



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y ciencias de la Producción

“Mejora del proceso de inyección de Barriles para bolígrafos a través de la aplicación de herramientas de Ingeniería de la Calidad”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Grado de:

MAGÍSTER EN GESTIÓN DE LA CALIDAD

Presentada por:

Ing. Ind. Angélica Barba Andrade

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año-2008

RESUMEN EJECUTIVO

La industria plástica, necesita día a día, mejorar sus procesos, debido al costo de la materia prima, la alta competitividad que actualmente afecta al mercado local, especialmente por el ingreso de productos de menor y de baja calidad, como lo son la mayoría de los productos importados de la China.

Este proyecto fue seleccionado debido al incremento de unidades defectuosas en el proceso de producción de bolígrafos, problema asignado durante la fabricación de sus componentes, con ayuda del diagrama Pareto se identificó la operación en particular donde se generaban los defectos detectándose que los problemas se originan por el hundimiento con el que llega el barril, se utilizó un diagrama causa-efecto para identificar las causas del hundimiento.

Con ayuda de mecánicos, operadores y representantes de calidad se determinaron los factores cuya influencia fue evaluado a través del diseño de experimento.

Se logró reducir el hundimiento del barril en un 21%, alcanzando el objetivo que se planteaba en el presente trabajo, ello representa un ahorro mensual de \$17,602 dólares anuales.

Adicionalmente se elaboró un plan de capacitación a nivel operativo, con el objetivo de monitorear las unidades con hundimiento a largo plazo

Así mismo se planea realizar reuniones periódicas con el personal de planta para detectar problemas que afecten a la calidad del bolígrafo siguiendo la metodología del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
- Antecedentes del trabajo.....	1
- Descripción del problema científico.....	1
- Hipótesis de la investigación.....	3
- Objetivo general.....	4
- Objetivos específicos.....	4
- Impacto del estudio.....	4
- Métodos y técnicas especiales.....	5
CAPITULO 1.....	7
1. MARCO TEÓRICO.....	7
1.1. Conceptos de Calidad.....	7
1.2. Conceptos de Procesos.....	8
1.3. Control Estadístico de Procesos.....	10
1.4. Cartas de control	12
1.5. Cartas de control por atributos.....	13
1.6. Cartas de control p	13
1.7. La capacidad de los procesos	14
1.8. Diseño de Experimentos	15
CAPITULO 2.....	18
2. IDENTIFICACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO. DIAGNÓSTICO. ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LA EMPRESA.	18
2.1. Antecedentes.....	18
2.1.1. Los Clientes.....	19
2.1.2. La Competencia.....	19

2.1.3. Los Proveedores.....	19
2.1.4. La demanda	19
2.1.5. El Proceso.....	19
2.2. Diagnóstico del Proceso de Producción de Bolígrafos.....	23
2.3. Diagrama Pareto.....	23
2.4. Diagrama Causa-Efecto.....	26
2.5. Determinación de la variable a medir.....	27
2.6. Impacto Económico del estudio.....	29
CAPITULO 3.....	31
3. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DEL PROCESO.....	31
3.1. Recolección de datos.....	33
3.2. Prueba de normalidad	35
3.3. Análisis de capacidad por atributos.....	36
CAPITULO 4.....	39
4.APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	39
4.1. Planificación del Diseño de Experimentos.....	39
4.2. Matriz de diseño en orden estándar.....	42
4.3. Formulación de la hipótesis del diseño de experimentos.....	46
4.4. Representación de factores principales.....	49
4.5. Gráficas de interacciones dobles.....	52
4.6. Desarrollo de segundo diseño de experimentos	55
4.6.1 Comparativo de grafica por atributo de primer y segundo diseño experimento.....	58
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES.....	60
BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXOS.....	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Porcentaje de unidades no conforme acumuladas a mayo.....	2
Figura 1.2: Porcentaje obtenido por el número de veces que se han encontrado fallas en el área de ensamble.....	2
Figura 1.3: Porcentaje de no conformes Área Plástico.....	3
Figura 2.1.5.1. Distribución de inyectoras de componentes plásticos.....	19
Figura: 2.1.5.2. Diagrama flujo del Proceso de producción de componentes plásticos.....	20
Figura: 2.1.5.3. Diagrama flujo del Proceso de producción de Repuestos.....	21
Figura: 2.1.5.4. Diagrama flujo del Proceso de producción de Bolígrafos.....	22
Figura 2.3.0 Componentes plásticos	23
Figura 2.3.1. Diagrama Pareto Fallas por producto Área Ensamble.....	24
Figura 2.3.2. Diagrama Pareto Fallas defectos encontrados en la producción de barriles.....	25
Figura 2.4.1. Diagrama Causa-Efecto del problema de Hundimiento de Barriles.....	26
Figura 3.0. Unidades producidas en promedio semanal.....	30
Figura 3.1. Grafica p Barriles con hundimiento.....	33
Figura 3.2. Prueba de normalidad de los datos recolectados	34
Figura 3.3. Análisis de capacidad por atributo.....	35
Figura 4.1. Esquema de la máquina inyectora al momento en que ejerce presión.....	40
Figura 4.2. Diagrama Pareto de factores involucrados.....	46
Figura 4.3. Efectos del proceso a analizar	46
Figura 4.4. Grafica Presión de inyección.....	49
Figura 4.5. Grafica Tiempo de inyección.....	49
Figura 4.6. Grafica Tamaño de disparo.....	50
Figura 4.7. Grafica Temperatura.....	51
Figura 4.8. Grafica Presión de inyección *Tiempo sostén.....	52
Figura 4.9. Grafica Presión de inyección *Temperatura.....	53
Figura 4.10. Grafica Tiempo de sostén* Tamaño de disparo.....	53
Figura 4.11. Grafica Tiempo de sostén* Temperatura.....	54
Figura 4.12 Comparación de graficas por atributos.....	57
Figura 4.13 Formato de unidades producidas por turno-área	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.3.1. Número de veces que falla el Producto en el área de ensamble.....	23
Tabla 2.3.2. Frecuencia defectos en la Producción de barriles.....	24
Tabla 2.3.3. Matriz ponderación posibles causas de hundimiento	27
Tabla 2.5.1. Problemas y soluciones generales Moldeo de plásticos.....	27
Tabla 2.6.1. Costo total de reproceso.....	28
Tabla 3.1. Número de unidades con hundimiento.....	32
Tabla 4.1.1: Matriz de ponderación de factores considerados.....	38
Tabla 4.1.3. Factores que influyen en el hundimiento de los barriles con sus niveles.....	41
Tabla 4.2. Matriz de diseño en orden estándar.....	42
Tabla 4.3. Datos primer diseño experimentos.....	43
Tabla 4.4. Valores obtenidos Doe 1 con ayuda de MINITAB.....	47
Tabla 4.5. Factores considerados.....	55
Tabla 4.6. Datos segundo diseño experimentos.....	56
Tabla 4.7. Factores y Niveles a trabajar.....	58
Tabla 4.8. Costos-Beneficios de proyecto.....	61

INTRODUCCIÓN

- Antecedentes del trabajo

La empresa objeto de estudio, es una multinacional dedicada a la producción y venta de bolígrafos dentro y fuera del país desde 1953. La línea de producción de bolígrafos está dividida en tres áreas: Plásticos, Subensamble y Ensamble. La producción se realiza según órdenes de pedido, en promedio se debe producir 3 millones de unidades terminadas semanalmente.

La empresa al ser multinacional debe alinearse a los estándares de calidad regidos multinacionalmente establecidos por la misma, todo ello debe considerarse al instante de producir un bolígrafo.

- Descripción del problema científico

La empresa objeto de estudio, además de tener vigente un sistema de gestión de calidad ISO 9001, debe mantener los estándares de calidad de producción por producto por área, los mismos son revisados anualmente y monitoreados mensualmente para mantener un producto que cumpla las especificaciones que requieren nuestros clientes.

Sin embargo, en el último año se ha incrementado el porcentaje de producto no conforme en unidades terminadas y en proceso en ensamble y plástico respectivamente reduciendo la calidad del producto.

Para evidenciar el problema, se recopilaron datos de los meses de febrero a abril del 2008) para cuantificar y priorizarlos según el área donde se originan las no conformidades (Figura 1.1), donde se indica que el 53.8 % de unidades no conformes se registran en el proceso de ensamble, seguido del 44.98% en el área de plástico.

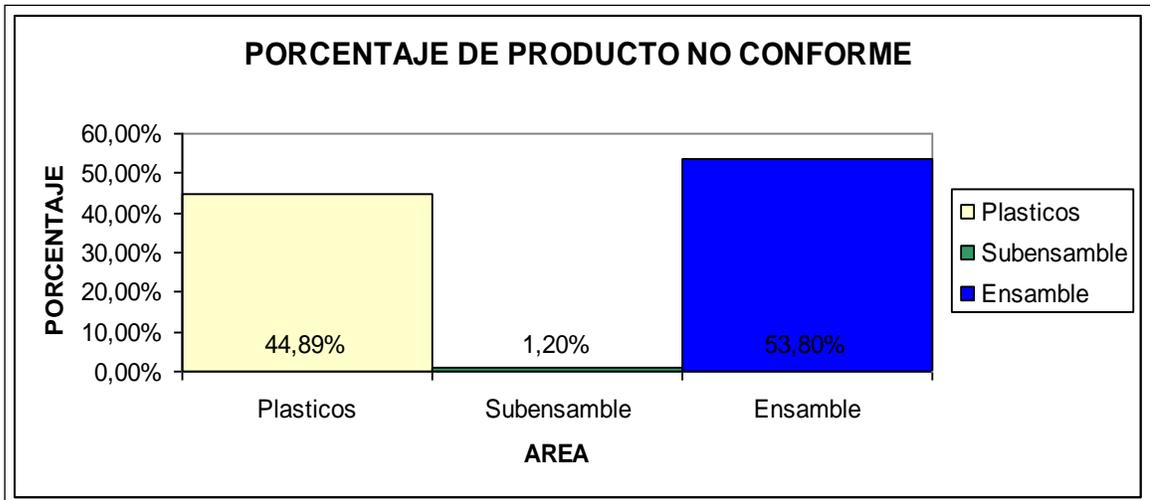


Figura 1.1: Porcentaje de unidades no conforme acumuladas a mayo

Así mismo se recopilaron los porcentajes de las fallas más frecuentes en el área de ensamble y el porcentaje de no conformes en el área de plásticos por ser las más representativas (53.8 %), según figura 1.1, con la finalidad de identificar que parte del proceso de producción es el crítico en cada una de las áreas. (Figura 1.2).

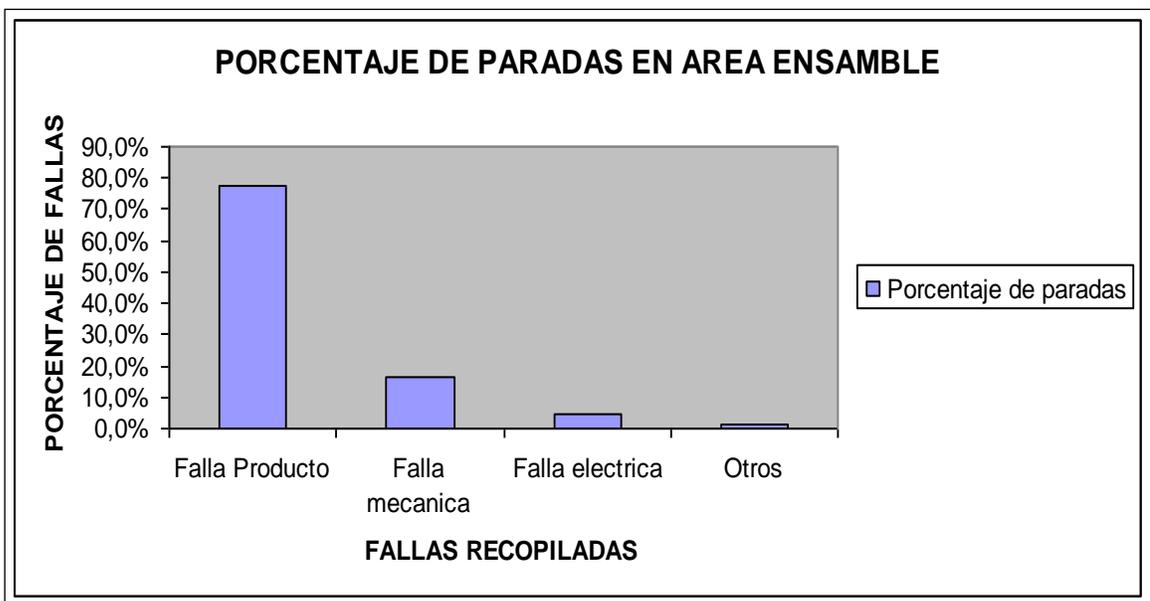


Figura 1.2: Frecuencia de fallas en el proceso de Ensamble

Como se puede apreciar las fallas que más frecuentan en el área de ensamble son ocasionadas por el producto que se lleva a la misma, estos datos fueron recopilados durante

tres meses para identificar si los problemas que afectan son debido a fallas mecánicas, eléctricas o producto., donde la falla que más incide es la del producto.

A continuación se presenta el porcentaje de no conformes obtenidos en el área de plásticos durante los últimos meses. (Figura 1.3)

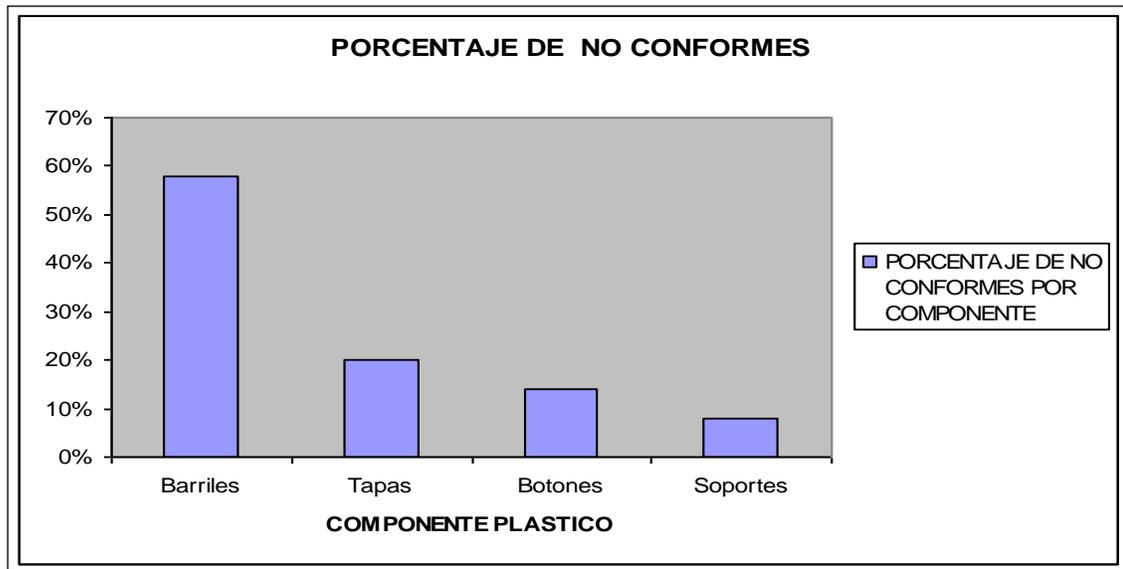


Figura 1.3: Porcentaje de unidades no conformes Área Plástico

Se puede apreciar que el 59% del producto no conforme es de barriles, seguido distanciadamente del de tapas con un 21%.

El problema científico nace del resultado de obtener un porcentaje alto de no conformes en el área de plástico en la producción de barriles, afectando al proceso de ensamble, incidiendo en la calidad del producto puesto que no ajusta la tapa en el momento del ensamble, provocando que ésta se salga con facilidad, ocasionando continuos problemas en el proceso de ensamble del bolígrafo.

- Hipótesis de la investigación

Si se identifican los niveles adecuados de los factores que inciden en la no calidad del bolígrafo se mejoraría su calidad, y se reducirá el número unidades no conformes.

