

Análisis y control de las condiciones del proceso de inyección plástico foam en arneses electrónicos

Sarahí De la Torre Cinco¹, Carlos Anaya Eredias²

Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Industrial, Rosales y Blvd. Luis Encinas S/N CP. 83000, Hermosillo, Sonora, México

Fecha de recepción: 30 de julio de 2019 - Fecha de aceptación: 12 de marzo de 2020

Resumen

Todos los procesos tienen una variabilidad estadística inherente que puede evaluarse por medio de métodos estadísticos. La mano de obra, las máquinas, los métodos, los materiales, y el medio ambiente presentan cada una su propia variación de tipo natural, y es la interacción de todas estas variaciones, la que determina la capacidad del proceso. El desarrollo de procedimientos adecuados para el estudio y control de los procesos productivos es fundamental para mantener un nivel óptimo de calidad en los productos. En este sentido, la estadística juega un papel importante en todas las actividades empresariales relacionadas con la calidad pues proporciona un amplio abanico de técnicas que se pueden aplicar en el control de la misma. En el presente artículo se hace un análisis estadístico de calidad de la mezcla de material plástico foam en arneses electrónicos; se determina los valores óptimos que intervienen en la reducción del material despreciado sin afectar la calidad de producto final, así como el control estadístico de calidad y almacenaje de la materia prima. La recopilación de estos aspectos importantes se hará a través de análisis literarios basados en artículos, libros y revistas electrónicas relacionadas con la temática de esta investigación.

Palabras clave: Diseño de experimentos, Proceso de moldeo, Capacidad del proceso, Material foam, Control de calidad, Arnés.

Analysis and control of the conditions of the foam plastic injection process in electronic harnesses

Abstract

All processes have an inherent statistical variability that can be evaluated in the middle of statistical methods. Labor, keywords, methods, materials, and the environment are presented in their own natural-type form, and the function of the process. The development of procedures for the study and control of production processes is essential to maintain an optimum level of quality in the products. In this sense, statistics plays an important role in all activities related to the relationship with quality for a wide range of techniques that can be applied in the control of it. This article is an

¹sarahi.delatorrec@gmail.com

²canaya@industrial.uson.mx

analysis of this topic. The quality of the mixture of foam plastic material in harnesses electronically; the optimum values that are involved in the reduction of the despised material are determined without affecting the quality of the final product, as well as the statistical control of quality and storage of the raw material. The compilation of these aspects is translated into literary analysis based on articles, books and electronic journals related to the subject of this research.

Key words: Molding process; Process capacity; Foam material; quality control; Harness; design of experiments.

1 Introduction

El desarrollo de procedimientos adecuados para el estudio y control de los procesos productivos es fundamental para mantener un nivel óptimo de calidad en los productos. En este sentido, la estadística juega un papel importante en todas las actividades empresariales relacionadas con la calidad pues proporciona un amplio abanico de técnicas que se pueden aplicar en el control de la misma (Huerga et al. 2005).

Aunque la expresión "control de la calidad" puede tener distintos enfoques se puede definir como el conjunto de las actividades técnicas y administrativas mediante el cual se miden las características de calidad de un producto, se compararan con especificaciones o requisitos y se toman acciones correctivas cuando exista una discrepancia entre el funcionamiento real y el estándar (Navarrete 1998). Generalmente estas características suelen ser medibles, lo que hace posible su evaluación y control. En otras palabras, las características de calidad son, en realidad, variables aleatorias y se describen por una determinada distribución de probabilidad (Huerga et al. 2005).

Hay arneses electrónicos que por la naturaleza de su función dentro del automóvil requieren de un recubrimiento de espuma (foam), el cual debe cumplir con las especificaciones estéticos, es decir evitar burbujas, conectores con espuma, fugas, etc., pero lo más importante es que no se dañe el arnés mientras pasa por dicho proceso de moldeo generando cables y terminales dañadas, así como mostrando no continuidad en lo ramales o el arnés en su totalidad. En una empresa dedicada a la fabricación de dicho producto, se propone una

metodología de análisis estadístico en el proceso de aplicación de foam, ya que se han presentado pérdidas de \$40 a \$600 dólares por motivo defectos y reprocesamiento en cada arnés. En este proyecto, se estará trabajando con una máquina giratoria de inyección de espumas rígidas y reactivas llamada Hennecke. Es de origen alemán y fue comprada por la empresa hace 10 años. El proceso del modelo de esta máquina involucra el mezclado a alta presión de dos o más líquidos, que reaccionan espontáneamente para su posterior inyección a menor presión dentro de un molde cerrado



Figura 1: Derrame de material en punto de inyección

1.1 Estudio del estado del arte

Entre los estudios de aplicación de diseño experimental, se encuentra el trabajo abordado por Ortiz Espinoza (2014), al realizar un diseño de experimentos en el proceso de moldeo por inyección de la pieza 1-1532082-9 se concluye

