

DETERMINAR EL CONSUMO DE MAGNESIO ADECUADO EN UNA EMPRESA DE FABRICACIÓN DE VOLANTES MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE SEIS SIGMA

Leticia del Pilar de la Torre González

Docente del Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Chihuahua

María de Lourdes Salas Woocay

Docente del Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Chihuahua

Andrea Lizeth Urrutia Quezada

Alumna del Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Chihuahua

Jessica Escobar García

Alumna del Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Chihuahua

Daniel Gerardo Camuñez Sánchez

Alumno del Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Chihuahua

Daniel Alexis Salazar Jimenez

Alumno del Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Chihuahua

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: Este trabajo tiene como objetivo utilizar la metodología de seis sigma para lograr la reducción en la variación de los pedidos de magnesio, que es utilizado en la elaboración de las armaduras de la estructura interna de un volante en la industria automotriz.

Al inicio de la investigación se aborda el caso del negocio, el enunciado del problema, los objetivos SMART y el alcance del proyecto, para poder pasar a la etapa de medir en donde se valida el sistema de medición.

En la etapa de analizar de esta metodología se identificaron algunos de los factores que causan diferencias significativas en el consumo de magnesio. Se utilizó la estadística paramétrica y no paramétrica para el análisis de los resultados y se dan las recomendaciones para la disminución de la variación en los pedidos.

Palabras clave: Seis sigma, estadística paramétrica, estadística no paramétrica, lista de materiales (BOM).

INTRODUCCIÓN

La globalización es una realidad que enfrentan fundamentalmente los países en vías de desarrollo que condiciona nuevas formas de hacer, crear e investigar. Los ahorros substanciales que logren las empresas, repercuten en la alta competitividad y posicionamiento en el mercado, así como en la economía del consumidor. Para esto es necesario utilizar metodologías y herramientas que conllevan al mejoramiento continuo y al control de los procesos.

Gutierrez y De la Vara (2013) mencionan que seis sigma es una estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; con ello, es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos de negocio. En todo momento se toma como punto de referencia a los clientes y sus

necesidades. La estrategia de seis sigma se apoya en una metodología fundamentada en las herramientas y el pensamiento estadístico. Así mismo, tiene tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos.

En este proyecto en particular se utiliza la metodología de seis sigma con el objetivo de encontrar los factores que intervienen en la variación de la compra del magnesio, que es un elemento altamente inflamable y tiene controles estrictos de cantidad para ser almacenado. El principal problema que se encuentra es que el sistema de compras arroja un valor determinado de magnesio y el encargado agrega una cantidad adicional para que no exista faltantes, tomando en cuenta el tiempo de entrega de los proveedores ubicados en diferentes países (México, China y EUA). Los altos costos que ha originado la excesiva variación entre la compra y el consumo de magnesio, justifican que se inicie un proyecto de mejora.

En cualquier proyecto es necesario tomar en cuenta los antecedentes para dar inicio a la fase de definir y de esta manera obtener la carta del proyecto, misma que será la guía durante las siguientes etapas de la metodología. Debido a que la variable de respuesta para esta investigación es la variación en el consumo de magnesio se realiza el análisis del sistema de medición que valida los datos que servirán en el análisis de las causas potenciales.

DESARROLLO

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Una vez que la empresa plantea el contexto general del problema, se decide utilizar la metodología de seis sigma para llevar a cabo la investigación y de esta manera visualizar los factores principales que influyen en la variación del consumo de magnesio.

FASE 1. DEFINIR

Según Kubiak T.M y Benbow D. (2009), la carta del proyecto es un documento que establece el o los propósitos del mismo y contribuye a mantenerse dentro de los objetivos de la empresa. La carta del proyecto debe de contener los siguientes puntos:

- **Propósito:** Establece las metas y objetivos.
- **Beneficio:** Indica la mejoría de la empresa cuando el proyecto alcance sus metas.
- **Alcance:** Establece las limitaciones del proyecto en términos de presupuesto, tiempo y otros recursos.
- **Resultados:** Define los criterios y los métricos del éxito del proyecto.

El enunciado del problema debe de ser una explicación concisa del estado actual que está impactando a la empresa. La fase de la definición del problema es la más importante dentro de la metodología DMAIC de seis sigma y enfatiza la importancia de que los propietarios del proceso estén comprometidos con el proyecto.