- Objetivo general

Desarrollar una mejora en el proceso de producción de bolígrafos para reducir el número de unidades no conformes, aplicando herramientas de calidad que contribuyan a la mejora del proceso a analizar.

-Objetivos específicos

Identificar mediante un diagnóstico cual es la característica de calidad del bolígrafo que está siendo afectada provocando producto de no calidad.

Determinar los factores que provocan la variabilidad de dicha característica de calidad.

Reducir la variabilidad del proceso a través de la implementación de herramientas de mejora y control estadístico de calidad.

- Impacto del estudio

Novedad

Se han realizado estudios del comportamiento de piezas plásticas, pero no se ha encontrado incidencia en la aplicación de una metodología donde se empleen herramientas de mejoramiento y controles estadísticos en partes plásticas de un bolígrafo.

Conveniencia

Al implementar una metodología de mejora, la empresa obtendrá mejoras en la calidad del producto que desarrolla.

Relevancia social

Con el desarrollo de este estudio se beneficiarán directamente 125 personas incluido el personal operativo y administrativo, debido a la mejora de la calidad, y al mantener un proceso bajo control.

Implicaciones prácticas

La implementación de este trabajo en planta, implicará capacitar y educar al personal operativo para el correcto desarrollo de esta metodología.

Valor teórico

Un aporte directo a las empresas nacionales y trasnacionales que producen bajo moldes de inyección piezas pequeñas, preocupadas por mejorar la calidad de las mismas.

Utilidad metodológica

Implementar la misma metodología en las demás inyectoras que producen diferentes partes plásticas que componen un bolígrafo.

Beneficios económicos esperados

Se reducirán el número de unidades defectuosas, mejorando la calidad de las piezas de las áreas de plástico y mejorando la eficiencia del área de ensamble, además de la reducción de los costos por reproceso.

- Métodos y técnicas especiales

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo se recopilarán datos, se aplicarán herramientas de calidad como diagrama Pareto, causa-efecto, diseño de experimentos a través de las cuales será posible conocer el origen de la variabilidad presente en el proceso.

Adicionalmente se usarán cartas de control para identificar la proporción de defectuosos en un tamaño de muestra constante en el proceso actual y luego de la implantación de la mejora, se realizarán los diseños de experimentos necesarios para obtener los niveles adecuados con los que los factores deban trabajar y mantenerse en el largo plazo.

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

El número de industrias que se dedican a la transformación de materiales Termoplásticos por el método de inyección ha crecido considerablemente en los últimos tiempos en América Latina y resto del mundo.¹ De año en año crece el número de personas interesadas en la mejora de la calidad, productividad de dichos procesos, generalmente en empresas multinacionales se capacita al personal involucrado en esta línea unificando ciertas terminologías de la calidad, que contribuyen a la mejora continua del proceso.

La cultura organizacional es la parte medular para ir día a día mejorando e innovando los procesos de producción, “en el ámbito industrial manufacturero, nuevos paradigmas como el diseño parametrizado e ingeniería concurrente, están siendo establecidos como herramientas para la optimización de las múltiples etapas de un producto”.²

1.1. Conceptos de Calidad

William Edwards Deming, considera que la calidad debe ser un compromiso de mejora continua, cambiando el esquema de las inspecciones por el de una metodología de participación total de cada uno de los colaboradores de la empresa, fomentando el liderazgo participativo.²

Existen autores como DeFeo J. A., que indica que la calidad consiste en aquellas características del producto que satisfacen las necesidades de los clientes y proporcionan la satisfacción con el producto.³

¹ Revista Integra, Febrero 2008.

² Correa C.; Tapia C.; Rose C., Revista de la asociación de plásticos Integra, abril del 2008

³ Deming, W. Edwards, La nueva economía, Díaz de Santos, 1994.

⁴ DeFeo, J. A. , Planning for quality, 2d ed. , Juran Institute, Inc. Wilton Conn. , 1990.

Philip B. Crosby, considera que la principal barrera para la calidad es llegar a cambiar la cultura organizacional de la empresa, puesto que hay resistencia al cambio y orientar a todos “Hacer las cosas bien a la primera”.⁵, es cuestión de fomentar el cambio organizacional con liderazgo.

Mizuno, indica que la inspección por si sola no asegura la calidad, sino que esta exige de un diseño racional y de la puesta en práctica correcta de procedimientos y operaciones de control de la calidad.⁶

Joseph M. Juran sugiere que se determinen quienes son los clientes, cuales son sus necesidades, como satisfacerlos, evaluar el logro alcanzado para reducir las diferencias e ir implementando las mejoras en el proceso.⁷

Todos estos autores coinciden que la calidad debe cumplir con un número de requerimientos que satisfaga las necesidades del cliente, así mismo han tenido influencia en el desarrollo del concepto actual de calidad y herramientas que sirven para la mejora continua de la misma.

1.2. Conceptos de Procesos

Porter, Michael E. menciona que un proceso implica el uso de los recursos de una organización, para obtener algo de valor. Ningún producto puede fabricarse sin un proceso.⁸

En los sistemas de calidad el concepto de proceso, se indica como el conjunto de actividades relacionadas entre si o que interactúan, para las transformación de los elementos de entradas en resultados.⁹

⁵ Crosby, Philip B., Quality is still free: Making Quality certain in uncertain times, McGraw-Hill, 1996.

⁶ Mizuno, S., Company-Wide Total Quality Control, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1998.

⁷ Juran, Joseph M. Gryna, Frank M. Manual de control de calidad, 1951.

⁸ Porter Michael E., Harvard Business Review , Marzo, 1990.

⁹ ISO 9000:2000, Sistemas de gestión de la calidad- Fundamentos y vocabulario, ISO, 2000.

Actualmente el ciclo PDCA, se denomina "ciclo Deming", es una herramienta objetiva que ayuda en la toma de decisiones y facilita el proceso de constante mejora en una empresa. Es como un lenguaje matemático con el cual los administradores y operadores pueden entender "lo que las maquinas dicen".

El control de proceso, un descubrimiento de Shewhart, es una metodología para planear el proceso y rápidamente determinarse cuando un proceso está "fuera de control" (e.g., una variación especial de la causa está presente porque algo inusual está ocurriendo en el proceso). El proceso entonces se investiga para determinar la causa de la raíz "fuera de la condición del control". Cuando la causa de la raíz del problema se determina, una estrategia se identifica para corregirlo.

Robbins and Coulter indican que los procesos o métodos que transforman los insumos de una organización en resultados difieren en su grado de rutina o estandarización.¹⁰

En cualquier empresa industrial la calidad de sus productos está directamente relacionada por la calidad de sus procesos, puesto que son estos los que determinan la calidad final del producto o servicio.

Para Ishikawa, la gestión de la calidad no sólo afecta a todas las actividades de la empresa y a sus trabajadores, sino también a todos los elementos relacionados con la cadena de suministros de la empresa, es decir, proveedores y clientes, entre otros. El control de calidad no sólo implica la calidad del producto sino también a todos los ámbitos de gestión, incluyendo la administración del personal, los aspectos relacionados con la atención al cliente y el servicio postventa.¹¹

¹⁰ Robbins, Coulter, Administración, 8va. Edición, 2005.

¹¹ Ishikawa, Kaoru, ¿Qué es el control total de calidad?, Norma, 1994.

La búsqueda de la calidad total es un proceso continuo que siempre puede ir un paso más lejos. Uno de los aspectos clave en el desarrollo y mantenimiento del control total de la calidad es la utilización de indicadores para analizar la situación de la empresa. Los métodos estadísticos son fundamentales para extraer conclusiones razonables e información útil para la mejora de los procesos.

Ishikawa indica que el control de calidad requiere usar métodos estadísticos, divididos en: elemental, intermedios y avanzados, el elemental es indispensable para el control de calidad, y deben ser usado por todos en la empresa, desde la alta gerencia hasta operadores.¹⁰

El método elemental esta compuesto de; Diagramas Pareto, Diagrama Causa-efecto, Estratificación, Hoja de verificación, Histograma, Diagrama de dispersión, Gráficas y cuadros de control.

De ellas las mas usadas son diagrama causa-efecto, para organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un determinado problema y Diagrama Pareto que completa al anterior, pues se detectan los problemas con mayor incidencia o frecuencia.

La mayor contribución de Edwards Deming a los procesos de calidad en Japón es el control estadístico de proceso puesto que las variaciones del proceso afectan el cumplimiento de la calidad prometida.²

1.3. Control Estadístico de Procesos

El Control estadístico de procesos. Es una herramienta que trata de reducir la producción de unidades defectuosas, minimizando el tiempo que pasa entre la ocurrencia y la detección de alguna variación en el proceso de producción.¹²

¹² Tracking the documentation of tooling, Beth Ann Bergeron, Department of Plastics Engineering University of Massachusetts Lowell, 2007

¹³Tort-Martorell, Xavier, Grima, Pere y Pozueta, Lourdes, Métodos estadísticos, control y mejora de la calidad, Ed. UPC, Barcelona, 1994.

La ausencia de control en un proceso, es causante de provocar problemas de calidad en el producto terminado, a más de recolectar los datos, identificar causas de su comportamiento inadecuado, se debe analizar el mismo, proponer planes de acción, para reducir la variabilidad del proceso si existiese.

En un proceso se identifican dos tipos de causas, las especiales y las comunes o normales de variación, éstas últimas dependen de las características propias de cada proceso, y reflejan el 85% de la variación, permanecen adheridas al proceso y requieren solución a nivel gerencial.¹⁴

Las causas especiales, dependen de fallas concretas del equipo o de la gente, constituyendo el 15% de la variación.

La variación debido a causas especiales significa que existen factores significativos que pueden ser investigados y no se pueden pasar por alto, porque pueden ser causados por la falta de estándares o su aplicación inapropiada.

Cuando en un sistema solo existen causas comunes de variación, el proceso se lo considera estable, pues las causas comunes de variación se comportan como un sistema constante de causas totalmente aleatorias, aun cuando su medición individual es diferente, en grupo tienden a comportarse como una distribución.

Cuando un proceso presenta causas especiales de variación, la distribución del proceso no es estable, y no sigue una distribución.

Todo proceso debe controlarse estadísticamente, detectando y eliminando las causas especiales de variación, para luego predecir su funcionamiento, así determinar su capacidad para satisfacer las expectativas del cliente.

¹⁴ Shewhart, Walter A., Métodos Estadísticos desde el punto de vista del control de calidad, Unabridged Dover, 1986.

El uso de herramientas de control estadístico de procesos ofrece múltiples ventajas tanto para el proceso como para el área o empresa que lo usan, pues se reduce el número de unidades que no cumplen con las especificaciones del mismo.

En general el control estadístico de procesos es una herramienta tanto para el operador y gerente donde puede determinar si un proceso genera producto o servicio final que se ajuste a las especificaciones, reduce el tiempo perdido en inspecciones posteriores, mejorando la calidad del producto o servicio según sea el caso.

1.4. Cartas de control

Las cartas de control se utilizan en la industria como técnica de diagnóstico para supervisar procesos de producción e identificar inestabilidad o circunstancias anormales.

Una carta de control es una comparación gráfica de los datos de desempeño del proceso con los límites de control estadísticos.

El objetivo básico de una carta de control es observar y analizar con datos estadísticos la variabilidad y el comportamiento de un proceso a través del tiempo, permitiendo distinguir entre variaciones por causas comunes y especiales, lo que ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso.¹⁵

Existen muchas características de calidad del tipo pasa no pasa, donde de acuerdo a ello, el producto o servicio es detectado como defectuoso o no defectuoso, dependiendo de si posee o no cierto número de atributos.¹⁶

Lo primero que debe quedar claro es que los límites de una carta de control no son las especificaciones del proceso, mas bien se calculan a partir de la variación del estadístico que se presenta en la carta.

¹⁴ Humberto Gutiérrez, Román de la Vara S. , Control estadístico y seis sigma Mc Graw Hill, 2005

¹⁵ American Industrial Higiene Association, Work Practices Guide for Manual Lifting, AIHA, Cleveland, Ohio, 1983.

1.5. Cartas de control por atributos

Existen muchas características de calidad que no son medidas con un instrumento de medición en una escala continua o al menos en una escala numérica. En estos casos el producto o proceso se juzga como conforme o no conforme, dependiendo de si posee ciertos atributos.¹⁷

La variabilidad y tendencia central de este tipo de características de calidad de tipo discreto serán analizadas mediante las cartas de control para atributos.

Las cartas de control por atributos pueden ser muy útiles para mostrar progresos en el proceso medido.

1.6. Cartas de control p

Las cartas p (proporción de defectuosos) es ampliamente usada para evaluar el desempeño de una parte o todo un proceso, tomando en cuenta su variabilidad y detectar así causas o cambios especiales en el proceso.

El propósito de estas cartas es analizar la proporción de artículos defectuosos por subgrupo (unidades rechazadas/ unidades inspeccionadas). Por lo general es usada para reportar resultados en puntos de inspección donde una o más características de calidad son evaluadas y en función de esto el artículo es aceptado o rechazado.¹³

El valor de n puede ser constante o variable, pero suficientemente grande para tener una alta probabilidad de que en cada subgrupo se detecte por lo menos una pieza defectuosa.

Son usadas cuando es difícil o no viable económica o técnicamente hacer una medición numérica, cuando se intentan utilizar resúmenes de administración, los cuales en su mayoría

¹⁷William K. Hodson, Manual del Ingeniero Industrial, Cuarta Edición, 1995.

proviene en formatos de atributos, como lo son las proporciones de desperdicios, rendimientos, auditorías de calidad.

Este tipo de cartas muestran las variaciones en la fracción de artículos defectuosos por muestra o subgrupo, es ampliamente utilizada para evaluar el desempeño de procesos.

Si n piezas del subgrupo i se encuentra que d_i son defectuosas (no pasan), entonces en la carta p se grafica y analiza la variación de la proporción p_i de unidades defectuosas por subgrupo.

$$P_i = \frac{d_i}{n_i}$$

Para calcular los límites de control se parte del supuesto de que la cantidad de piezas defectuosas por subgrupo sigue una distribución binomial que puede aproximarse a una distribución normal puesto que el $np > 5$ como se evidenciará posteriormente.

1.7. La capacidad de los procesos

La capacidad del proceso es la medida de la reproducibilidad intrínseca del producto resultante de un proceso, es decir la frecuencia con que los productos que se obtienen cumplen con las especificaciones, por ende la variabilidad de la misma, se encuentra dentro de los límites establecidos.

La mayor parte de los procesos industriales, especialmente en las industrias de procesos químicos, funcionan bajo estado de control estadístico. Es importante considerar que para realizar los cálculos de capacidad, el proceso debe estar bajo control, es decir se deben eliminar todas las causas especiales que afecten al proceso estudiado.

Las tolerancias del proceso son fijadas al inicio, en función de las necesidades y/o requerimientos del cliente, nunca en función de las características del proceso.

Considerando el proceso y las especificaciones, se obtendrá que un proceso es capaz, si puede producir dentro de las especificaciones dadas y si su capacidad es menor que las tolerancias.

Para comparar estas dos características se define un índice de capacidad, que compara el ancho de las especificaciones o variables toleradas para el proceso, con la amplitud de la variación real del proceso.

El índice potencial del proceso C_p , se lo define:

$$C_p = \frac{LSE-LIE}{6\sigma}$$

Donde σ representa la desviación estándar del proceso, y LSE y LIE son las especificaciones superior e inferior para la característica de calidad a medir.

El valor de C_p ayuda a notar la variabilidad del proceso, si el $C_p > 1.33$ se dice que el proceso es capaz, caso contrario no es capaz de cumplir con las especificaciones.

La capacidad real del proceso, C_{pk} , evalúa la capacidad real de un proceso, tomando en cuenta las dos especificaciones, la variación y el centrado del proceso. ¹³

Por lo tanto, consiste en el valor mínimo entre el índice de capacidad superior C_{ps} y el índice inferior C_{pi} .

$$C_{pi} = \frac{u-LIE}{3\sigma}$$

$$C_{ps} = \frac{LSE-u}{3\sigma}$$

Donde, $C_{pk} = \min. (C_{pi}, C_{ps})$.

