño de experimentos tiene una enorme aplicación en la industria porque permite mejorar el rendimiento de los procesos y la calidad de los productos.

El diseño de experimentos es una herramienta que se puede utilizar en el diseño y desarrollo de nuevos productos así como en el mejoramiento y optimización de procesos (Montgomery, 2002). Se ilustra el uso del diseño experimental en el desarrollo de productos que sean robustos a factores ambientales y otras fuentes de variabilidad se considera que el uso de esta herramienta puede conducir a reducir sustancialmente el tiempo y el costo de los procesos y productos redundando en calidad y mayor

confiabilidad que los que se desarrollan utilizando otros enfoques (Montgomery,2002). También en el desarrollo de los nuevos productos, en plantas piloto y a nivel laboratorio, el diseño estadístico de experimentos desempeña un papel muy importante para resolver y minimizar problemas de calidad, en la industria los diseños de experimentos se usan con el objetivo de mover o hacer algunos cambios en los materiales métodos y condiciones (Gutierrez-de la Vara, 2004).

Múltiples ejemplos de las aplicaciones se dan en biotecnología, química, veterinaria, agronomía, educación, entre otras en las que se realiza la investigación experimental siendo así esta metodología una herramienta de mucha utilidad (Castaño-Dominguez, 2001).La investigación cinética es un proceso de aprendizaje dirigido. El objeto de los métodos estadísticos es hacer que ese proceso sea lo mas eficiente posible (Box-Hunter-Hunter ,2005).

Propósito, en el trabajo experimental se tiene en general una doble tarea; en primer lugar se deben diseñar e interpretar los experimentos propios; en segundo lugar es necesario evaluar de manera crítica la información ya generada en trabajos ajenos al propio. Así para esta tarea es necesario saber si el experimento es propiamente concebido, controlado de la forma correcta, adecuadamente analizado y correctamente interpretado.

Un buen diseño es uno en que las condiciones seleccionadas y manipuladas en el experimento, no están confundidas con variables extrañas o de ruido referentes al material experimental, a su manejo del experimento, al ambiente o al tiempo. De manera inversa, un mal diseño es aquel en que las condiciones seleccionadas y manipuladas son confundidas de manera desconocida con una o mas variables de ruido. La utilización de los modelos de diseño de experimentos se basa en la experimentación y en el análisis de los resultados que se obtienen en un experimento bien planificado. En muy pocas ocasiones es posible utilizar estos métodos a partir de datos disponibles o datos históricos, aunque también se puede aprender de los estudios realizados a partir de datos recogidos por observación, de forma aleatoria y no planificada (Castaño-Dominguez, 2001).

En la siguiente tabla se hace una comparación de diseños de experimentos (Rauwendal, 2000);

Caracteristica	Clasico	Taguchi	Shainin
Tecnica Principal	° Factorial Fraccionado ° EVOP	° Arreglos ortogonales	° Multyvar charts ° Comparasion en pares ° Busqueda de variables ° Factorial completo
Efectividad	° Bueno en la ausencia de interacciones ° Pobres interacciones estan presentes ° Optimizacion limitada	° Bueno en la ausencia de interacciones ° Muy pobres interacciones estan presentes ° Muy limitada optimizacion	° Extrematamente poderoso a pesar de las interacciones ° Retroregresion ° Optimizacion al maximo
Costo-Tiempo	° Moderado (8 a 50 experimientos)	° Moderado en ausencia de interacciones ° Alto si hay interacciones	° Bajo ° Analisis Matematicos
Complexidad	° Moderado ANOVA	° Alto ° Arreglos multiplicados interiores y exteriores ° S/N signal noise ratio & ANOVA	° Alto ° Hace una separacion clara de la razon principal y las bajas y las altas interacciones
Validacion Estadistica	° Diseños saturados , confunde los efectos de la interaccion con la razon principal	° Diseño altamente saturados con extrema confusion entre la razon principal y las interacciones	° Alta, respuesta precisa
Versatilidad	° Baja ° Solo 2 htas disponibles	° Solo una hta disponible	° Alta ° Se puede usar en prototipos , produccion y etapas de produccion
Alcance	° Requiere hardware ° Principal uso para produccion	° Puede ser usado para la fase de diseño ° Principal uso en produccion	° Alto ° Se puede usar en prototipos, produccion y diferentes fases de la produccion
Facil de Implementar	° Moderado ° Conocimiento esradistico necesario	° Conocimiento estadistico requerido ° Complexidad y modestos resultados	° Alta ° Excelentes resultados ha corto y largo plazo

Tabla 3.1: Comparación de diseños de experimentos.

3.4.2. Capacidad de Proceso (Después de la Mejora)

Después del diseño de experimentos se llevara el estudio en base a la descripción del paso 3.3.2 con esto validar la mejora obtenida y comparar el antes y el después.

3.5. Etapa 5. Gráficos de Reología (Optimización del Tiempo de Ciclo)

Para una mejor comprensión y elaboración de los gráficos de reología se definirán los conceptos de interés para esta metodología. El mismo será como una guía para llegar a la generación de los gráficos de reología. El propósito de este estudio es definir los parámetros de los procesos de moldeo por inyección del proceso para distinguir los parámetros de referencia de los que necesitan ser validados tomando como referencia que el proceso ha sido ya desarrollado. El siguiente racional establece los parámetros que describen un proceso de inyección y hace una distinción de aquellos que solo tienen propósito de valores de referencia de aquellos que son críticos y que requieren ser retados en los niveles altos y bajos de la ventana para verificar la capacidad del proceso para producir partes que cumplan con los requerimientos de calidad, en los siguientes puntos se hace la descripción;

3.5.1. Parámetros de la Unidad de Prensa

- Presión de protección de molde. Este parámetro es el valor mínimo requerido para permitir el cierre del molde y típicamente se encuentra a media ½ pulgada antes del toque de caras. Un ajuste apropiado de este parámetro asegurara que el molde no sea dañado al cerrar sobre una parte moldeada u otra obstrucción. Las diferencias entre los moldes provocaran ajustes diferentes para asegurar la sensibilidad. Este parámetro esta limitado, ya que en la protección del molde la línea de partición juega un papel importante y su ajuste puede afectar del tiempo de ciclo si es modificado. Para efectos de validación se considera como bloqueado y será considerado dentro del reto en nivel altos y bajos del tiempo de ciclo.

- Presión de prensa (tonelaje). Presión de prensa (tonelaje) es la cantidad de fuerza por pulgada cuadrada para mantener el molde cerrado durante la inyección. Generalmente el molde se corre en valores nominales y se baja hasta encontrar rebaba y de esta forma identificar el tonelaje mínimo para no producir rebaba. Por otro lado, el exceso en la fuerza de cierre puede causar que los escapes de aire se obstruyan o funcionen parcialmente. Pequeños cambios en el tiempo de ciclo pueden ocurrir al variar este parámetro, pero el tiempo de ciclo será probado en nivel alto y bajo durante la validación. Una vez establecido este parámetro no debe de ser cambiado.

- Velocidad de cierre. Parámetro que controla la velocidad de cierre del molde y es deseable ajustarlo a la velocidad mas alta posible hasta determinar un punto donde le permita al molde cerrar sin golpeteo y permitir que la presión de protección de molde actué. Pequeños cambios en el tiempo de ciclo pueden ocurrir mediante la manipulación de este parámetro, el tiempo de ciclo total están cubierto en la validación al definir un valor alto y bajo para este ultimo parámetro.

- Tiempo de retrazo con el molde abierto. Parámetro que controla el tiempo en que el molde permanece abierto una vez que la eyección ha ocurrido antes de cerrar de nuevo. Este parámetro da tiempo a las piezas a ser eyectadas antes de que el molde cierre. Pequeños cambios en este parámetro están considerados en el tiempo de ciclo total y están cubiertos en la validación al definir un valor alto y bajo para este ultimo parámetro.

- Velocidad de eyección. Parámetro que controla la velocidad en que la parte moldeada es eyectada del molde. Es deseable tener la máxima velocidad posible sin que la parte moldeada sea deformada por la varilla del eyector. Pequeños cambios en el tiempo de ciclo pueden ocurrir si se modifica este parámetro, el tiempo de ciclo será retado en niveles altos y bajos y cubrirá este parámetro dentro durante la validación.

- Presión de eyección. Parámetro que controla la presión en la cual las partes son eyectadas del molde, este es ajustado para lograr el máximo de velocidad de eyección. Pequeños cambios en el tiempo de ciclo pueden ocurrir si es modificado, el tiempo de ciclo será retado en niveles altos y bajos y cubrirá este parámetro dentro durante la validación.

- Numero de eyecciones. Parámetro que controla la cantidad de eyecciones para expulsar la pieza en un ciclo. Pequeños cambios en el tiempo de ciclo pueden ocurrir si se modifica este parámetro, el tiempo de ciclo será retado en niveles altos y bajos y cubrirá este parámetro dentro durante la validación

- Tiempo de eyección neumática. Parámetro que controla la cantidad de tiempo de aire en el proceso de eyección durante un ciclo. Este parámetro se ajusta para asegurar que las partes son eyectas. Pequeños cambios en el tiempo de ciclo ocurren cuando hay cambios en este parámetro y están contemplados en el reto para el tiempo de ciclo de la validación.

- Presión de eyección neumática. Parámetro que controla la cantidad de presión de aire durante la secuencia de soplado y permite a la parte ser eyectada. Este parámetro no afecta la calidad de la parte por la tanto deberá ser un parámetro de referencia.

3.5.2. Parámetros de Inyección

- Tiempo de llenado. Parámetro que controla que tan rápido el plástico fundido puede ser transferido a la cavidad durante la primera fase de llenado durante el proceso de inyección. Para ajustar este parámetro en su punto óptimo se utiliza como referencia la prueba de la Viscosidad Relativa; Este parámetro ha sido seleccionado ya que permite referenciar el esfuerzo de corte para tomar ventaja del decremento de la

viscosidad por efecto de la aplicación del un alto esfuerzo de deformación. Esto da como resultado absorber cambios en la viscosidad sin afectar el tiempo de llenado.

- Posición de transferencia. Parámetro que controla la posición en la cual la presión de transferencia cambia de la presión de llenado de la cavidad por la presión de empaque y sostenimiento. Esta posición se ajusta en del 95% al 99 % del llenado total de la pieza. Las técnicas de desarrollo de proceso permiten separar la acción del llenado del empaque y sostenimiento permitiendo lograr velocidad de llenado altas sin causar una condición de sobre empaque.

- Presión de primera etapa. Parámetro que controla la cantidad de presión aplicada por el usillo durante la primera etapa de inyección. Este punto debe ser ajustado más alto que la presión actual de la primera etapa de llenado. Este ajuste se determina durante la selección de ajuste cuando se lleva a cabo la prueba de la viscosidad relativa. Si el ajuste es incorrecto la presión será limitada y causara una velocidad de llenado lenta.

- Presión de empaque y sostenimiento. Parámetro que controla la cantidad de presión aplicada por el usillo durante la segunda etapa de llenado conocida como empaque y fase de sostenimiento. Este parámetro debe ser ajustado para lograr que la cavidad llene completamente y saque los hundimientos y no permitir que la presión de la cavidad mas alta que la presión del usillo.

- Tiempo de empaque y sostenimiento. Parámetro que controla la cantidad de tiempo durante la cual la segunda fase de empaque y sostenimiento se lleva a cabo. Este ajuste se deriva del estudio del sellado de la compuerta. Este parámetro asegura que la compuerta ha sido sellada ante de relajar la presión de empaque y sostenimiento y asegura que el plástico no retorna de la compuerta.

- Velocidad de empaque y sostenimiento. Este parámetro controla la velocidad del usillo durante la segunda fase de llenado de empaque y sostenimiento. Este parámetro será ajustado en un valor nominal y no se considera un factor importante en la calidad de la parte ya que ha sido estudiado durante la primera etapa de llenado cuando la viscosidad relativa ha sido bajada.

- Tamaño de disparo. Parámetro que controla la cantidad de plástico en el usillo ante de ejecutar la inyección, asegura que una cantidad de de material plastificado se mantiene para permitir que no exista perdida de presión en la primera y segunda etapa de llenado y asegurar que el usillo no llegue hasta el extremo. Para sostener los parámetros de velocidad de llenado, punto de transferencia y aplicar las técnicas de desarrollo de procesos de moldeo es critico que este parámetro no varié una vez que ha sido ajustado.

- Tiempo de recuperación del usillo. Parámetro que controla que tan rápido el tonillo carga o plastifica. Este parámetro esta ajustado para asegurar que el tornillo cargado antes de que el molde sea abierto, de ser muy rápido se corre el riesgo de degradar el material.

- Contrapresión. Parámetro que controla que tanta contrapresión se aplica al tornillo para que ocurra la plastificación, este parámetro permite asegurar la homogeneidad del material plastificado.

- Punto de descompresión. Parámetro que controla la descompresión del usillo después de haber plastificado. Esto permite liberar la presión la presión de un tiro anterior y evita que el molde gotee plástico. Este factor se ajusta a nivel nominal y no es significativo a la calidad de las partes moldeadas.

- Tiempo de enfriamiento. Parámetro que controla la cantidad de tiempo que el molde permanece cerrado después de que la inyección de plástico ha concluido que permite el enfriado de la parte moldeada sin ser deformada.

- Temperatura de fundido. Parámetro que es la temperatura a la cual se procesa el plástico es estado fundido y se ajusta con los rangos recomendados por el proveedor de la resina y no será cambiado.

- Tiempo de ciclo. Tiempo total que se requiere para obtener un ciclo completo. El tiempo de ciclo puede ser afectado por cambios menores en las velocidades o tiempos a través de todo el ciclo.

3.5.3 Parámetros de Proceso de Inyección

- Temperatura del molde. Parámetro que controla la temperatura de agua de enfriamiento que es suministrada al molde y es importante para la calidad de la parte. El cambio de este parámetro puede afectar las propiedades de transparencia cristalina del material y por lo tanto el grado de encogimiento.

- GPM (Galones por minuto).Parámetro que asegura los galones de agua suministrados por minuto de agua para el enfriamiento del molde. Este parámetro se utiliza para asegurar un flujo turbulento para asegurar el máximo gradiente de enfriamiento a una temperatura dada. Una vez ajustado este parámetro no debe de ser modificada.

- Temperatura de colada caliente. Parámetro actual del distribuidor durante el procesamiento y se ajusta de acuerdo a temperatura media recomendada por el proveedor de la resina. Esta temperatura puede ser ajustada a valores más altos que los de las bandas de calefacción del usillo o de la temperatura del material fundido.

- Temperatura de la mezcla. Parámetro de temperatura de la mezcla durante el procesamiento y es ajustada al punto medio recomendado por el proveedor de la resina.

- Temperatura del fluido. Parámetro de temperatura del fluido durante el procesamiento y es ajustada al valor medio recomendado por el proveedor de resina. Este parámetro puede ser ajustado a una temperatura más alta que el fundido y compensa la perdida de color entre la interfase de la nariz y el molde. Durante la fase de calificación de operación durante la validación del proceso los siguientes parámetros deben ser aplicados como condiciones extremas. Los ajustes en niveles altos generaran partes con dimensiones grandes mientras que el nivel bajo generara partes con dimensiones pequeñas. Las tolerancias descritas pueden variar después del análisis dependiendo del diseño de la parte, molde o material.

3.5.4. Prueba de Aceptación del Proceso de Inyección

- Instalación de molde y ciclo en seco. Instalación del molde y ciclo en seco, el propósito del ciclo en seco del molde es evaluar las acciones mecánicas del molde para confirmar la funcionalidad de los componentes y prever cualquier problema general antes de proceder a la inyección de plástico en el molde.

- Monte el molde en la maquina y verifique que ha sido nivelado y montado correctamente.

- Abra el molde a una velocidad lenta y verifiqué que los mecanismos de acciones mecánicas, neumáticas o hidráulicas se muevan libremente y sean funcionales. Verifique que no se escuchen ruidos sospechosos tal como rechinidos o de fricción.

- Abra y cierra el molde en modo manual y active el sistema eyector en baja presión y velocidad. Verifique que todas las funciones en donde el molde este relacionado con

la maquina sean normales, tales como secuencia de colocación de corazón e interfases de robot para asegurar que el tiempo sea el correcto para prevenir daños en el molde.

- Ciclo seco, se ajusta el proceso para que la presión de inyección sea igual a cero, esto se puede lograr manipulando el tamaño de disparo. Mantenga la prensa abierta y rangos de cierre y presión al mínimo. Ajuste el tiempo de sostenimiento a cero y el tiempo de enfriamiento a un valor mínimo para disminuir el tiempo de ciclo.

- Evalué el molde mientras este en ciclo seco e identifique cualquier sonido anormal o errores mecánicos en generales. Verifique que los mecanismos de deslizadores, dispositivos, etc. No se encuentren amarrados.

- Incremente el rango de presión para la apertura/cierre del molde hasta que repita la velocidad y presiones esperadas durante la producción. Lo mismo deberá hacerse con los mecanismos de eyección, corazón, etc.

- El ciclo del molde deberá hacerse hasta que este determinado que no hay defectos funcionales con la construcción y diseño del molde.

- Asegure que los diagramas de enfriamiento estén anexados al molde y que el agua este circulando a través del molde. Si el molde es de colada caliente, tenga los controles instalados y las bandas de calefacción encendidas.

- Verifique que el agua este fluyendo a través del molde al rango medio recomendado de los fabricantes de resina. Todas las líneas deberán ser evaluadas por flujo al usar un medidor de flujo de agua o purgando en una cubeta. Verifique que no haya fugas de agua al ciclar en seco el molde.