que el factor principal que interviene en la calidad del producto es un par de fixture llamados “Pin”. Después de rediseñar el fixture se obtuvieron mejores resultados en el proceso de producción teniendo 0 piezas fuera de especificación para ambos orificios. Al mejorar el proceso se obtiene un impacto positivo en la satisfacción del cliente, cumpliendo sus expectativas de manera más efectiva y eficiente, al embarcar un producto que cumple con las características de calidad, además, se eliminan los tiempos de retrabajo, y se minimizan los costos por factor de scrap o desperdicio. Por otra parte, Técnicas de diseño experimental fueron aplicadas para planear los experimentos e identificar el efecto de las nanopartículas sobre las propiedades de los matrices cementantes usando Análisis de Varianza (ANOVA). Otro ejemplo con uso de la metodología MSR, Mata-Cabrera (2013) con el fin de analizar los efectos de los parámetros del proceso (velocidad de corte y velocidad de avance) en las respuestas (R_t , R_q , R_a , R_p), los experimentos se planificaron según el método de diseño factorial completo. En lo que respecta a la influencia de las condiciones de corte (parámetros funcionales de corte), se ha demostrado que la variación de la velocidad de avance, dentro de los valores seleccionados, afecta más a los resultados (fuerzas de corte, acabado superficial) que la variación de la velocidad de corte. A medida que aumenta la velocidad de avance, aumentan las fuerzas de corte y la rugosidad de las superficies mecanizadas, obteniéndose, por tanto, resultados peores. Se han desarrollado modelos matemáticos no lineales de segundo orden para R_t , R_q , R_a y R_p utilizando la metodología de superficie de respuesta. Los modelos de predicción han mostrado validez dentro del rango de parámetros de corte utilizados. Este trabajo de investigación propone el diseño y la implementación de modelos matemáticos tendientes a optimizar los procesos de mecanizado de elementos mecánicos.

2 Marco teórico

La industria del plástico es una de las principales industrias de más rápido crecimiento en el mundo de hoy. Cada año, el uso cotidiano de estos productos ha aumentado cada vez más (Hussin 2013). El moldeo por inyección representa el proceso más importante para manufacturar partes plásticas debido a la facilidad de fabricación de artículos de alta calidad (Shuaib et al. 2012). Este proceso tiene algunas ventajas como una alta estabilidad dimensional, ciclos cortos de producción, superficies finas y limpias en los productos, moldeo fácil de formas complicadas y bajos costos en la producción (Kurt et al. 2009). Se dice que es una de las técnicas más importantes para el procesamiento de polímeros (para la fabricación de productos plásticos) debido a su alta velocidad de producción y la capacidad de fabricar formas geométricas complejas. (Chen Wu-Lin et al. 2013).

Más, sin embargo, es un proceso cíclico inestable; además, la selección apropiada de los parámetros para su correcta operación se hace más difícil conforme el diseño de la pieza de plástico se hace más delgada o pequeña (Ko-Ta & Fu-Ping 2006). Diversos estudios han encontrado que los parámetros que influyen durante el proceso de moldeo por inyección tienen efectos cruciales en la calidad de los productos (Mata-Cabrera 2013).

Para el control de las variables dentro de un proceso, existen herramientas y métodos estadísticos, así como investigaciones que hasta el momento se han desarrollado para la evaluación y control de los principales parámetros que intervienen directamente con la calidad del producto. A continuación, se mencionan los más relevantes.

2.1 Gráficos de control

Un gráfico de control representa la evolución en el tiempo de una característica de calidad medida a partir de una muestra. En términos generales, es una representación gráfica en los ejes cartesianos, donde en el eje horizontal se indica el número de la muestra o el tiempo en

que se obtiene, y en el eje vertical se indican los valores observados en las muestras. Se representan tres líneas horizontales: (Huerga et al. 2005).

* Una línea central (LC), que es la norma de calidad pre escrita para el proceso.

* Dos líneas horizontales llamadas límite inferior de control (LIC) y límite superior de control (LSC) que se sitúan por debajo y por encima de la LC

2.2 Evaluación de la capacidad del proceso

La capacidad del proceso es una propiedad medible que puede calcularse por medio del índice de capacidad del proceso o del índice de prestación del proceso. El resultado de esta medición suele representarse con un histograma que permite calcular cuántos componentes serán producidos fuera de los límites establecidos en la especificación (Mosquera et al. 2014). Esta representa el

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \beta_k + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, b \end{cases} \tag{1}$$

desempeño del mismo siempre y cuando éste se encuentre dentro de control estadístico. La capacidad del proceso es una medida de la variabilidad total del proceso siempre y cuando dicha variabilidad se deba a causas no asignables (Montgomery 2005).

2.3 Diseño de experimentos

En la actualidad el diseño de experimentos es una herramienta que es utilizada para diseñar y analizar problemas complicados en procesos industriales. Es utilizado para entender las características del proceso y para investigar cómo las entradas afectan las respuestas basadas en antecedentes estadísticos, además de determinar los parámetros óptimos del proceso con un menor número de ensayos de prueba (Ming-Tsan et al. 2009).