El alcance del proyecto muestra las áreas o procesos específicos en donde se realizará la mejora, el cuál utiliza algunas herramientas como lo son el diagrama de Pareto, diagrama causa efecto, diagrama de afinidad, mapeo de proceso entre otras. Las metas y objetivos deben de ser SMART, esto significa lo siguiente:

- **Específico (S):** Esto no da lugar a ser genérico o filosófico.
- **Medible (M):** Si el equipo no tiene metas medibles, no sabrá si está progresando o si ha tenido éxito.
- **Alcanzable (A):** la experiencia con la planificación y ejecución del proyecto ayudará a cumplir este requisito

- **Relevante (R):** El objetivo debe de estar específicamente vinculado a la estrategia del negocio o de la empresa.
- **En un tiempo oportuno (T):** El objetivo debe tener sentido en el marco de tiempo en el que el equipo debe trabajar.

ANTECEDENTES

El magnesio es un metal blanco brillante relativamente blando y extremadamente inflamable, especialmente cuando está pulverizado, por lo que debe ser manipulado con precaución. La ley Federal de armas de fuego y explosivos faculta a la Secretaría de la Defensa Nacional para controlar y vigilar las actividades, así como las operaciones industriales y comerciales que se realicen con armas, municiones, pólvoras, explosivos, artificios y sustancias químicas relacionadas con explosivos y establece las cantidades máximas en tiempos determinados para la entrada al país.

Solo una persona del área de materiales es la encargada de pedir el magnesio a los diferentes proveedores mediante el sistema que maneja la compañía, encontrándose que lo que el sistema arroja se le agrega cierta cantidad con el fin de que no exista faltantes al momento de producir las armaduras de los volantes. Anteriormente se contaba con tres proveedores de magnesio en diferentes países: China, México, y Estados Unidos de América, siendo los dos últimos sus principales proveedores con un lead time de 2 días, a diferencia del proveedor de China que tiene un lead time de hasta 8 semanas. En la actualidad el proveedor de Estados Unidos de América dejo de serlo, quedando China como el principal proveedor de magnesio, siendo esto una limitante para la precisión y exactitud de los pedidos.



Figura 1. Gráfica de variación de compra y uso de magnesio

En la Figura 1, se muestra la variación que existe durante todo un año con respecto a la compra y el uso de magnesio, en donde se puede observar que al inicio del año la cantidad de magnesio que se ordena no tiene mucha variación con respecto a la cantidad utilizada y que se va incrementando a partir del mes de julio debido a que el proveedor de China tiene un alto lead time. Esto último trae como consecuencia inventario en exceso. El signo negativo en la gráfica significa que se utilizó menor cantidad de magnesio que la ordenada. El comprador para hacer el pedido se está basando en el inventario y no de acuerdo a lo que indica la lista de materiales (bill of material).

Para entender más acerca del problema, se realizó un diagrama de flujo para el proceso de compra, y para la elaboración de la estructura del volante.

Existen varios programas dentro de la empresa por lo que se realiza un diagrama de Pareto para seleccionar a aquellos que son los principales y así tener continuidad en el estudio, al poder evaluar varias máquinas y diferentes turnos. Como se puede observar en el diagrama de Pareto (Figura 4) se selecciona el programa MAC y MBQ por abarcar entre ambos el 70% de la producción.

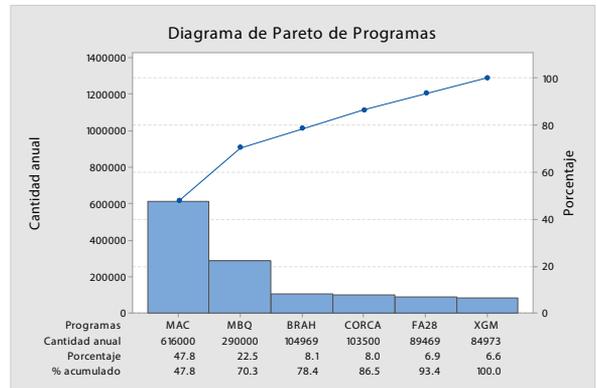


Figura 4. Diagrama de Pareto

Para pasar a la fase de medir es necesario tener la carta del proyecto en donde se define el nombre del proyecto, los miembros del equipo, el enunciado del problema, el objetivo SMART y el alcance del proyecto. El objetivo es disminuir la variación de los pedidos del magnesio en un 2% con respecto a lo que se consume, para actualizar la lista de materiales en los programas MAC y MBQ realizando los pedidos sistemáticamente.