- Verifique que las bandas calentadoras estén trabajando al leer las salidas de los termocoples.

3.5.5. Instalación del Molde y Revisión del Criterio del Ciclo en Seco

El ingeniero de procesos o el designado para este trabajo, será el responsable de completar la verificación de la instalación del molde de acuerdo con los criterios de aceptación descritos en la tabla 3.2.

Descripción	Criterio de Aceptación
Molde instalado correctamente y nivelado	El molde nivelado a cero.
Diagrama de enfriamiento del molde instalado y flujo verificado.	Conexiones de acuerdo a diagrama de molde.
Agua de enfriamiento	1.5 GPM mínimo
Funcionalidad de termocoples	El rango de temperatura del termocople fue verificada para la resina.
Interruptor de limite funcionalidad	Todos los interruptor de limite operaron en la maquina apropiadamente.
Interruptor de limite y secuencias del corazón	Interruptor de limites y secuencias del corazón del molde verificados en el modo manual.
Movilidad de componentes mecánicos	Todos los componentes movibles funcionaron libremente.
Funcionalidad a alto tonelaje.	No hay signos anormales de errores mecánicos en el tonelaje operacional encontrados.

Tabla 3.2: Lista de verificación de la instalación del molde.

- Ajuste inicial, definiendo el primer proceso. Las siguientes instrucciones son los pasos necesarios para obtener los primeros disparos de un molde Nuevo.

- Ajuste la temperatura del molde al rango medio de los fabricantes de resina así como los distribuidores de agua y sellos. Verifique que el distribuidor de agua ha alcanzado las temperaturas antes de iniciar la inyección.

- Programe la temperatura del fundido de la resina en el rango medio sugerido por el fabricante de la resina.

- Lleve la boquilla hasta el molde, ajuste la contrapresión alto, y corra el tornillo RPM para llenar del distribuidor en vació con plástico bajo presión a baja. (Si el distribuidor esta en vacío).

- Programe la presión de empaque / sostenimiento y el tiempo en cero.

- Ajuste el tiempo de enfriamiento lo suficientemente largo para que las partes sean eyectadas fuera del molde sin que salgan distorsionadas.

- Ajuste la posición de transferencia tal que las partes estén solamente 95% llenas.

- Ajuste el tiempo de empaque y presión tal que la cavidad este 100% llena y que no haya marcas de hundimiento visuales.

- Ajuste el tiempo de sostenimiento lo suficiente para permitir que la compuerta se congele.

- Corra el proceso lo suficiente hasta que el molde y proceso han alcanzado un estado estable y no hay problemas funcionales con el molde.

- Inspeccione visualmente las partes por cualquier molde bruto o variación de parte (rebaba, tiros cortos, marcas de quemadura, manchas, hoyos, extensiones, fugas de agua, muescas, rasguños, etc.).
- Documente el proceso y retenga tiros para referencias futuras.

- Programe el tiempo de enfriamiento lo suficiente para permitir que la parte sea eyectada del molde sin ser distorsionada.

- Ajuste la posición de transferencia de tal forma que la parte sea llenada hasta el 95%

3.5.6. Desarrollo del Grafico de Reología

El ingeniero de proceso o el personal designado serán los encargados del desarrollado del proceso de moldeo por inyección de plástico.

Estudio de reología del molde. La reología determina el tiempo óptimo de llenado a través del estudio de la viscosidad relativa de la resina a diferentes tiempos de llenado. Esto permite obtener la optimización de la velocidad y tiempo de llenado para minimizar los cambios de viscosidad debido a la variación de diferentes lotes. Cuando la viscosidad es mantenida se logra un llenado, balanceo y peso de las partes más constante

1. Mida y registre la temperatura de fundido.

2. Programe la presión de empaque y sostenimiento en cero.

3. Ajuste el punto de transferencia para lograr un disparo corto al 80 % aproximadamente.

4. Incremente la velocidad de inyección a un 95% y mantenga los disparos cortos (programe el llenado lo mas rápido posible sin dañar el molde).

5. Ajuste la presión de inyección del 10 al 15% arriba de la presión de transferencia. Asegúrese que la presión de inyección no ha sido limitada.

6. Ajuste la posición de transferencia hasta lograr un 90 - 95 % de llenado.

7. Registre la velocidad de inyección tiempo de llenado y presión de transferencia .

8. Reduzca la velocidad de velocidad gradualmente para poder tener 10 puntos de datos (Mientras reduce la velocidad de inyección, asegure que mantiene su tiro de 90-95%, ajuste la transferencia si es necesaria).

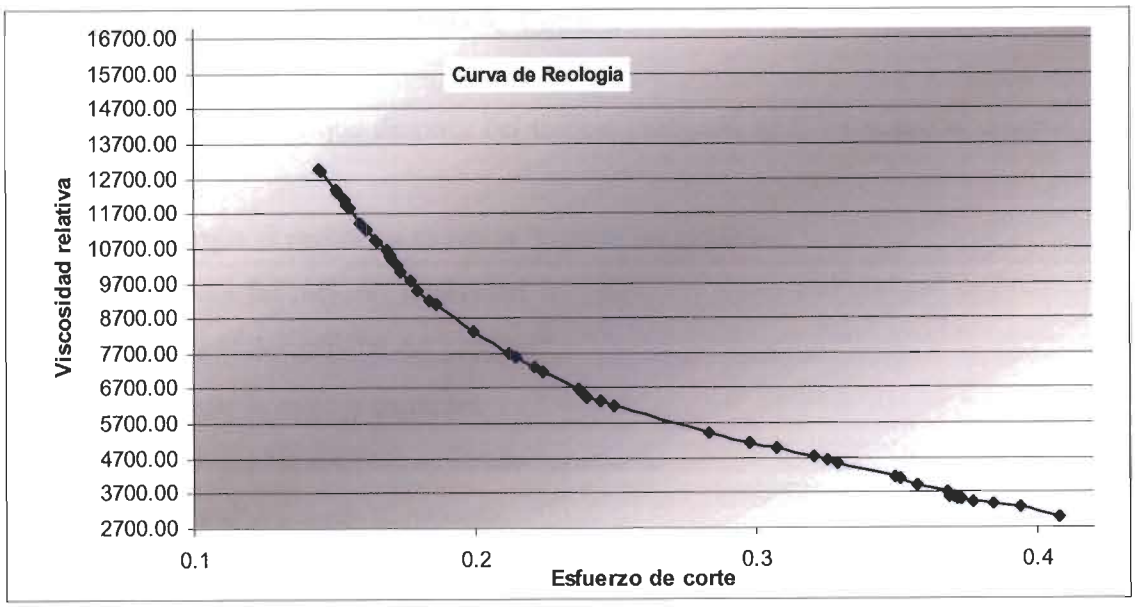
9. Para cada velocidad, calcule el ritmo de corte y viscosidad relativa. (Esfuerzo de Corte = 1/Tiempo de Llenado).

$$\eta = \frac{F}{A} \div \frac{\Delta v}{\Delta z} \quad \text{o} \quad \eta = \frac{F}{A} \div \frac{dv}{dz} \tag{3}$$

10. Para las maquinas de inyección eléctricas la Viscosidad Relativa = La presión de transferencia X Tiempo de llenado.

11. Para las maquinas de inyección Hidráulicas la Viscosidad Relativa = Presión de transferencia X La razón de intensificación X Tiempo de llenado

12. Para documentar en una grafica, trace la viscosidad relativa vs. El esfuerzo de corte se muestra en grafico se muestra en grafico 3.1.



Grafica 3.1: Curva de reología.

13. Inspeccione las muestras y compare las características estéticas, balance, y la posición en la curva de flujo de derretimiento.

14. Seleccione un rango de esfuerzo de corte en el área plana en la "Curva de viscosidad relativa" (de nuevo asegure de no estar limitado en presión).

15. Criterio de aceptación, mantener el nivel de capacidad de proceso logrado después del diseño de experimentos.

3.6. Etapa 6. Control de la Mejora

De suma importancia es que después del trabajo realizado se lleve acabo el control de la mejora debido a;

- Prevenir que el problema se repita "retener las ganancias".
- Impedir que las mejoras se olviden.
- Mantener el desempeño del proceso.
- Para alentar la mejora continúa.
- Asegurar que las mejoras se institucionalicen.
- Evitar las alteraciones al proceso.
- Implantar el monitoreo continuo permanente.

Para implementar esto se define el monitoreo de las variables y proceso en el plan de control de producto y proceso.

3.7. Conclusiones

El moldeo científico es un metodología que sienta su apoyo en el personal que trabaja día a día en los procesos de inyección de plástico tomando el enfoque *científico práctico* logrando así involucrar desde un principio a la gente que finalmente será la que se quedara al control de la mejora. Aunque como se menciono en este capítulo esta metodología se divide en 6 etapas, el trabajo mas arduo es en el la etapa 4 diseño de experimentos y etapa 5 gráficos de reología. Ya que mediante el diseño de experimentos se trabaja en la parte del moldeo de la pieza o parte así se llega a mejorar la calidad obteniendo altos niveles de calidad. Después de esto se trabaja en la optimización del tiempo de ciclo del proceso de inyección del plástico mediante los gráficos de reología como se muestra en la figura 3.2, logrando así los resultados de calidad y productividad.

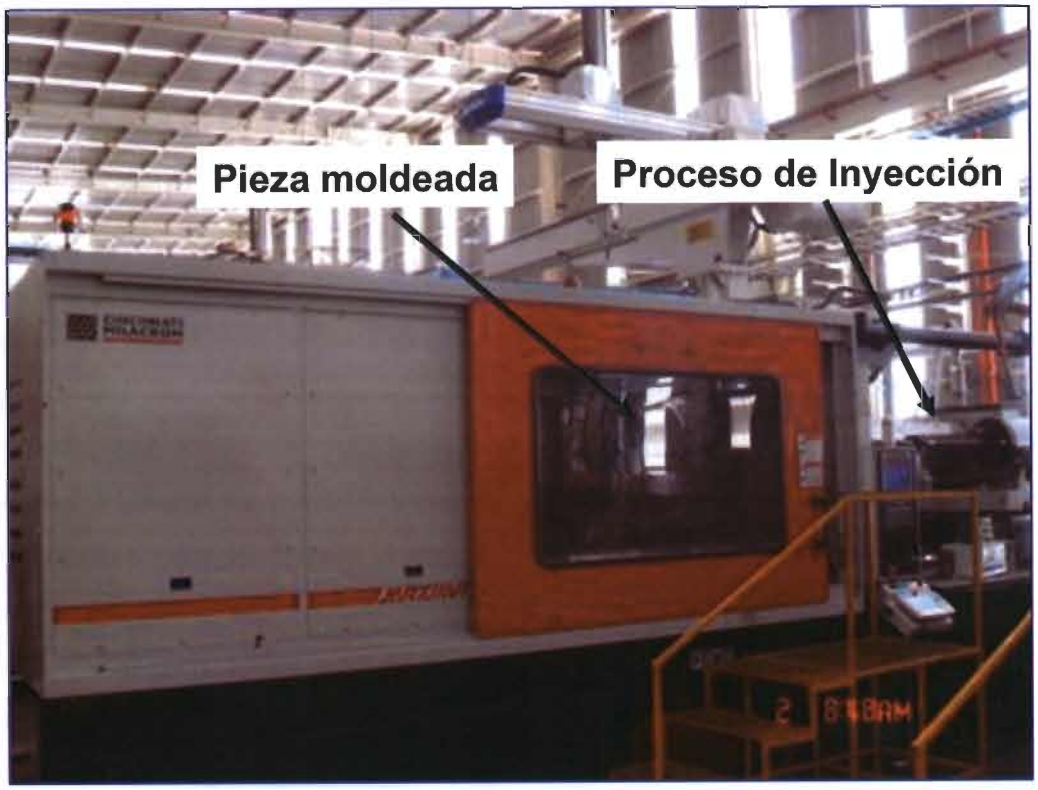


Figura 3.2: Ayuda visual pieza moldeada y proceso de inyección.

4. EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se describen los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta consistente en experimentar e implementar el "moldeo científico" con el propósito de mejorar la calidad de la pieza o parte como optimizar el tiempo de ciclo.

4.1. Etapa1. Definición del Equipo de Apoyo Técnico y Definición de la Parte o Pieza a Mejorar y Proceso a Optimizar

La primera fase consistió en la definición del equipo de apoyo técnico ya que como todo proyecto y nueva metodología debe de contar con personal altamente capacitado y relacionado con los procesos y partes que se quieren mejorar u optimizar, para este caso fueron seleccionados, personal de los siguientes áreas; producción, mantenimiento, calidad, lean sigma y manufactura. Así como operadores de maquina y montadores de moldes. Ya una vez reunido el equipo se procedió a la definición de la parte o pieza a mejorar y proceso a optimizar, para esto se llevaron acabo reuniones con todo el equipo revisando niveles de calidad, costo de desperdicio e impacto de la no calidad en las lavadoras por reclamos de cliente, por motivos de confidencialidad de estos indicadores se explica que aunque en las áreas de plásticos de cualquier empresa se inyecten altas o bajas cantidades de piezas esta metodología tiene la bondad y flexibilidad de ser aplicada en cualquier parte plástica, no importando si es de una sola cavidad como el caso que fue desarrollado, o si es de varias cavidades (varias partes inyectadas al mismo tiempo), si el molde pesa 5 kilogramos o 7000 kilogramos, o se inyecta con polipropileno, ABS, nylon, etc. Es flexible para ser llevada acabo en cualquier tipo de maquina ya sea eléctrica, hidráulica, etc. Para la experimentación e implementación desarrollada fue seleccionada la parte plástica llamada cubierta ya que el costo de esta pieza moldeada es muy alto de 6.12 dólares por pieza inyectada, así mismo es ensamblada en los lavadoras de lujo las cuales tienen un costo de aproximadamente $ 700 dólares dependiendo del modelo, así pues se ilustra esta pieza con su ensamble en las figuras 4.1 y 4.2.

Figura 4.1: Parte o pieza moldeada antes de ensamblar.

Figura 4.2: Parte o pieza moldeada ya ensamblada en lavadora.

Esta pieza cuenta con 2 dimensiones críticas para el ensamble contra el gabinete que son el ANCHO y LARGO a continuación se muestra el dibujo figuras 4.3, 4.4, 4.5.

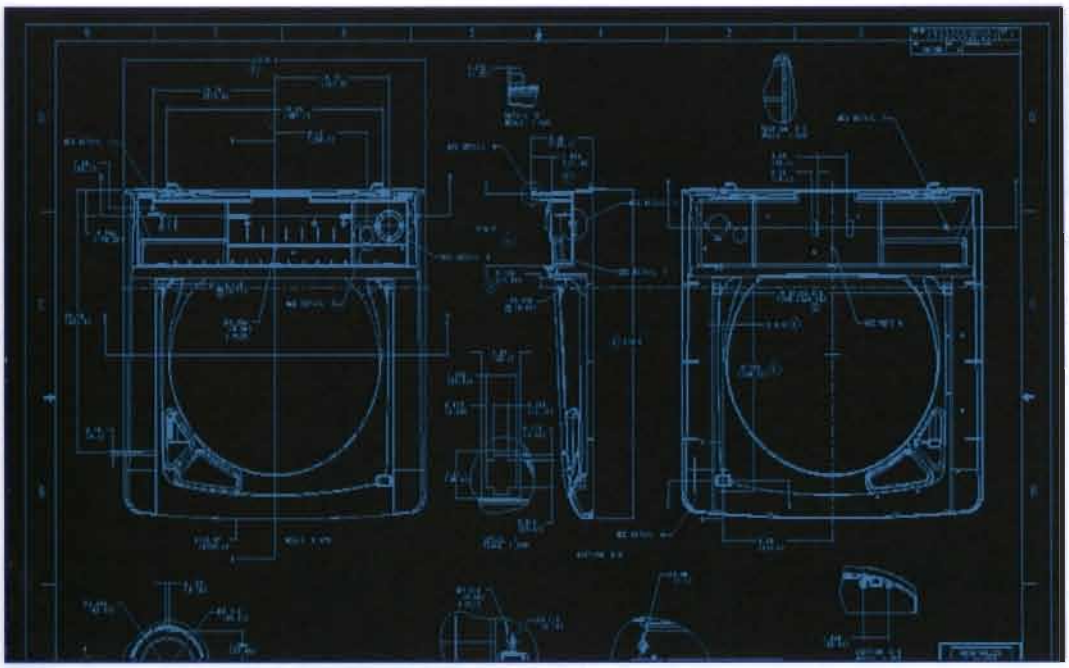


Figura 4.3: Dibujo de la parte o pieza.

