



## Control Estadístico De Los Indicadores De Calidad De Calzado Plástico

(1) Vélez Suárez, Erika Pamela; e-mail: evelez@espol.edu.ec  
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral  
Guayaquil, Ecuador, 2009

### Resumen

*El presente estudio tiene como propósito realizar el control estadístico de calidad de los indicadores claves en la elaboración de las botas de PVC, con el fin de determinar causas asignables de variación en el proceso, para posteriormente mejorar el nivel de dichos indicadores. Las características de calidad que se incluyen en este estudio son: porcentaje de carbonato de calcio y espesores de las botas de PVC.*

*Para el desarrollo de la metodología se realizó un mapeo del proceso actual, selección de indicadores de calidad críticos, el control estadístico de calidad del proceso, el análisis de capacidad del proceso y la estimación de los costos de calidad para el proceso actual y el proceso bajo control estadístico de calidad para finalmente realizar una comparación del proceso actual vs. el proceso bajo control estadístico de calidad.*

*Este estudio hará evidente la reducción de costos y mejora de calidad una vez aplicado al producto terminado el control de procesos, a través del control estadístico de calidad.*

**Palabras Claves:** *Control estadístico de calidad, Cartas de control estadístico, Análisis de capacidad.*

### Abstract

*The present study develops statistical quality control (SPC) of percentage of calcium carbonate and thickness of PVC boots. The latter characteristics are key indicators on the preparation of PVC boots. SPC is used to determine assignable causes of variation in the process. Afterwards, the levels of the key indicators are improved.*

*The methodology consists of process mapping, selection of critical quality indicators, statistical quality control of the process, process capability analysis and cost estimation. The analysis compares the costs of the current process with the costs of the process under statistical control.*

*This study makes clear the cost reduction and quality improvement when the SPC is applied to the finished product.*

**Key words:** *Statistical Process Control, Statistical Control Charts, Capability Analysis.*

## 1. Introducción

Dos de los principales factores que los consumidores toman en cuenta al decidir en comprar o no un producto o servicio son: el precio y la calidad, pero es esta última la que realmente marca la diferencia.

Una empresa que cuenta con Control Estadístico de Procesos (C.E.P) puede mejorar sus procesos, reducir retrabajos y desperdicios, lo que genera una reducción de costos, ya que el C.E.P. involucra más que solo crear el producto perfecto, implica además asegurar que los procesos internos sean llevados

apropiadamente, que al equipo se le dé el mantenimiento adecuado y que los recursos suministrados sean los apropiados [1].

El presente trabajo pretende explicar las ventajas que implica aplicar el Control Estadístico de Calidad, en los procesos de producción de Botas de PVC, de una Industria dedicada a la fabricación de productos plásticos para el hogar y la Industria, con el fin de mejorar sus procesos productivos, disminuyendo costos asociados al no cumplimiento de las especificaciones.

Este trabajo de investigación inicia con el levantamiento y recolección de la información a través de un mapeo del proceso actual en el cual se

identifican cada una de las actividades que intervienen en la elaboración de las botas de PVC, posterior a esto se seleccionan mediante conversaciones con el personal de la empresa los indicadores de calidad críticos para el cual en este caso de estudio fueron: Porcentaje de carbonato de calcio y Espesores de la botas de PVC, luego se procede a utilizar herramientas estadísticas tales como: gráficas de control, análisis de capacidad del proceso y estimación de los costos de calidad, las cuales monitorean la situación actual de estos indicadores de calidad para posteriormente hacer una comparación con el proceso bajo control estadístico de calidad.

Luego del desarrollo de diagramas de Ishikawa y diagramas de Pareto; realizados con la información recolectada de un cuestionario en el que participó personal perteneciente al área de fabricación de las botas de PVC, se determinó las causas asignables que afectan el porcentaje de carbonato de calcio y espesores de las botas. Una vez eliminadas dichas causas y con la suposición del proceso bajo control estadístico de calidad, se calcularon los límites de control revisados del proceso y la capacidad para cumplir con las especificaciones del cliente. Este estudio hace evidente la reducción de costos y mejora de calidad una vez aplicado al producto terminado el control de procesos.

## 2. Objetivo

El objetivo del estudio es el de realizar el control estadístico de calidad de los indicadores claves en la elaboración de las botas de PVC, con el fin de determinar causas asignables de variación en el proceso de fabricación, para posteriormente mejorar el nivel de dichos indicadores.