FASE 2. MEDIR

De acuerdo con McCarty T. y Bremer M. (2004) el propósito principal de la fase de medir es contestar la pregunta, ¿Cómo lo estamos haciendo? En muchos de los proyectos la medición crítica identificada por el equipo aún no ha sido reportada y se necesita coleccionar los datos para verificar el comportamiento actual del proceso.

Un paso importante en la fase de medir, que en algunas ocasiones se omite por la inexperiencia de los equipos de seis sigma, es realizar un análisis del sistema de medición (MSA). Este verifica que el sistema produce datos válidos, antes de que el equipo tome decisiones basada en los mismos.

Se realiza un análisis del sistema de medición, seleccionando diez piezas de estructura de magnesio al azar y tres operadores.

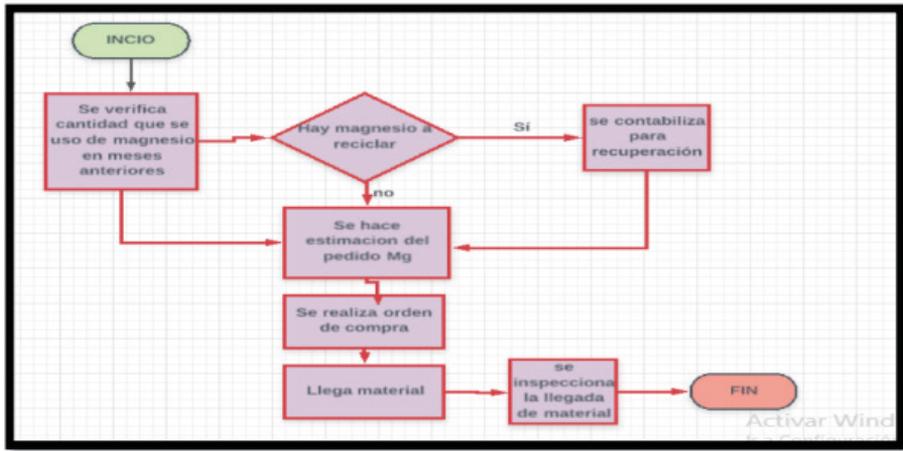


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de compra

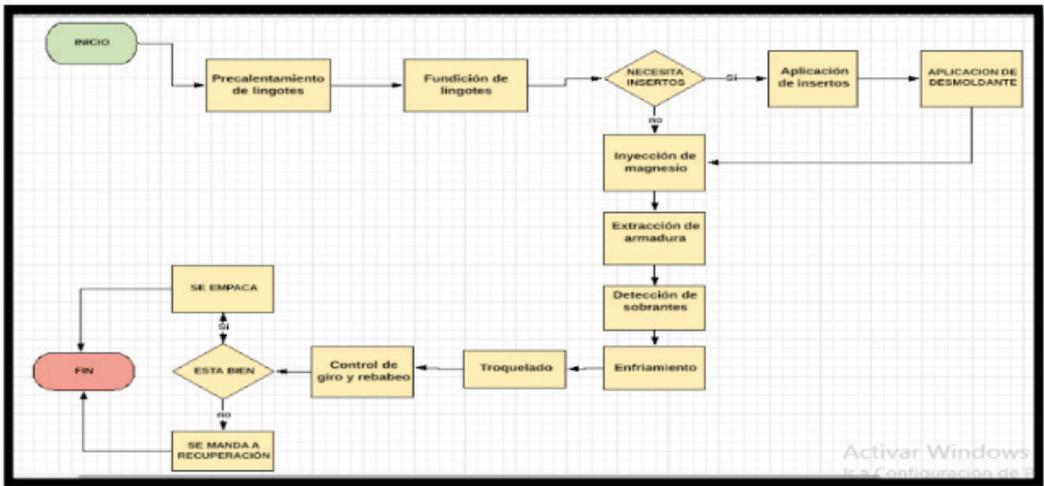


Figura3. Diagrama de flujo del proceso de la elaboración de estructuras del volante.