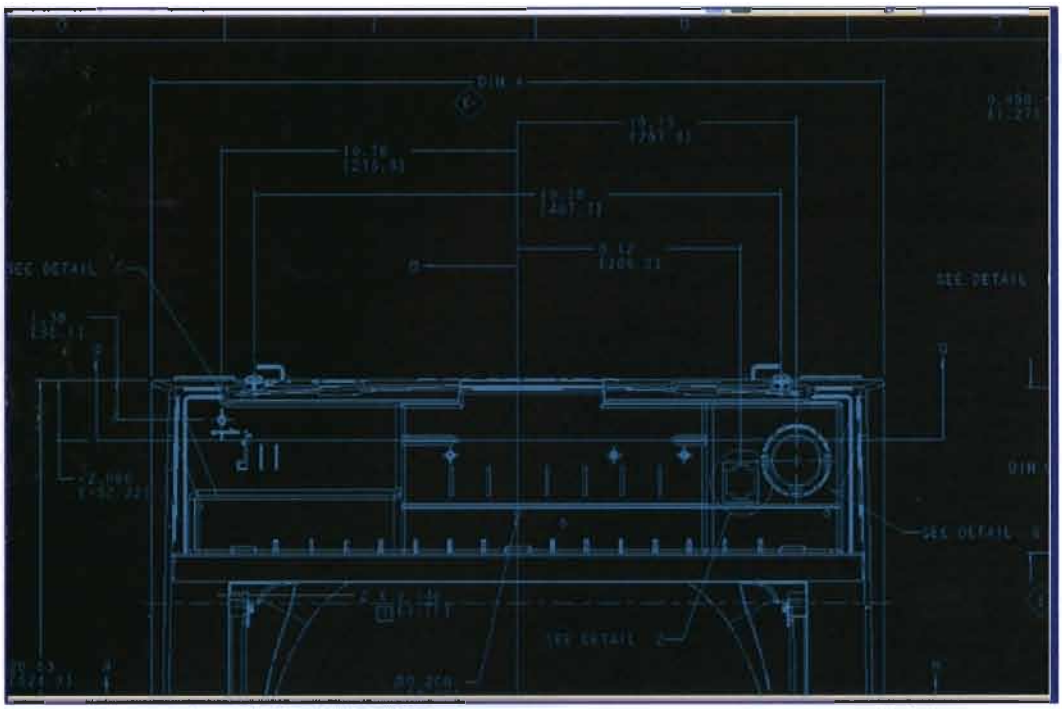


Figura 4.4: Acercamiento a la dimensión ANCHO (Dim. A).

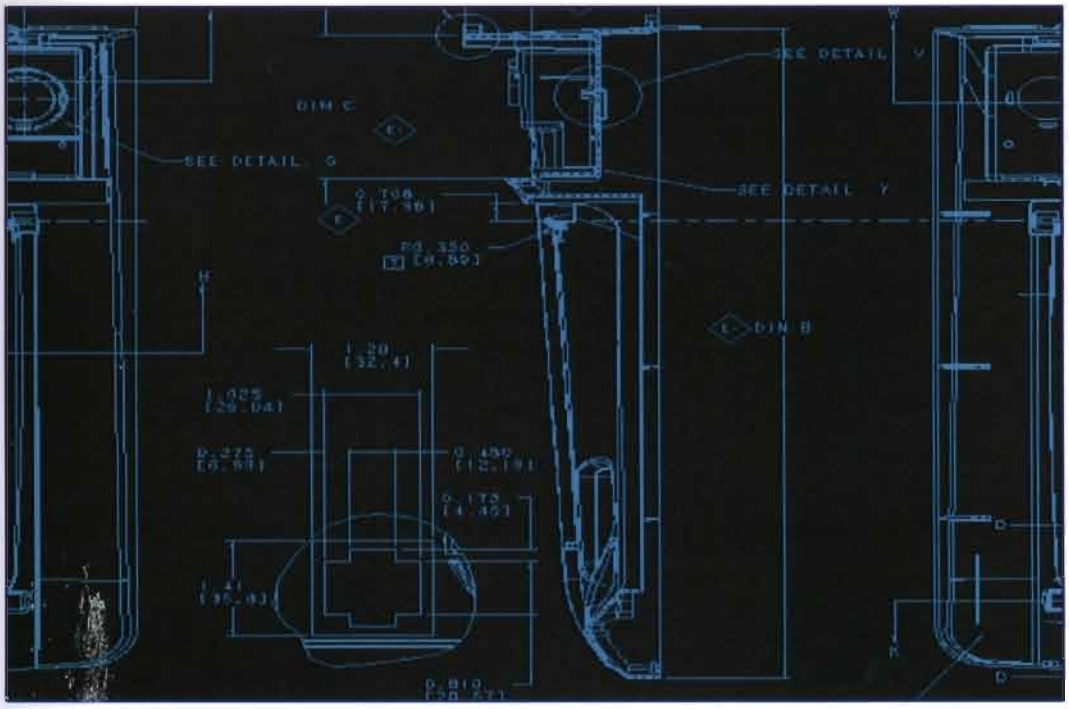


Figura 4.5: Acercamiento a la dimensión LARGO (Dim. B).

Una vez definidas las dimensiones de la parte o pieza a mejorar ANCHO especificación 26.660 +/- 0.030 pulgadas y LARGO especificación 25.837 +/- 0.070 pulgadas.

Se procede a la segunda etapa de la metodología.

4.2. Etapa 2. Evaluación de la Maquina de Inyección, Evaluación del Molde de Inyección

Para el desarrollo de la metodología la segunda etapa es una parte trascendental como cada una de las seis etapas, pero es importante que la maquina y molde de inyección se encuentren en optimas condiciones para el desarrollo de esta metodología, cada una de las empresas de inyección de plástico llevan acabo sus planes de mantenimiento, esta metodología tiene la bondad de adaptarse a los procedimientos de cualquier empresa se anexa formato como ejemplo se muestra en figura 4.6.

FORMATO DE EVALUACIÓN DE MAQUINA O MOLDE

Por medio de la presente se hace entrega oficial del equipo indicado, estando este trabajando en oerfectas condiciones y cumpliendo los siguientes puntos.

Fecha_____

Nombre de la Maquina o Molde_____

Área_____

Ubicación_____

Defina si el equipo es nuevo o modificado_____

Requisitos	Entregado
Instalación	
Manuales	
Entrenamiento	
Programas	
Diagramas electricos	
Diagramas hidraulicos	
Diagramas neumaticos	
Lista de refacciones	
Seguridad Industrial	
Ergonomia	

Una vez cumpliendo los siguientes puntos la maquinaria o molde quedara bajo la responsabilidad del personal de mantenimeitno y producción sin embargo para cualquier modificación del mismo debera de ser autorizada por todos y cada uno del siguiente equipo de apoyo tecnico.

Firmas;

Producción_____ Manufactura_____

Calidad_____ Mantenimiento_____

Lean sigma_____

Figura 4.6: Formato de evaluación de maquina o molde.

4.3. Etapa 3. Aseguramiento del Sistema de Medición Repetibilidad y Reproducibilidad, Capacidad de Proceso Z´s y PPM´s (Antes de la Mejora)

La tercera etapa de la metodología consistió en asegurar el sistema de medición.
Como se explico en el punto 4.1 de este capítulo se definieron 2 dimensiones a controlar en la cubierta ANCHO y LARGO es en cada una de estas dimensiones que se llevo acabo la experimentación que se explicara en los puntos siguientes.

4.3.1 Aseguramiento del Sistema de Medición Repetibilidad y Reproducibilidad

El Estudio para el aseguramiento del sistema de medición (gage ryr por sus siglas en ingles) es un método usado para analizar un sistema de medición para determinar la cantidad y el tipo de variación (error), para un mayor entendimiento esto nos contestamos las siguientes preguntas:

¿Qué es una medición?
Una comparación entre una cantidad desconocida y una cantidad conocida.
¿Por qué necesitamos datos de medición?
Para tomar decisiones acerca de la aceptación de productos o los procesos de control
¿Qué esperamos de los datos de medición?
Exactitud: Los datos dicen la verdad.
Repetibilidad: Volver a medir y obtener el mismo valor.
Reproducibilidad: Si la parte se mide por una persona u otra, no se esperan resultados diferentes, es decir los resultados son independientes del operador.
¿Qué es un gage (equipo de medición)?
Cualquier instrumento usado para medir
¿Qué es un operador?
Una persona o dispositivo que usa un gage para hacer una medición.
Una vez contestadas estas preguntas se determina que sistema de medición como un sub-proceso que puede agregar variación a los datos de medición. El objetivo es usar un proceso

de medición que arroje al sistema la menor cantidad de error de medición, entonces tenemos la siguiente formula;

$$\sigma^2 total = \sigma^2 parteaparte + \sigma^2 ryr \qquad (4)$$

En donde $\sigma^2 total$ es la variación total de datos.

$\sigma^2 parteaparte$ variación causada por la diferencia de partes.

$\sigma^2 ryr$ variación por error de medición esperando que el resultado sea entre menor mejor, y llegando a un porcentaje menor a 20% se considera que es estudio es aceptable, los cálculos estadísticos fueron soportados por el software MINITAB® , brevemente se describirá la formula para el calculo de este porcentaje ya que nuestras dimensiones tienen limites bilaterales;

$$\%gageryr = \frac{5.15 \times \sigma}{Tolerancia} \times 100 \qquad (5)$$

En donde σ es la raiz cuadrada de la variación de la medición total de datos.

Tolerancia LSE-LIE variación causada por la diferencia de partes.

5.15 de la desviación estándar que contiene el 99 % de la distribución normal.

A continuación se muestran los resultados del aseguramiento del sistema de medición el método usado para analizar un sistema de medición para determinar la cantidad y el tipo de variación (error) con esto aseguramos que la variables de salida (dimensiones) ANCHO y LARGO sea bien medida el equipo utilizado fue una maquina de coordenadas automática. Se recolectaron 10 piezas al azar y se llevo acabo la medición por dos expertos en metrología cuyos resultados se muestran a continuación;

ANCHO, se muestra tabla 4.1;

Aseguramiento del Sistema de Medición Repetibilidad y Reproducibilidad
Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad

Fuente	Var Comp	Desv. Estd.	5.15 * Sigma
Resultado Total	3.27 E -07	5.72 E -04	2.95 E -03
Repetibilidad	1.76 E -07	4.20 E -04	2.16 E -03
Reproducibilidad	1.51 E -07	3.88 E -04	2.00 E -03
Operador	0.00 E +00	0.00 E +00	0.00 E +00
Operador * Muestra	1.51 E -07	3.88 E -04	2.00 E -03
Parte a Parte	3.71 E -07	6.09 E -03	3.14 E -02
Variación Total	3.74 E -07	6.12 E -03	3.15 E -02

Fuente	% Contribución	Variación del Estudio	% Tolerancia
Resultado Total	0.87	9.35	4.91
Repetibilidad	0.47	6.87	3.61
Reproducibilidad	0.40	6.35	3.33
Operador	0.00	0.00	0.00
Operador * Muestra	0.40	6.35	3.33
Parte a Parte	99.13	99.56	52.28
Variación Total	100.00	100	52.51

Tabla 4.1: Estudio de gage ryr para variable ANCHO.

Como se puede observar los resultados (sombreados en color gris) del estudio para la variable ANCHO son aceptables con un valor de 9.35 % en el estudio de variación y un 4.91% en el porcentaje de tolerancia por lo tanto se puede proceder al calculo de capacidad de proceso inicial para esta variable.

LARGO, se muestra en tabla 4.2;

Aseguramiento del Sistema de Medición Repetibilidad y Reproducibilidad
Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad

Fuente	Var Comp	Desv. Estd.	5.15 * Sigma
Resultado Total	9.54 E -08	3.09 E -04	1.59 E -03
Repetibilidad	9.52 E -08	3.09 E -04	1.59 E -03
Reproducibilidad	2.41 E -10	1.55 E -04	8.00 E -05
Operador	2.41 E -10	1.55 E -04	8.00 E -05
Parte a Parte	2.17 E -05	4.66 E -03	2.40 E -02
Variación Total	2.18 E -05	4.67 E -03	2.40 E -02

Fuente	% Contribución	Variación del Estudio	% Tolerancia
Resultado Total	0.44	6.62	1.14
Repetibilidad	0.44	6.61	1.13
Reproducibilidad	0.00	0.33	0.06
Operador	0.00	0.33	0.06
Parte a Parte	99.56	99.78	17.13
Variación Total	100.00	100	17.17

Tabla 4.2: Estudio de gage ryr para variable LARGO.

Como se puede observar los resultados (sombreados en color gris) del estudio para la variable LARGO son aceptables con un valor de 6.62 % en el estudio de variación y un 1.14% en el porcentaje de tolerancia por lo tanto se puede proceder al calculo de capacidad de proceso inicial para esta variable.

4.3.2. Capacidad de Proceso Z´s y PPM´s (Antes de la Mejora)

Antes de intentar realizar cualquier mejora en el proceso es necesario obtener la capacidad de proceso inicial para tener un punto de partida a continuación se describe brevemente.

El estudio de Z´s o habilidad de proceso es cuantificar la capacidad de un proceso existente usando datos muéstrales antes de que cualquier mejora se implemente. (Mabe Seis Sigma, 2000), los cálculos estadísticos fueron soportados por el software MINITAB®, brevemente se describirá la formula para el calculo de Z´s este porcentaje ya que nuestras dimensiones tienen limites bilaterales (6 y 7) , además de la formula para el calculo de PPM´s (8);

$$Z(LSE) = \frac{LSE - X}{S} \tag{6}$$

$$Z(LIE) = \frac{X - LIE}{S} \tag{7}$$

$$PPM's = \frac{CantidadTotal\,Rechazada}{CantidadTotalAnalizada} \times 1000000 \tag{8}$$

En donde LSE es limite superior estándar.

En donde LIE es limite inferior estándar.

X Es la media calculada.

S Es la desviación estándar.

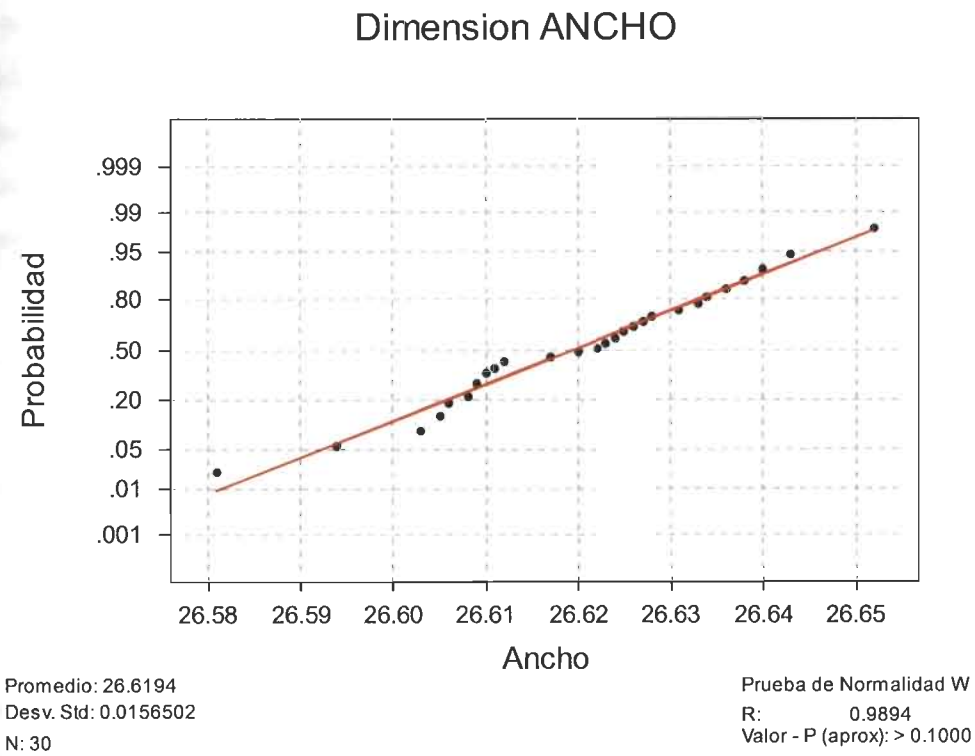
Para realizar el siguiente análisis estadístico se tomaron datos históricos de las auditorias de calidad de las dimensiones ANCHO y LARGO, desde Febrero del 2006, los datos se muestran en la siguiente tabla 4.3, en esta tabla también como parte de las auditorias de calidad del proceso se describen los datos de las variables que en paginas siguientes se estarán utilizando para realizar la mejora del proceso , así también es de importancia hacer el análisis estadístico de normalidad de los datos.