Este objetivo se logrará aplicando: un mapeo para conocer el proceso actual de fabricación de Botas de PVC, seleccionando los indicadores de calidad críticos, identificando causas asignables a través de métodos gráficos estadísticos para luego realizar un análisis de capacidad del proceso actual y del proceso bajo control estadístico de calidad y así poder estimar los costos de calidad del proceso actual y del proceso bajo control estadístico de calidad para finalmente realizar una comparación de los mismos.

## 3. Metodología

La Figura 1 muestra la metodología planteada para la consecución del presente estudio.

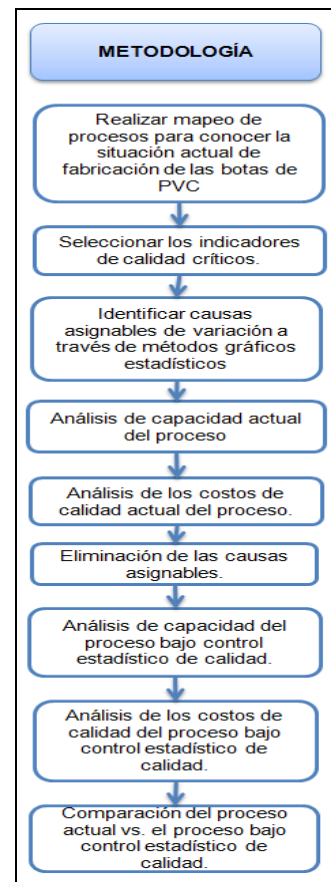


Figura 1. Metodología

### 3.1. Mapeo del proceso actual:

A través del mapeo del proceso se identificaron las etapas que intervienen en el proceso de fabricación de las botas de PVC; las cuales son: Elaboración del compuesto en pellets, Inyección, Rebabeo y Empaquetamiento.

### 3.2. Seleccionar los indicadores de calidad críticos:

En conjunto con los supervisores, mecánicos y personal de laboratorio que intervienen en el proceso de fabricación de Botas de PVC, se determinaron las variables críticas, las cuales permitirán reflejar el desempeño y/o resultado del proceso. Estas variables fueron: Porcentaje de carbonato de calcio y Espesor de las Botas de PVC,

El porcentaje de carbonato de calcio interviene en la calidad con la abrasión es decir; un porcentaje mayor al establecido por fórmula provocará que las botas se desgasten más rápidamente con el tiempo por el uso.

Mientras que los espesores influyen en la percepción que tiene el cliente sobre la calidad del producto, como también por ejemplo influye en la ergonomía al caminar y poder realizar correctamente las labores destinadas con el uso de las botas.

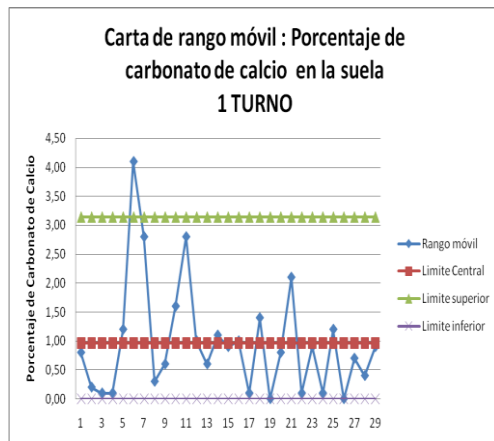
### 3.3. Identificar causas asignables de variación a través de métodos gráficos estadísticos.

Se lo realiza trabajando con los círculos de calidad y con la ayuda de cartas de control estadístico, para analizar las variables críticas de calidad y determinar su situación actual.

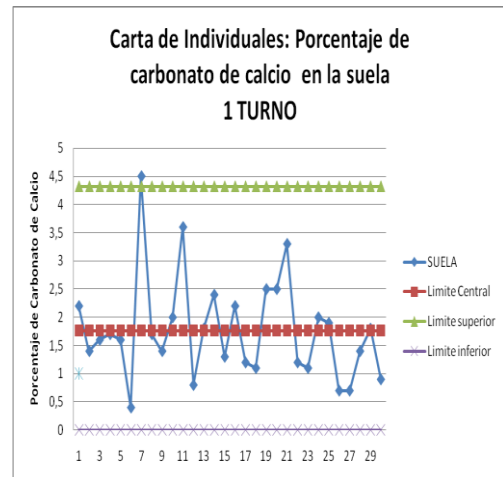
Para este estudio se seleccionaron las cartas de control de Individuales y Rango móvil, debido a que las pruebas que se le realizaron a las botas de PVC son de tipo destructiva por lo que luego de realizar pruebas no podrán ser aptas para la venta.