El modelo estadístico utilizado para bloques aleatorizados con réplicas es el siguiente:

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F_0
Tratamientos	$SS_{\text{Tratamientos}} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p y_{j.}^2 - \frac{y^2}{N}$	a - 1	$\frac{SS_{\text{Tratamientos}}}{p-1}$	$F_0 = \frac{MS_{\text{Tratamientos}}}{MS_E}$
Renglones	$SS_{\text{Renglones}} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p y_{i.}^2 - \frac{y^2}{N}$	<i>p</i> - 1	$\frac{SS_{\text{Renglones}}}{p-1}$	
Columnas	$SS_{\text{Columnas}} = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p y_{.k}^2 - \frac{y^2}{N}$	b - 1	$\frac{SS_{\text{Columnas}}}{p-1}$	
Error	SS_E (por sustracción)	Resto	$\frac{SS_E}{\text{Resto}}$	
Total	$SS_T = \sum_i \sum_j \sum_k y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{N}$	$p^2 - 1$		

Tabla 1. Análisis de varianza de diseño de bloques completamente aleatorizados (Montgomery 2005)

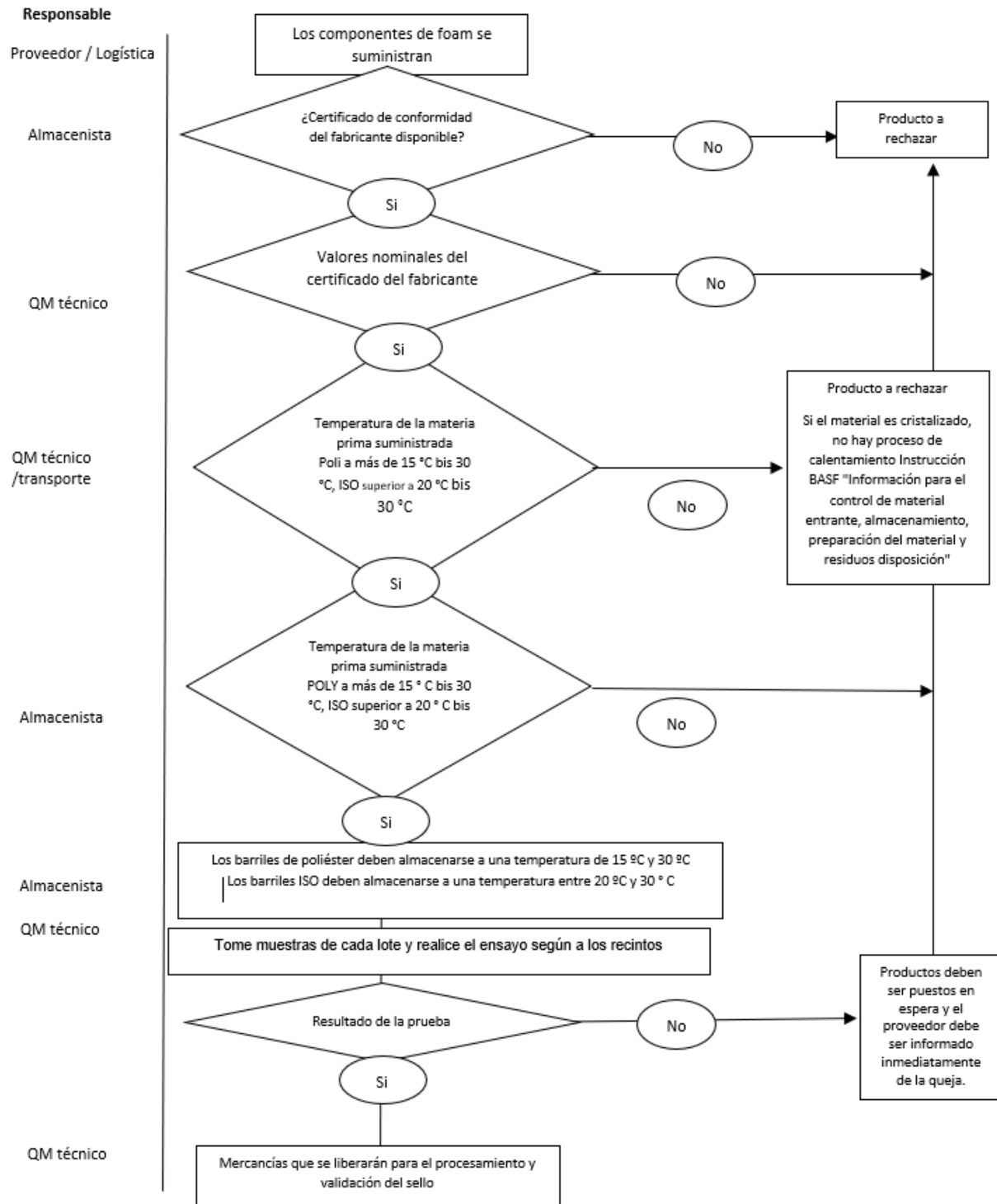


Figura 2. Secuencia de la prueba de almacén de material

3 Metodología

El proceso de inyección de foam sobre el arnés consiste en tres etapas que son físicamente independientes entre sí; la primera es la mezcla

de dos materiales, Polyol (POLY) e Isocyanat (ISO), la cual comprende el 71% de POLY y 29%; estos se retienen en contenedores para después pasar a ser suministrados a la máquina,

ver diagrama de proceso de evaluación del material (Figura 2).

La segunda etapa es la máquina móvil que se encarga de abastecer a diferentes moldes fijos, para flujo del proceso de inyección se debe de cumplir con los siguientes puntos:

1. Recepción de material

Establecer las condiciones de recepción de material a la máquina, así como los parámetros de control en el suministro de material del área de tanque diario.

• Material cristalizado

La cristalización es un modo de falla en el material ISO, se debe de asegurar que no se presente esta condición antes de suministrarse a la máquina. Si la ISO ya está cristalizada (debido a una entrega o almacenamiento incorrectos), se debe de poner en contacto con el proveedor de materiales. El material podría calentarse nuevamente según los requisitos definidos. Debe considerar las hojas de datos de seguridad de su sistema de espuma.