Programa de armadura									
N° de Parte									
Máquina									
Cavidad									
Turno									
Operador									
Máquina Troqueladora									
						Inserto			
N° de Pieza	Peso Sin Troquelar	Peso de Cacahuates	Peso de Pastilla	Peso de Rebabas	Peso Troquelada	Aro	Hub	Brazos	Brochado
1									

Figura 7. Formato de recolección de datos.

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Peso

Gage name: GRR BASCULA DIE CASTING SW1460
 Date of study: 12 - Dic - 2017
 Reported by: Calidad
 Tolerance: 1163 +/- 33 g
 Misc: GMX 386 (Armadura)

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
No Part	9	10418.1	1157.57	8447.11	0.000
Oper	2	0.4	0.21	1.54	0.241
No Part * Oper	18	2.5	0.14	0.73	0.772
Repeatability	60	11.3	0.19		
Total	89	10432.3			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
No Part	9	10418.1	1157.57	6542.77	0.000
Oper	2	0.4	0.21	1.19	0.309
Repeatability	78	13.8	0.18		
Total	89	10432.3			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.178	0.14
Repeatability	0.177	0.14
Reproducibility	0.001	0.00
Oper	0.001	0.00
Part-To-Part	128.599	99.86
Total Variation	128.777	100.00

Process tolerance = 66

Source	StdDev (SD)	Study Var (σ^2 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.4220	2.5318	3.72	3.84
Repeatability	0.4206	2.5237	3.71	3.82
Reproducibility	0.0338	0.2025	0.30	0.31
Oper	0.0338	0.2025	0.30	0.31
Part-To-Part	11.3401	68.0409	99.93	103.09
Total Variation	11.3480	68.0880	100.00	103.16

Number of Distinct Categories = 37

Figura 5. Estudio R&R

Como se puede observar el porcentaje de variación total del gage R&R muestra un valor del 3.72% con un número diferente de categorías mayor a 5, por lo que esto valida a un sistema de medición adecuado.

Al inicio se midieron 30 piezas de los tres turnos de cada uno de los programas, se marcaron cada uno de los sobrantes, así como las pastillas y armaduras para pasar al departamento de troquelado. Se realizó el pesaje de la armadura sin troquelar, troquelada, la pastilla y los sobrantes.



Figura 6. Armadura sin troquelar, troquelada, pastilla y sobrantes

Para tener un control estricto de las mediciones se diseñó un formato que ayuda a la recolección de los datos y a identificar los turnos, máquinas y piezas.

Se tomaron datos de 2 máquinas troqueladoras con los diferentes programas que se eligieron en el diagrama de Pareto en los tres diferentes turnos. Como se muestra en la figura 7, se decide tomar el peso de una manera estratificada para observar si existe variación entre los turnos y entre las máquinas. Cabe mencionar que se seleccionaron 180 armaduras de la estructura interna del volante, a los cuales se les dio seguimiento antes y después de troquelar.

FASE 3. ANALIZAR

Pyzdek T. (2003) dice que la fase de analizar es para identificar las maneras de eliminar las diferencias entre el comportamiento actual del sistema o proceso y el objetivo deseado, utilizando la estadística descriptiva para entender del comportamiento de los datos.

En la Figura 8 se muestra la estadística descriptiva de los pesos de la estructura interna sin troquelar de los volantes del programa MAC en los tres diferentes turnos y en una sola máquina, en donde se observa que la distribución de los pesos tiene un sesgo positivo, además de tener datos atípicos que no fueron identificados como causas atribuibles. cabe mencionar que en estas 90 piezas se utilizó una cantidad menor de magnesio que la especificada en la lista de materiales (BOM). mencionar que en estas 90 piezas se

utilizó una cantidad menor de magnesio que la especificada en la lista de materiales (BOM).