Es por esta razón que se tomaron 30 botas de manera aleatoria por turno y por máquina dando así un total de 120 observaciones para monitorear el porcentaje de carbonato de calcio y los espesores de la bota.

Como ejemplo se muestran la Figura 2 y la Figura 3 las cuales representan la carta de individuales y rango móvil del primer turno para el porcentaje de carbonato de calcio realizada en la suela. En las cuales se observa un punto fuera de los límites de control, de ahí que se puede decir que el proceso está fuera de control estadístico de calidad.



**Figura 2.** Carta de control de individuales, botas de PVC, Porcentaje de carbonato de calcio en la suela, I turno.



**Figura 3.** Carta de control de rangos móviles, botas de PVC, Porcentaje de carbonato de calcio en la suela, I turno.

La Tabla 1 muestra un resumen de los resultados de las cartas de individuales y rangos móviles de las pruebas de carbonato de calcio realizado a los dos turnos.

Turno	Carta	Parte de la bota de PVC	U SL	$\mu$	LSL	$\sigma$	¿Está bajo control estadístico de calidad?
1	(X)	Suela	4,32	1,76	0		NO
	(R)	Suela	3,15	0,96	0	0,85	NO
	(X)	Caña	11,05	6,79	0		SI
	(R)	Caña	5,23	1,6	0	1,42	NO
2	(X)	Suela	3,48	1,37	0		NO
	(R)	Suela	2,6	0,79	0	0,7	SI
	(X)	Caña	10,29	6,24	0		SI
	(R)	Caña	4,98	1,52	0	1,35	SI

Tabla 1

Resumen de las cartas de control: Porcentaje de carbonato de calcio.

La Tabla 2 y la Tabla 3 muestran un resumen de los resultados de las cartas de individuales y cartas de rangos móviles de las pruebas de diferencia entre espesores de la parte una y dos correspondiente a las botas derecha e izquierda.

Tabla 2

Resumen de cartas de control, Máquina MG 2000 A:  
Diferencia entre espesores (mm)

Turno	Par	Carta	Parte	USL	$\mu$	LSL	$\sigma$	¿Está bajo control estadístico de calidad?
1	Derecho	(X)	1	0,59	0,17	-0,3		SI
		(R)	1	0,51	0,16	0	0,14	SI
		(X)	2	0,93	0,27	-0,4		SI
		(R)	2	0,81	0,25	0	0,22	SI
	Izquierdo	(X)	1	0,82	0,26	-0,3		NO
		(R)	1	0,69	0,21	0	0,19	NO
		(X)	2	1,82	0,55	-0,7		SI
		(R)	2	1,56	0,48	0	0,43	SI
2	Derecho	(X)	1	0,71	0,19	-0,3		NO
		(R)	1	0,64	0,20	0	0,18	NO
		(X)	2	1,23	0,32	-0,6		SI
		(R)	2	1,12	0,34	0	0,30	NO
	Izquierdo	(X)	1	0,87	0,25	-0,4		SI
		(R)	1	0,77	0,24	0	0,21	SI
		(X)	2	2,08	0,66	-0,8		SI
		(R)	2	1,74	0,53	0	0,47	NO

Tabla 3

Resumen de cartas de control, Máquina MG 2000:  
Diferencia entre espesores (mm)

Turno	Par	Carta	Parte	USL	$\mu$	LSL	$\sigma$	¿Está bajo control estadístico de calidad?
1	Derecho	(X)	1	0,75	0,21	-0,32		NO
		(R)	1	0,66	0,20	0	0,18	NO
		(X)	2	2,31	0,65	-1		NO
		(R)	2	2,04	0,62	0	0,55	NO
	Izquierdo	(X)	1	0,69	0,25	-0,19		NO
		(R)	1	0,54	0,17	0	0,15	NO
		(X)	2	1,48	0,54	-0,39		SI
		(R)	2	1,16	0,35	0	0,31	NO
2	Derecho	(X)	1	0,79	0,22	-0,34		NO
		(R)	1	0,69	0,21	0	0,19	NO
		(X)	2	2,09	0,56	-0,97		SI
		(R)	2	1,88	0,57	0	0,51	SI
	Izquierdo	(X)	1	0,99	0,27	-0,46		NO
		(R)	1	0,90	0,28	0	0,25	SI
		(X)	2	2,55	0,79	-0,97		SI
		(R)	2	2,17	0,66	0	0,59	SI

### 3.4. Análisis de capacidad del proceso para la característica carbonato de calcio.

Permite determinar el estado en que se encuentra el proceso actual y si que este capaz de cumplir con las especificaciones de tolerancia puestas por la empresa [2].