• Material vencido

Asegúrese de que el método de primero en entrar es el primero en salir para el almacenamiento de material para evitar material vencido. Si se detectan barriles que ya han expirado, realice nuevamente una inspección entrante del material antes de usarlo en producción para verificar si el mismo todavía cumple con la especificación (densidad, tiempo de elevación...), entonces se tiene que marcar los barriles. Si no cumple con la especificación, debe eliminarlo.

• Cambio de material en la máquina espumante
Después de la conexión del componente Polyol (barril) en la estación de barril, se debe garantizar una homogeneización correcta del material. El material debe revolverse primero con una frecuencia de alta velocidad durante un mínimo de 15 minutos antes de que los tanques diarios se llenen automáticamente. Esto es importante para máquinas que no tienen un control separado que garantiza la agitación durante un tiempo definido con una frecuencia

de velocidad definida antes de llenar el tanque. El componente Isocyanato no se agita antes de conectarse a la estación de barril. El material ya es homogéneo.

• Cintas calefactoras para barriles de material en la máquina espumante

En algunas áreas de producción, es necesario equipar los barriles de material (estación de barril) con cinturones de calefacción durante el invierno. Esto depende de la temperatura ambiental de la máquina espumante y del rendimiento del material durante la producción en funcionamiento.

2. Parámetros de ajuste de la máquina

a) Mantenimiento en la máquina espumante

La base es la recomendación de la documentación de la máquina del proveedor. El mantenimiento está separado en tareas diarias, semanales, mensuales y anuales. El mantenimiento depende de la configuración de la máquina y la carga de trabajo.

b) Verificación diaria de parámetros

Durante la configuración de la máquina se definen diferentes parámetros (presión primaria, presión de mezcla, temperatura...) por el proveedor junto con el personal responsable. Los parámetros dependen de la propia configuración de la máquina, del sistema de espuma utilizado, de la temperatura ambiental y de la altura sobre el mar. Antes de iniciar la producción, los parámetros de ajuste deben ser verificados por el técnico de la máquina. Todas las desviaciones o cambios necesarios deben ser documentados.

c) Liberación de la máquina de foam según instrucciones internas.

Si el equipo se utilizará para un producto adicional con requisitos más estrictos del cliente (por ejemplo, tolerancias / valor de CMk...), deberá realizarse una nueva recalificación de acuerdo con el protocolo de liberación.

3. Evaluación del valor CMk y CM

Debido a diferentes influencias (temperatura ambiental, temperatura del material, viscosidad del material ...), nunca se alcanzará el flujo de medición mostrado (peso total en g/s). Lo importante es asegurar la estabilidad del proceso. Esto se cumplirá utilizando el valor promedio de la serie de mediciones como base para el cálculo del valor CMk y CM.



Figura 3. Cabezal móvil de la máquina

La tercera etapa consiste en una serie de moldes fijos el cual después de ser inyectados con la mezcla pasan a esperar que el foam se solidifique sobre el arnés para después ser removido del molde. Se tiene establecido que la media de la densidad debe ser $LC=525$, y los valores no deben de sobre pasar $LSC=600$ Y $LIC=450$ kg/m^3 .

En el proceso de inyección, para el diseño de experimentos será realizado mediante 1 solo factor, 2 réplicas con bloques aleatorizados, utilizando la metodología de diseño de experimentos vista en la sección de marco teórico (ver figura 1), la elección de los factores, los niveles y los rangos fueron los siguientes:

- Tiempo de inyección: 5.2 seg. +/- 0.2 s.
- Temperatura del molde: 41.0 +/- 4 °C
- Densidad durante la réplica 1 de 477.08 kg/m^3

- Densidad durante la réplica 2 de 522.20 kg/m^3 .

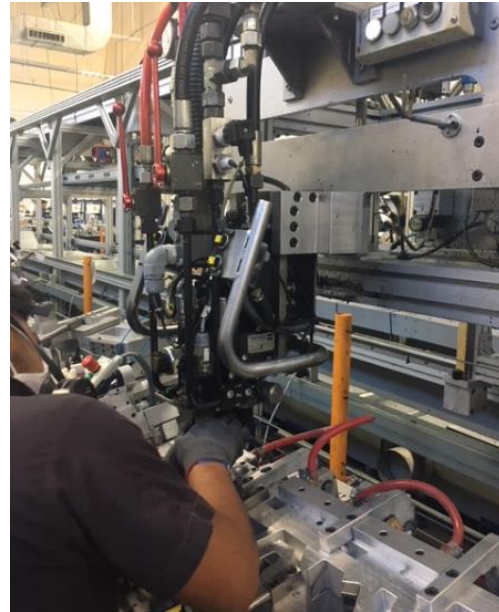


Figura 4. Inyección en molde fijo



Figura 5. Retiro del arnés

4 Resultados

Para monitorear el estado de la mezcla antes de la prueba, se efectuaron los cálculos y las

gráficas requeridos; en la figura 6, se observa que los valores de la prueba de densidad del foam se encuentra desviado hacia la derecha con respecto a la media, quiere decir que se están presentando problemas para cumplir con la tolerancia superior de la densidad. De los valores de CPk y Ppk vemos similitud por lo que nos refleja que el proceso se mantiene bajo control estadístico. La capacidad del proceso es adecuada de acuerdo al criterio de decisión establecido, pero requiere de un control estadístico más estricto. Para la recolección de los datos se usaron las cartas de los gráficos de captura diaria de densidad de la mezcla de foam, estos valores son muestreados 2 veces por turno y se grafica la información de la densidad como se muestra en figura 7.