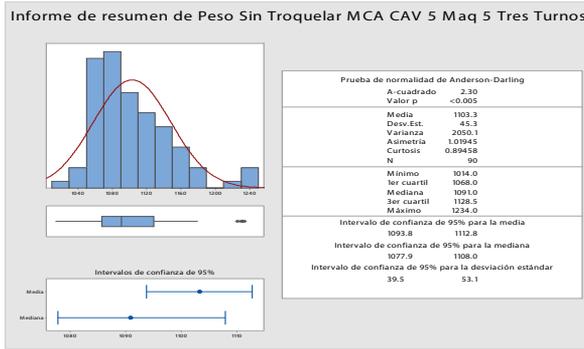


Figura 8. Pesos de las estructuras sin troquelar de la maquina 1

Se realizó el mismo estudio para la máquina 2 con los tres turnos y el mismo modelo MAC con las estructuras sin troquelar arrojando los siguientes resultados.

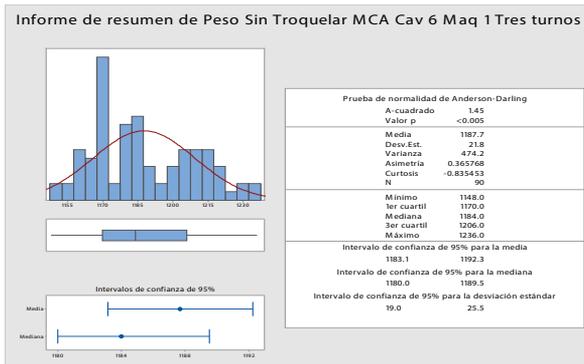


Figura 9. Pesos de las estructuras sin troquelar de la maquina 2

Al observar que el mismo programa con los mismos turnos y distinta máquina tienen aparentemente medias y desviaciones estándar diferentes, además de no tener un comportamiento normal, se procederá a tratar de normalizar los datos con el método de Box-Cox o en su caso con Transformadas de Johnson para realizar las pruebas paramétricas adecuadas y conocer si existe diferencia significativa entre ambas máquinas en el consumo de magnesio.

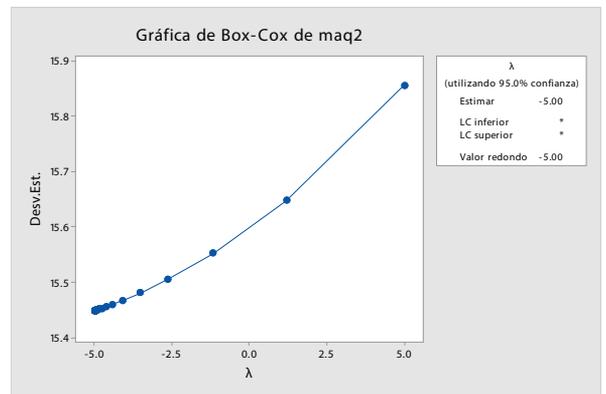
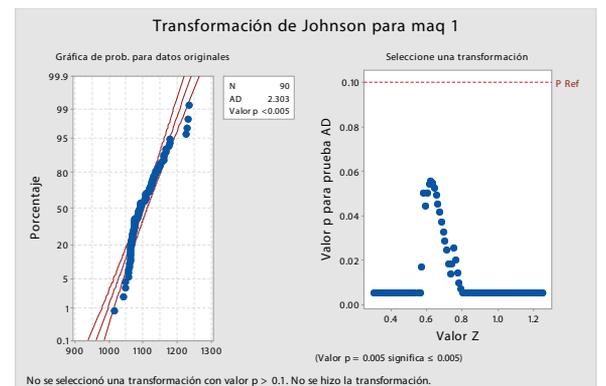


Figura 10. Transformación de Box-Cox

Los datos de los pesos de las estructuras de ambas máquinas no se pueden transformar a una distribución normal, por lo que se procederá a estratificar los datos por turno con el objetivo de ver si existe variación entre ellos y si eso está ocasionando la diferencia aparente del peso entre las máquinas.

La máquina 1 se estratificó por turnos y se realiza un análisis de varianza para ver si existe diferencia significativa en los pesos de las estructuras de magnesio entre los turnos. Al realizar dicho análisis se calcula un valor de $p = 0.000$ lo que significa que se rechaza la hipótesis nula, por lo que se concluye que si existe diferencia de los pesos de las estructuras entre los turnos.