Los valores de C_{pk} , son ampliamente utilizados como indicadores de la calidad de un proceso o producto. El valor de $C_{pk} = 1.33$ se ha establecido como un parámetro deseado pues la obtención de este valor en un proceso o producto significa que por cada 10000 mediciones 3 de ellas existe la probabilidad estadística que se encuentre fuera de los límites de especificación.

1.8. Diseño de Experimentos

Douglas C. Montgomery menciona que los métodos de diseño experimental tienen un cometido importante en el desarrollo de proceso y en la depuración del mismo para mejorar el rendimiento. En muchos casos, el objetivo puede ser desarrollar un proceso consistente o robusto; esto es, un proceso afectado mínimamente por fuentes de variabilidad externas.

El diseño de experimentos, aporta una metodología para disminuir la variabilidad de los productos y procesos solucionando de esta manera el problema que se genera cuando un proceso no es capaz.

El diseño de experimentos recibió un impulso decisivo debido a la influencia del control de calidad en Japón, en donde se dieron cuenta que más que detectar la mala calidad, es mejor enfocar esfuerzos de prevención.¹⁸

La gente que está ligada a la operación y mejora de los procesos, está acostumbrada a hacer pruebas (experimentos) de diferente índole, por lo que en este caso el reto es que estas pruebas se hagan en forma planeada y óptima (diseño estadísticos de las pruebas) en lugar del tradicional “prueba y error”.¹⁹

El diseño de experimentos es el conjunto de técnicas activas que manipulan el proceso para inducirlo a proporcionar la información que se requiere para mejorarlo. Técnicas estadísticas y de ingeniería que permiten lograr la máxima eficacia de los procesos de producción al menor costo.

Los 5 aspectos que más influyen en la selección de un diseño experimental, en el sentido de que cuando cambian nos llevan generalmente a cambiar de diseño son:

¹⁸ Stecke, Kathryn e., Design, Planning, Scheduling, and control Problems of Flexible Manufacturing Systems, Management Science, March 1983.

¹⁹Afentakis, Panos.” A loop layout Design Problem for Flexible Manufacturing Systems” International Journal of Flexible Manufacturing Systems, April, 1989.

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

El diseño de experimento es una herramienta muy valiosa. puesto que permite identificar que factores de entre todos los técnicamente viables son las fuentes de la variabilidad, y la experimentación de ellos, una vez identificados los factores que influyen se determina que valor debe ajustarse para acercarse más a las especificaciones deseadas con le menor variabilidad posible.

CAPÍTULO 2

2. IDENTIFICACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO. DIAGNOSTICO. ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LA CALIDAD DEL PRODUCTO.

2.1. Antecedentes

La empresa objeto de estudio es una empresa dedicada a la fabricación de productos de la línea de escritura desde los años 50 , distribuye sus productos en Costa, Sierra y países como Argentina, Colombia, Venezuela y Chile.

La empresa produce alrededor de 13 millones de bolígrafos mensuales, se producen 2 tipos de bolígrafos donde varía el punto y colores como: negro, azul, rojo y verde. Cuenta con 90 personas, 44 porciento contribuyen en el área operativa y 56 porciento en el área administrativa.

El área operativa trabaja tres turnos rotativos de lunes a viernes. La producción se realiza bajo pedido mensual, esto se lo hace al inicio de cada mes, donde personal de exportaciones y ventas emite un consolidado del número de unidades a venderse el próximo mes a la gerencia de manufactura, para que realice el programa de producción del mes.

El proceso de producción de bolígrafos se concentra en tres etapas como lo son: Producción de piezas plásticas, Producción de repuesto y ensamble del bolígrafo. El área de producción cuenta con alrededor de 20 máquinas distribuidas en las 3 áreas respectivas, Plásticos, subensamble ensamble.

Desde el año 2001 la empresa tiene su sistema de gestión de la calidad, certificado bajo la Norma ISO 9001:2000, para todos sus procesos de producción, calidad, y ventas.

2.1.1. Los Clientes

Los clientes directos son los distribuidores, divididos por zonas, así como las otras filiales fuera del país, donde se cuenta con parte logística y personal tanto administrativo como logístico, ellos distribuyen nuestros productos a los centros de ventas.

2.1.2. La Competencia

En los últimos años se ha notado en el mercado bolígrafos chinos, sus costos son significativamente inferiores a los nuestros, así mismo existe la marca Faber Castell, en ambos casos distribuyen sus unidades dentro del país, mas no producen localmente. Personal de calidad realiza pruebas continuas con los productos de la competencia donde se observa que escriben en promedio 1,800 metros corridos, mientras que los nuestros escriben 2500 metros corridos.

2.1.3. Los Proveedores

Los materiales usados en el proceso de producción son proporcionados por importaciones o empresas locales que cuentan con certificación de calidad, los puntos y la tinta son importados, de filiales de la misma empresa que se encuentran fuera del país.

2.1.4. La demanda

El departamento de ventas, exportaciones e importaciones envía un consolidado del número de pedidos con sus respectivas unidades a venderse el mes siguiente, a la gerencia de manufactura, ambos con su fecha de entrega, la gerencia de manufactura elabora un consolidado de los pedidos locales y exportaciones para realizar el programa de producción del mes, el mismo que es entregado a cada una de las áreas. Cabe destacar que durante el año existen dos picos altos de demanda, para el inicio de clases del ciclo Sierra, Agosto y

septiembre, otro para el de la Costa, Febrero y Marzo; durante esos meses se produce un 40% más de bolígrafos a lo promedio mensual.

2.1.5. El Proceso

El macroproceso está conformado por las siguientes etapas distribuidas en las áreas de Plástico, Subensamble y Ensamble.

Área Plástico:

Esta área está compuesta por ocho inyectoras, tres para la producción de barriles, tres para la producción de tapas, una para soportes, una para botones.

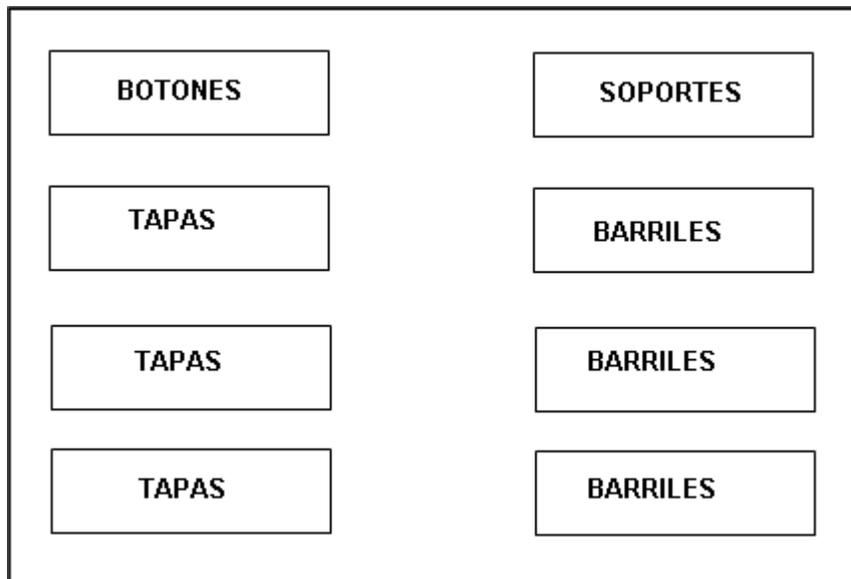


Figura 2.1.5.1. Distribución de inyectoras de componentes plásticos

El proceso de producción de tapas, barriles, soportes, botones se explica en el siguiente diagrama de flujo:

Diagrama de flujo del proceso de fabricacion de piezas plasticas

#	Actividades	Operacion	Inspeccion	Transporte	Almacenamiento	Demora
1	Programa de producción es elaborado por Gerencia de manufactura	○				
2	Programa producción es enviado a área de producción y Bodega			➡		
3	Operadores de área revisan programa		□			
4	Gerencia manufactura abre órdenes de pedido	○				
5	Jefe de bodega envía materia prima a área de producción en area de almacenamiento			➡		
6	Operador-Mezclador de primer turno realiza la mezcla de materia prima para los tres turnos	○				
7	Operador de turno coloca materia prima en la tolva de cada inyectora	○				
8	Revisa piezas plásticas		□			
9	Al finalizar turno realiza informe de turno detallando novedades y unidades producidas	○				

Figura: 2.1.5.2. Diagrama flujo del Proceso de producción de componentes plásticos

Área Subensamblable:

Esta área cuenta con cuatro subensambladoras, en promedio trabajan tres personas en el primer turno, una en el segundo y otra en el tercero. En esta parte del proceso se producen repuestos que consisten en el ensamble de tubo con el soporte-punto y la inyección de la tinta: el diagrama de flujo del proceso de producción de repuestos se muestra a continuación:

Diagrama de flujo del proceso de repuestos

#	Actividades	Operación	Inspección	Transporte	Almacenamiento	Demora
1	Programa de producción es elaborado por Gerencia de manufactura	○				
2	Programa producción es enviado a área de producción y Bodega			⇒		
3	Operadores de área revisan programa		□			
4	Gerencia manufactura abre ordenes de pedido	○				
5	Jefe de bodega envía materia prima a área de producción en área de almacenamiento			⇒		
6	Operadores colocan tubos en la minitolva	○				
7	Operadores colocan tinta en el envase de tinta	○				
8	Operadores colocan puntos en carusel de puntos	○				
9	Operadores colocan soportes en carusel del mismo	○				
10	Operadores encienden máquina	○				
11	Operadores colocan repuestos en centrífuga	○				
12	Operadores inspeccionan repuestos		□			
13	Operadores colocan repuestos en gavetas en área de almacenamiento temporal				▽	
14	Al finalizar el turno llenan informe de operador, reportando las novedades	○				

Figura: 2.1.5.3. Diagrama flujo del Proceso de producción de Repuestos

Área de Ensamble:

Esta es la última etapa del proceso de producción de bolígrafos, consiste en el ensamble de los componentes plásticos y repuestos producidos en plásticos y subensamble respectivamente.

Esta área cuenta con 4 ensambladoras semiautomáticas, a continuación se presenta el diagrama de flujo del proceso de ensamble:

Diagrama de flujo del proceso de fabricacion de piezas plasticas

#	Actividades	Operación	Inspección	Transporte	Almacenamiento	Demora
1	Programa de producción es elaborado por Gerencia de manufactura	○				
2	Programa producción es enviado a área de producción y Bodega			⇒		
3	Mecanico de área indica a operadores tipo y color de bolígrafo a producir	○				
4	Operador de turno coloca tolva de barriles detras de ensambladora	○				
5	Operador de turno coloca botones en minitolva de botones			⇒		
6	Operador de turno coloca tapas en tolva de tapas	○				
7	Operador de turno coloca repuestos en minitolva de repuestos	○				
8	Operador de primer turno enciende ensambladora	○				
9	Operador de los tres turnos de cada ensambladora cada tres horas realiza prueba de escritura del bolígrafo que se está produciendo		□			
10	Operador de turno coloca producción al granel en carton en pallets	○				
11	Operador de turno llena informe de producción con novedades durante su turno	○				

Figura: 2.1.5.4. Diagrama flujo del Proceso de producción de Bolígrafos

2.2. Diagnóstico del Proceso de Producción de Bolígrafos

Para determinar cual es el principal problema que atraviesa la compañía actualmente, se recopilamos datos basándose en la Figura 1.2., donde se identifica que el problema que afecta actualmente al proceso de producción de bolígrafos es el producto o materia prima que recibe de ensamble esto genera unidades no conformes en el proceso.

2.3. Diagrama Pareto

Para realizar este análisis se utilizó un diagrama Pareto, en donde se registró el número de veces que ha fallado cada componente que va al área de ensamble durante un periodo de tres meses.

Los componentes plásticos que se procesan se muestran en la figura 2.3.0:

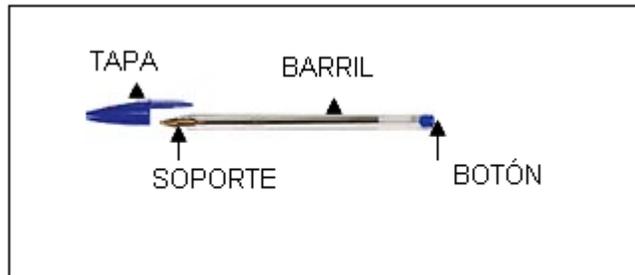


Figura 2.3.0 Componentes plásticos

En la Tabla (2.3.1) se aprecia que las fallas de producto mas frecuentes vienen de los barriles, componente que es producido en el área de plástico.

Tabla 2.3.1. Número de veces que falla el Producto en el área de ensamble

Fallas de Producto			
Producto	Cantidad	Cantidad acumulada	Frecuencia Relativa
Barriles	101	101	68%
Tapas	23	124	15%
Botones	16	140	11%
Repuestos	9	149	6%
Total	149		100%

En Tabla 2.3.1, se aprecia que el 68% de las fallas en el proceso de ensamble se debe a los problemas provocados por los barriles, el 15% de las fallas se debe a las Tapas, seguido del de botones con 11% y el de repuesto con el 6% del total de fallas registradas en promedio en las cuatro ensambladoras donde se tomaron los datos.

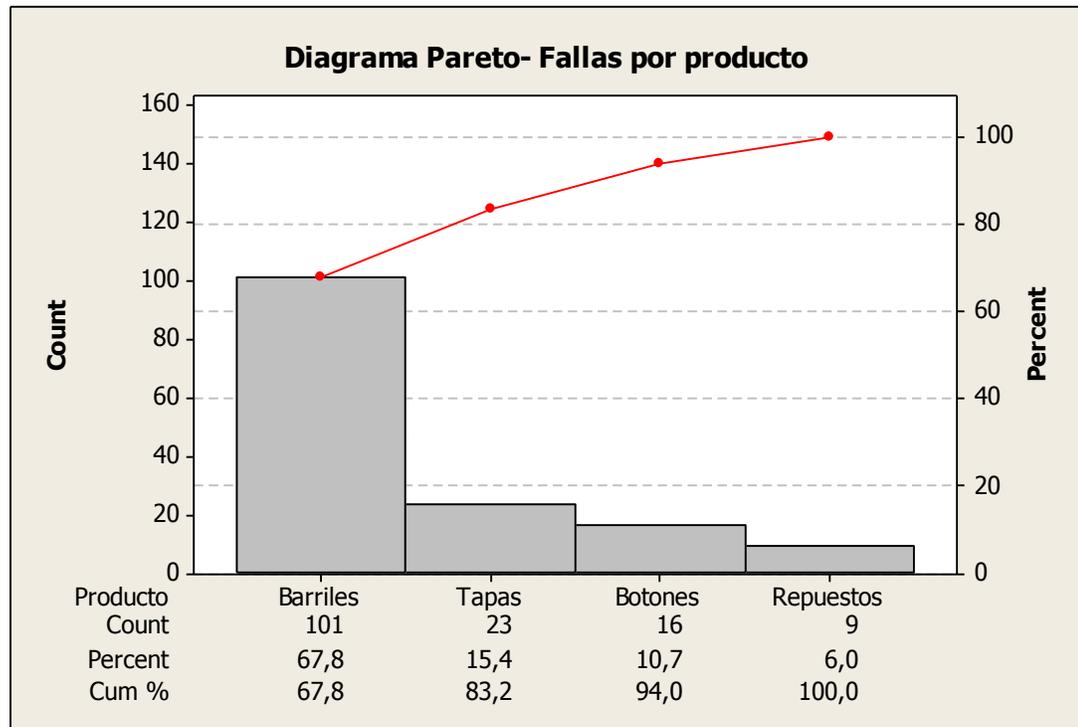


Figura 2.3.1. Diagrama Pareto Fallas por producto Área Ensamble

Una vez identificada la frecuencia del problema que representan los barriles que llegan al proceso de ensamble (Figura 2.3.1), a partir de los datos que se observan en la Tabla 2.3.1, se realizó otro diagrama Pareto (figura 2.3.2) para identificar cual es el tipo defecto que más frecuentemente se presenta en el proceso de producción de bolígrafos. Se obtiene que el hundimiento es el defecto más concurrente en el proceso en mención.