Para la recolección de datos de este diseño de experimento se determinó lo siguiente: el factor corresponde al tiempo de inyección, la temperatura del molde será el bloque y las réplicas serán a diferentes densidades, réplica 1 con densidad 477.08 kg/m³ y réplica 2 de 522.20 kg/m³. El experimento será realizado por bloques fijos aleatorizados para cada réplica. Se seleccionan 9 arneses para cada bloque al azar. La variable respuesta se mide en gramos de material desperdiciado, es decir el material excedente (flash) o derrame del mismo en el molde; cada muestra fue identificada y pesada individualmente por una báscula calibrada como se muestra en la figura 8.

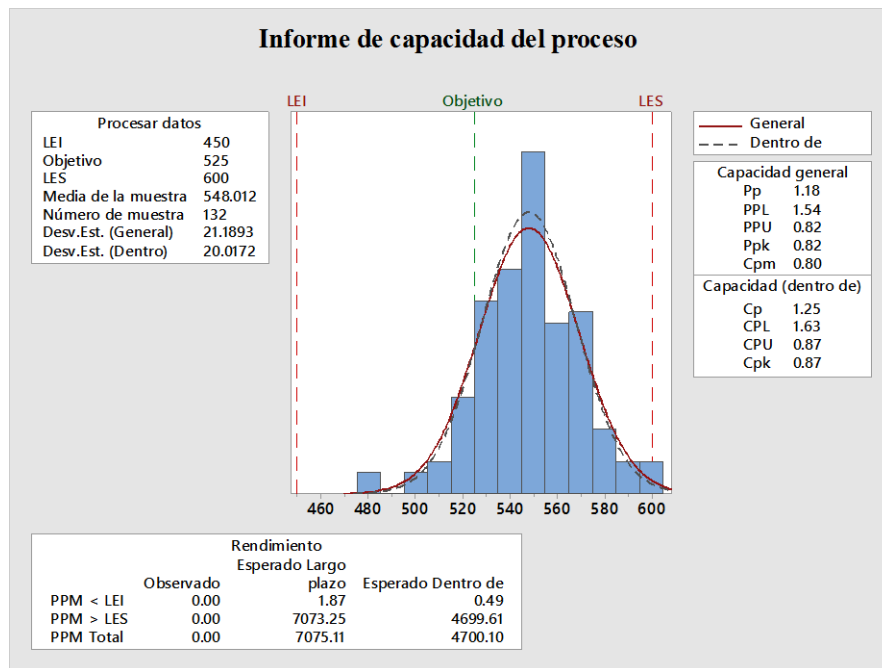


Figura 6. Capacidad del proceso

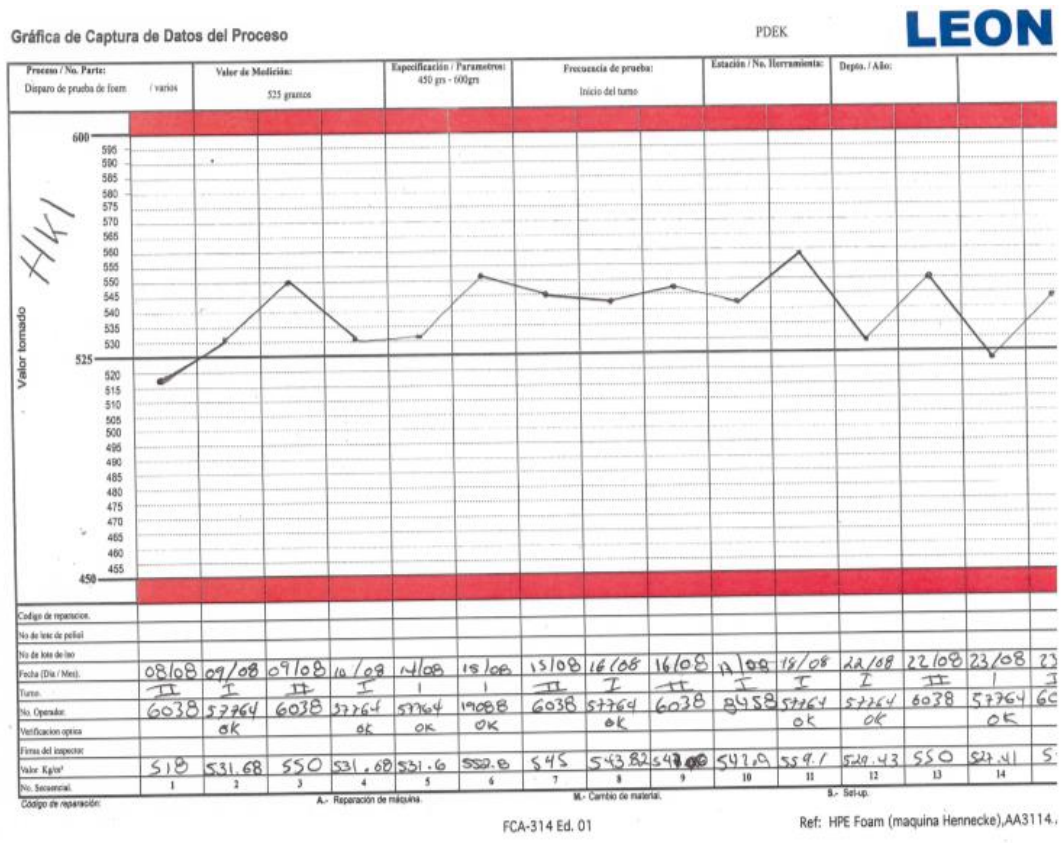


Figura 7. Carta de captura de datos de proceso



Figura 8. Recolección de pesos de las muestras

Ya visto el proceso de inyección y el comportamiento de la densidad de la mezcla,