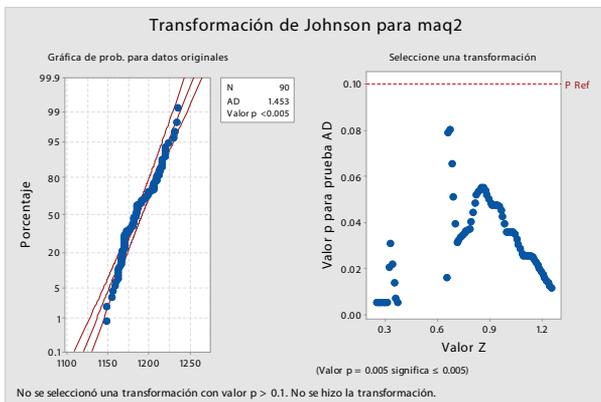


Figura 11. Transformación de Johnson

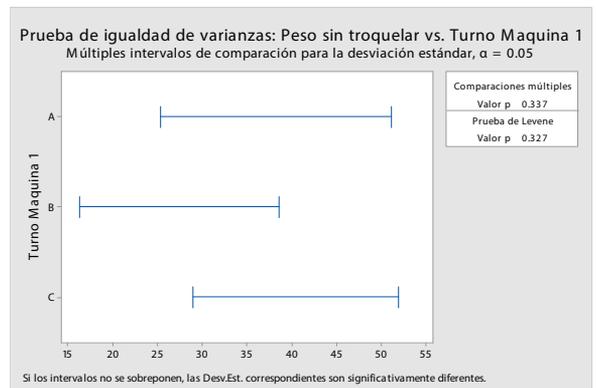


Figura 13. Prueba de homocedasticidad o varianzas iguales

Hipótesis nula: Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna: No todas las medias son iguales
 Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Turno Maquina 1	2	90594	45297	42.90	0.000
Error	87	91864	1056		
Total	89	182457			

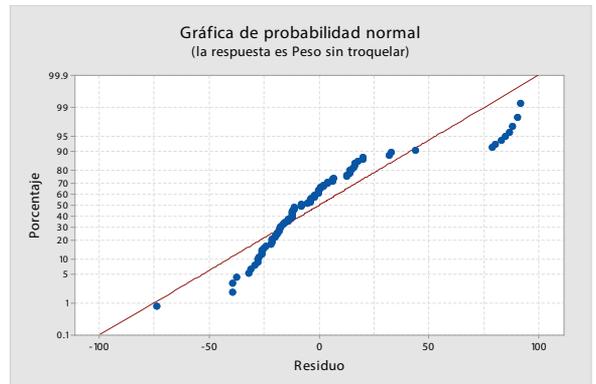


Figura 14. Prueba de normalidad de residuos

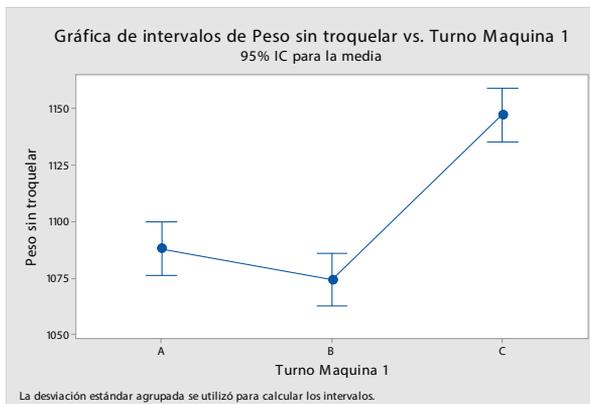


Figura 12. Gráfica de medias por turnos

En la figura 12 se observa la diferencia entre las medias de los pesos de la estructura interna del volante sin troquelar haciendo énfasis en que el turno C tiene la mayor media.

El análisis de varianza tiene tres supuestos para su validación que son: normalidad, homocedasticidad y aleatoriedad, las cuales se prueban utilizando el software de Minitab.

Al obtener un valor de $p = 0.337$ en la Figura 13, se concluye que, si existen varianzas iguales entre los tres turnos que es la prueba para la homocedasticidad, sin embargo, no existe normalidad en los residuos (Figura 14) por lo que la estadística paramétrica no puede aplicarse. Al tratar de normalizar los datos por turno utilizando los métodos mencionados con anterioridad de Box-Cox o Transformada de Johnson se sigue obteniendo un valor de p que tiende a cero.

Se utilizará la prueba de Kruskal Wallis, que es una prueba no paramétrica o libre de distribución y se concluye que existe diferencia entre las medias de los turnos.