Tabla 2.3.2. Frecuencia de defectos encontrados en el Proceso de Producción de barriles

Defectos encontrados	Cantidad	Cantidad acumulada	Frecuencia Relativa
Hundimiento	4507	4507	62%
Rebaba	2504	7011	35%
Cortos	100	7111	1%
Ventila tapada	109	7220	2%
Total	7220		

Como se puede apreciar el defecto más influyente es el hundimiento del barril, específicamente en la parte inferior del mismo, donde entra en contacto con la tapa.

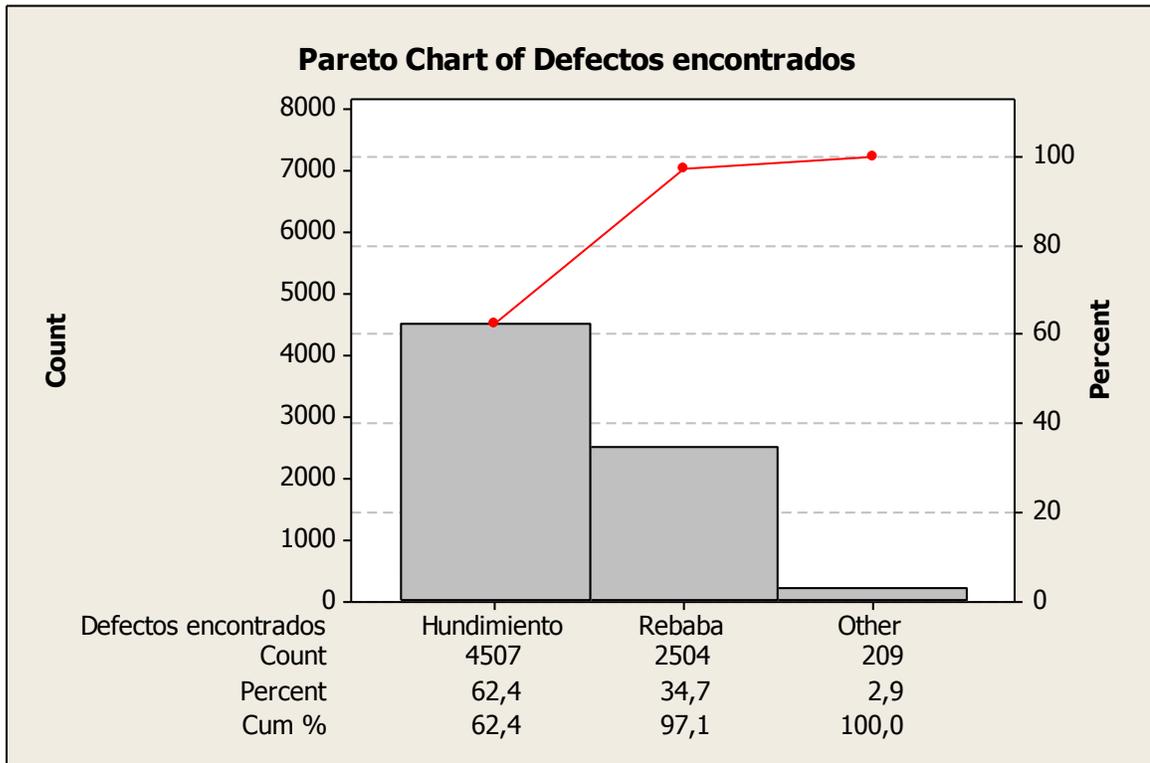


Figura 2.3.2. Diagrama Pareto Fallas defectos encontrados en la producción de barriles

Hundimiento: deformación plástica que evita el acople entre tapa y barril

Rebaba: es la cantidad de plástico adicional que se encuentra en el contorno de la pieza plástica.

Cortos: Piezas que no están completas

Ventila tapada: orificio de tapa no hueco.

A partir de ello se usó otra herramienta de mejora como es el diagrama causa-efecto de hundimiento del barril, para evidenciar las causas que provocan el hundimiento en los barriles.

2.4. Diagrama Causa-Efecto

Una vez determinado que el proceso que más problemas representa en el ensamble del bolígrafo es el de producción de barriles, se realizó un diagrama causa-efecto, con la finalidad de analizar detalladamente en que parte del proceso de producción de barriles se generan los problemas, por lo que se procedió a realizar una lluvia de ideas con el mecánico del área, jefe de calidad, manteniendo el criterio del manual práctico de inyección, referencia para los análisis posteriores, en donde se obtuvo:

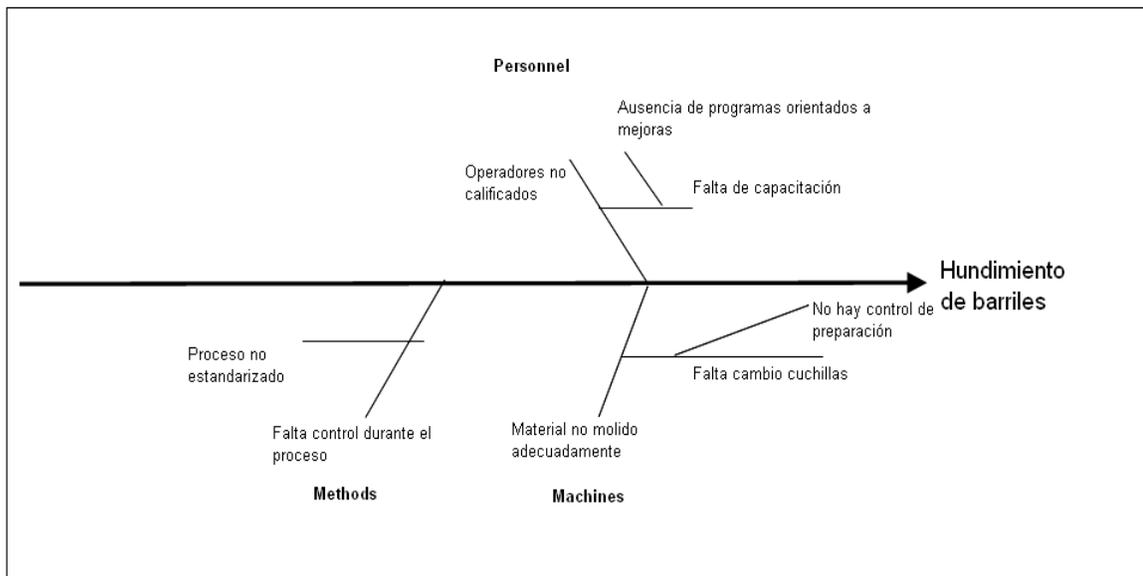


Figura 2.4.1. Diagrama Causa-Efecto del problema de Hundimiento de Barriles

Posteriormente se desarrollará una matriz de ponderación, tabla 2.3.3. donde operadores, mecánicos y representante de calidad en base a su experiencia indicarán que la causa raíz más influyente es la falta de control durante el proceso de producción de barriles para bolígrafos.

En cada celda se colocó la puntuación asignada a cada uno de los entrevistados, colocando la puntuación de 1,3, y 5, el valor de 1 indica que el nivel de la causa es leve, el valor 2 muestra que el nivel de la causa es medianamente importante, y el valor 3 altamente importante.

Tabla 2.3.3. Matriz ponderación posibles causas de hundimiento

Causas	Operador 1	Operador 2	Mecánico 1	Mecánico 2	Rep. Calidad	Total
Operadores no calificados	3	3	3		1	3
Falta de control durante el proceso	5	3	5		5	23
Material no molido adecuadamente	3	1	3		1	3
Proceso no estandarizado	3	1	3		3	3
Falta cambio cuchillas	1	1	1		1	1
Falta capacitación	3	3	5		3	5

2.5. Determinación de la variable a medir

La característica de calidad que se ve afectada como se menciona con anterioridad es el hundimiento debido a que no es variable medible será estudiada como un atributo, como se observaría posteriormente,

Dentro del proceso de producción de barriles tal como lo sugiere Ingeniero Oliver Fernández en el Manual de inyección, existen variables que deben ser controladas tales como: la presión de inyección, velocidad de inyección, tiempo de sostenimiento, tamaño de disparo, temperatura; a continuación se presenta en la tabla 2.5.1 en la que se puede observar una lista de problemas y posibles soluciones que se dan, cuando estamos frente a un defecto conocido como el hundimiento de alguna pieza plástica moldeada con Poliestireno y demás resinas plásticas. En el Anexo A, se presenta una lista con demás problemas que afectan a una pieza plástica.

Tabla 2.5.1. Problemas y soluciones generales Moldeo de plásticos

Marcas de hundimiento	Ajustar la alimentación Incrementar la presión de inyección Incrementar el tiempo de sostenimiento en la inyección Disminuir el intervalo de temperaturas Disminuir la temperatura del molde Añadir mas venteos Incrementar las dimensiones de la colada, Cambiar la localización del punto de inyección Incrementar la presión de retorno
-----------------------	---

Considerando como posibles factores de influencia, más adelante a través de una matriz de ponderación se mostraran los factores que serán usados en el diseño de experimento.

2.6. Impacto Económico del estudio

Al identificar cuales son los factores que afectan durante el proceso de producción de barriles, controlando la variable “hundimiento” se estará contribuyendo directamente a la eficiencia del área de ensamble además de controlar y mejorar un proceso clave dentro de la producción de bolígrafos.

En la tabla 2.6.1 se observa el número de unidades procesadas diarias, así como el de las reprocesadas tanto diario, mensual y anual.

Tabla 2.6.1. Costo total de reproceso

Reproceso día	15.200
Reproceso por máquina	1.266
Costo reproceso día	\$ 304,00
Costo mano obra reproceso-día	\$ 13,50
Costo total día	\$ 317,50
Costo total mensual	\$ 6.985,00
Costo total anual	\$ 83.820,00

Los costos de reproceso-mano de obra, se obtuvo mediante el costo-hora del operador, con ayuda de su salario mensual y el número de horas trabajadas diariamente.

Como se puede observar en la Tabla 2.6.1., el promedio de unidades reprocesadas anualmente es de \$ 319,392.0, está incluido el costo de mano de obra operativa, partiendo de referencia de 3 horas promedio que se toma el operador para reprocesar las unidades terminadas

Como se puede notar el costo de reprocesar unidades supera los de \$ 300,000 dólares mensuales.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE CAPACIDAD DEL PROCESO

Es de vital importancia saber que todo proceso está sujeto a variaciones, lo importante de ello es reconocer cuales son debido a causas especiales y comunes, para poder resolver los problemas que se presenten, mediante herramientas de calidad solo se resuelven las causas comunes.

A partir de los resultados obtenidos usando herramientas de calidad, tales como el diagrama Pareto y diagrama causa-efecto, se detectó que una de las causas que origina unidades defectuosas en el proceso de producción de bolígrafos es la falta de control que existe durante el proceso de producción de barriles.

Además de ello se determinó que otra de las causas que origina el número de defectuosos en mención es la inadecuada calibración de los parámetros de moldeo de inyección, esto está directamente relacionado con el hundimiento, variable objeto de estudio del presente trabajo.

En este capítulo se procederá a detallar cada una de las herramientas a usarse, para observar el comportamiento del atributo “Hundimiento”, dentro del proceso de producción de barriles, para identificar si el mismo está sujeto a causas especiales o comunes de variación, de manera que si se logra controlar la proporción de defectuosos se mejorará el proceso, reduciendo el producto defectuoso.

Actualmente en la empresa, no se ha implementado ninguna herramienta de control estadístico del proceso, debido a ello no se dispone de información histórica del comportamiento del proceso, por tanto se utilizará estadística inferencial para obtener el número promedio de defectuosos, a partir de datos de los tres últimos meses.

Cada operario diariamente registra en el informe de operador, (Anexo A), el número de unidades producidas, a partir de ello se empezó a registrar el número de unidades producidas,

durante tres meses divididas por semana normal (5 días, tres turnos), de donde se obtiene la grafica de control que se muestra en la figura 3.1. Estos datos fueron recolectados mediante la ayuda del asistente de producción quién envía el registro diario de unidades procesadas durante el turno anterior, lo que se realizó es un consolidado de las unidades producidas en el período de tiempo en mención.

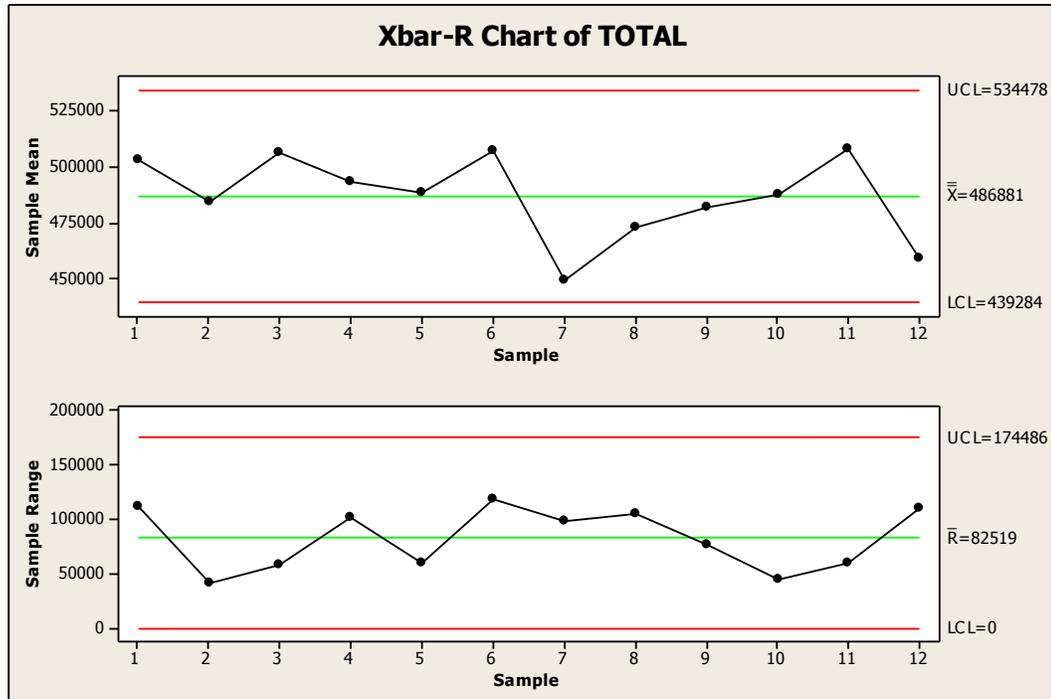


Figura 3.0. Unidades producidas en promedio semanal

A partir de ello se encuentra que en los últimos tres meses el promedio de producción de bolígrafos diarios es de 486,881 unidades, cuando lo real (cuando no existen problemas que alteren el proceso de producción normal), es de 600000 unidades diarias, dentro de las novedades que se recopilaban en los informes de producción, la que más incide es el de barriles.

Se procedió a realizar la gráfica de control que se muestra en la figura 3.1. para notificar el comportamiento promedio de la producción, es de vital importancia saber que un proceso esté bajo control estadístico no implica que se esté cumpliendo con las especificaciones requeridas por el área, en este caso 600,000 unidades diarias.

La gráfica de control que se aplicará para analizar el comportamiento de la variable “Unidades con hundimiento por ciclo”, será una grafica p, donde se evidenciara el número de unidades con hundimiento por ciclo, el tamaño de la muestra por inspección será de 27 (total de unidades que se obtiene en un ciclo de moldeo, del proceso objeto de estudio)

3.1. Recolección de datos

Diariamente el personal de calidad inspecciona 3 inyectadas por cada máquina, durante el primer turno adicional a ello el operador realiza su propia inspección, para efectos del trabajo que se esta realizando se le indicó al operador del primer turno que registrará el resultado de sus inspecciones adicional a la que realiza el asistente de control de calidad, obteniendo diariamente 4 muestras de tamaño 27 cada una, unidades obtenidas en cada ciclo o inyectada, en la tabla 3.1. se observa el registro de los datos obtenidos.