El resultado del análisis de capacidad ( ver Tabla 4), indica que tanto la Caña como la Suela

presentan una categoría de proceso igual a cuatro, de ahí que su proceso es inestable e incapaz de cumplir con las especificaciones hechas por la empresa en estudio. Además presentan un  $Cpk < 1$ , debido a que este proceso no es adecuado para el trabajo, por lo que se requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.

Tabla 4

Análisis de capacidad: Porcentaje de carbonato de calcio.

Turno	Parte de la bota de PVC	Cpk	Clase o categoría del proceso	Estado del proceso
1	Suela	0,09	4	Inestable e incapaz
	Caña	-0,66	4	Estable pero incapaz
2	Suela	0,30	4	Inestable e incapaz
	Caña	-0,55	4	Estable pero incapaz

### 3.5. Análisis de capacidad del proceso para la característica espesor de las botas de PVC.

Esta característica de calidad no cuenta con especificaciones de calidad para sus espesores, es por esta razón que el análisis de capacidad no se pudo realizar, por lo que como propuestas de mejora más adelante se establecerán los límites naturales a través del control estadístico del proceso.

### 3.6. Estimación de los costos de calidad:

La Tabla 5, hace referencia a los costos asociados a las no conformidades debido al no cumplimiento de las especificaciones de calidad, en esta se muestra que la característica de calidad con mayor proporción de probabilidad de no cumplir con la especificación es la caña con un valor mayor al 90%, lo cual evidencia un problema en la formulación del producto o en el establecimiento de la especificación, debido a que la especificación es demasiado exigente para la formulación existente.

Tabla 5  
Costos asociados a las No Conformidades

Descripción	Parte de la bota de PVC	Especificación	Probabilidad de que el % de $C_aC_o3$ contenido en las botas no cumpla con la especificación	Costos asociados a las NO conformidades		
				\$/semana	\$/mes	\$/año
Turno 1	Suela	$C_aC_o^3 \leq 2\%$	0,39	4.137	16.548	198.582
	Caña	$C_aC_o^3 \leq 4\%$	0,98	10.374	41.498	497.974
Turno 2	Suela	$C_aC_o^3 \leq 2\%$	0,18	1.959	7.836	94.030
	Caña	$C_aC_o^3 \leq 4\%$	0,95	10.123	40.492	485.910

### 3.7. Eliminación de las causas asignables.

Con el fin de determinar las causas que han originado los puntos fuera de control de las cartas de individuales y rango móvil realizadas para la caña y suela de los dos turnos de los dos centros de trabajo se procedió a realizar un Diagrama Ishikawa para poder encontrar la causa raíz que genera este problema, este diagrama se lo realizó previo a la observación del proceso de fabricación de botas de PVC, como

también con reuniones hechas con los supervisores y operarios de los departamentos de pesado de materia prima, inyección y laboratorio.

El Diagrama Ishikawa Figura 4 y Figura 5, muestran que el problema de alto índice de carbonato de calcio en la formulación para botas de PVC y diferencias de espesores, es generado por cuatro causas potenciales que son: Mano de obra, Mediciones, Balanzas y El Método.