fue determinado el tipo de diseño de experimentos el cual se realizó por medio de

bloques aleatorizados. La variable de respuesta está dada por los gramos de material desperdiciado, es decir el material excedente (flash) o derrame del mismo en el molde; cada muestra fue identificada y pesada individualmente por una báscula calibrada, de los cuales observamos los valores en la tabla 2 (número en paréntesis indica la aleatoriedad de la muestra).

A partir de los valores de las tablas 2 y 3, se realizó el cálculo de la tabla 5 mediante las ecuaciones de la tabla 1 con la ayuda de Minitab versión 17, con un 99% de confianza y utilizando el método de Fisher para la comparación de medias.

Los resultados de la tabla 4 indican que la fuente de la variación debida al tiempo de inyección afecta a la cantidad de desperdicio observada. Esto quiere decir que hay un tiempo en el que el desperdicio promedio es mínimo. En la gráfica de probabilidad normal (ver figura 9) se observa que los valores residuales siguen una distribución normal. En la figura 10 podemos observar el gráfico de comparación de pares de medias del tiempo. Los resultados implican que el desperdicio medio mínimo se produce para un tiempo de 5.0 segundos y el máximo 5.4 segundos. Además, se observa de los gráficos 11 y 12 que tanto la temperatura como la densidad no tienen ningún efecto sobre el desperdicio promedio.

Tabla 2. Réplica 1 de experimento con la variable de respuesta.

ANOVA Replica I: 477.08 kg/m³		Temperatura del molde (°C)		
		37	41	45
Tiempo de inyección (seg.)	5.0	100 (2)	85 (2)	90 (3)
	5.2	115 (1)	110 (1)	120 (2)
	5.4	140 (3)	135 (3)	120 (1)

Tabla 3. Réplica 2 de experimento con la variable de respuesta.

ANOVA Replica II: 522.20 kg/m³		Temperatura del molde (°C)		
		37	41	45
Tiempo de inyección (seg.)	5.0	105 (3)	80 (2)	100 (3)
	5.2	145 (2)	105 (1)	110 (1)
	5.4	155 (1)	140 (3)	150 (2)

Tabla 4. Análisis de Varianza

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma cuadrados	Cuadrado medio	F0	$F_{0.01(2,12)}$
Tiempo	2	6536	3268	38.99	6.93
Temperatura	2	952.8	476.4		
Replica (densidad)	1	312.5	312.5		
Error	12	1005.53	83.8		
Total	17	8806.83			