Tabla 3.1. Número de unidades con hundimiento

SUBGRUPO	UNIDADES CON HUNDIMIENTO				DEFECTOS PROMEDIOS
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4	
1	26	19	22	18	21
2	25	27	15	24	23
3	16	17	27	25	21
4	18	24	23	17	21
5	17	15	20	18	18
6	18	22	16	24	20
7	24	15	25	23	22
8	18	17	27	25	22
9	18	24	27	24	23
10	27	15	27	22	23
11	27	25	25	19	24
12	16	22	20	27	21
13	24	21	27	15	22
14	18	20	20	16	19
15	22	20	23	23	22
16	20	23	23	15	20
17	16	18	21	15	18
18	18	22	18	21	19
19	18	20	25	26	22
20	27	24	26	23	26
21	16	26	15	19	19
22	21	19	23	21	21
23	15	18	25	25	21
24	15	16	21	16	17
25	16	27	24	19	22
26	17	19	20	16	18
27	21	17	22	22	21
28	15	26	17	16	19
29	22	24	23	18	22
30	19	20	24	23	22
31	18	18	26	15	19
32	27	15	23	22	22
33	27	21	16	21	21
34	23	20	16	19	20
35	26	27	22	25	25
36	15	27	17	18	19
37	17	20	23	23	21
38	17	17	18	23	19
39	23	20	22	23	22
40	27	19	20	24	23
41	20	26	20	15	20
42	15	26	26	22	22
43	22	18	27	26	23
44	19	27	17	22	21
45	20	21	26	16	21
46	25	18	24	26	23
47	23	22	24	17	22
48	15	24	20	25	21
49	22	16	22	17	19
50	24	19	19	26	22
51	16	19	26	16	19
52	20	24	22	26	23
53	16	25	16	21	20
54	20	18	25	21	21
55	17	20	24	22	21
56	18	16	19	22	19
57	27	19	26	27	25
58	16	21	15	19	18
59	26	19	26	25	24
60	15	17	27	25	21

La organización de los subgrupos es uno de los puntos más importantes que debe tomarse en cuenta antes de la realización de la gráfica de control; por lo tanto se organiza los subgrupos por número de unidades con hundimiento en promedio diario, de las 4 muestras consideradas.

En la tabla 3.1. se exponen los valores que se obtuvieron de las muestras tomadas, se procedió a calcular el valor promedio de cada subgrupo a fin de calcular los límites de control para realizar la respectiva graficas p .

Con la ayuda del software Minitab, se procedió a ubicar los valores de cada subgrupo en la gráfica de control p , en donde se muestran el promedio de unidades con hundimiento en promedio diario durante los tres meses, tiempo en el que se ha tomado la muestra.

De acuerdo a lo que se muestra en la figura 3.1. el proceso está sometido solo a causas comunes.

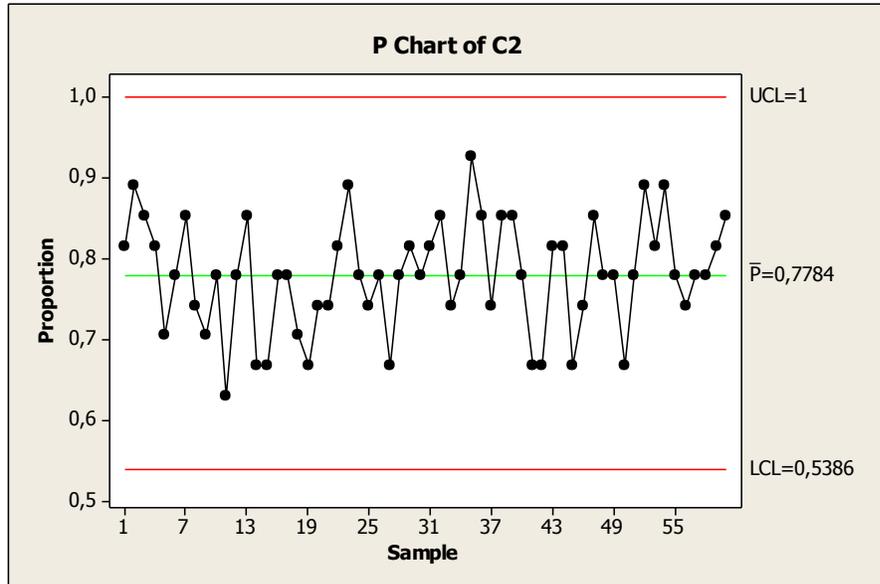


Figura 3.1. Gráfica p Barriles con hundimiento

3.2. Prueba de normalidad

Es necesario verificar si los datos obtenidos en las inspecciones de control de calidad siguen un comportamiento de una distribución normal.

A través del uso de la herramienta del MINITAB, se escoge la prueba de Kolmogorov-Smirnov, con la ayuda del p-value como referencia para aceptar o rechazar la hipótesis de normalidad de los datos.

Un p-value inferior a 0.05, indicará que los datos no son normales.

A continuación se muestra la grafica de prueba de normalidad (Figura 3.2) para los valores obtenidos en las inspecciones realizadas.

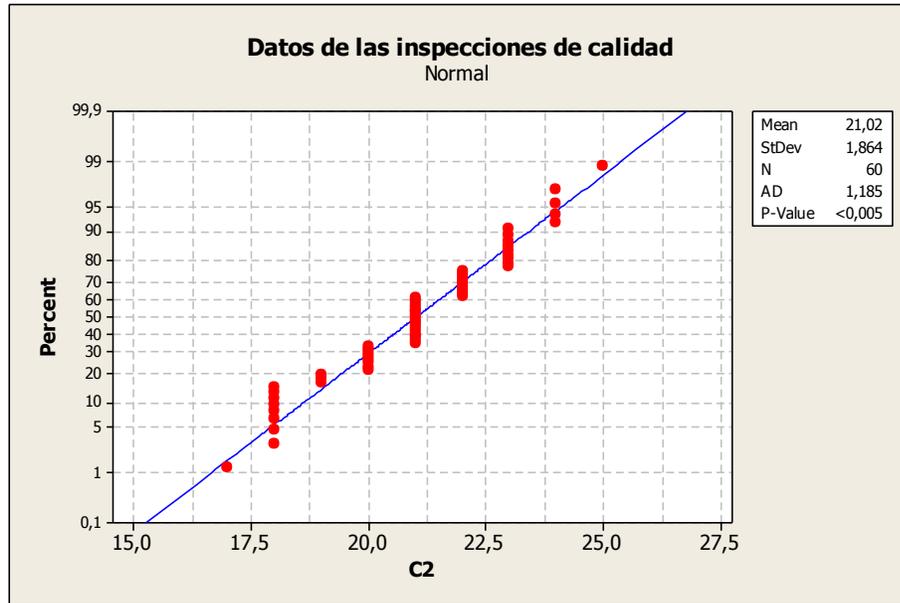


Figura 3.2. Prueba de normalidad de los datos recolectados

Dado que los datos no siguen una distribución normal, puesto que el p-value obtenido es menor 0.005 entonces se puede aproximar a una binomial considerando:

Si $np > 5$ entonces aproximación a la distribución normal

$$n = 27$$

$$p = 0,7845$$

$$21,1815 > 5$$

3.3. Análisis de capacidad por atributos

Para medir la calidad del proceso que tiene como variable de salida un atributo, en términos PPM, Z, se procederá a realizar los análisis pertinentes.

Este análisis debe permitir conocer si el proceso es capaz, es decir compara la voz del proceso con respecto a la voz del cliente, para este tipo de análisis se considera que el proceso se encuentra sometido únicamente a causas comunes de variación.

El objetivo según políticas de la empresa es presentar mejoras donde se obtenga un incremento de la misma del 20%, por lo que el target para análisis posteriores se basara en realizar una mejora no menor al 20%.

PPM indicador que revela numero de partes con defectos por cada millón de oportunidades es decir total de artículos con defectos entre el total de artículos inspeccionados.

Mediante el uso de MINITAB se procede a realizar el análisis de capacidad por atributos que se muestra en la figura 3.2.

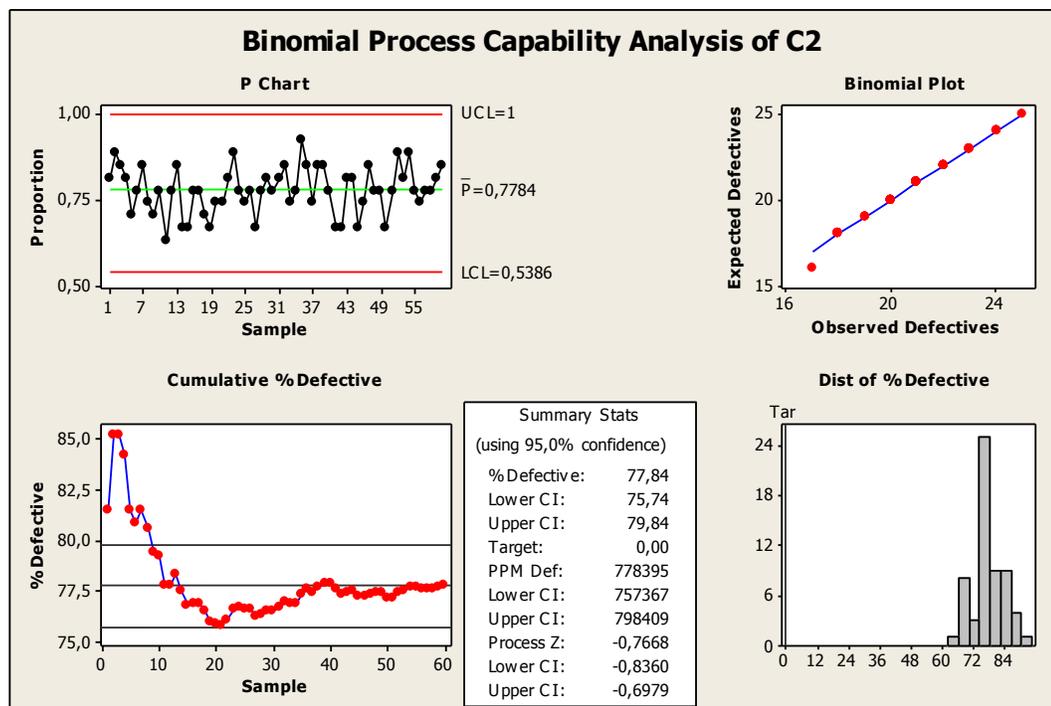


Figura 3.3. Análisis de capacidad por atributo

El porcentaje de unidades defectuosas según datos analizados es de 77.84%, según lo indicado en la Figura 3.2 Summary Stats

En la figura 3.2. el tamaño de la muestra analizado fue adecuado puesto que a medida que se van tomando las mismas tiende a estabilizarse, caso contrario ocurre al inicio de que se toma la muestra.

También se puede observar que los datos analizados corresponden a una distribución binomial.

El porcentaje de unidades defectuosas se encuentra entre el 79.84% y el 75.74% en otras palabras que de cada 10 unidades, 7 son defectuosas.

Mientras mayor sea el nivel Z, indicará que mayor número de unidades defectuosas se obtiene, el obtenido es de -0.7668

Con los análisis realizados se concluye que el número de unidades defectuosas es alto, por lo que es necesario implementar una herramienta de mejora que ayude a corregir el proceso de producción tanto en ensamble (Bolígrafos), como en inyección (barriles), mediante el uso del diseño de experimentos se procederá a realizar las respectivas pruebas usando los factores que afectan directamente al proceso de moldeo por inyección en la fabricación de los barriles, el siguiente capítulo se centrará en la aplicación de esta herramienta con la finalidad de identificar que factores afectan significativamente al mismo.

CAPÍTULO 4

4. APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

4.1. Planificación del Diseño de Experimentos

En este capítulo lo que se pretende es usar una herramienta que permita identificar cuales son los factores que afectan al proceso de producción de barriles de esta manera reducir el número de unidades con hundimiento, la herramienta indicada a usarse es el diseño de experimentos, puesto que al detectar los factores que influyen en la variable respuesta será posible establecer procedimientos que permitan solucionar el problema que genera el alto número de unidades defectuosas.

En el Anexo B se encuentra la hoja de control de proceso diario de cada inyectora a partir de ello se realizó un listado de los factores que intervienen en el proceso de producción de barriles, se realizó una matriz de ponderación que se muestra en la Tabla 4.1. mediante una puntuación se asignó la importancia de cada factor según el conocimiento de mecánicos del área, representante de calidad y operadores, para la solución del hundimiento. siendo:

Altamente importante: 20 puntos

Importante: 10 puntos

Normal: 5 puntos

Relevante: 1 punto

Al finalizar se sumó el total obtenido para cada causa donde se obtuvo lo que se muestra en la Tabla 4.1.1

Tabla 4.1.1: Matriz de ponderación de factores considerados

Velocidad de inyección	20	20	20	20	20	100
Temperatura de molde	20	20	20	20	20	100
Tamaño disparo	20	20	20	10	20	90
Presión de inyección	10	20	20	20	20	90
Tiempo de sostenimiento	20	10	20	10	10	70
Presión de sosten	10	10	10	10	10	50
Cierre molde	10	10	5	5	10	40
Apertura del molde	5	5	5	5	5	25
Presión de extracción	1	1	1	1	1	5

Se determinó que los principales factores que afectan al hundimiento de los barriles son:

1. Velocidad

Es la rapidez con la que el plástico fundido se dirige hacia cada una de las cavidades del molde, durante la inyección el tornillo se mueve hacia delante por la fuerza ejercida por el aceite que llena el cilindro de inyección. El pistón dentro del cilindro es el que ejerce la fuerza que mueve el tornillo hacia delante.

Hay una relación directa entre la cantidad de aceite que fluye al cilindro de inyección y la velocidad de llenado del molde, pues de ello depende el control de llenado del plástico al molde.

2. Temperatura

Una de las condiciones más importante del ciclo de moldeo es sin duda la temperatura, factor que indica a que grado centígrado debe fundirse el material, esto depende del tipo de materia prima y especificaciones técnicas de la resina que se desea moldear, se debe trabajar dentro de las especificaciones que indica la hoja técnica del mismo para evitar problemas de contaminación o quemaduras de la pieza que se está moldeando.

Existen 4 etapas de temperatura que se deben controlar como lo son en la parte de la boquilla, frontal, central y trasera del tornillo.

El calor de las bandas eléctricas se aplica al empezar la operación cualquier plástico que haya quedado en el barril, de la operación anterior, debe estar totalmente fundido antes de que el tornillo empiece a girar. Si el tornillo se hace girar antes de que el plástico frío se haya fundido totalmente, el torque elevado puede quebrar el tornillo.

3. Tamaño de disparo

Es la cantidad de material plástico de reserva en la dosificación preparado para la próxima inyección, de esta cantidad de material depende si la pieza se obtiene corta, con rebaba o hundimiento.

En esta fase el material pasa del estado sólido al fundido por efecto del calor de las bandas calefactores, presión y fricción con el husillo, en esta parte en ocasiones se suele someter al material a una presión, denominada contrapresión, para conseguir una mejor homogeneización del mismo y para eliminar el aire que pueda haber quedado atrapado, el material al calentarse aumentará su volumen específico, por lo tanto disminuirá su densidad. Puede decirse que el material elevará su temperatura con un pequeño aumento de presión.

4. Presión de inyección

El plástico primero llena el sistema, cuando entra en la cavidad forma un perfil de llenado, el material se enfría rápidamente en contacto con el molde, durante el flujo del plástico este permanece caliente. A medida que se inyecta más material, el plástico fluye en esta región desplazando el material en un frente nuevo que a su vez será posteriormente desplazado por el flujo de material que continua ingresando al molde.

En otras palabras es la fuerza ejercida para que el material plástico fluya dentro de cada cavidad durante la inyección, durante el llenado el material entra en contacto con las paredes del molde comenzando a enfriarse. Terminada dicha etapa, el material aún está caliente, por lo cual es necesario mantenerlo con presión hasta su completo enfriamiento, por otra parte hay que tener en cuenta que el material mientras se enfría se contrae.