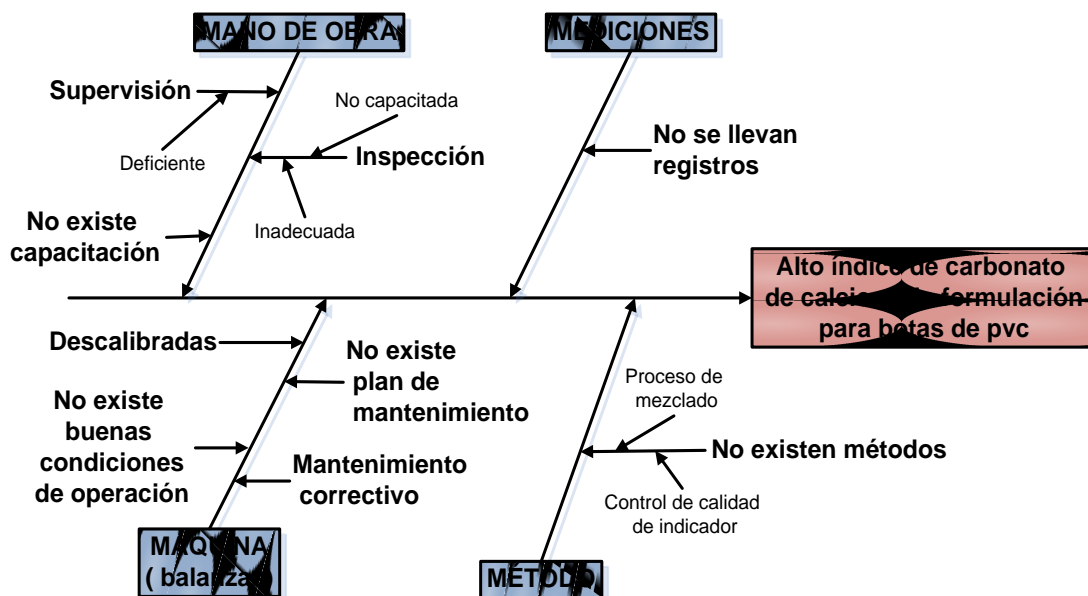


Figura 4: Diagrama de Ishikawa, para el problema de alto índice de carbonato de calcio



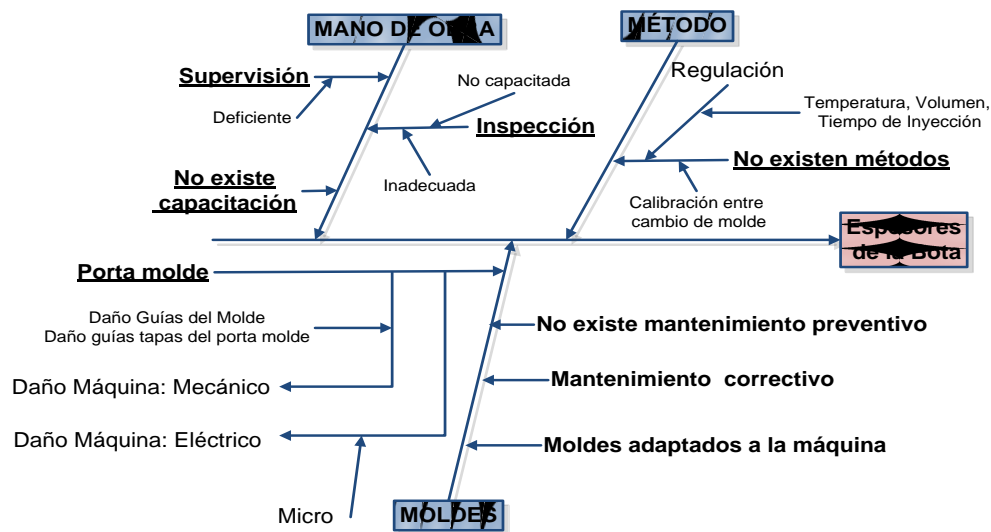


Figura 5: Diagrama de Ishikawa, Espesores de la bota de PVC.

### 3.8. Análisis de capacidad del proceso bajo control estadístico de calidad.

Luego de identificar las causas especiales de variación, se procederá a eliminar los puntos que están fuera de control estadístico de calidad de las cartas de individuales y rango móvil, con la suposición de que se han eliminado las causas raíz del problema.

Cabe recalcar que para el desarrollo de esta tesis se supondrá que se han eliminado los puntos que se encuentran fuera de control estadístico. Se aplicó esta metodología de trabajo, debido a que la investigadora no tuvo acceso a la implementación de soluciones para eliminar las causas asignables.

### 3.9. Estimación de los costos de calidad del proceso bajo control estadístico de calidad.

Se determinara nuevamente el costo asociado a las no conformidades, con el proceso bajo control estadístico de calidad.

### 3.10. Comparación del proceso actual vs. el proceso bajo control estadístico de calidad:

Se lo realiza para cuantificar las mejoras obtenidas después del control del proceso, a través de la aplicación del control estadístico de calidad.