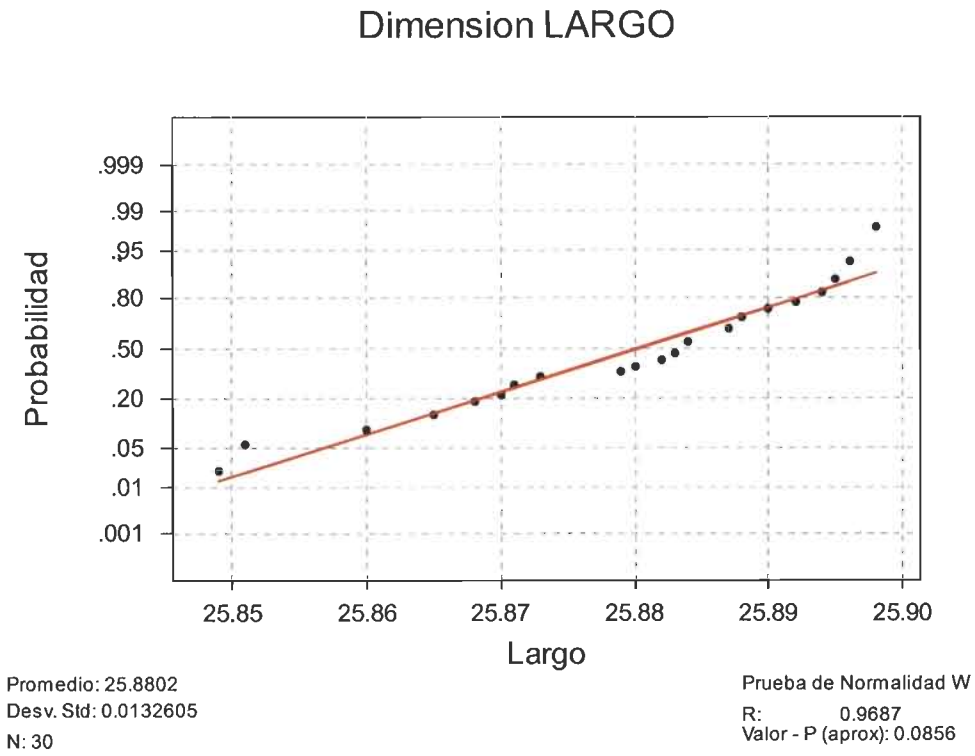
Caracteristica	Tiempo de enfriamiento	Tiempo de empaque	Tiempo de sostenimiento	Presión de Empaque	Presión de sostenimiento	[illegible]	[illegible]
Unidades	segundos	segundos	segundos	PSI	PSI	[illegible]	[illegible]
Especificación	35 +/- 5	3 +/- 1	3 +/- 1	700 +/- 100	600 +/- 100	[illegible]	[illegible]
	40	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	40	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	35	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	35	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	40	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	40	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	40	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	40	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	40	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	35	3	3	700	600	26.561	25.857
	35	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	35	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	35	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	35	3	3	700	600	[illegible]	[illegible]
	35	3	3	700	600	26.617	25.904
	35	3	3	700	600	26.602	25.911
	35	3	3	700	600	26.610	25.863
	35	3	3	700	600	26.630	25.895
	35	3	3	700	600	26.600	25.885
	35	3	3	700	600	26.618	25.890
	35	3	3	700	600	26.544	25.891
	40	3	3	700	600	26.563	25.898
	40	3	3	700	600	26.571	25.898
	40	3	3	700	600	26.557	25.897
	40	3	3	700	600	26.556	25.890
	40	3	3	700	600	26.606	25.853
	40	3	3	700	600	26.610	25.853
	40	3	3	700	600	26.610	25.853
	35	3	3	700	600	26.611	25.881
	35	3	3	700	600	26.611	25.881
	35	3	3	700	600	26.607	25.892
	35	3	3	700	600	26.607	25.892
	35	3	3	700	600	26.609	25.898
	35	3	3	700	600	26.608	25.895
	35	3	3	700	600	[illegible]	25.592

35	3	3	700	600	26.619	25.894
35	3	3	700	600	26.617	25.890
35	3	3	700	600	26.631	25.865
35	3	3	700	600	26.629	25.851
35	3	3	700	600	26.627	25.837
30	3	3	700	600	26.619	25.871
40	3	3	700	600	26.606	25.819
40	3	3	700	600	26.624	25.883
40	3	3	700	600	26.603	25.888
40	3	3	700	600	26.621	25.864
40	3	3	700	600	26.627	25.894
40	3	3	700	600	26.634	25.890
35	3	3	700	600	26.606	25.870
35	3	3	700	600	26.594	25.868
35	3	3	700	600	26.617	25.884
35	3	3	700	600	26.615	25.871
35	3	3	700	600	26.652	25.879
35	3	3	700	600	26.633	25.888
35	3	3	700	600	26.625	25.887
35	3	3	700	600	26.640	25.865
35	3	3	700	600	26.636	25.873
35	3	3	700	600	26.626	25.882
35	3	3	700	600	26.628	25.887
35	3	3	700	600	26.636	25.884
35	3	3	700	600	26.643	25.865
35	3	3	700	600	26.634	25.883
35	3	3	700	600	26.635	25.880

Tabla 4.3: Base de datos históricos para el calculo inicial del Z´s y PPM´s.

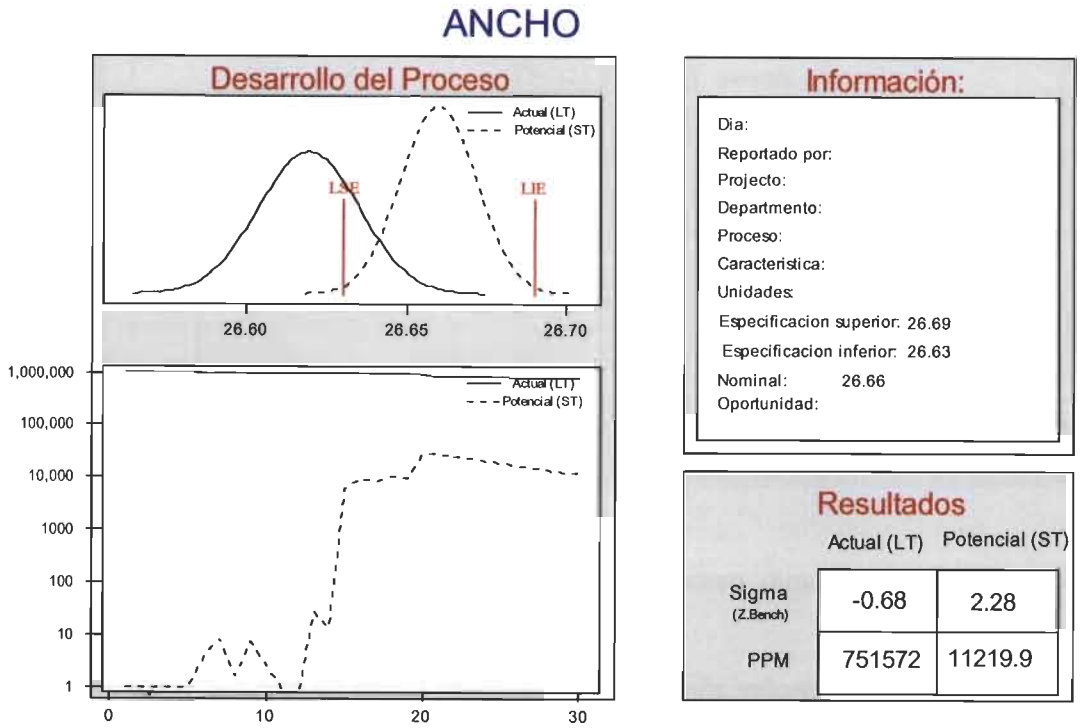
A continuación se muestran los análisis realizados para la dimensión ANCHO y LARGO; El análisis de normalidad se llevo acabo mediante el método estadístico de Ryan-Joiner similar a Shapiro-Wilk el criterio para aceptar hipótesis nula es que el valor de P sea igual o mayor a 0.05 esto en base al nivel de confianza de la prueba estadística, en la grafica 4.1 y 4.2 se muestra el resultado.





Grafica 4.1 y grafica 4.2: Prueba de normalidad dimensión ANCHO y LARGO.

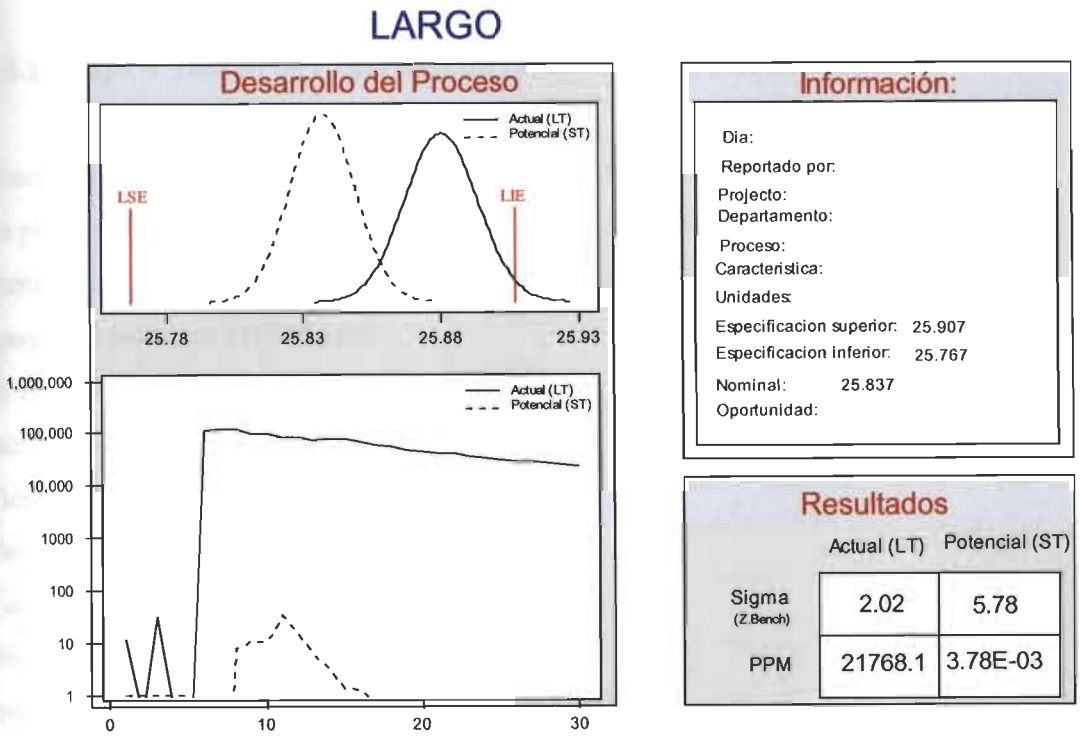
De acuerdo a los resultados mostrados en ambas dimensiones no se tiene la evidencia estadístico para decir que los datos son no normales por lo tanto se procede a realizar el capacidad de proceso (antes de la mejora), se procedió a abstener los resultados de los datos históricos para ambas dimensiones, en la grafica 4.3 se muestra el resultado de la dimensión ANCHO;



Grafica 4.3: Calculo de capacidad inicial de proceso dimensión ANCHO.

En este estudio se observa que el resultado muestra unos valores de calidad no aceptables con un resultado actual de Z=-0.68 y PPM´s de 751572 lo cual nos indica que la calidad del producto en su dimensión ANCHO es muy pobre lo cual como resultado puede ocasionar problemas de ruido cuando la lavadora este trabajando.

Resultado dimensión LARGO;



Grafica 4.4: Calculo de capacidad inicial de proceso dimensión LARGO.

En la grafica 4.4 se observa que el resultado muestra unos valores de calidad mejores que el ANCHO pero factibles de mejora con un resultado de Z=2.02 y PPM's de 21768.1 lo cual nos indica que la calidad del producto en su dimensión LARGO es irregular ya que estamos mandando partes fuera de dimensión.

4.4. Etapa 4. Diseño de Experimentos (Mejora de la Parte Moldeada) Capacidad de Proceso (Después de la Mejora)

4.4.1. Etapa 4. Diseño de Experimentos (Mejora de la Parte Moldeada)

Diseño de Experimentos. (La mejora de la parte moldeada)

Se plantea un diseño de experimentos para optimizar el proceso y obtener como resultado la ventana de proceso que nos conlleve a obtener el objetivo el DOE se desarrollara con el apoyo del software MINITAB®.

El diseño de experimentos que se plantea es un 2^5 esto es 5 factores con 2 niveles, los factores son;

Tiempo de Enfriamiento.

Tiempo de Empaque.

Tiempo de Sostenimiento.

Presión de Empaque.

Presión de Sostenimiento.

¿Porque estos factores?

Esto es debido a que están directamente relacionados con las dimensiones de la pieza ya que en el caso de incluir velocidades, temperaturas se estaría afectando los atributos de la pieza, es decir rayas, manchas por quemaduras de material y este no es el objetivo de esta tesis. Dentro de los procesos de inyección con estos factores se llego a controlar las dimensiones ya que el punto de partida fue que ya se tiene la pieza llena es decir ya esta completamente moldeada (formada) esto también soportado por el aporte *científico-practico* del equipo de apoyo técnico. Es importante mencionar que se partió también de un proceso que actualmente esta en producción, por lo tanto el tiempo de maquina, así como el desperdicio de material son de alto impacto en los objetivos de la producción diaria por consecuencia es de vital importancia el desarrollar este diseño de experimentos en forma precisa.

En la siguiente tabla se presenta el DOE con sus factores y sus niveles;

Diseño Factorial , Factores

Factor	Nombre	Bajo	Alto
A	Tmpo. Enfri	35	40
B	Tmpo. Empa	2	3
C	Tmpo. Sost	2	3
D	Pres. Empa	700	800
E	Pres. Sost	700	800

Tabla 4.4: Factores y Niveles.

Es decir un factorial completo de 32 corridas, esto debido a se pretende desarrollar el DOE con el máximo de corridas que nos permita obtener resultados confiables y que nos lleve a utilizar la maquina de inyección el mínimo de tiempo y con el menor desperdicio posible ya que esta maquina esta en producción.

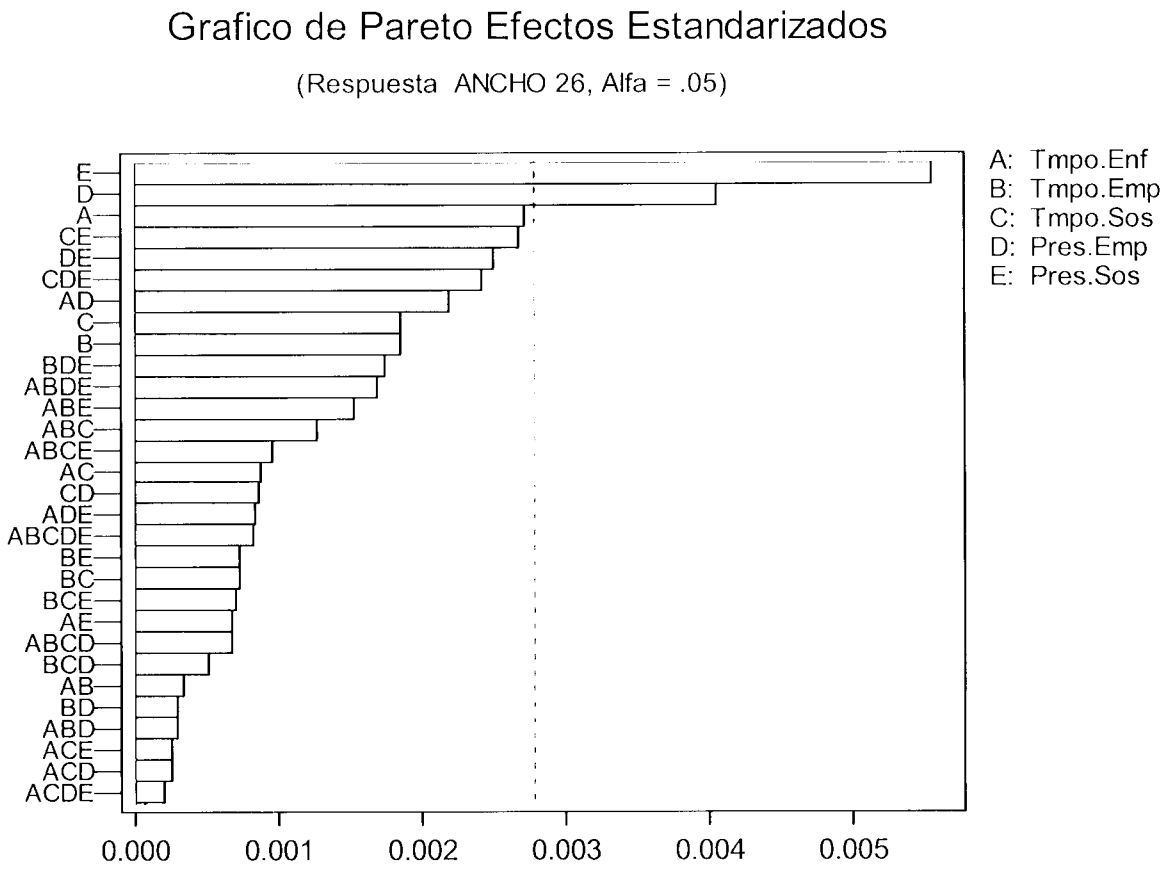
En la siguiente tabla 4.5, se muestra el diseño de experimentos, las corridas se llevaron en forma aleatoria, así mismo se muestra en la columna ANCHO y LARGO los resultados del diseño de experimento el cual estará mostrando los resultados de los análisis en las siguientes hojas.

Orden Estandar	Orden de Corrida	Tmpo.Enfri	Tmpo.Empa	Tmpo.Sost	Pres.Empa	Pres.Sost	ANCHO 26.660	LARGO 25.837
1	1	35	2	2	700	700	26.6406	25.8317
17	2	35	2	2	700	800	26.6437	25.8362
6	3	40	2	3	700	700	26.6427	25.8419
31	4	35	3	3	800	800	26.6543	25.8698
29	5	35	2	3	800	800	26.6477	25.8535
4	6	40	3	2	700	700	26.6452	25.8385
24	7	40	3	3	700	800	26.6442	25.8536
27	8	35	3	2	800	800	26.6485	25.8568
8	9	40	3	3	700	700	26.6423	25.8369
21	10	35	2	3	700	800	26.6461	25.8483
23	11	35	3	3	700	800	26.6432	25.8324
20	12	40	3	2	700	800	26.6445	25.8521
28	13	40	3	2	800	800	26.6499	25.8424
2	14	40	2	2	700	700	26.6372	25.8294
12	15	40	3	2	800	700	26.6476	25.8544
13	16	35	2	3	800	700	26.64	25.8798
19	17	35	3	2	700	800	26.6445	25.8398
7	18	35	3	3	700	700	26.645	25.8376
26	19	40	2	2	800	800	26.6493	25.8432
11	20	35	3	2	800	700	26.6416	25.8364
15	21	35	3	3	800	700	26.6397	25.8431
10	22	40	2	2	800	700	26.6436	25.8323
14	23	40	2	3	800	700	26.6422	25.8325
22	24	40	2	3	700	800	26.6472	25.8494
18	25	40	2	2	700	800	26.6431	25.8382
16	26	40	3	3	800	700	26.6456	25.8432
9	27	35	2	2	800	700	26.6442	25.8405
3	28	35	3	2	700	700	26.6416	25.8468
5	29	35	2	3	700	700	26.6375	25.8385
32	30	40	3	3	800	800	26.658	25.8562
25	31	35	2	2	800	800	26.6411	25.8502
30	32	40	2	3	800	800	26.66	25.889

Tabla 4.5: Corridas de diseño de experimentos y resultados.