Hipótesis nula	H_0 : Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H_1 : Al menos una mediana es diferente		
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	49.16	0.000
Ajustado para empates	2	49.22	0.000

El mismo procedimiento anterior se realiza con los diferentes turnos de la máquina dos y para las máquinas y los turnos que se utilizaron en el programa de MBQ, llegando a las mismas conclusiones.

En el formato que se diseñó (Fig. 7) para la recolección de los datos se está considerado la máquina, la cavidad, el peso de las pastillas y rebabas, así como el peso de la estructura interna del volante después de ser troquelada. La diferencia entre la estructura antes y después de ser troquelada se estudia en un análisis de varianza por turnos con la misma máquina para otra posible fuente de variación. Efectivamente los datos muestran una diferencia significativa entre los turnos siendo el turno C el que afecta más en la diferencia entre los pesos. El análisis de varianza y la prueba de Kruskal Wallis se muestran a continuación:

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Turno Maquina 1	2	77806	38903	37.83	0.000
Error	87	89457	1028		
Total	89	167262			

Medias de las diferencias entre el peso de la estructura sin troquelar y troquelada

Turno	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Maquina 1				
A	30	476.00	34.62	(464.36, 487.64)
B	30	463.33	23.44	(451.70, 474.97)
C	30	531.07	36.57	(519.43, 542.70)

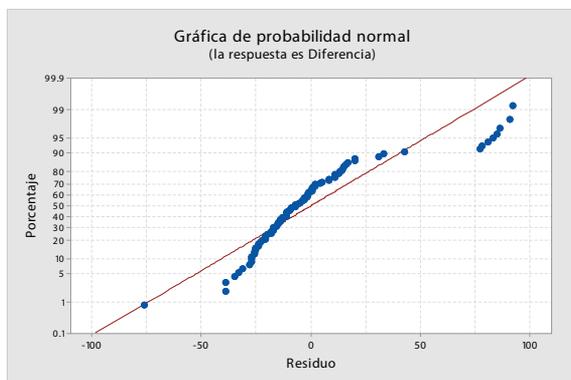


Figura 15. Prueba de normalidad de residuos

Como se puede observar en la Figura 15, no se cumple con el supuesto de normalidad de los residuos. Se tratan de normalizar los datos por el método de Box-Cox y de transformada de Johnson. Al no poder transformar los datos se utiliza la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Prueba de Kruskal-Wallis: Diferencia vs. Turno Maquina 1

Estadísticas descriptivas

Turno	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Maquina 1				
A	30	471	37.8	-1.98
B	30	458	27.1	-4.73
C	30	519	71.6	6.71
General	90		45.5	

Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales
 Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	47.55	0.000
Ajustado para empates	2	47.59	0.000

Existen varias evidencias para decir que la diferencia entre los turnos en el proceso de elaboración de las estructuras internas de los volantes es significativa.

En los estudios anteriores no se estaba tomando en cuenta la cavidad de la máquina, por lo que se decide realizar un análisis Multi-Vari. Shainin D. (2000) define el análisis Multi-Vari como una técnica de pre-experimentación diseñada para aislar y cuantificar los mayores componentes de variabilidad en procesos de producción. Permite determinar las fuentes que presentan mayor variación, a través de la descomposición de los componentes de variabilidad del proceso. Las cartas Multi-Vari forman parte de las herramientas encaminadas a la mejora del proceso.

El objetivo general de las cartas Multi-Vari es, descubrir los componentes de variación en el proceso y cuantificar las diferentes fuentes de variabilidad, las cuáles pueden ser, por ejemplo: de lote a lote, dentro del lote, de turno a turno, entre turnos, dentro del turno, de máquina a máquina, dentro de la máquina, de operador a operador, dentro del operador, entre operadores, etc.

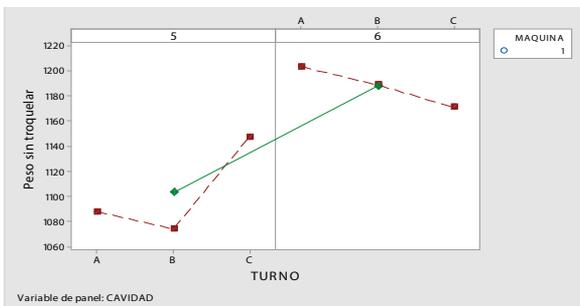


Figura 16. Gráfica Multi-Vari

Como se puede observar en la gráfica Multi-Vari existe diferencia entre los turnos y entre las cavidades. El mismo estudio se realiza con el modelo MBQ con la misma máquina concluyendo diferencia entre turnos y cavidades.