## 4. Resultados:

### Porcentaje de carbonato de calcio.

Con el proceso bajo control estadístico de calidad se pudo obtener una reducción de la varianza (ver Tabla 6). La reducción de varianza más significativa fue para la parte de la suela de la bota tiendo así una reducción del 51% y 24% para el primero y segundo turno respectivamente, mientras que para la caña se presentó solo disminución de la varianza en el primer turno con un valor del 14%.

Tabla 6

Resultado de las mejoras con respecto a la varianza de la variable Porcentaje de carbonato de calcio.

Turno	Parte de la bota de PVC	Varianza del proceso inicial	Varianza del proceso bajo control estadístico de calidad	% de Reducción de la varianza
1	Suela	0,85	0,42	51%
	Caña	1,42	1,22	14%
2	Suela	0,70	0,53	24%
	Caña	1,35	1,35	0%

Con el proceso bajo control estadístico de calidad también se obtuvo un incremento en los índices de capacidad real, los cuales se presentan en la Tabla 7.

Como se puede observar nuevamente para la parte de la caña se obtuvo un incremento de su índice capacidad real del 70% y 43% para el primero y segundo turno respectivamente, mientras que para la suela solo hubo un incremento del  $C_{pk}$  en el primer turno de 1.5%.

Tabla 7

Análisis de capacidad del proceso bajo control estadístico de calidad: Porcentaje de carbonato de calcio.

Turno	Parte de la bota de PVC	Cpk (inicial)	Cpk (Bajo control estadístico de calidad)	Porcentaje del incremento del Cpk
1	Suela	0,09	0,31	70%
	Caña	-0,66	-0,65	1,5%
2	Suela	0,30	0,52	43%
	Caña	-0,55	-0,55	0%

Si bien con el proceso bajo control estadístico de calidad, se puede lograr una disminución de la varianza y por lo tanto un aumento de su  $C_{pk}$ , se puede observar que estos resultados no logran cumplir con las especificaciones expuestas por la empresa. Así la Figura 6 muestra como por ejemplo que la distribución del porcentaje de calcio en la caña del primer turno está por encima de su especificación, por lo que este hecho refuerza el análisis de las cartas de control, en el que se concluyó que la formulación no es consistente con la especificación, por lo que se necesita realizar cambios en el proceso para cumplir

con las especificaciones. Estos cambios deberán empezar con la reducción de la variabilidad en el proceso a través de estrategias desarrolladas por los miembros de la empresa. De no poder alcanzar este objetivo se deberá entonces cambiar las especificaciones para que así este proceso pueda ser capaz de cumplir con estándares de calidad.

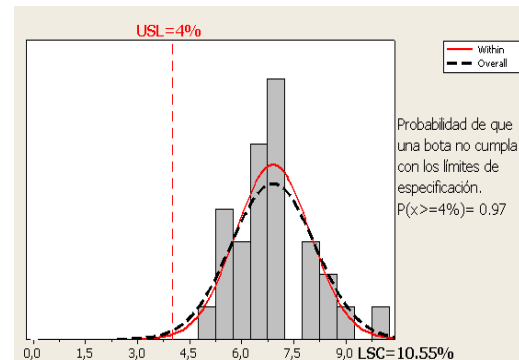


Figura 6: Distribución de la característica de calidad versus la Especificación, Caña, I TURNO

También, se determinó los costos asociados al no cumplimiento de las especificaciones de calidad, con el proceso bajo control.

La Tabla 8 muestra los resultados luego del establecimiento del control estadístico de calidad.

Tabla 8

Porcentaje de reducción en los costos asociados al no cumplimiento de las especificaciones de calidad, con el proceso bajo control estadístico de calidad,

Costos asociados a las NO Conformidades (Inicial y con el proceso bajo control estadístico de calidad)						
Descripción	Parte de la bota de PVC	Especificación	Costos asociados a las NO conformidades			
			Antes del control de procesos	Después del control de procesos	% de reducción	Unidades
Turno 1	Suela	$C_a C_o^3 \leq 2\%$	4.137	1.878	54,61%	\$/semana
	Caña	$C_a C_o^3 \leq 4\%$	10.374	10.370	0,05%	\$/semana
Turno 2	Suela	$C_a C_o^3 \leq 2\%$	1.959	624	68,15%	\$/semana
	Caña	$C_a C_o^3 \leq 4\%$	10.123	10.120	0,03%	\$/semana
TOTAL			26.594	22.991		

Tal como se muestra en la Tabla 8, con el proceso bajo control estadístico de calidad se puede lograr una reducción en los costos esperados por incumplimiento de las especificaciones de calidad, debido a que la

variabilidad del proceso disminuye. En el caso de la caña, el control estadístico del proceso no logra reducciones de costos debido a la inconsistencia entre la formulación del producto y la especificación.