Durante la fase de inyección, el tornillo se desplaza hacia delante, sin girar, impulsado por la presión hidráulica, esto empuja el plástico que esta al frente del tornillo y lo hace fluir por el bebedero hacia la cavidad.

El valor correcto de la presión, es el que compensa la contracción del material; una vez llenado el molde debe introducirse una cantidad suplementaria para que la masa fundida que se encuentra a presión dentro del molde no retroceda hacia la boquilla debido a la elasticidad y para compensar la contracción del polímero, lo cual hace que el material disminuya de dimensión al enfriarse.

En la siguiente figura se realiza un esquema del proceso en mención, donde la presión actúa en el pistón hidráulico, de manera que ejerza fuerza para enviar el plástico fundido con ayuda del tornillo plastificante hacia el molde



Figura 4.1. Esquema de la máquina inyectora al momento en que ejerce presión

5. Tiempo de sostenimiento o sostén

Es el tiempo en el que se ejerce la presión de sostenimiento, este tiempo actúa luego de la primera inyección lapso en el que se empaca el material en cada cavidad.

Solo se consideraron 5 factores debido a que se estableció escoger las puntuaciones mayores a 60 puntos, una puntuación inferior a ello, se la descarta automáticamente.

Cada factor se lo trabajará a dos niveles con una réplica, debido al número de experimentos que se debe realizar obteniendo un experimento 2^5 factor, el detalle de los mismos se muestra en la tabla 4.1. a continuación:

Tabla 4.1.3. Factores que influyen en el hundimiento de los barriles con sus niveles

Factores	Descripción	Nivel (-1)	Nivel (+1)	Tipo Factor
Factor A	Presión de inyección	90 bares.	134 bares.	Controlable
Factor B	Velocidad de inyección	2 cm/s.	10 cm/s.	Controlable
Factor C	Tiempo de sostenimiento	2.2 seg.	4 seg.	Controlable
Factor D	Tamaño de disparo	6 cm.	8 cm.	Controlable
Factor E	Temperatura de fundición	220 C.	240 C.	Controlable

El experimento se trabajará con una replica obteniendo al finalizar del mismo 64 experimentos, se escogieron esos niveles en base a los datos obtenidos en la hoja de proceso que descansa en cada inyectora, obteniendo los valores máximos y mínimos promedios con los que se trabaja.

4.2. Matriz de diseño en orden estándar

Una vez seleccionados los factores que afectan a la variable respuesta con sus respectivos niveles se procede a generar la matriz de diseño en orden estándar.

Tabla 4.2. Matriz de diseño en orden estándar

StdOrder	CenterPt	Blocks	Presión inyección	Velocidad	Tiempo sostén	Tamaño disparo	Tempe.
25	1	1	-1	-1	-1	1	1
4	1	1	1	1	-1	-1	-1
21	1	1	-1	-1	1	-1	1
23	1	1	-1	1	1	-1	1
13	1	1	-1	-1	1	1	-1
27	1	1	-1	1	-1	1	1
19	1	1	-1	1	-1	-1	1
12	1	1	1	1	-1	1	-1
7	1	1	-1	1	1	-1	-1
31	1	1	-1	1	1	1	1
15	1	1	-1	1	1	1	-1
1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1
24	1	1	1	1	1	-1	1
29	1	1	-1	-1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	-1	-1
3	1	1	-1	1	-1	-1	-1
6	1	1	1	-1	1	-1	-1
10	1	1	1	-1	-1	1	-1
22	1	1	1	-1	1	-1	1
18	1	1	1	-1	-1	-1	1
28	1	1	1	1	-1	1	1
5	1	1	-1	-1	1	-1	-1
11	1	1	-1	1	-1	1	-1
30	1	1	1	-1	1	1	1
14	1	1	1	-1	1	1	-1
16	1	1	1	1	1	1	-1
26	1	1	1	-1	-1	1	1
9	1	1	-1	-1	-1	1	-1
32	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	-1	-1	-1	-1
17	1	1	-1	-1	-1	-1	1
20	1	1	1	1	-1	-1	1

Antes de realizar el experimento se realizó una reunión con los cuatro operadores, dos mecánicos y gerencia manufactura donde se indicó la importancia del trabajo, los factores con los que se trabajaría el experimento y el beneficio que se obtendría si lograría encontrar el nivel adecuado para trabajar los factores considerados.

Este experimento se lo realizó durante el primer turno de la semana 22 del presente año con ayuda del mecánico del área de plástico, en la Tabla 4.3. se presentan los resultados, la duración de los experimentos fue de aproximadamente 1.5 horas, debido a los cambios de temperaturas que se debían realizar.

Tabla 4.3. Datos primer diseño experimentos

StdOrder	PRESIÓN INYECCIÓN	VELOCIDAD INYECCIÓN	TIEMPO SOSTÉN	TAMAÑO DISPARO	TEMPERATURA	# HUNDIMIENTO
1	134	10	4	8	240	21
46	134	2	2.2	8	220	15
2	134	10	4	8	220	14
49	90	10	4	8	240	16
21	90	10	2.2	8	240	26
6	134	10	2.2	8	220	18
15	134	2	2.2	6	240	25
35	134	10	4	6	240	20
38	134	10	2.2	8	220	27
41	134	2	4	8	240	23
34	134	10	4	8	220	20
40	134	10	2.2	6	220	25
64	90	2	2.2	6	220	24
60	90	2	4	6	220	5
53	90	10	2.2	8	240	27
19	90	10	4	6	240	8
50	90	10	4	8	220	23
29	90	2	2.2	8	240	27
61	90	2	2.2	8	240	27
51	90	10	4	6	240	5
44	134	2	4	6	220	7
42	134	2	4	8	220	14
10	134	2	4	8	220	14
30	90	2	2.2	8	220	20
37	134	10	2.2	8	240	27
62	90	2	2.2	8	220	23
18	90	10	4	8	220	16
13	134	2	2.2	8	240	27
32	90	2	2.2	6	220	26
12	134	2	4	6	220	15
39	134	10	2.2	6	240	27

11	134	2	4	6	240	9
26	90	2	4	8	220	13
31	90	2	2.2	6	240	25
58	90	2	4	8	220	14
59	90	2	4	6	240	4
7	134	10	2.2	6	240	27
36	134	10	4	6	220	12
45	134	2	2.2	8	240	27
48	134	2	2.2	6	220	9
55	90	10	2.2	6	240	23
52	90	10	4	6	220	17
57	90	2	4	8	240	12
4	134	10	4	6	220	17
3	134	10	4	6	240	6
8	134	10	2.2	6	220	11
16	134	2	2.2	6	220	24
28	90	2	4	6	220	16
24	90	10	2.2	6	220	25
33	134	10	4	8	240	14
23	90	10	2.2	6	240	26
5	134	10	2.2	8	240	27
9	134	2	4	8	240	23
63	90	2	2.2	6	240	25
43	134	2	4	6	240	9
27	90	2	4	6	240	9
56	90	10	2.2	6	220	23
54	90	10	2.2	8	220	22
47	134	2	2.2	6	240	24
14	134	2	2.2	8	220	23
17	90	10	4	8	240	16
20	90	10	4	6	220	14
22	90	10	2.2	8	220	26
25	90	2	4	8	240	16
24	90	10	2.2	6	220	25
33	134	10	4	8	240	14
23	90	10	2.2	6	240	26
5	134	10	2.2	8	240	27
9	134	2	4	8	240	23
63	90	2	2.2	6	240	25
43	134	2	4	6	240	9
27	90	2	4	6	240	9
56	90	10	2.2	6	220	23
54	90	10	2.2	8	220	22
47	134	2	2.2	6	240	24
14	134	2	2.2	8	220	23
17	90	10	4	8	240	16
20	90	10	4	6	220	14
22	90	10	2.2	8	220	26
25	90	2	4	8	240	16

En la Tabla 4.3. se aprecia el número de unidades con hundimiento en cada una de los experimentos realizados, estos datos serán evaluados con ayuda del Software Minitab que se presentará posteriormente, para ello se deberán formular hipótesis que se muestran a continuación.

4.3. Formulación de la hipótesis del diseño de experimentos

En los experimentos que se realizarán posteriormente, la hipótesis nulas reflejan que los factores no influyen en la variable respuesta, unidades defectuosas por ciclo

H0: Efectos=0

H1: Algún efecto $\neq 0$

Luego de formular la hipótesis, se realiza cada experimento, al final de ello se analizarán los resultados que se obtendrán.

Dado que los datos del primer diseño no siguen una distribución normal, se puede aproximar a una binomial considerando:

$np > 5$ entonces aproximación a la distribución normal

$n = 27$

$p = 0,6944$

$18,75 > 5$

Luego de ello se realizó una gráfica Pareto con ayuda del software Minitab con los datos obtenidos en el primer experimento, para evidenciar cuales son los factores que más inciden en el proceso que se está analizando.

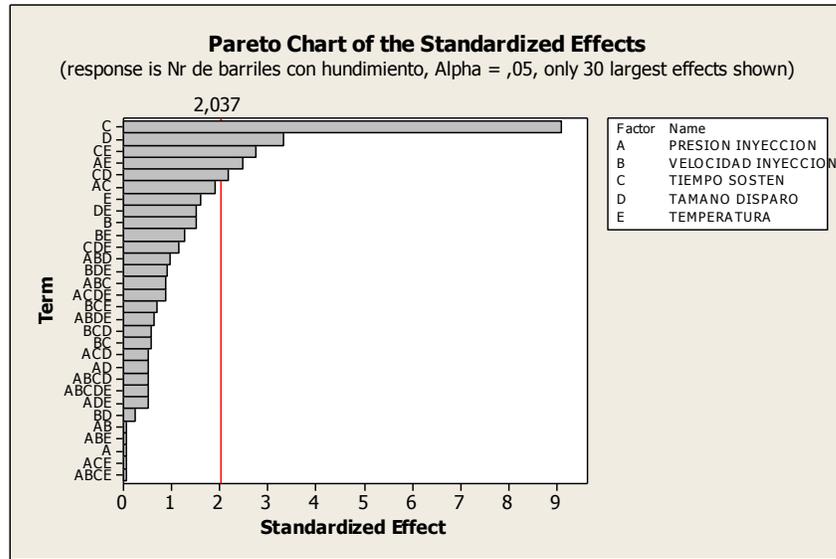


Figura 4.2. Diagrama Pareto de factores involucrados

El Pareto obtenido se realizó con un nivel de significancia del 95%, con un p-value de 0.05 se observa que los factores que impactan más al hundimiento de los barriles son: Tiempo de sostén (C) y Tamaño de disparo (D). En la primera etapa del diagrama Pareto se incluyen las interacciones triples (interacción de tres factores), en este caso ninguno interactúa significativamente, se realizó una gráfica, figura 4.4, donde se pueda observar gráficamente la incidencia de cada uno de los efectos importantes;

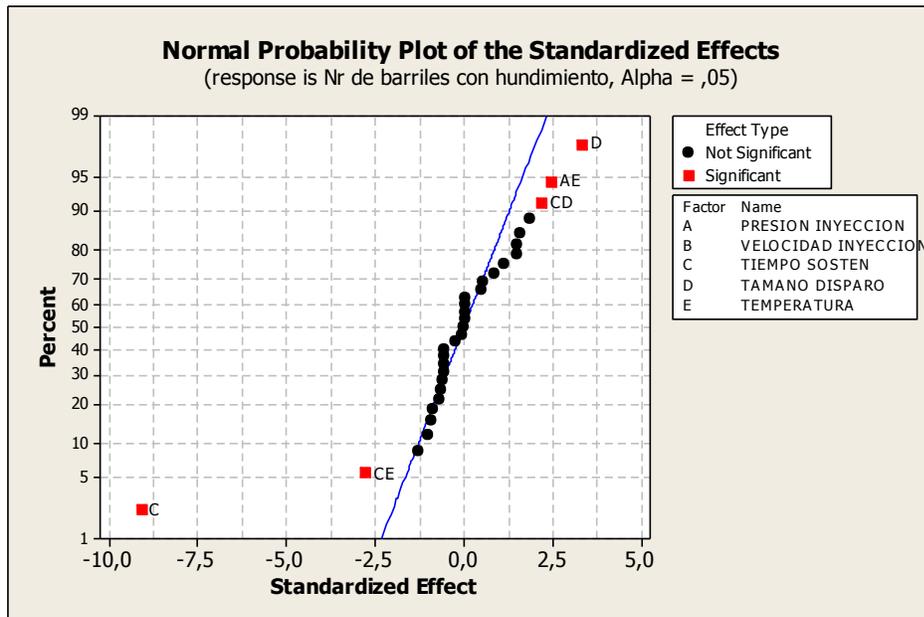


Figura 4.3. Efectos del proceso a analizar

En la figura 4.4 se observan 5 efectos alejados de la línea, causantes de la mayoría de la variabilidad observada en el hundimiento de los barriles y son los mismos efectos que el Pareto detecta en las primeras cinco barras. Así en apariencia los efectos C, D, AE, CD, CE, Tiempo sostén, Tamaño disparo, Presión inyección*Temperatura, tiempo sosten*Tamaño disparo, Tiempo sostén* Temperatura, respectivamente la tabla 4.4. se presentan los efectos con los valores de p-value (se esta trabajando con un p-value de 0.05, con un nivel de significancia del 95%), de cada uno de los factores así como de las interacciones dobles.

TABLA 4.4. Valores obtenidos Doe 1 con ayuda de MINITAB

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	18,750	0,4927	38,06	0,000	
Presion inyección	0,062	0,031	0,4927	0,06	0,950
Velocidad inyección	1,625	0,812	0,4927	1,65	0,107
Tiempo sosten	-9,875	-4,937	0,4927	-10,02	0,00
Tamaño disparo		3,625	1,812	0,4927	3,68 0,001
Temperatura	1,750	0,875	0,4927	1,78	0,083
Presion inyección*Tiempo sosten	2,063	1,031	0,4927	2,09	0,043
Presion inyección*Tamaño disparo	0,563	0,281	0,4927	0,57	0,571
Presion inyección*Temperatura	2,688	1,344	0,4927	2,73	0,009
Velocidad inyección*Tiempo sosten	0,625	0,313	0,4927	0,63	0,529
Velocidad inyección*Tamaño disparo	-0,250	-0,125	0,4927	-0,25	0,801
Velocidad inyección* Temperatura	-1,375	-0,687	0,4927	-1,40	0,170
Tiempo sosten *Tiempo sosten	2,375	1,188	0,4927	2,41	0,021
Tiempo sosten * Temperatura	-3,000	-1,500	0,4927	-3,04	0,004
Tamaño disparo * Temperatura		1,625	0,812	0,4927	1,65 0,107
Presion inyección *	-0,937	-0,469	0,4927	-0,95	0,347
Velocidad inyección *Tiempo sosten					
Presion inyección *	-1,062	-0,531	0,4927	-1,08	0,287
Velocidad inyección * Tamaño disparo					
Presion inyección * Tiempo sosten	-0,563	-0,281	0,4927	-0,57	0,571
Tamaño disparo					
Presion inyección * Tamaño disparo					
* Temperatura	-0,562	-0,281	0,4927	-0,57	0,571
Velocidad inyección * Tiempo sosten *	-0,625	-0,312	0,4927	-0,63	0,529
Tamaño disparo					
Velocidad inyección * Tiempo sosten *	-0,750	-0,375	0,4927	-0,76	0,451
Temperatura					
Velocidad inyección * Tamaño disparo *	-1,000	-0,500	0,4927	-1,01	0,316

Temperatura					
Tiempo sosten * Tamaño disparo *	1,250	0,625	0,4927	1,27	0,212
Temperatura					

Se aprecia que existen efectos e interacciones que afectan al proceso, las que más inciden según tabla 4.4. basándose en p value menor al 0,05 son:

Tiempo sostén	0,000
Tamaño disparo	0,001
Tiempo sostén*Temperatura	0,004
Presión inyección*Temperatura	0,009
Tiempo sostén*Tamaño disparo	0,021
Presión inyección*Tiempo sostén	0,043

A pesar de que la presión de inyección y temperatura no inciden individualmente en la variable respuesta, se las debe considerar debido a la interacción que estas tienen.