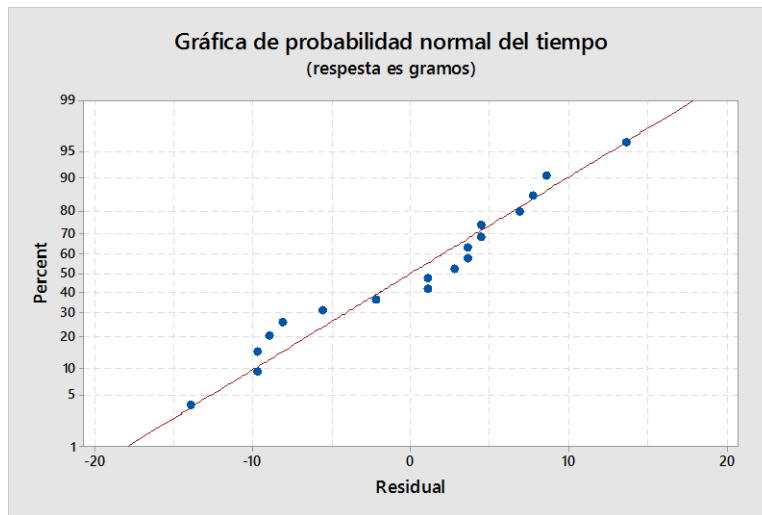


Figura 9. Grafica de probabilidad normal de tiempo

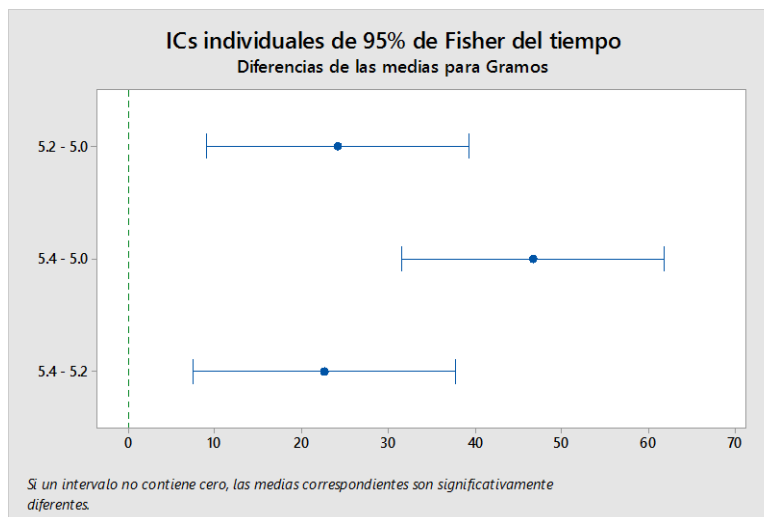


Figura 10. Gráfico de Fisher del tiempo

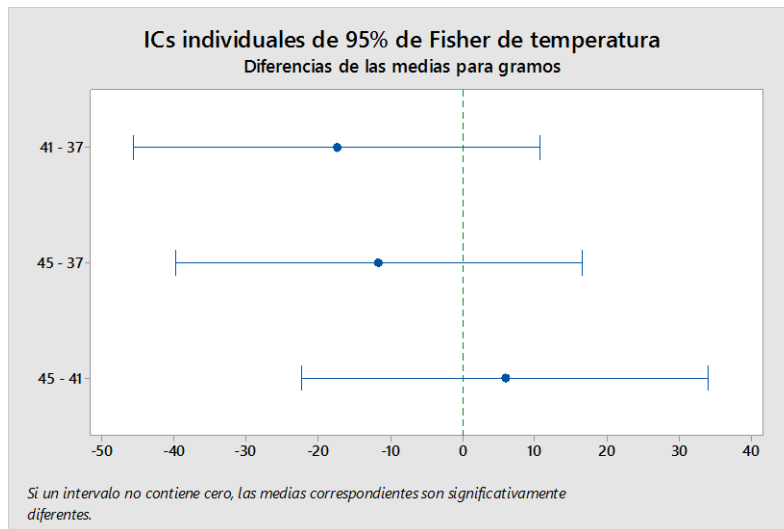


Figura 11. Gráfico de medias de Fisher de la temperatura

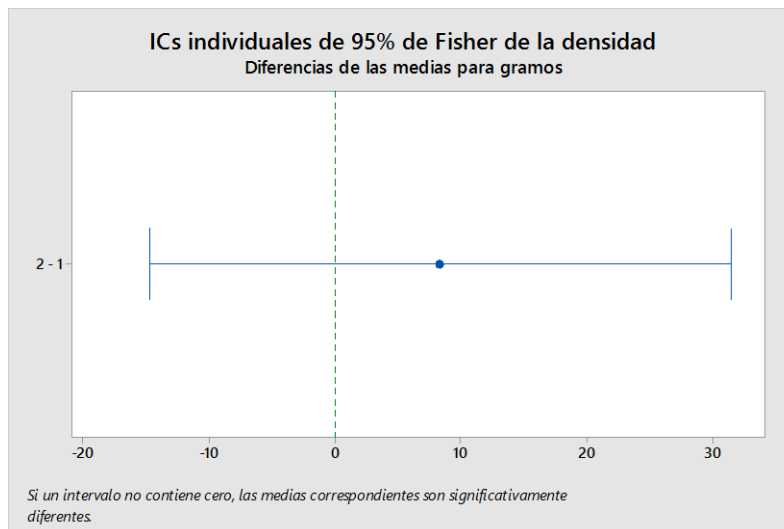


Figura 12. Gráfico de medias de Fisher de la densidad

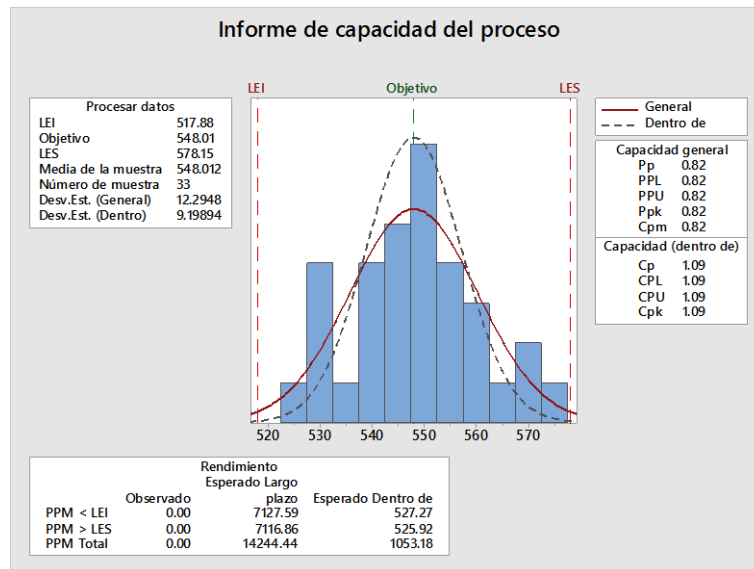


Figura 13. Capacidad del proceso propuesto

4.1 Análisis de costos de los resultados

Los costos de los materiales son de \$4.19 y \$3.79 dlls de ISO y POLY el Kg. c/u respectivamente, de la proporción de los materiales para formar la mezcla (71% ISO y 29% POLY) obtenemos que el material foam tiene un costo de 3.90 dlls el Kg; un arnés en condiciones normales desperdicia 110 gr, dado que la demanda diaria es de 40 arneses (del arnés en estudio), al día se desperdician 4.4 Kg que equivalen a \$17.18 dlls.