### Espesores de la bota de PVC.

Contando con el proceso bajo control estadístico de calidad, se calculó los límites naturales para la variable espesor de la bota de PVC, ver Tabla 9. Para esto se analizó los límites naturales de la partes 1 y 2 de las botas derechas e izquierda por turno y por máquina, para seleccionar el mejor de los casos (en base a los límites que presenten una menor variación en el proceso), quedando así los límites pertenecientes a la bota derecha del primer turno de la máquina MG 2000 A, la cual presenta una varianza de 0.15 y para la parte número dos los límites pertenecientes a la bota derecha del primer turno de la máquina MG 2000, la cual presenta una varianza de 0.25

Tabla 9

Límites naturales, para el Espesor de la bota de PVC (mm).

LÍMITES NATURALES	Parte # 1	Parte # 2
Límite natural superior	2,47	3,9
Límite central	2,02	3,15
Límite natural inferior	1,56	2,4
Varianza	0,15	0,25

## 5. Conclusiones:

### Proceso actual:

- ✓ Evidencia de procesos con un  $Cpk < 1$  y una clase de proceso igual a 4, Para la variable  $Ca Co_3$ , en los 2 turnos.
- ✓ Cálculo de los costos asociados a las no conformidades de la variable porcentaje de carbonato de calcio, de donde se obtuvo: Para el primer turno un valor de \$14,511/semana y para el segundo turno un valor de \$10,082/semana.

### Con el control estadístico del proceso: % de $Ca Co_3$ .

- ✓ Reducción de la variabilidad en 51% para la suela y 14% para la caña del proceso del primer turno.
- ✓ Reducción de la variabilidad en 24% para la suela del proceso del segundo turno.
- ✓ Reducción de costos total por incumplimiento de especificaciones para la suela y caña en total de 3,602 dólares por semana, lo que anualmente representa una reducción en costos de 13.55%.
- ✓ Determinación de los límites naturales de los espesores de la bota de PVC, a través del control del proceso, ver Tabla 9.

## 6. Recomendaciones:

- ✓ Desarrollo de procedimientos para el proceso de elaboración del compuesto en pellets y proceso de inyección de las botas de PVC.
- ✓ Llevar acabo capacitaciones la cuales tendrán como objetivo la formación adecuada del trabajador, para el cumplimiento de sus labores.
- ✓ Estudio R&R (Repetibilidad y reproducibilidad), para evaluar en forma experimental que parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición y poder así cuantificar si este error es mucho o poco, comparado con la variabilidad del producto y con las tolerancias que se mide.
- ✓ Monitoreo de las características de calidad.
- ✓ Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para las balanzas, máquina de inyección y moldes.
- ✓ Revisión de la formulación para la parte de la Caña.
- ✓ Desarrollo de un diseño experimental, para determinar los niveles de los factores input del proceso, debido a que en la actualidad los indicadores de calidad no son capaces de cumplir con las especificaciones exigidas por la empresa.
- ✓ Aplicación de la Carta c de control, para determinar la variación esperada para el número de defectos por subgrupo, localizar el tipo de defecto con mayor frecuencia y el área donde se presenta, permitiendo así evaluar el impacto de las acciones de mejoras.
- ✓ Implementar un sistema de trazabilidad, el cual permita conocer como por ejemplo: número de lote y fecha de fabricación, esto permitirá dar seguimiento del proceso y así obtener información que permita identificar en donde pudo haber existido problemas y tomar acciones correctivas.

## 7. Referencias

- [1] <http://www.calidad.com.ar/controe7.html>, Consultado el 25 Junio del 2008.
- [2] Gutiérrez y De la Vara, Control estadístico de calidad y seis sigma, primera Edición, Editorial Mc. Graw Hill, Capítulo 1.

Visto bueno en conformidad del artículo de tesis presentado

Nombre: Ing. Sofía López I.  
Director de Tesis.