El análisis se llevo acabo mediante gráficos de pareto, análisis de varianza (ANOVA), y gráficos de cubo para encontrar la combinación para mejorar las dimensiones.

Análisis del diseño de experimentos dimensión ANCHO;



Grafica 4.5: Pareto dimensión ANCHO.

En el grafico de pareto grafica 4.5, se obtuvo como resultado que los factores de mayor contribución para la dimensión de salida ANCHO son la presión de sostenimiento (E), presión de empaque (D) y casi al limite el tiempo de enfriamiento (A), existen factores que no son estadísticamente significativos esto se confirmo con un ANOVA (análisis de varianza).

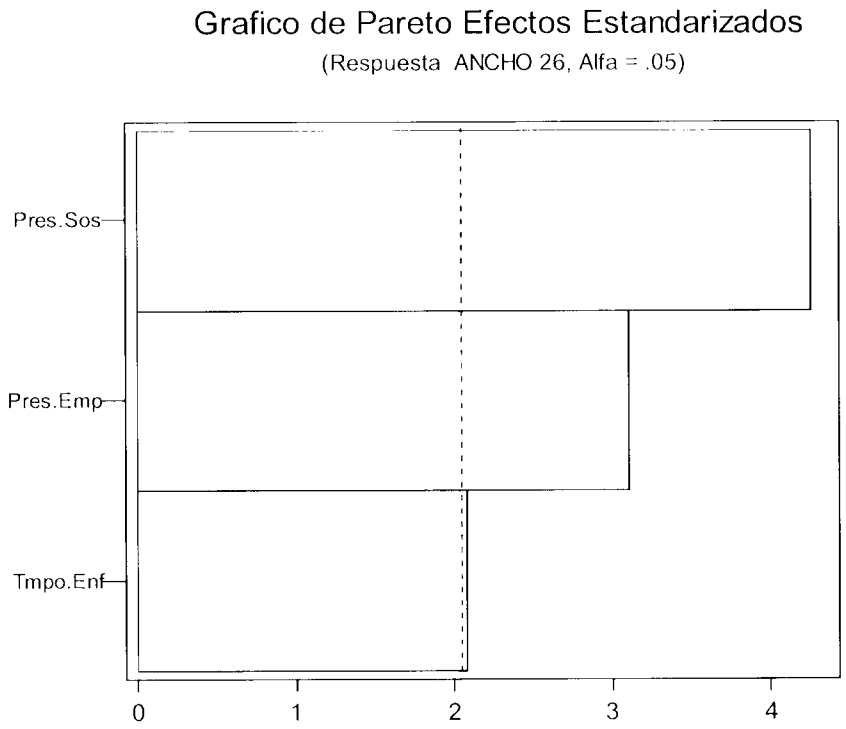
ANOVA (análisis de varianza) dimensión ANCHO, los resultados se muestran el la tabla 4.6.

Análisis de Varianza para la Variable ANCHO (unidades codificadas)

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Efectos Principales	5	0.000489	0.000489	0.0000970	*	*
2 Interacciones	10	0.000170	0.000170	0.0000170	*	*
3 Interacciones	10	0.000115	0.000115	0.0000115	*	*
4 Interacciones	5	0.000034	0.000034	0.0000068	*	*
5 Interacciones	1	0.000005	0.000005	0.0000053	*	*
Error Residual	0	0.000000	0.000000	0.000000		
Total	31	0.0008162				

Tabla 4.6: Primer ANOVA ANCHO.

Los valores de F y P no mostraron el resultado, aparecieron asteriscos, se confirma lo descrito en el grafico de pareto, grafica 4.5, se procede a correr otro grafico de pareto, grafica 4.6 con los principales contribuidores.



Grafica 4.6: Pareto dimensión ANCHO principales contribuidores.

En el grafico de pareto, grafica 4.6 obtuvo como resultado que los factores como la presión de sostenimiento y presión de empaque son significativos así mismo en el limite el tiempo de enfriamiento se procedió al ANOVA (análisis de varianza) de solo estos 3 factores que se presenta en la siguiente tabla 4.7.

Factorial Fraccionado Ajuste

Efectos Estimados y Coeficientes para la Variable ANCHO (unidades codificadas)

Terminos	Efecto	Coeficiente	CoefDesvStd	T	P
Constante		26.6451	0.000652	4.10E+04	0.00
Tmpo.Enf	0.0027	0.0014	0.000652	2.08	0.047
Pres.Emp	0.004	0.002	0.000652	3.1	0.004
Pres.Sos	0.0055	0.0028	0.000652	4.25	0.00

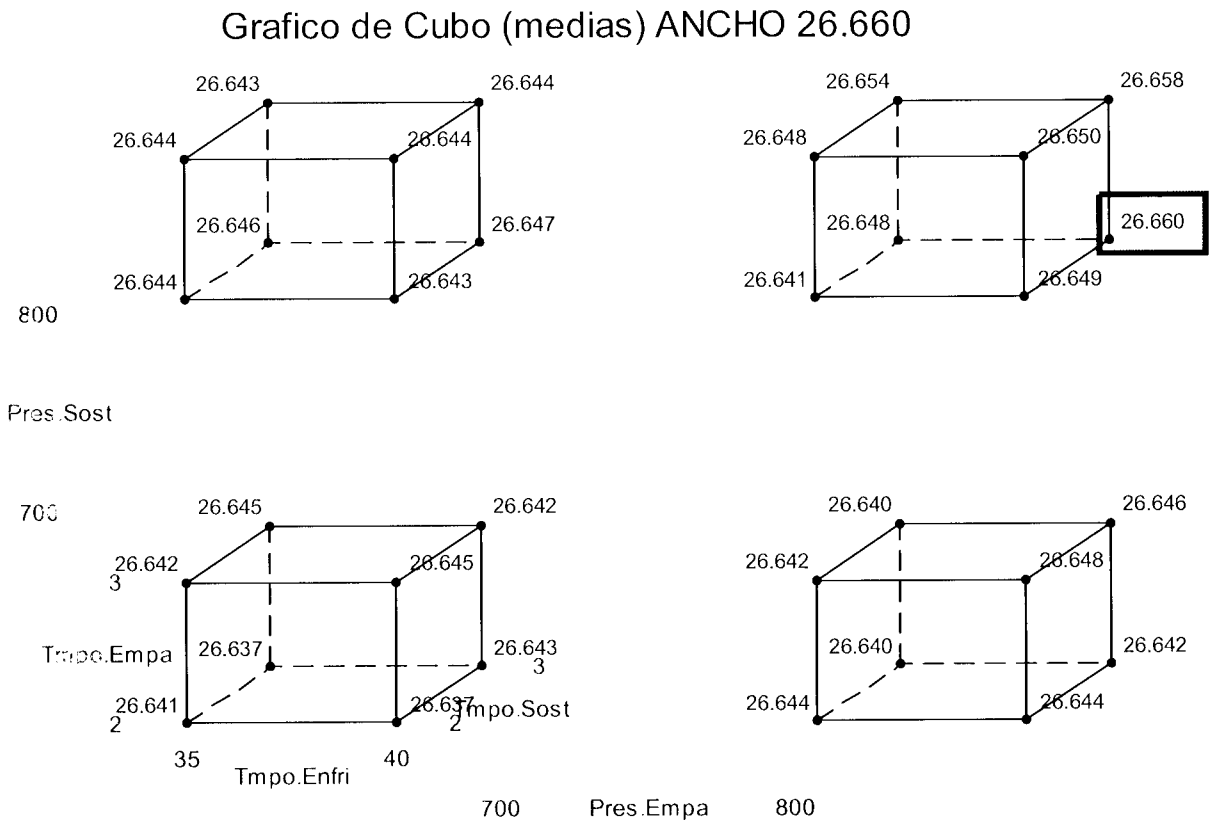
Análisis de Varianza para la Variable ANCHO (unidades codificadas)

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Efectos Principales	3	0.00043527	0.00043527	0.00014509	10.66	0.00
Error Residual	28	0.00038093	0.00038093	0.00001360		
Falta de Ajuste	4	0.00009705	0.00009705	0.00002426	2.05	0.119
Error Puro	24	0.00028387	0.00028387	0.00001183		
Total	31	0.00081620				

Tabla 4.7: Segundo ANOVA ANCHO.

En el análisis de varianza se confirmo lo que se mostró gráficamente en el pareto grafica 4.7 ya con los valores de $P< 0.05$ en sombreados en color gris, presión de sostenimiento y presión de empaque son significativos así mismo en el limite el tiempo de enfriamiento con esta información se procedió al análisis de grafico de cubo con el objetivo de encontrar las posibles combinaciones que nos lleven a obtener la mejora la dimensión ANCHO.

Grafica de cubo ANCHO;

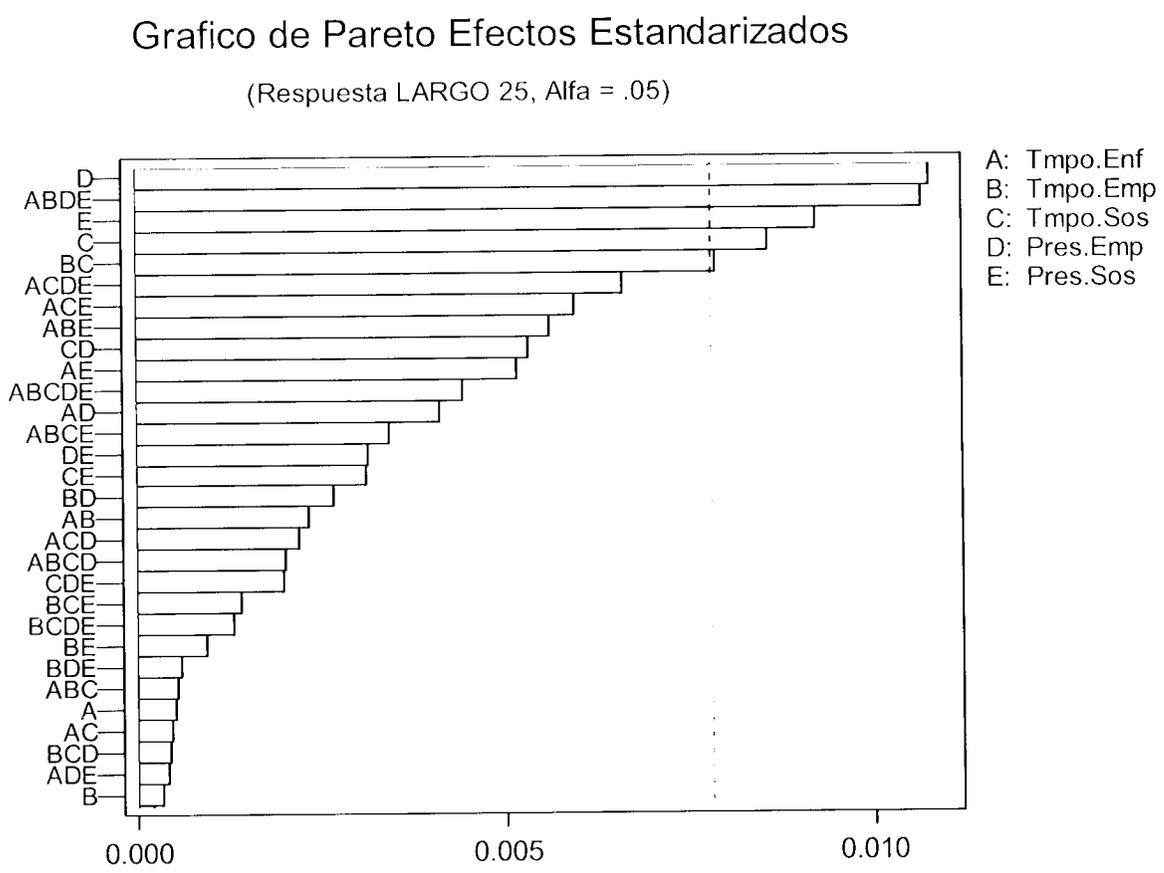


Grafica 4.7: Grafica de cubo dimensión ANCHO.

De acuerdo al la grafica de cubo se muestra en el recuadro que la mejor combinación para que el ancho este en la nominal es con:

Presión de Sostenimiento = 700 psi, Presión de Empaque= 800 psi, Tiempo de Enfriamiento= 40 seg., Tiempo de Empaque= 2 seg, Tiempo de Sostenimiento=3 seg.

Análisis del DOE variable de respuesta LARGO;



Grafica 4.8: Pareto dimensión LARGO.

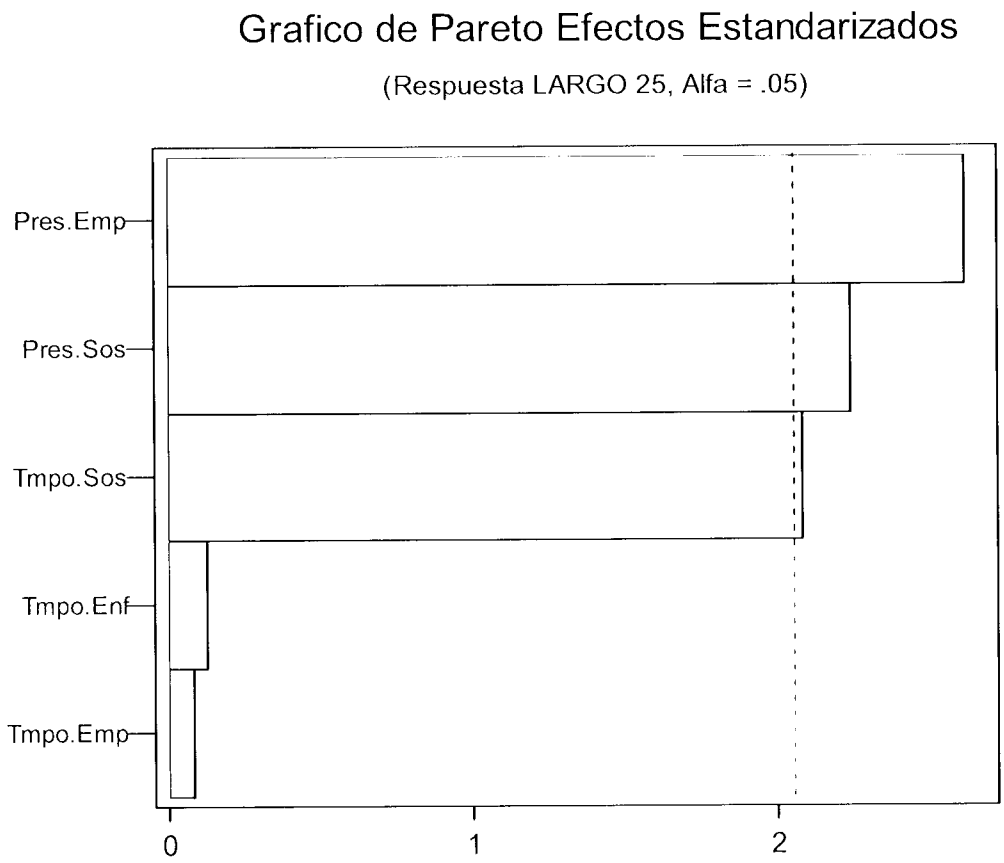
En el grafico de pareto grafica 4.8, se obtuvo como resultado que los factores de mayor contribución para la dimensión salida LARGO son presión de empaque (D), la interacción entre el tiempo de enfriamiento (A), tiempo de empaque (B), presión de sostenimiento (E), presión de empaque (D) significativos esto se confirmo con un ANOVA (análisis de varianza).

Análisis de Varianza para la Variable LARGO (unidades codificadas)

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Efectos Principales	5	0.002193	0.002193	0.0004386	*	*
2 Interacciones	10	0.001331	0.001331	0.0001331	*	*
3 Interacciones	10	0.000627	0.000627	0.0000627	*	*
4 Interacciones	5	0.001398	0.001398	0.0002796	*	*
5 Interacciones	1	0.000156	0.000156	0.0001566	*	*
Error Residual	0	0.000000	0.000000	0.000000		
Total	31	0.00570800				

Tabla 4.8: Primer ANOVA LARGO.

Los valores de F y P no mostraron el resultado, aparecieron asteriscos, se confirma lo descrito en el grafico de pareto, grafica 4.8, se procede a correr otro grafico de pareto, grafica 4.9 con los principales contribuidores.



Grafica 4.9: Pareto dimensión LARGO principales contribuidores.

En el grafico de pareto, grafica 4.9 se observo que al analizar los factores principales en el modelo que ahora los factores con mayor peso son la variable de salida LARGO son presión de empaque, presión de sostenimiento y el tiempo de sostenimiento esto lo podemos confirmar con un ANOVA (análisis de varianza), tabla 4.9.

Factorial Fraccionado Ajuste
Efectos Estimados y Coeficientes para la Variable LARGO (unidades codificadas)

Terminos	Efecto	Coeficiente	CoefDesvStd	T	P
Constant		25.8461	0.002055	1.30E+04	0.00
Tmpo.Enf	-0.0005	-0.0003	0.000652	-0.12	0.902
Tmpo.Emp	0.0003	0.0003	0.002055	0.08	0.935
Tmpo.Sos	0.0085	0.0043	0.002055	2.08	0.048
Pres.Emp	0.0107	0.0054	0.002055	2.62	0.015
Pres.Sos	0.0092	0.0046	0.002055	2.24	0.03

Análisis de Varianza para la Variable ANCHO (unidades codificadas)

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Efectos Principales	5	0.002193	0.002193	0.0004386	10.66	0.021
Error Residual	26	0.003515	0.003515	0.001352		
Total	31	0.00570800				

Tabla 4.9: Segundo ANOVA LARGO.