5 Conclusiones

Del análisis de capacidad y gráficos de control, los valores de CPk= 0.87 y Ppk= 0.82 existe similitud por lo que nos refleja que el proceso tiene una media. La capacidad del proceso es adecuada de acuerdo con el criterio de decisión establecido $1.00 < C_p < 1.33$, donde $C_p = 1.25$, pero requiere de un control estadístico más estricto. Se propone que los límites de LSC y LIC sean de 578.15 y 517.88 respectivamente, de esta manera se obtendría un $C_p = 1.09$ lo cual el proceso sería adecuado para el trabajo, el C_p y C_{pk} serían iguales con 1.09 por lo que los

valores se centrarían con respecto a la media y, por último, $CPk = 1.09$ y $Ppk = 1.09$ mayores que 1 nos diría que el proceso estaría dentro de control estadístico (Ver figura 6).

Durante el experimento, las condiciones normales representan en el valor de tiempo de inyección 5.2 segundos con una temperatura de molde de 41 °C, estas condiciones arrojan que el material desperdiciado es de 110 gramos por arnés lo que equivale a \$17.18 dlls. Se pudo observar que hubo un menor desperdicio de material con un valor de 85 gramos que equivalen a \$13.28; por lo tanto, si el tiempo de inyección se reduce de 5.2 a 5.0 segundos, con una demanda diaria de 40 arneses el ahorro sería de \$3.9 dlls. Observando los resultados de la tabla 3 indican que la fuente de la variación debida al tiempo de inyección afecta a la cantidad de desperdicio observada. Esto quiere decir que hay un tiempo en el que el desperdicio promedio es mínimo. En la gráfica de probabilidad normal (ver figura 9) se observa que los valores residuales siguen una distribución normal. En la figura 10 podemos

observar el gráfico de comparación de pares de medias del tiempo. Los resultados implican que el desperdicio medio mínimo se produce para un tiempo de 5.0 segundos y el máximo 5.4 segundos. Además, se observa de los gráficos 5 y 6 que tanto la temperatura como la densidad no tienen ningún efecto sobre el desperdicio promedio.

Agradecimientos

A mi revisor, M.C. Carlos Anaya Eredias por haberme brindado su apoyo y asesoría siempre que lo requería. Gracias por haberme ayudado y guiarme en mi proyecto, por todas las veces que estuvo presente en la empresa, su paciencia

y por todo ese tiempo que me dedicó incluso estando fuera de su horario de trabajo.

Al Ingeniero Martin Alberto Gradillas León y Alejandro Martínez quienes me dio la oportunidad de desarrollar el proyecto en la empresa y me proporcionó los recursos necesarios para realizar la investigación, por dedicarnos tiempo a mi director y a mí de asesorarnos; y al equipo de moldeo de foam por su tiempo invertido en el proyecto y por atendernos siempre con la mejor disposición.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa (PFCE) por su apoyo económico.

References

- Chen Wu-Lin, Huang Chin-Yin and Huang Ching-Ya, (2013): Finding efficient frontier of process parameters for plastic injection molding. *Journal of Industrial Engineering International* 9:25.
- Huerga Castro, C., Blanco Alonso, P. & Abad Gonzalez, J. (2005), "Aplicacion de los graficos de control en el analisis de la calidad textil", *Pecunia*, no. 1, pp. 125.
- Hussin, R., Mohd Saad, R., Hafiezal, M., Fairuz, M., & Hussin, R. (2013). Optimization of the Plastic Injection Molding Parameters for Sport Equipment by Using Design of Experiment. *International Review of Mechanical Engineering*, 453-462.
- Ko-Ta, C., & Fu-Ping, C. (2006). Analysis of shrinkage and warpage in an injection-molded part with a thin shell feature using the response surface methodology. *Int J Adv Manuf Technol*, 468–479.
- Kurt, K., Kaynak, A., & Girit, O. (2009). Experimental investigation of plastic injection molding: assessment of the effects of cavity pressure and mold temperature on the quality of the final products. *Master Des*, 3217-3224.
- Mata-Cabrera, Francisco, (2013). Predicción de rugosidad en maquinado de compuestos con base de Peek usando metodología de superficie de respuesta. *Ing. invest. y tecnol. [online].*, vol.14, n.4, pp.463-474. ISSN 1405-7743.
- Ming-Tsan, C., Yung-Kuang, Y., & Yun-Hsiang, H. (2009). Modeling and Optimization of Injection Molding Process Parameters for Thin-Shell Plastic Parts. *Polymer-Plastics Technology & Engineering*, 745-753.
- Montgomery, D. (2005). *Diseño y Análisis de experimentos*. Limusa S.A de C.V.

Montgomery, D.C. (2005). Introduction to statistical quality control. 5a Ed. John Wiley & Sons Inc. Nueva York, NY. EEUU.

Mosquera-Artamonov, J., Artamonova, I., & Mosquera, J. (2014). Diagnóstico del proceso de inspección mediante índices de capacidad. *Ingeniare*, 53-61.

Navarrete, E. (1998). Control Estadístico de la Calidad. Granada: Ed. Adhara.

Ortiz Espinoza, G.P. (2014). Aplicación de un Diseño de Experimentos 2k para la Optimización de un Proceso de Moldeo por Inyección, 1-10

Shuaib, N., Nasir, S., Fathullah, M., Shayfull, Z., & Abdul Manan, M. (2012). The Influence of Different Mold Temperature on Warpage in a Thin Shallow Injection Molding Process. *International Review of Mechanical Engineering*, 11-16.