En todas las gráficas de efectos principales e interacciones se tomará de referencia:

1: Nivel alto

0: Nivel bajo

4.4. Representación de factores principales

Para representación gráfica se usaran efectos principales e interacciones dobles, en el primer caso, gráficamente permite conocer la incidencia que el factor genera sobre la variable respuesta de acuerdo a sus niveles, mientras que en el caso de interacciones dobles, es la representación gráfica entre dos factores que se refieren a que efecto de un factor depende el nivel en que se encuentra el otro, y viceversa.

A continuación se analizará cada uno de los efectos de manera individual para luego hacer las interacciones.

En la figura 4.5. se dibujan el efecto principal Presión de inyección (A), que aun no es significativo con un p-value de 0,05 pero si lo es en la interacción con el tiempo de sostén.

A continuación se presentan las diferentes gráficas que se obtienen a partir el análisis de los factores que influyen significativamente al proceso de producción de barriles de donde:

Presión de inyección

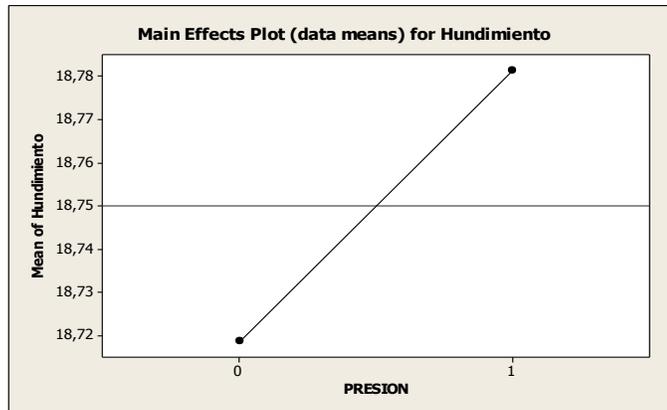


Figura 4.4. Gráfica Presión de inyección

A pesar que el factor en si no fue considerado como principal, se añadió esta gráfica puesto que es significativa en su interacción doble, donde se indica que el efecto de este factor es mínimo

Tiempo de sostén

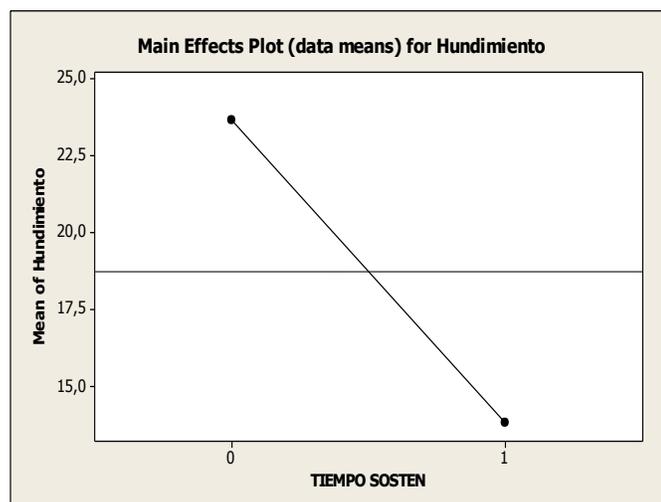


Figura 4.5. Gráfica Tiempo de inyección

En esta gráfica se aprecia que existe una importante reducción cuando se trabaja a un nivel alto

Nivel alto: 15 unidades con hundimiento

Nivel Bajo: 23 unidades con hundimiento

Tamaño de disparo

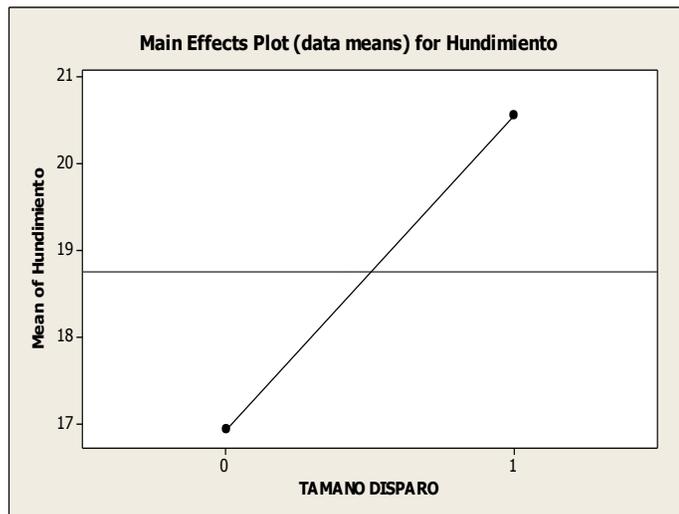


Figura 4.6. Gráfica Tamaño de disparo

En esta gráfica se observa que trabajando con el tamaño de disparo en un nivel bajo, el número de unidades con hundimiento se reduce a 17, comparado con el del nivel alto donde se obtuvo 20 unidades con ese defecto.

Temperatura

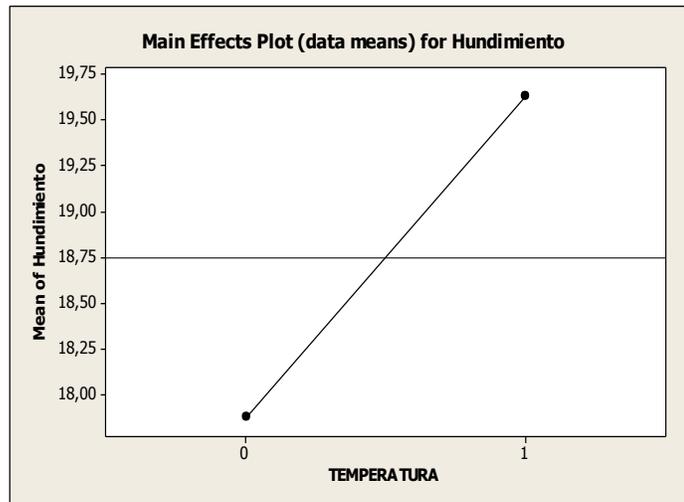


Figura 4.7. Gráfica Temperatura

En esta gráfica, si se trabaja a una temperatura con nivel bajo el número de unidades con hundimiento se reduce a 18, mientras que si es nivel alto se obtienen 19 unidades defectuosas por cada ciclo, dado que es un factor que afecta en interacción, la decisión de trabajar a bajo o alto nivel se la tomará cuando se haga el análisis de la misma.

Una vez presentados las graficas de los factores que influyen en el proceso se presentara posteriormente las combinaciones dobles de los factores influyentes según datos obtenidos en tabla 4.1.

4.5. Gráficas de interacciones dobles

Dado que en la tabla 4.4. se obtuvo que las interacciones dobles influyen en el proceso, puesto que su p-value es inferior al establecido, se realizaron las gráficas de dichas interacciones.

Para identificar a que nivel es recomendable trabajar cada uno de los factores con la finalidad de reducir el número de unidades con hundimiento.

En los siguientes gráficos se reflejará el comportamiento combinado entre dos factores que según la tabla 4.4. influyen en el proceso de producción de barriles para bolígrafos, lo que también se conoce como interacción de dos factores, de donde se tiene:

Presión de inyección*Tiempo sostén

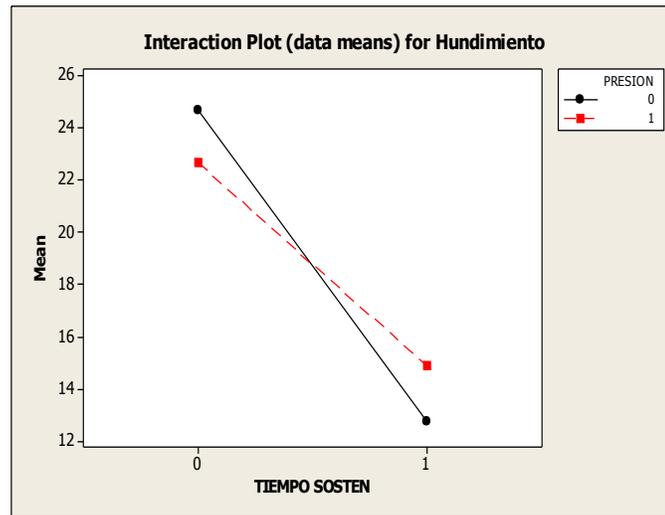


Figura 4.8. Gráfica Presión de inyección *Tiempo sostén

En esta gráfica en la que interactúan la presión de sostén y el tiempo de sostén cuando se trabaja a un nivel alto de tiempo de sostén y un nivel alto de presión el número de unidades con hundimiento es de 14, mientras que si trabaja con un nivel bajo de tiempo de sostén y un nivel alto de presión las unidades defectuosas es de 22, por lo que la primera opción es la recomendable, tal como se indica en la gráfica de tiempo de sostén donde lo recomendable era trabajar a tiempo de sostén alto, todo este análisis parte de lo obtenido en la tabla 4.4. el p-value de esta interacción es de 0,043 inferior al establecido (0,05).

Presión de inyección*Temperatura

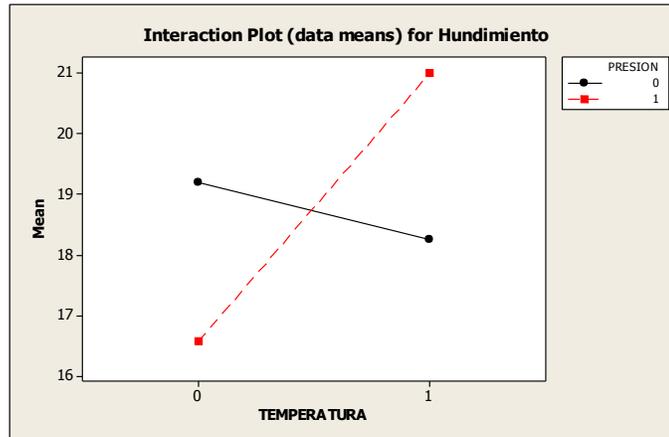


Figura 4.9. Gráfica Presión de inyección *Temperatura

El número de unidades defectuosas disminuye cuando se trabaja a un nivel bajo de temperatura y nivel alto de presión.

Tiempo de sostén* Tamaño de disparo

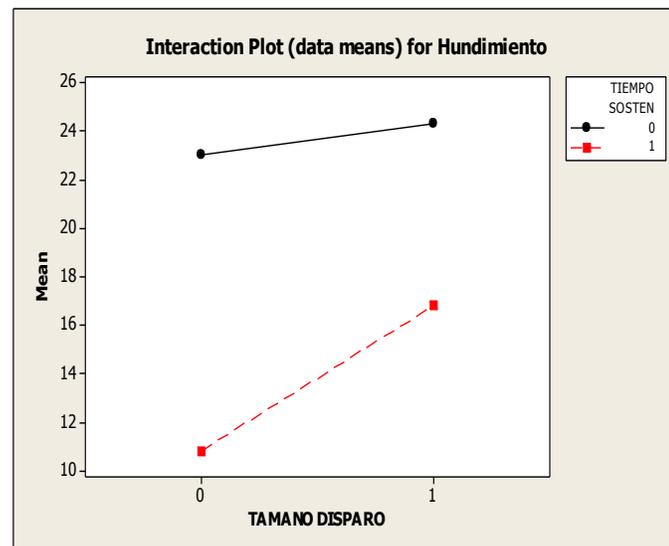


Figura 4.10. Gráfica Tiempo de sostén* Tamaño de disparo

Como se puede apreciar en la grafica no interactúan el tiempo de sostén con el tamaño de disparo pues nunca se cruzan para evidenciar que su combinación influye en el proceso de

producción de barriles, el p-value obtenido en la tabla 4.4. fue de 0.02, lo que indica que para la variable respuesta que se está analizando le es indiferente esta interacción que se encuentre a bajo o alto nivel.

Tiempo de sostén* Temperatura

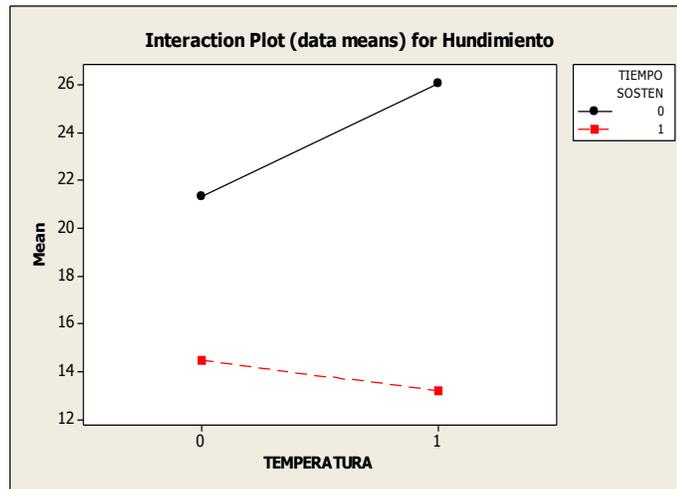


Figura 4.11. Gráfica Tiempo de sostén* Temperatura

En esta gráfica no existe interacción alguna entre el tiempo de sostén y temperatura.

En el siguiente experimento se trabajará la presión de inyección a alto y bajo nivel dado que en este primer análisis no se puede concluir que es mejor trabajar a alto o bajo nivel, mientras que la velocidad desaparece en este siguiente experimento dado que no es influyente ni como factor principal ni como interacción con otros factores.

4.6. Desarrollo de segundo diseño de experimentos

En el experimento anterior se evidenció que lo recomendable para reducir el número de unidades con hundimiento es trabajar los factores como se muestra en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Factores considerados

Factor	Nivel
Tiempo de sostén	Alto
Tamaño disparo	Bajo
Temperatura	Bajo
Presión de inyección	Alto y Bajo

Como se visualiza en la tabla 4.5. en el caso de la presión de inyección no se logra identificar a que nivel se debe trabajar la misma por lo que es necesario realizar otro experimento, porque no se puede definir ello actualmente.

Para ello se realizará el experimento con 10 réplicas para tener una muestra representativa y poder identificar si la presión de inyección es conveniente trabajarla a alto o bajo nivel, dichos resultados del experimento realizado se muestran en la Tabla 4.6., cabe indicar que los niveles que se trabajarán en este experimento vienen desde el experimento realizado anteriormente.

Para poder evaluar si existe diferencia significativa de acuerdo a los dos niveles de presión con respecto al número de unidades con hundimiento, se decidió hacer una prueba de hipótesis de proporciones.

Donde

Rechazo H_0 si:

$H_0: p_1 = p_2$

$H_1: p_1 \neq p_2$

Tabla 4.6. Datos segundo diseño experimentos

Presión Inyección	Tamaño disparo	Temperatura	Tiempo sostén	Hundimiento
134	6	220	4	11
134	6	220	4	13
134	6	220	4	18
134	6	220	4	13
134	6	220	4	11
134	6	220	4	10
134	6	220	4	13
134	6	220	4	10
134	6	220	4	10
134	6	220	4	10
90	6	220	4	15
90	6	220	4	14
90	6	220	4	15
90	6	220	4	11
90	6	220	4	13
90	6	220	4	15
90	6	220	4	15
90	6	220	4	15
90	6	220	4	12
90	6	220	4	13

Donde:

Rechazo H_0 , trabajando con un 95% de confianza si:

$$Z_o > Z_{\alpha/2}$$

$$Z_o = \frac{0.5111 - 0.4407}{\sqrt{0.23796(1 - 0.23796)[1/27 + 1/27]}}$$

$$0.60717 > 1.96$$

$$P\text{value} = 0,55$$

Por lo tanto no rechazo H_0 , aunque estadísticamente no hay diferencia significativa, en la práctica si lo hay, como se evidencia en la tabla 4.6.