En el análisis de varianza se confirmo lo que se mostró gráficamente en el pareto grafica 4.9 ya con los valores de $P< 0.05$ en sombreados en color gris, presión de sostenimiento y presión de empaque son significativos así mismo en el limite el tiempo de sostenimiento con el objetivo se vuelve a correr otro ANOVA con solo los tres factores antes mencionados.

Efectos Estimados y Coeficientes para la Variable LARGO (unidades codificadas)

Terminos	Efecto	Coeficiente	CoefDesvStd	T	P
Constant		25.8461	0.001981	1.30E+04	0.00
Tmpo.Sos	0.0085	0.0043	0.001981	2.16	0.04
Pres.Emp	0.0107	0.0054	0.001981	2.71	0.011
Pres.Sos	0.0092	0.0046	0.001981	2.33	0.027

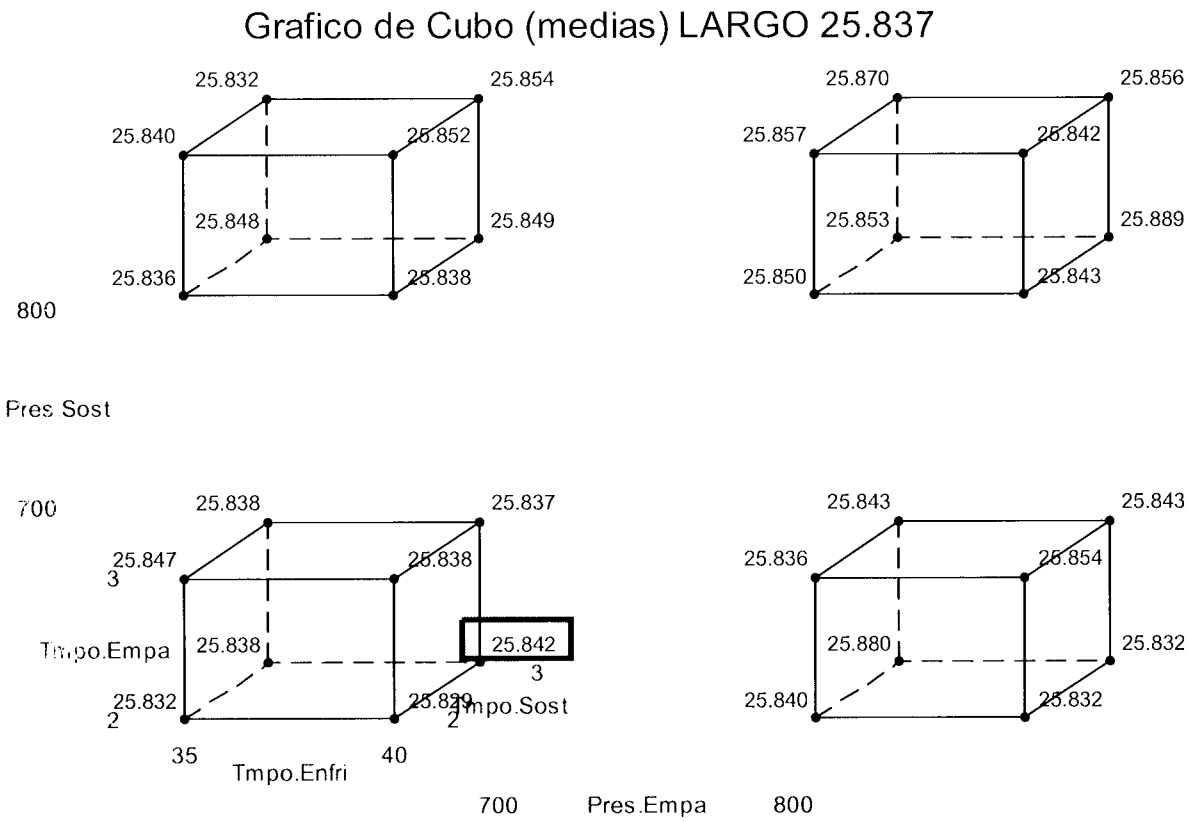
Análisis de Varianza para la Variable ANCHO (unidades codificadas)

Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Efectos Principales	3	0.00021901	0.00021901	0.00073000	5.81	0.003
Error Residual	28	0.0035175	0.0035175	0.00012560		
Falta de Ajuste	4	0.0004140	0.0004140	0.00010350	0.80	0.537
Error Puro	24	0.0031035	0.0031035	0.00012930		
Total	31	0.00570770				

Tabla 4.10: Tercer ANOVA LARGO.

Corriendo otro ANOVA solo con estos tres factores se reconfirma que P< 0.05 en sombreados en color gris, presión de sostenimiento y presión de empaque son significativos así mismo en el limite el tiempo de sostenimiento con esta información se esta información se procedió al análisis de grafico de cubo con el objetivo de encontrar las posibles combinaciones que nos lleven a obtener la mejora la dimensión LARGO.

Grafica de cubo LARGO;



Grafica 4.10: Grafica de cubo dimensión LARGO.

De acuerdo al la grafica de cubo se muestra en el recuadro que la mejor combinación para que la dimensión largo este cerca de la nominal es con:

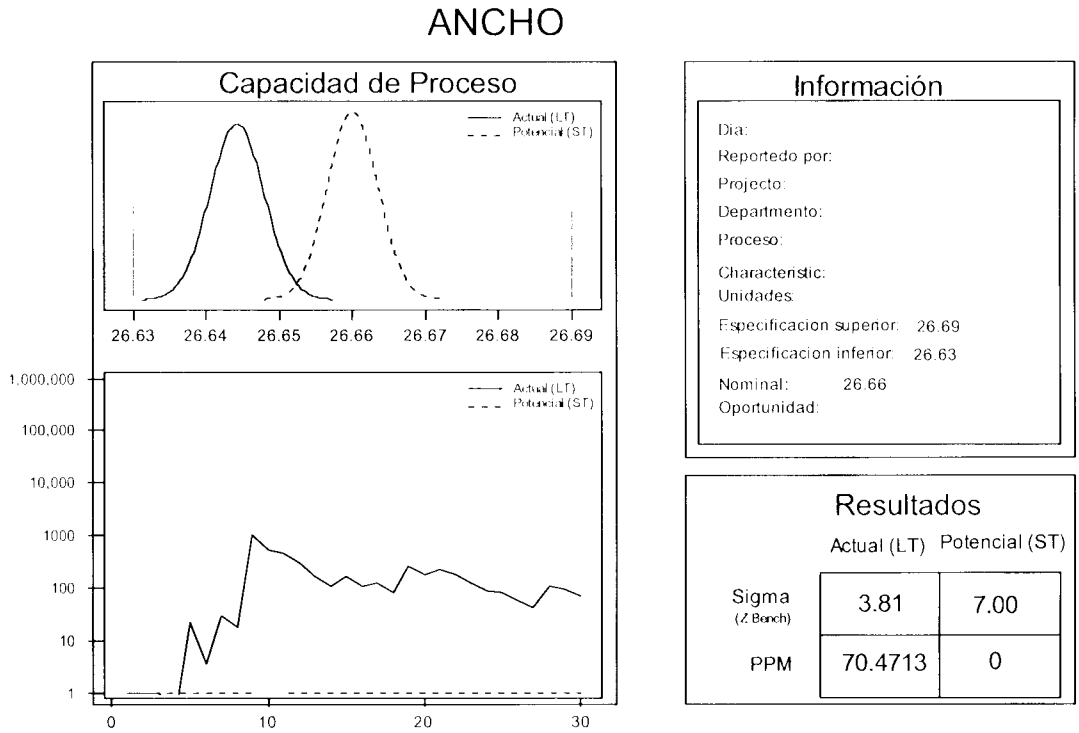
Presión de Sostenimiento = 700 psi , Presión de Empaque= 800 psi , Tiempo de Enfriamiento= 40 seg. , Tiempo de Empaque= 2 seg., Tiempo de Sostenimiento=3 seg.

Con lo resultados obtenidos se procede a llevar acabo la confirmación de los parámetros para validar la mejora.

4.4.2 Capacidad de Proceso (Después de la Mejora)

Una vez encontradas las combinaciones mediante el diseño de experimentos, se realizo el estudio de capacidad de proceso (después de la mejora).

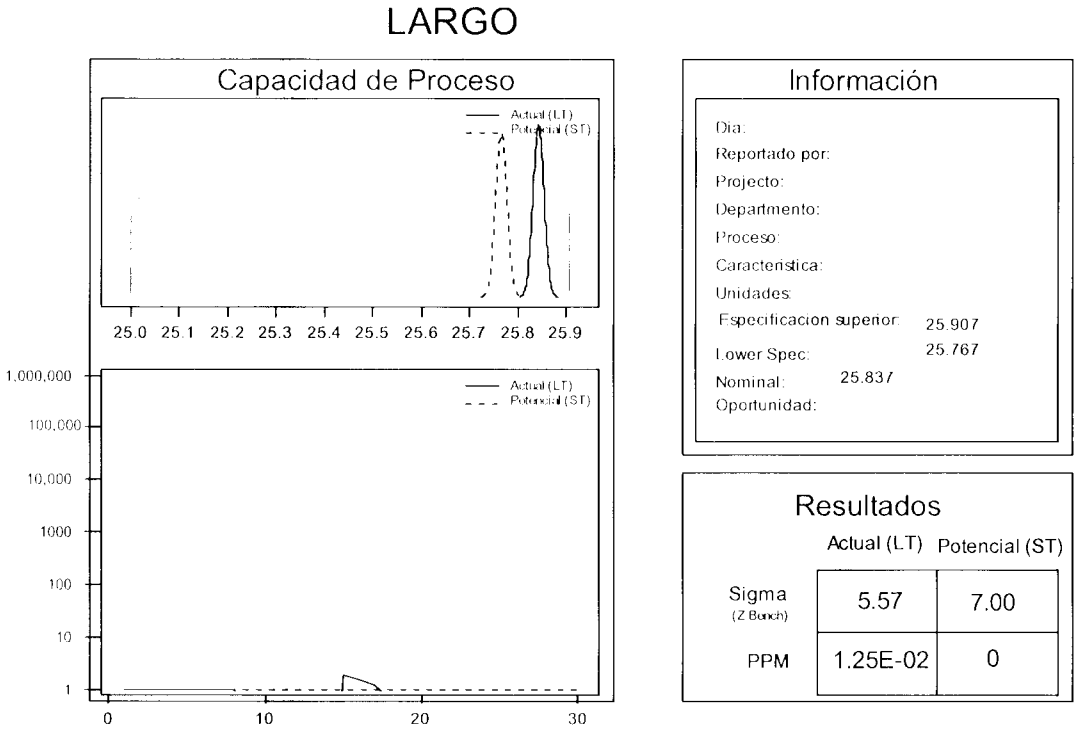
Dimensión ANCHO, los resultados se muestran en la siguiente grafica 4.11;



Grafica 4.11: Calculo de capacidad de proceso después de la mejora dimensión ANCHO.

Se obtuvo que como resultado del diseño de experimentos la confirmación del mismo, mediante la mejora del proceso llegando a un resultado de Zlt= 3.81 (70.47 PPM´s) comparado con el histórico que era de Zlt = - 0.68 (751572 PPM´s).

Dimensión LARGO, los resultados se muestran en la siguiente grafica 4.12;



Grafica 4.12: Calculo de capacidad de proceso después de la mejora dimensión LARGO.

Se obtuvo como resultado del diseño de experimentos la confirmación del mismo, la mejora del proceso llegando a un resultado de Zlt= 5.57 (0.0125 PPM´s) comparado con el histórico que era de Zlt = 2.02 (21768.1 PPM´s).

4.5. Etapa 5. Gráficos de Reología (Optimización del Tiempo de Ciclo)

El ingeniero de proceso o el equipo de trabajo designado serán los responsables del desarrollo del proceso de moldeo por inyección de plástico.

Estudio de reología del molde.

La reología determina el tiempo óptimo de llenado a través del estudio de la viscosidad relativa de la resina a diferentes tiempos de llenado. Esto permite obtener la optimización de la velocidad y tiempo de llenado para minimizar los cambios de viscosidad debido a la variación de diferentes lotes. Cuando la viscosidad es mantenida se logra un llenado, balanceo y peso de las partes más constante

1. Mida y registre la temperatura de fundido.

Se mido la temperatura para asegurar que aunque la pantalla de la maquina muestre la información de las temperaturas es necesario asegurarla mediante el modo de medición con un termómetro manual, con esto asegurar que la temperatura de fusión del material esta dentro del rango especificado, se muestra en tabla 4.11 con los registros de temperaturas.

Temperaturas colada caliente grados centigrados punto de fusion 170 a 230 °C.

Bebedero 210 Hom 1 215 Hom 2 220 Punto de partida 200

1	220	9	205	17	206	25	213	33	219	41	207	49	211	57	207
2	215	10	206	18	211	26	214	34	208	42	208	50	209	58	209
3	208	11	207	19	207	27	209	35	211	43	209	51	216	59	208
4	209	12	212	20	209	28	215	36	212	44	211	52	209	60	214
5	207	13	208	21	212	29	220	37	213	45	213	53	211	61	212
6	211	14	210	22	215	30	213	38	209	46	209	54	209	62	211
7	209	15	215	23	219	31	219	39	207	47	211	55	212	63	218
8	208	16	220	24	213	32	208	40	211	48	214	56	211	64	221

Tabla 4.11: Registro de temperaturas de la masa plástica.

2. Programe la presión de empaque y sostenimiento en cero.

Se llevo acabo a pie de maquina.

3. Ajuste el punto de transferencia para lograr un disparo corto al 80 % aproximadamente.

Se llevo acabo a pie de maquina.

4. Incremente la velocidad de inyección a un 95% y mantenga los disparos cortos (programe el llenado lo mas rápido posible sin dañar el molde).

Se llevo acabo a pie de maquina.

5. Ajuste la presión de inyección del 10 al 15% arriba de la presión de transferencia. Asegúrese que la presión de inyección no ha sido limitada.

Se llevo acabo a pie de maquina.

6. Ajuste la posición de transferencia hasta lograr un 90 - 95 % de llenado.

Se llevo acabo a pie de maquina.

7. Registre la velocidad de inyección, tiempo de llenado y presión de transferencia, se llevo el registro a pie de maquina posteriormente se paso a EXCEL®, se muestra en tabla 4.12 en pagina 91.

8. Reduzca la velocidad de velocidad gradualmente para poder tener 10 puntos de datos (Mientras reduce la velocidad de inyección, asegure que mantiene su tiro de 90-95%, ajuste la transferencia si es necesaria).

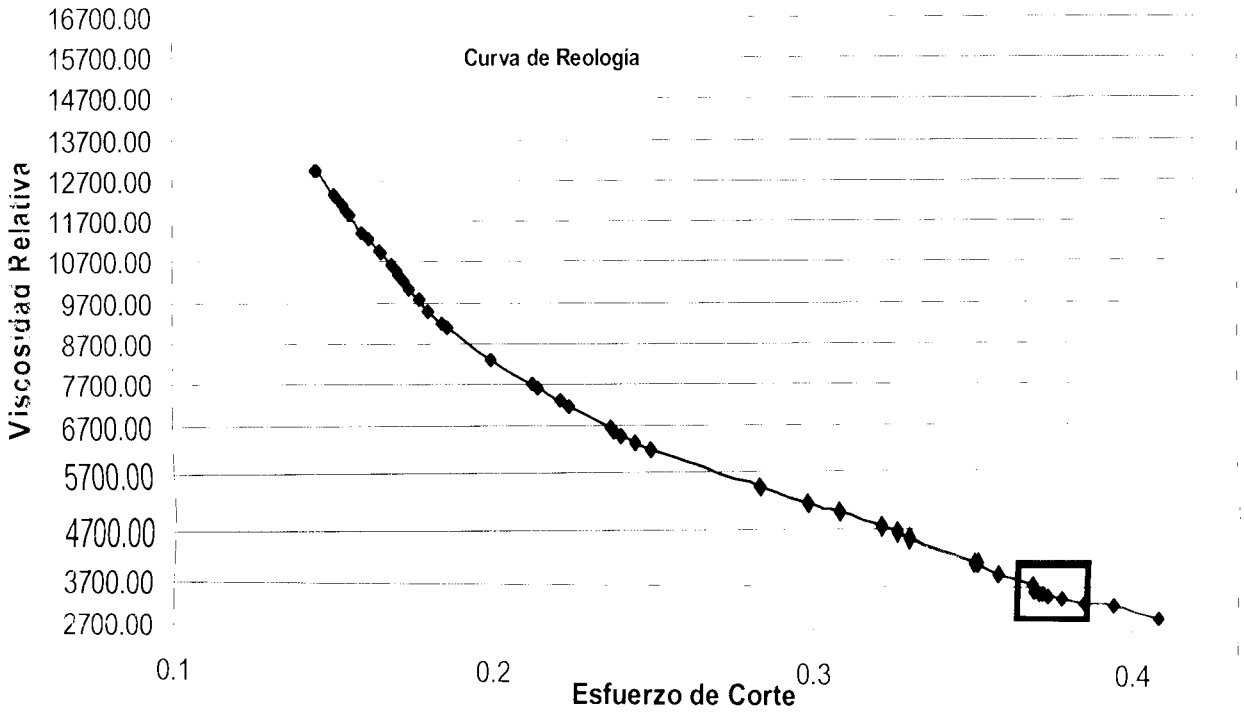
Se llevo acabo a pie de maquina.