FASE 4. MEJORAR

Escalante E. (2005), menciona en su libro de Seis Sigma que en la fase de mejorar se optimiza y se robustece el proceso, reduciendo la variación por medio de las herramientas adecuadas como el diseño de experimentos, análisis de regresión, superficie de respuesta, entre otros y validar la mejora.

En la fase de analizar se determinan algunos de los factores que influyen en la variación del uso de magnesio, como lo fueron la máquina, las cavidades y el turno. Hasta este momento no es posible predecir el consumo de magnesio en una forma exacta debido a la variación del mismo, tomando en cuenta que se desea que las ordenes de este material se realicen de manera sistemática ajustando la lista de materiales (BOM) a su uso real.

Durante la recolección de los datos se pudo observar lo siguiente:

- Alta rotación de los trabajadores en los diferentes turnos.
- Cada operador modifica los parámetros de las máquinas de inyección.
- No existe comunicación entre los turnos.
- Falta el registro de los datos en bitácora.
- Variación en la temperatura del horno.
- No existe limpieza periódica ni sistematizada de la bomba, acumulando magnesio que impide el paso del mismo.
- No se controla la velocidad de inyección.

CONCLUSIONES

La clave del éxito de Seis Sigma estriba en la madurez de la organización. Los cambios culturales requieren tiempo y compromiso antes de ser implementados. La capacitación del personal en este rubro motivará al personal a efectuar los proyectos logrando los objetivos del mismo.

Mediante la elaboración de este proyecto utilizando la metodología de seis sigma se pudo tener un avance organizado para demostrar la importancia de emprender mejoras en los procesos basados en el análisis estadístico de los datos.

En ocasiones se tiene la idea de que implementar seis sigma es muy costoso para la empresa, en esta investigación en particular se logró detectar los factores que influyen en la variación de los pedidos de magnesio, sin costo alguno.

Se concluye que, debido a la inestabilidad de los procesos, el consumo de magnesio es muy variable y por ende la empresa se asegura que el material no sea un obstáculo para cumplir con los requerimientos del cliente, originando altos costos de inventario y de manejo del material.

Para la etapa de mejora se recomienda realizar una estandarización de los parámetros en las máquinas mediante un diseño de experimentos para evitar las diferencias significativas que existen dentro de ellas en sus distintas cavidades, así como eliminar la rotación de personal en los diferentes turnos. Un mantenimiento adecuado a las máquinas de inyección evita también la variación en el consumo de magnesio.

Todas estas recomendaciones son acciones que le competen a la administración, específicamente a los departamentos de ingeniería, mantenimiento, calidad y recursos humanos.

Después de que se tenga una uniformidad en el comportamiento de los pesos de la estructura interna de los volantes, se podrá determinar para cada modelo el consumo de magnesio, ajustando los valores en la lista de materiales tomando en cuenta el lead time de cada proveedor para los pedidos.

Los resultados obtenidos en este proyecto pretenden servir de estímulo a la empresa para el desarrollo de futuros proyectos y mejora de sus procesos mediante la aplicación de la metodología seis sigma.

REFERENCIAS

- Gutierrez, P. H., & De la Vara, S. R. (2013). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. México: Editorial Mc. Graw Hill.
- Kubiak T.M., & Benbow D. (2009). *The Certified Six Sigma Black Belt Handbook*. Millwaukee, Wisconsin; Editorial Mc. Graw Hill.
- McCarty T., & Bremer M. (2004). *The Six Sigma Black Belt Handbook*. Schaumburg, Illinois. Editorial Mc. Graw Hill.
- Pyzdek T. (2003). *The Six Sigma Handbook*. Estados Unidos de America. Editorial Mc. Graw Hill.
- Shainin D. (2007). *Pre-Control versus X-R Charting*. Estados Unidos de America. Editorial Prentice Hall.
- Escalante E. (2005). *Seis sigma Metodología y Técnicas*. México. Editorial Limusa.