4.6.1 Comparativo de gráfica por atributo de primer y segundo diseño experimento

Para evidenciar si se ha reducido el número de unidades con hundimiento se realizó un análisis por atributo de la situación anterior a la aplicación del segundo experimento en donde se obtiene:

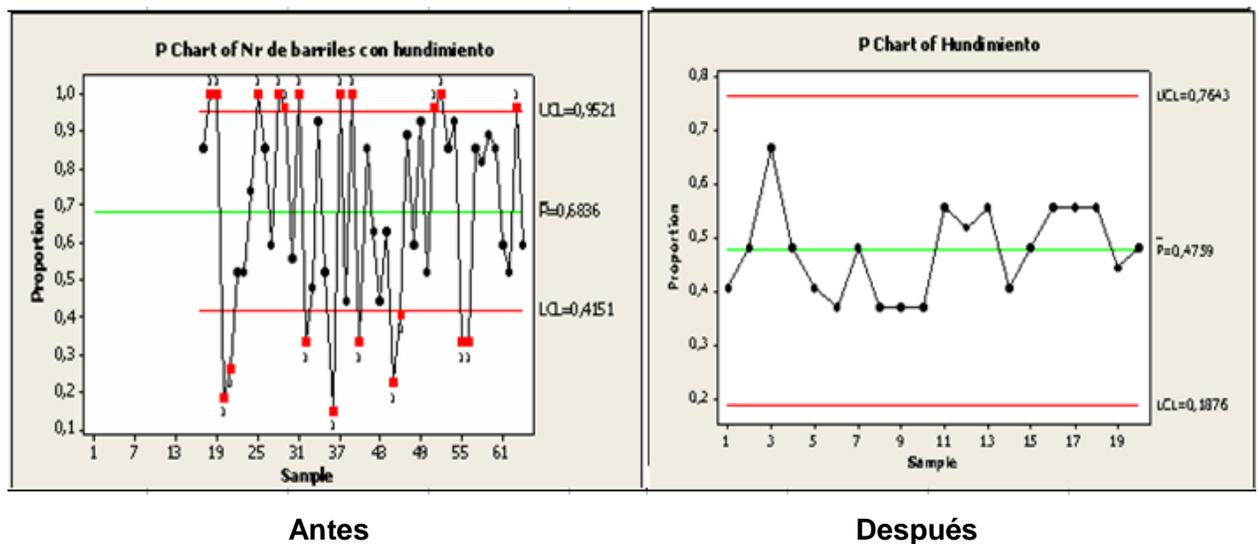


Figura 4.12 Comparación de graficas por atributos

La proporción de unidades con hundimiento promedio es de 0.47, se encuentra dentro de control, trabajando los factores según indicado en tabla 4.7, mientras que anteriormente el promedio era de 0.683.

Para evidenciar que ha bajado la proporción de defectuosos se realizará la siguiente prueba hipótesis.

Ho: $p_1 - p_2 = 20\%$

H1: $p_1 - p_2 > 20\%$

Con un intervalo de confianza del 95%

Si:

$$\hat{p}_1 - \hat{p}_2 - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}} \leq \hat{p}_1 - \hat{p}_2 \leq \hat{p}_1 - \hat{p}_2 + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}}$$

$$p1 = 0.6944$$

$$p2 = 0.4759$$

$$Z_{\alpha/2} = 1.96$$

$$n1 = 1728$$

$$n2 = 540$$

$$0.2185 \pm 0.08$$

$$(0.14, 0.298)$$

$$(14\%, 30\%)$$

Con un 95% se afirma que el porcentaje de unidades con hundimiento se ha reducido entre un 14% y un 30%.

Por tanto:

Tabla 4.7. Factores y Niveles a trabajar

Presión Inyección	Bajo	90
Tamaño disparo	Alto	6
Temperatura	Bajo	220
Tiempo sostén	Alto	4
Velocidad	Indiferente	

Con estos niveles se debe trabajar para reducir el número de unidades con hundimiento en los barriles, como se puede apreciar en la figura 4.1.1 se ha reducido notablemente el número de unidades con hundimiento.

4.6.2 Implementación y Control de factores en Máquina Inyectora

Se realizó una reunión con operadores del área, representante de calidad y mecánicos donde se expusieron los resultados obtenidos y se explicó que se debe mantener el registro diario del comportamiento de la variable hundimiento, para ello se usará la gráfica p como se lo puede observar en la figura 4.12, (se usará la de los resultados obtenidos, después), para verificar la tendencia

Esto se lo realizará en los tres turnos, adicional a ello, el asistente de calidad realiza la misma operación, es decir en un día ordinario (lunes a viernes) se obtendrán 4 datos

4.6.3. Desarrollo de actividades para implementación de mejora

Para el desarrollo e implementación de la mejora obtenida se desarrollaron los siguientes puntos con la aprobación de la alta gerencia:

1. Capacitación al operador del área de plástico y personal involucrado

Se invirtió en un software de moldeo de inyección teórico-práctico, el curso consiste en 5 lecciones de 1 hora cada sección donde el usuario podrá conocer a fondo el moldeo por inyección.

Lección 1: El interior de la máquina de moldeo

Lección 2: El interior del molde

Lección 3: La naturaleza del plástico

Lección 4: Controles operacionales de la máquina Parte I

Lección 5: Controles operacionales de la máquina Parte II

El usuario puede interactuar con el software, el tiempo estimado para cada lección es de una semana, actualmente van por la lección 3.

2. Reuniones con el personal de planta

El objetivo de realizar las reuniones con el personal de planta, es de comunicar los problemas y mejoras que se han obtenido basándose en las unidades producidas llenando el formato que se muestra en la Figura 4.13, con ello sólo se estudian las cifras en rojo (se registran con rojo las cifras menor al esperado en producción), mediante un consenso se estudia un problema a la vez, para identificar causa-raíz del problema y dar posibles soluciones, así mismo se detallan las acciones a tomar y se revisan los resultados alcanzados en la siguiente reunión, siguiendo el mismo ciclo.

INYECTORA	Unidades	TURNO/DIA	Semana						
			1	2	3	4	5	6	7
A	60000	1°							
		2°							
		3°							
B	60000	1°							
		2°							
		3°							
C	60000	1°							
		2°							
		3°							
D	62000	1°							
		2°							
		3°							
E	62000	1°							
		2°							
		3°							
F	62000	1°							
		2°							
		3°							
G	250000	1°							
		2°							
		3°							
H	300000	1°							
		2°							
		3°							

Figura 4.13 Formato de unidades producidas por turno-área

Las reuniones no deben durar mas de 30 minutos, y se lo realiza en la sala de reuniones de la planta, estos registros se exponen en una pizarra, para conocimiento de todo el personal.

4.6.4. Análisis costo-beneficio de la mejora implementada

Tabla 4.8. Costos-Beneficios de proyecto

	ANTES	DESPUÉS(ahorro)
Reproceso día	15.200	3.192
Reproceso por máquina	1.266	266
Costo reproceso día	\$ 304,00	\$ 63,84
Costo mano obra reproceso-día	\$ 13,50	\$ 2,84
Costo total día	\$ 317,50	\$ 66,68
Costo total mensual	\$ 6.985,00	\$ 1.466,85
Costo total anual	\$ 83.820,00	\$ 17.602,20
Inversión		
Costo Horas-Hombre Ingeniero Calid	\$ 400,00	
Costo Horas-Hombre Operador	\$ 100,00	
Costo Horas-Hombre Mecánicos	\$ 200,00	
Capacitación a operadores-mecánic	\$ 800,00	
Software entrenamiento Operadores	\$ 1.250,00	
Total Inversión	\$ 2.750,00	

Lo que nos indica la Tabla 4.8, que se tiene un ahorro inicial del 21%, anualmente la empresa ahorraría \$ 17,602, se espera un aumento en el ahorro del 40%, luego de la capacitación que se realizaría a los opercos

CONCLUSIONES

1. La aplicación del diseño de experimentos ha permitido evidenciar cuales son los factores que han estado afectando a los barriles en cuanto a su hundimiento, provocando la no calidad del bolígrafo y reducción de producción en el área de ensamble.
2. Se logró identificar que la variable que esta siendo afectada en el proceso de producción de bolígrafos es la calidad del barril, específicamente el hundimiento.
3. El desarrollo de esta tesis ha permitido mejorar la calidad del barril en el proceso de moldeo por inyección.
4. Los factores críticos en el proceso de producción de barriles de poliestireno para bolígrafos fueron:
 - La presión de inyección
 - Tamaño de disparo
 - Temperatura
 - Tiempo de sostenimiento o sostén
5. Los niveles y valores de los factores críticos adecuados para elaborar un proceso de producción de barriles son:

Presión Inyección	Bajo	90 bares.
Tamaño disparo	Alto	6 cm.
Temperatura	Bajo	220 °C
Tiempo sostén	Alto	4 seg.

6. Se ha reducido la proporción de unidades con hundimiento en un 21%, superando al Target 20% (la empresa espera mejoras de un 20%), anteriormente la proporción promedio de unidades con hundimiento era de 0.68, ahora es de 0.47.

7. El ahorro que inicialmente tendría la empresa es del 21% en unidades reprocesadas, se espera comience a crecer a no menos del 40% luego de la capacitación propuesta en el trabajo, con lo que la inversión se recuperaría en menos de doce meses.

8. A través del uso de herramientas como el Pareto, Diagrama Causa Efecto se logró determinar cual era la variable que afecta al proceso de producción de barriles.

RECOMENDACIONES

Es de mucha importancia el uso y la aplicación de herramientas de calidad como Pareto, Causa-Efecto, Diseño de experimentos para determinar y resolver cuales son las causas raíces de los problemas que se presentan habitualmente en un proceso de producción.

La continuidad en este tipo de trabajo ayudará a mejorar diferentes aspectos del proceso plástico de otro tipo de piezas.

La explicación adecuada de esta metodología implementada para resolver problemas ayudará a que los operadores puedan recoger y analizar datos, a través de una adecuada capacitación.

Llevar bitácoras por turno donde se registren las novedades del proceso de producción de cada pieza, ayudará a recolectar datos, para evitar el crecimiento de unidades defectuosas que afecten a las otras áreas como ensamble o subensamble.

Revisar y comunicar diariamente las novedades, registrando el comportamiento diario de las unidades producidas, ayudará a mantener al tanto al personal tanto operativo como administrativo de lo que está sucediendo a nivel de planta.

Hacer reuniones periódicas, círculos de calidad que contribuyan a la mejora continua de cada uno de los procesos de piezas plásticas.

BIBLIOGRAFIA

Libros

1. Deming, W. Edwards, La nueva economía, Díaz de Santos, 1994.
2. Ishikawa, Kaoru, ¿Qué es el control total de la calidad?, 1994.
3. Robbins, Coulter, Administración, 2005.
4. Tort-Martorell, Xavier, Grima, Pere y Pozueta, Métodos estadísticos, control y mejora de la calidad, 1994.
5. Shewart Walter A., Métodos estadísticos desde el punto de vista del control de la calidad, 1986.
6. Humberto Gutiérrez, Román de la Vara, Control estadístico y seis sigma, Mc Graw Hill, 2005.
7. ISO 9000:2000, Sistemas de gestión de la calidad-Fundamentos y Vocabulario, ISO, 2000.
8. Juran, Joseph m. , Gryna Frank M. Manual del control de calidad, 1951.
9. Crosby, Philip, B., Quality is still free: Making Quality certain in uncertain times, Mc Graw-Hill, 1996.
10. Humberto Gutiérrez, Román de la Vara, Diseño de experimentos, 2005.
11. Mizuno,S., Company-Wide total Quality control, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1998.

12. Douglas C. Montgomery, Análisis y diseño de experimentos, 1991.
13. Kume Hitoshi, Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad, Grupo Editorial Norma, 2002.
14. Manual de Inyección, México, 1997, Ingeniero Oliver Hernández
15. Tracking the documentation of tooling, Beth Ann Bergeron, Department of Plastics Engineering University of Massachusetts Lowell, 2007
16. Tort-Martorell, Xavier, Grima, Pere y Pozueta, Lourdes, Métodos estadísticos, control y mejora de la calidad, Ed. UPC, Barcelona, 1994.
17. William K. Hodson, Manual del Ingeniero Industrial, Cuarta Edición, 1995.

Artículos de revistas

1. Porter Michael E. Harvard Business Review, Marzo, 1990.
2. Correa C., Tapia C. rose, Revista de la asociación de plásticos Integra, abril 2008.
3. Revista Integra, Abril 2008
4. Afentakis, Panos." A loop layout Design Problem for Flexible Manufacturing Systems" International Journal of Flexible Manufacturing Systems, April, 1989.

Páginas Web

1. Teorías de calidad, 2007, disponible <http://www.gestiopolis.com/>

2. Moldeo por inyección Paulson Training. 2007, disponible <http://www.paulsontraining.com/>
3. Modern Plastics Worldwide, 2008, disponible Modern Plastics, digital@mpw-media.com /
4. Problems Injection, 2008, disponible <http://www.modplas.com/>
5. Process Optimization & The Universal Setup Sheet, 2008, disponible John Bozzelli <http://john@scientificmolding.com/>

ANEXOS

Anexo A: Problemas y soluciones a defectos de piezas plásticas

Problema	Posible solución
Líneas de color	Disminuir la velocidad de inyección Incrementar o disminuir el intervalo de temperaturas Incrementar la temperatura del molde revisar si el material tiene contaminantes Disminuir la velocidad del husillo (rpm) Disminuir la presión de retorno Revisar la banda de calentamiento en la boquilla Incrementar las dimensiones del husillo, de los canales de distribución, o del punto de inyección
Disparo corto	Ajustar la alimentación Incrementar la presión de inyección Incrementar la velocidad de inyección Incrementar el intervalo de temperaturas Incrementar la temperatura del molde Añadir más venteos Incrementar las dimensiones de la colada, los canales de distrib
Marcas de hundimiento	Ajustar la alimentación Incrementar la presión de inyección Incrementar el tiempo de sostenimiento en la inyección Disminuir el intervalo de temperaturas Disminuir la temperatura del molde Añadir más venteos Incrementar las dimensiones de la colada, Cambiar la localización del punto de inyecc Incrementar la presión de retorno
Rebaba	Disminuir la presión de inyección Incrementar la presión de cierre Disminuir la velocidad de inyección Disminuir el intervalo de temperaturas Disminuir la temperatura del molde Hacer coincidir las líneas del molde
Líneas de soldadura	Incrementar la temperatura del molde Incrementar la velocidad de inyección Incrementar la presión de inyección Incrementar las dimensiones de la colada, los canales de distribución o el punto de inyección

Fragilidad	Presecado del material Disminuir el intervalo de temperatura Revisar el material de contaminantes Incrementar la temperatura del molde Disminuir la presión de retorno Agregar más venteos Cambiar la localización del punto de inyección Disminuir la velocidad de inyección
Superficies mal terminadas	Presecado de la resina Revisar la resina del contaminante Incrementar la presión de inyección Disminuir el intervalo de temperatura del molde Pulir la superficie del molde Incrementar las dimensiones de la colada, los canales de distribución o el punto de inyección
Brillo en el punto de inyección	Presecar la resina Incrementar la temperatura del molde Disminuir la velocidad de inyección Incrementar o disminuir el intervalo de temperaturas Incrementar la presión de inyección Incrementar las dimensiones de la colada, canales de distribución o el punto de inyección
Chorro	Disminuir la presión de inyección Incrementar o disminuir el intervalo de temperaturas Incrementar la temperatura del molde Usar una boquilla más grande revisar las bandas de calentamiento en la boquilla
Lineas de soldadura quemadas	Disminuir la velocidad de inyección Incrementar o disminuir el intervalo de la temperatura Disminuir la velocidad del husillo (rpm) Disminuir la presión de retorno Usar una boquilla más grande Incrementar las dimensiones de la colada, canales de distribución o el punto de inyección Disminuir la presión de inyección Cambiar la localización del punto de inyección
Malas dimensiones	Incrementar o disminuir el intervalo de temperaturas Incrementar el tiempo de sostenimiento en la inyección Incrementar la presión de retorno Incrementar o disminuir la temperatura del molde Cambiar los canales de enfriamiento