9. Para cada velocidad, calcule el ritmo de corte y viscosidad relativa. (Esfuerzo de Corte = 1/Tiempo de Llenado), se muestra en tabla 4.12 en pagina 91.

10. Para las maquinas de inyección eléctricas la Viscosidad Relativa = La presión de transferencia X Tiempo de llenado, se muestra en tabla 4.12 en pagina 91.

11. Para las maquinas de inyección Hidráulicas la Viscosidad Relativa = Presión de transferencia X La razón de intensificación X Tiempo de llenado

12. Para documentar en una grafica, trace la viscosidad relativa vs. El esfuerzo de corte se muestra en grafico se muestra en grafico 4.13, pagina 90.



Grafica 4.13: Ventana de proceso curva de reología.

En el grafico de la curva de reología se observo en el recuadro la ventana de proceso, cuando este ya se estabilizo, con esto se aseguro la repetibilidad y reproducibilidad del proceso de inyección, los parámetros definidos sombreados en gris en la tabla 4.12 de la pagina 91 son, presión de transferencia entre 1295-1300 psi y un tiempo de llenado 2.60-2.65 segundos.

Las partes moldeadas no deben de mostrar rebaba, disparos cortos, hundimientos, líneas de flujo, líneas doradas, puntos negros, contaminación, partes quemadas, oclusiones y/o partículas sueltas. Los datos y las conclusiones serán reportados y fueron validados por un estudio de habilidad de procedo Z´s.

Estudio de Reología

Num. Molde	N/A	Tecnico	N/A
Nombre del Molde	Cubierta 10-12 Kg lujo	Día	07/07/07
Numero de Parte	189D2663P001		

Numero	Velocidad de Inyección (V)	Tiempo de Llenado (FT)	Presión de transferencia (P)	Esfuerzo de Corte (1/FT)	Viscocidad Relativa (P x FT)
1	1.5	2.45	1219	0.41	2986.28
2	1.5	2.54	1293	0.39	3281.35
3	1.5	2.60	1295	0.38	3367.00
4	1.5	2.65	1300	0.38	3445.00
5	1.5	2.68	1310	0.37	3510.80
6	1.6	2.69	1315	0.37	3537.35
7	1.6	2.70	1320	0.37	3564.00
8	1.6	2.71	1325	0.37	3590.75
9	1.6	2.72	1375	0.37	3734.54
10	1.6	2.80	1404	0.36	3926.54
11	1.7	2.85	1446	0.35	4115.77
12	1.7	2.86	1449	0.35	4141.90
13	1.7	3.04	1489	0.33	4523.83
14	1.7	3.07	1507	0.33	4629.53
15	1.7	3.12	1520	0.32	4743.90
16	1.8	3.25	1530	0.31	4973.11
17	1.8	3.36	1530	0.30	5137.72
18	1.8	3.53	1531	0.28	5410.00
19	1.8	4.01	1544	0.25	6187.53
20	1.8	4.09	1548	0.24	6331.57
21	1.9	4.17	1550	0.24	6456.75
22	1.9	4.20	1565	0.24	6573.78
23	1.9	4.22	1579	0.24	6666.09
24	1.9	4.46	1603	0.22	7154.17
25	1.9	4.52	1613	0.22	7293.73
26	2	4.67	1630	0.21	7607.42
27	2	4.71	1631	0.21	7682.81
28	2	5.02	1656	0.20	8305.26
29	2	5.38	1689	0.19	9080.10
30	2	5.43	1691	0.18	9189.96
31	2.1	5.57	1703	0.18	9479.61
32	2.1	5.64	1731	0.18	9765.49
33	2.1	5.64	1733	0.18	9783.44
34	2.1	5.76	1740	0.17	10019.40
35	2.1	5.80	1759	0.17	10208.49
36	2.2	5.86	1767	0.17	10355.14
37	2.2	5.88	1780	0.17	10467.95
38	2.2	5.89	1782	0.17	10501.79
39	2.2	5.94	1791	0.17	10632.02
40	2.2	6.06	1802	0.17	10914.60
41	2.3	6.08	1803	0.16	10962.07
42	2.3	6.20	1812	0.16	11240.16
43	2.3	6.28	1817	0.16	11411.66
44	2.3	6.44	1840	0.16	11839.89
45	2.3	6.48	1842	0.15	11945.12
46	2.4	6.52	1861	0.15	12124.01
47	2.4	6.62	1861	0.15	12321.32
48	2.4	6.63	1865	0.15	12371.72
49	2.4	6.90	1876	0.14	12935.93
50	2.4	6.91	1876	0.14	12956.48

Tabla 4.12: Estudio de reología.

4.6. Etapa 6. Control de la Mejora

De suma importancia es que después del trabajo realizado se lleve acabo el control de la mejora debido a;

- Prevenir que el problema se repita "retener las ganancias".
- Impedir que las mejoras se olviden.
- Mantener el desempeño del proceso.
- Para alentar la mejora continúa.
- Asegurar que las mejoras se institucionalicen.
- Evitar las alteraciones al proceso.
- Implantar el monitoreo continuo permanente.

Para implementar esto se define el monitoreo de las variables y proceso en el plan de control de producto y proceso se muestra en figura 4.7 sombreadas en gris..

PLAN DE CONTROL DE PRODUCTO Y PROCESO

INGENIERIA DE CALIDAD

PROGRAMA:	CONTROL DE PRODUCTO TERMINADO
ELABORO:	INGENIERO DE CALIDAD
FECHA:	ENERO 2007

PIEZA	CUBIERTA DE 13KG
N° DE PIEZA REFERENCIA	189D2990P001 / 189D2990P002/ 189D2990P003 / 189D2663P001 / 189D2663P002
REFERENCIA	PCCUBIERTA.XLS

VARIABLES

CARACTERISTICAS CRITICAS	TIPO DE CARACTERISTICA	REGISTRO	ESTACION	RESPONSABLE / OP.	FREC	EQ MED.	LSE	NOMINAL	LIE	ACCIONES A NO-CONFORMANCIAS
DISTANCIA ENS LID. LOCK	FUNCIONAL	REPORTE DE PRIMERA PIEZA	INYECTORA PLASTICO	AUDITOR	CADA CAMBIO D MOLDE	VERNIER	16.023	15.993	15.963	AVISAR AL SUPERVISOR / CALIDAD
DISTANCIA ENTRE VISAGRAS	FUNCIONAL	REPORTE DE PRIMERA PIEZA	INYECTORA PLASTICO	AUDITOR	CADA CAMBIO D MOLDE	VERNIER	21.012	21.007	21.002	AVISAR AL SUPERVISOR / CALIDAD
ANCHO TOTAL	FUNCIONAL	FIS CEP	INYECTORA PLASTICO	AUDITOR	1 PIEZA POR TURNO	VERNIER	26.690	26.660	26.630	AVISAR AL SUPERVISOR / CALIDAD
LARGO TOTAL	FUNCIONAL	FIS CEP	INYECTORA PLASTICO	AUDITOR	1 PIEZA POR TURNO	VERNIER	25.907	25.837	25.767	AVISAR AL SUPERVISOR / CALIDAD

ATRIBUTOS

DEFECTOS CRITICOS	REGISTRO	TIPO DE CARACTERISTICA	ESTACION	RESPONSABLE / OP.	FREC.	ESPECIFICACION	ACCIONES A NO-CONFORMANCIAS
REBABAS	PROTIEM	FUNCIONAL / APARIENCIA	INYECTORA PLASTICO	OPERADOR	100%	NO DEBE PRESENTAR REBABA EN CONTORNO DE PIEZA	VER HOJA 2 DE PLAN DE CONTROL Y AVISAR A SUPERVISOR / CALIDAD
PUNTOS NEGROS	PROTIEM	APARIENCIA	INYECTORA PLASTICO	OPERADOR	100%	LIBRE DE PUNTOS NEGROS EN AREA DE VISTA	AVISAR AL SUPERVISOR / CALIDAD
RAYONES Y TALLONES	PROTIEM	APARIENCIA	INYECTORA PLASTICO	OPERADOR	100%	LIBRE DE RAYONES Y TALLONES EN EL EXTERIOR EN AREA DE VISTA	VER HOJA 2 DE PLAN DECONTROL Y AVISAR A SUPERVISOR / CALIDAD
PIEZA INCOMPLETA	PROTIEM	FUNCIONAL / APARIENCIA	INYECTORA PLASTICO	OPERADOR	100%	PARTE COMPLETA 100%	AVISAR AL SUPERVISOR / CALIDAD
MANCHAS	PROTIEM	FUNCIONAL / APARIENCIA	INYECTORA PLASTICO	OPERADOR	100%	NO SE PERMITEN EN AREA DE VISTA	AVISAR AL SUPERVISOR / CALIDAD
RECHUPES	PROTIEM	FUNCIONAL / APARIENCIA	INYECTORA PLASTICO	OPERADOR	100%	NO SE PERMITEN EN AREA DE VISTA NI EN AREA DE ENSAMBLE	VER HOJA 2 DE PLAN DECONTROL Y AVISAR A SUPERVISOR / CALIDAD

SI SE PRESENTEN TRES INYECCIONES CONSECUTIVAS CON EL MISMO DEFECTO CRITICO Ó MISMA CARACTERISTICA CRITICA FUERA DE ESPECIFICACION, PARAR EL PROCESO PARA SU CORRECCION.

N/R : NO REQUERIDO N/A : NO APLICA N/E : NO ESPECIFICADO

FORMATO : FITEN0061 Rev.01
PAGINAS: 1 DE 2
REVISION:5

AUTORIZO	REVISO	REVISO	REVISO
GERENTE DE CALIDAD	MANUFACTURA	DISEÑO	PRODUCCIÓN

Figura 4.7: Plan de control de producto y proceso.

5 RESUMEN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

5.1 Resumen de Resultados

En la tabla 5.1, se muestra el resumen de los resultados de los niveles de Z´s antes y después de la mejora, se obtuvo una mejora que da altos beneficios a la calidad de las dimensiones.

	ANTES de la MEJORA		DESPUES de la MEJORA	
	PPM´s	Z´s	PPM´s	Z´s
ANCHO	751572	-0.68	70.47	3.81
LARGO	21768.1	2.02	0.0125	5.57

Tabla 5.1: Resultados de Z´s.

En la tabla 5.2, se muestra el resumen de los resultados del tiempo de ciclo y el gran beneficio económico que esta metodología aporta a los procesos de inyección de plástico.

	ANTES de la MEJORA	DESPUES de la MEJORA
Tiempo de Ciclo Seg.	90	80
Costo Cubierta USD	$ 6.12	$ 6.12
Produccion Cubiertas por hra.	40	45
Beneficio por hra. USD	CERO	$ 30.58
Beneficio por año USD	CERO	**$216,599.63**

Tabla 5.2: Resultados de tiempo de ciclo y ganancias económicas.

5.2. Conclusiones y Contribución a la Investigación

El moldeo científico es un metodología que sienta su apoyo en el personal que trabaja día a día en los procesos de inyección de plástico tomando el enfoque *científico práctico* logrando así involucrar desde un principio a la gente que finalmente será la que se quedara al control de la mejora. Aunque como se menciono en esta metodología se divide en 6 etapas, el trabajo mas arduo es en el la etapa 4 diseño de experimentos y etapa 5 gráficos de reología. Ya que mediante el diseño de experimentos se trabajo en la parte del moldeo de la pieza o parte así se llega a mejorar la calidad obteniendo altos niveles de calidad. Después de esto se trabaja en la optimización del tiempo de ciclo del proceso de inyección del plástico mediante los gráficos de reología se muestra en figura 3.1, logrando así los resultados de calidad y productividad.

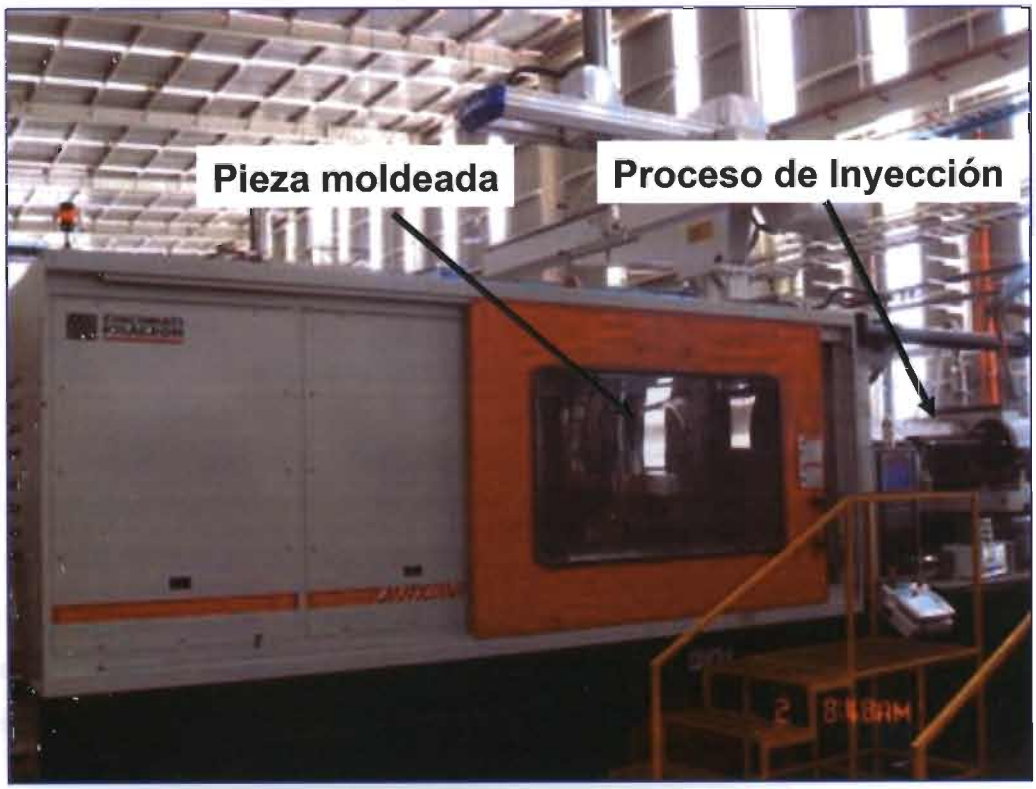


Figura 4.8: Ayuda visual pieza moldeada y proceso de inyección.

Los resultados presentados en este proyecto representan una excelente mejora en la calidad de la pieza moldeada, estos permitieron alcanzar los objetivos de calidad, productividad y un tiempo de ciclo mínimo. Se comprobó la gran fortaleza de esta metodología que con herramientas como cálculos estadísticos, diseños de experimentos y gráficos de reología, aportan una contribución tecnología en los procesos de inyección de plástico.

El principal objetivo de esta investigación, fue desarrollar, experimentar e implementar la metodología Moldeo Científico, que servio de apoyo para mejorar y optimizar el sistema de manufactura que se tiene en los procesos de inyección de plásticos. Para dar solución al objetivo planteado se contestaron las siguientes preguntas:

- ¿Es posible aprovechar la experiencia de los operadores e ingenieros de procesos que día a día trabajan con la maquina y molde?

- Si, como se mostró en los diferentes capítulos los resultados obtenidos desde la etapa 1 hasta la etapa 6 de la metodología no se habrían obtenido sin aprovechar la experiencia de los operadores e ingenieros de procesos *científico-practico* que día a día trabajan en los procesos, con esta metodología se documentaran los procesos de una manera científica.

- ¿Por qué es novedosa esta metodología?

- Debido a que integra la experiencia de los operadores, ingenieros de proceso, métodos estadísticos, diseño de experimentos y gráficos de reología, con esto se mejorara y optimizara el proceso de inyección de plástico científicamente, aplicable tanto a procesos actuales como nuevos, así logrando obtener una pieza o parte moldeada con altos niveles de calidad y un tiempo de ciclo mínimo por consecuencia desarrollo científico y tecnológico, también como productividad y ganancias económicas.

- ¿Cuáles parámetros debo de controlar y mejorar mediante un diseño de experimento cuando la parte o pieza ya se encuentra moldeada?

- Como se fue definido en el capítulo 4 pagina 74 y pagina 75 tabla 4.4 , el diseño de experimentos que se realizo fues un 2^5 esto es 5 factores con 2 niveles, los factores fueron;

Tiempo de Enfriamiento.

Tiempo de Empaque.

Tiempo de Sostenimiento.

Presión de Empaque.

Presión de Sostenimiento.

¿Porque estos factores?

Esto es debido a que están directamente relacionados con las dimensiones de la pieza ya que en el caso de incluir velocidades, temperaturas se estaría afectando los atributos de la pieza, es decir rayas, manchas por quemaduras de material y este no es el objetivo de esta tesis. Dentro de los procesos de inyección con estos factores se llego a controlar las dimensiones ya que el punto de partida fue que ya se tiene la pieza llena es decir ya esta completamente moldeada (formada) esto también soportado por el aporte *científico-practico* del equipo de apoyo técnico. Es importante mencionar que se partió también de un proceso que actualmente esta en producción, por lo tanto el tiempo de maquina, así como el desperdicio de material son de alto impacto en los objetivos de la producción diaria por consecuencia es de vital importancia el desarrollar este diseño de experimentos en forma precisa.

- ¿Cómo se generan los gráficos de reología y cual su interpretación o análisis?

- Esta pregunta, se cubrió con lo expuesto en el capítulo 3 pagina 54 inciso 3.5.6 y se muestran los resultados de la experimentación en el capítulo 4 pagina 88 desde el inciso 4.5 a 4.5.12, es importante hacer mención en estas conclusiones que es básico para el

funcionamiento de esta metodología el contar con la evaluación de molde y maquinaria esto para asegurar no tener variaciones en las dos fases de la parte moldeada y el proceso de inyección.

- La interpretación del grafico del grafico de reología busco la estabilidad del proceso de inyección del plástico exactamente en donde la línea de la grafica se mantiene paralelo al eje de las X´s y deja de ser perpendicular con respecto al eje de las Y´s , este es el mejor momento para definir la ventana de proceso como se mostró en el capítulo,

5.3. Trabajo a Futuro

El moldeo científico es una metodología versátil que puede ser aplicada a cualquier proceso de inyección de plástico y con cualquier material polímero ya sean de uso común o ingeniería, termofijos o termoplásticos, ya sea inyección de ABS como en el tema de esta tesis, polipropileno, polietileno, nylon, etc. También no restringe el uso de equipo de moldeo para moldes de una sola cavidad o multicavidades además también de cualquier maquina de inyección eléctricas, hidráulicas, mecánicas, etc. Por esto la gran novedad de esta metodología con gran impacto económico, logrando así los resultados de calidad y productividad que las empresas de hoy en día buscan para ser competitivas.

Esta investigación muestra también que aunque se llevo en una sola pieza, puede ser implementada en las mas de 150 piezas que se producen en la empresa en donde se finco esta investigación, por lo tanto el trabajo a futuro será la extensión de esta metodología a las otras piezas y procesos. Cabe mencionar que un valor agregado seria llegar al nivel de sistemas de autocontrol inteligentes que consiste en un sistema central controlado por un servidor central que monitorea el proceso de inyección de plástico mediante interfaces sensoriales que llegan a auto ajustar el proceso en caso de tener una variación, con esto llegar a alcanzar niveles de pasases como Japón, Alemania, Italia, Estados Unidos y Brasil.

Bibliografía

Libro

Eduardo Castaño / Jorge Dominguez, 2001 Design of Experiment for the Technological Development, Jit Press.*Libro*

George E.P. Box / William G. Hunter / J. Stuart Hunter, 2005 Statistics for Investigators Introduction to the design of experiments analysis of data and construction of models, Reverte.

Articulo

Pinelli , 2001 Rheology , Zaragoza Univertisty Spain.

Libro

Tanner R.I., Engineering Rheology 1988, Oxford Science Publishers New York.

Libro

Whorlow R.W., Rheological Techniques 1992, Prentice Hall London.

Libro

Chris Rauwendal, 2000 Statistical Process Control in Injection. Hanser Publishers.

Libro

Douglas C. Montgomery, 2002 Design and Analysis of Experiments, Limusa Wiley.

Libro

Humberto Gutierrez / Roman de la Vara, 2004 Design and Analysis of Experiments , Mc. Graw Hill.

Revista científica

Carl Hanser Verlag , July 2002 Kunststoffe Magazine, vol. 92.

*Revista científic*a

Jeff Sloan, August 2001, Injection Molding Magazine page 77.

*Revista científic*a

Jhon Bozzeli, Julio 2004 ,Injection Molding Magazine page 50-51.

*Revista científic*a

Jim Cardinal , 2000, www.ashchem.com/adc/plastics.

Articulo

Ivan Escalona ,2002 Plásticos y Aplicaciones Instituto Politécnico Nacional.

Manual

Sergio Aguilar , 2007 Moldeo Científico TycoHealthcare

Internet

www.ashchem.com/adc/plastics

www.immnet.com

www.scientificmolding.com

www.ides.com

Anexo A

Capacidad de Proceso (después de la mejora), en forma manual sin el uso de MINITAB®

Para una mejor comprensión del desarrollo manual es necesario recordar algunos conceptos básicos;

A.1.La curva normal.

A.2. La media.

A.3. Varianza.

A.4. Desviación estándar normal.

A.5. Capacidad de proceso, mediciones, valor de Z.

A.1 La curva normal.

Esta distribución es frecuentemente utilizada en las aplicaciones estadísticas, Su propio nombre indica su extendida utilización, justificada por la frecuencia o normalidad con la que ciertos fenómenos tienden a parecerse en su comportamiento a esta distribución. Muchas variables aleatorias continuas presentan una función de densidad cuya gráfica tiene forma de campana ver figura A.1.

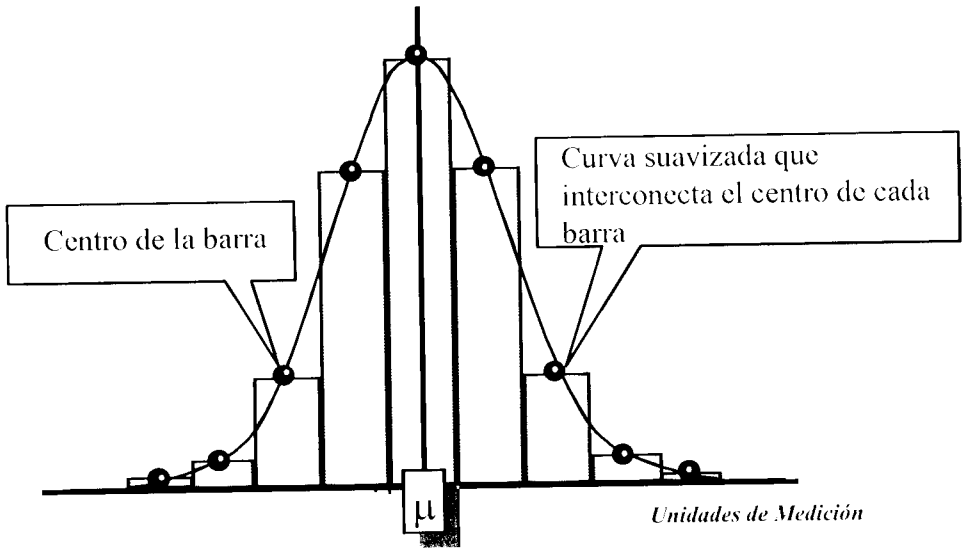


Figura A.1: Curva normal.

En otras ocasiones, al considerar distribuciones binomiales, tipo B(n,p), para un mismo valor de p y de valores de n cada vez mayores, se ve que sus polígonos de frecuencias se aproximan a una forma en forma de campana.

En resumen, la importancia de la distribución normal se debe principalmente a que hay muchas variables asociadas a fenómenos naturales que siguen el modelo de la normal, como por ejemplo;

Caracteres morfológicos de individuos (personas, animales, plantas) de una especie, tallas, pesos, envergaduras, diámetros, perímetros, etc.

Caracteres fisiológicos, efecto de una misma dosis de un fármaco, o de una misma cantidad de abono.

Caracteres sociológicos, consciente intelectual, grado de adaptación a un medio, errores cometidos al medir ciertas magnitudes, valores estadísticos muéstrales, por ejemplo, la media.

Otras distribuciones como la binomial o la Poisson son aproximaciones normales y en general cualquier característica que se obtenga como suma de mucho factores.

A.2. La media.

Es el promedio de la población o de la muestra, la media de la población está representada por "μ" y la media de una muestra es representada por "X", y su formula se muestra a continuación.

$$X = \mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \qquad (A1)$$

A.3. Varianza.

La media corregida de las desviaciones al cuadrado (representa la dispersión de los datos).

A.4. Desviación estándar normal.

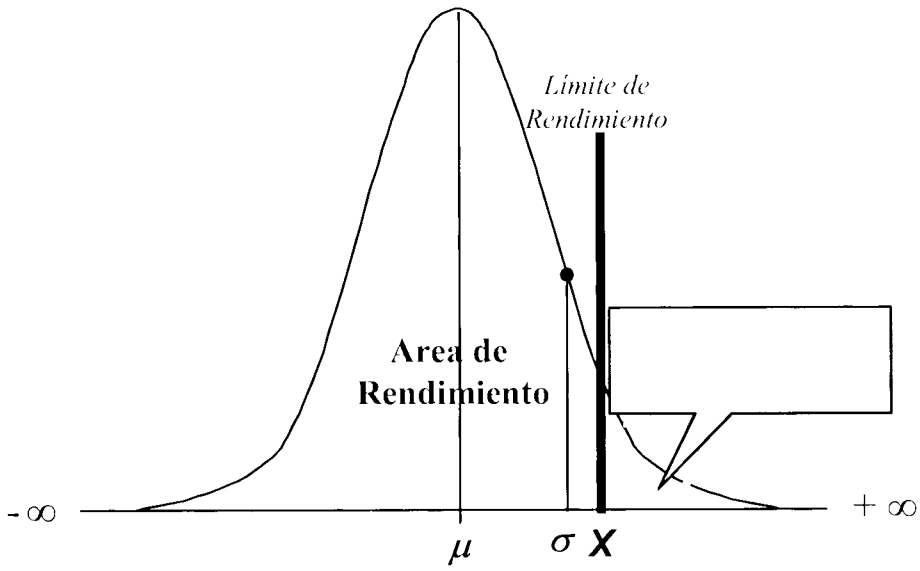
Es la raíz cuadrada (positiva) de la varianza, la desviación estándar de una población se representa por "σ", la desviación estándar de una muestra es representada por "s" y su formula se muestra a continuación.

$$S = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \qquad (A2)$$

Al usar la tabla normal para acomodar cualquier distribución normal, sólo necesitamos estandarizar nuestros datos:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \qquad (A3)$$

En donde el puntaje Z, denotado por "Z", corresponde al valor en X, y es la distancia entre X y la media en unidades de la desviación estándar ver figura B.2.



Nota: Las colas de la Curva Normal tocarán la línea base aproximándose al infinito.

Figura A.2: Estandarización de los datos.

La transformación convierte nuestra variable aleatoria X en una nueva variable aleatoria con propiedades "normales". La nueva distribución normalizada, tiene una media de $\mu = 0$, $s = 1$ y el área bajo la curva $= 1$.

Como ejemplo;

Supongamos que calculamos la desviación normal estándar para un límite de rendimiento dado y encontramos que $Z = 2.76$. La pregunta sería, "¿Qué porción del área total, bajo la curva normal, se extiende más allá de un valor Z de 2.76?" Al contestar esta pregunta tendremos la probabilidad de producir un defecto, recuerde que el valor Z es una medida de la capacidad de proceso y con frecuencia se le llama "la sigma del proceso", esto no debe confundirse con la desviación estándar del proceso, ver figura A.3.

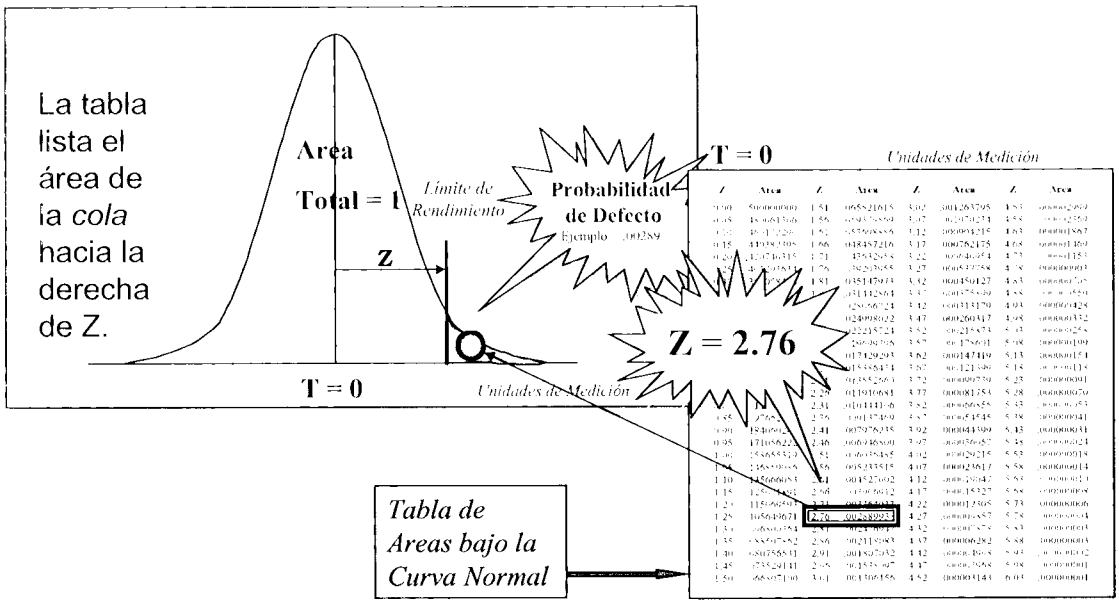


Figura A.3: Calculo de Z forma manual.

Debido a esto, conforme disminuye la variación, disminuye la probabilidad de un defecto para un límite de especificación dado, de tal manera que la capacidad aumenta ver figura A.4.

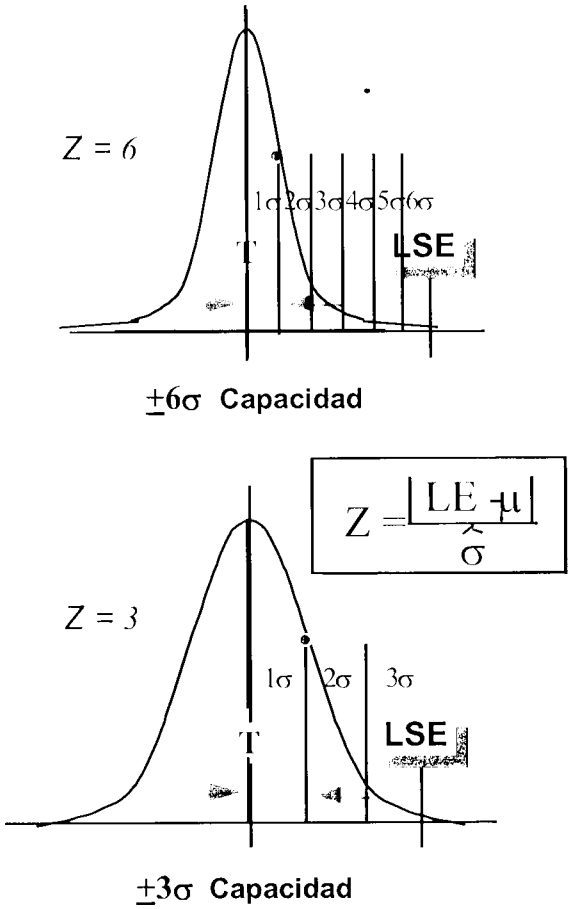


Figura A.4: Disminución de variabilidad.

Con lo antes mostrado se procede al calculo manual de Z, las formulas son;

$$Z(LSE) = \frac{LSE - X}{S} \qquad (A4)$$

$$Z(LIE) = \frac{X - LIE}{S} \qquad (A5)$$

La especificación para el ANCHO es 26.660" +/- .030 (26.630, 26.690) obtenemos la media y desviación estándar, $X = 26.644$, $S = 0.0037$.

$$Z(LSE) = \frac{26.690 - 26.644}{0.0037} = 3.7837$$

De la tabla normal 0.0000785 = **3.7837.**

$$Z(LIE) = \frac{26.644 - 26.630}{0.0037} = 12.432$$

De la tabla normal 0 = 12.432.

La especificación para el LARGO es 25.837" ± 0.070 (25.767, 25.907) obtenemos la media y desviación estándar, $X = 25.844$, $S = 0.0112$

$$Z(LSE) = \frac{25.907 - 25.844}{0.0112} = 5.625$$

De la tabla normal 0.0000000109 = **5.62**

$$Z(LIE) = \frac{26.844 - 25.767}{0.0112} = 6.875$$

De la tabla normal, 0.0000000000626 = 6.875

De igual manera se generaron las Z's con apoyo de EXCEL®, los resultados se muestran en la tabla B.1.

	Capture Datos				Resultados					
	Media	Des. Std	Limite Superior	Limite inferior	Z_{LI}	Z_{LS}	P_{LI}	P_{LS}	P_{total}	Z_{total}
ANCHO	26.644	0.0037	26.690	26.630	3.784	12.432	0.0000772	0.0000000	0.0000772	**3.7837838**
LARGO	25.844	0.0112	25.907	25.767	6.875	5.625	0.0000000	0.0000000	0.0000000	**5.6249423**

Tabla A.1: Calculo Z's EXCEL®.

En Ztotal se muestra el resultado obtenido en forma manual y en EXCEL®.

Anexo B

"Autobiografía"

Antonio Salcedo Calleros.

Es Ingeniero Mecánico Administrador egresado de la Facultad de Ingeniería de Universidad Autónoma de Coahuila en 1996. Obtuvo un diplomado y certificado en Control Estadístico del Proceso realizado en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey campus San Luis Potosí y Monterrey 1998-1999, también es Black Belt 6 Sigma certificado, y miembro de la sociedad de ingenieros plásticos a nivel mundial .

Durante los 10 años de experiencia laboral dentro de Mabe México S. de R.L. de C.V. a desarrollado responsabilidades como PTL , ingeniero de calidad plásticos, black belt 6 sigma, desarrollo de proveedores y líder de calidad administrando proyectos estratégicos para el área de lavadoras como lanzamiento de nuevos modelos y nuevas líneas de ensamble, ha participado en mejoras y optimizaciones de procesos de inyección de plástico así como liberaciones de moldes y equipos en diferentes países como México, Canadá, Estados Unidos, Brasil, Japón, China, Taiwán e Italia, ha publicado 2 artículos relacionados con esta investigación, actualmente es líder de calidad proyectos lavadoras.

Referencias de Escritura de Tesis

Pedro Perez Villanueva. (2007). Tesis *Integración de sistemas Inteligentes a la metodología para el Ensamble en el Desarrollo e innovación de productos.*

Hernández, M. (2006). *Metodología de la investigación.* [**En línea**] Disponible en: < http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/ecimed/comoescribirtesisedelsys3-mayo-06.pdf> (Consultado de Octubre a Noviembre del 2007)