

REDUCCIÓN DE LA VARIACIÓN EN UN PROCESO DE MOLDEO DE PARTES A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA 6 SIGMA

REDUCTION OF THE VARIATION IN A PARTS MOLDING PROCESS THROUGH 6 SIGMA METHODOLOGY

Manuel Arnoldo Rodríguez Medina¹, José Guadalupe Terrones Lucero¹, Eduardo Rafael Poblano-Ojinaga², Luz Elena Terrazas Mata¹
 Tecnológico Nacional de México Av. Universidad 1200, Col. Xoco. Delegación Benito Juárez. CP. 03330 Cd. de México. Tel: (656) 2227 514. manuel_rodriguez_itcj@yahoo.com

¹Campus Cd. Juárez

²Campus La Laguna

Recibido: 24/Jun/20 – Revisado: 9/Jul/20 – Aceptado: 18/Oct/20 - DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/MN9831>

TO CITE THIS ARTICLE:

RODRIGUEZ-MEDINA, Manuel Arnoldo, TERRONES-LUCERO, Jose Guadalupe, POBLANO-OJINAGA, Eduardo Rafael et al. REDUCTION OF THE VARIATION IN A PARTS MOLDING PROCESS THROUGH 6 SIGMA METHODOLOGY. DYNA Management, Enero-Diciembre 2020, vol. 8, no. 1, p.[18 p.]. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/MN9831>

ABSTRACT:

One of the most complex processes and with the highest variation is the plastic injection process because of the great diversity of variables that interact with each other, but is one of the most interest because it allows the production of basic products such as kitchen utensils, to medical articles. This project was carried out in the molding area of a company in the electronics industry that produces timers for saving energy and waterproof covers for the protection of exterior electrical outlets. This study is focused on identifying through the 6 Sigma methodology DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control), the critical factors of a plastic injection process that contribute directly to variation process and in the quality of exterior plastic covers molded using transparent polycarbonate, in addition to identifying the optimal work levels to reduce the defect as scratched parts, identified with the highest recurrence. The process variables were studied with a design of experiments that consisted of two factors and four levels, leaving as result that the low levels of the factors are the optimal to reduce in a notable way the defects of scratched pieces. Keywords: 6 sigma methodology, injection molding, Design of Experiments, Critical quality characteristics

Keywords: 6 sigma methodology, Injection molding, Experiment Design, Critical quality characteristic.

RESUMEN: →(Arial Narrow, negrita, 10)

El proceso de inyección de plásticos es uno de los procesos más complejos y con mayor variación debido a la gran diversidad de variables que interactúan entre sí, pero es de gran interés ya que permite producir desde productos básicos como utensilios de cocina, hasta artículos médicos. El presente proyecto se realizó en el área de moldeo de una compañía del ramo electrónico que produce temporizadores para el ahorro de energía y cubiertas impermeables para la protección de toma corrientes eléctricos instalados en el exterior. Este estudio está enfocado a identificar a través de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) de 6 Sigma, los factores críticos de un proceso de inyección de plástico que contribuyen directamente en la variación del proceso y la calidad del producto de una cubierta de plástico moldeada con policarbonato transparente, además de identificar los niveles óptimos de trabajo para reducir el defecto de piezas rayadas, por ser este el de mayor recurrencia. Las variables del proceso fueron estudiadas con un diseño de experimentos que constó de dos factores y cuatro niveles, arrojando como resultado que los niveles bajos de los factores son los óptimos para reducir de manera impactante los defectos de piezas rayadas.

Palabras clave: Metodología 6 sigma, moldeo por inyección, Diseño de Experimentos, Características críticas de calidad.

1.- INTRODUCCION

El proceso de inyección de plásticos es por naturaleza altamente complejo lo cual ocasiona una alta variabilidad en el proceso afectando la calidad de la pieza en cuestiones dimensionales, mecánicas, atributos visuales o características críticas y funcionales. Algunos factores importantes que influyen en la calidad de la pieza es la gran cantidad de parámetros de proceso, condición de la máquina, el diseño de la pieza, el diseño del molde, calidad del material, mantenimiento del molde y mantenimiento de la moldeadora.

	<p>REDUCCIÓN DE LA VARIACIÓN EN UN PROCESO DE MOLDEO DE PARTES A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA 6 SIGMA</p>	<p>ORGANIZACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS</p>
<p>ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN</p>	<p>Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, José Guadalupe Terrones Lucero, Eduardo Rafael Poblano-Ojinaga, Luz Elena Terrazas Mata</p>	<p>Aseguramiento y Control Estadísticos de Calidad</p>

Desafortunadamente, en la mayoría de las empresas nacionales que se dedican al proceso de inyección de plástico, el molde es importado de otros países que tienen los métodos, procesos y conocimientos para desarrollarlos. Al ser transferidos a México se carece de la información técnica del molde. Aunque se cuente con maquinaria innovadora en las plantas manufactureras, el proceso pudiera ser ineficiente. Debido a estos factores, mantener el proceso estable requiere de mucho esfuerzo, por lo que es indispensable identificar, estudiar y mantener en control las causas de la variación que permitan examinar y obtener los parámetros óptimos con el objetivo de tener la satisfacción del cliente produciendo piezas con calidad con entregas a tiempo

Esto propicia una serie de problemas en cadena empezando por producir piezas fuera de especificación que requieren del tiempo de ingeniería y calidad para su análisis, se genera desperdicio, el cual a su vez propicia retrabajos al triturar piezas fuera de especificación, para recuperar material y ser reprocesado. Al utilizar material reprocesado se agregan más variables a controlar en el proceso, como lo es la mezcla correcta de material, ya que la proporción es del 25% de material reprocesado con 75% de material nuevo, provocando constantemente un alto inventario de material retrabajado. Al tener que triturar las piezas fuera de especificación, se tienen que volver a producir los números de parte afectados, provocando falta de capacidad en el área de moldeo debido a que se tiene mayor uso de maquinaria y molde, propiciado desgaste y daños en los moldes, y, por ende, se requiere mayor mantenimiento afectando finalmente entregas a tiempo, tanto para el cliente interno como al externo. Un estudio realizado por Laboratorio de Investigación Avanzada en Materiales Poliméricos [1], indica que al reprocesar los polímeros Policarbonato y ABS, pierden algunas características mecánicas impactando en la dureza y degradación de la pieza. Las mezclas poliméricas como "una mezcla homogénea estable que exhibe propiedades macroscópicas similares a las que se esperarían para un material homogéneo" [2].

Para mejorar el desempeño operativo del proceso de moldeo de partes, cada vez más las empresas utilizan metodologías basadas en métodos estadísticos, de las que sobresale la Metodología 6 sigma la cual es una metodología que estudia los factores que generan la variación de un proceso y está enfocada a reducir la variación de este, dando como resultado el satisfacer las necesidades del cliente [3]. Con base a lo anterior, este proyecto se llevó a cabo a través de la estrategia Seis Sigma, con la finalidad de disminuir o eliminar el desperdicio, entendiéndose como "toda mal utilización de los recursos y / o posibilidades de las empresas" [4].

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. OBJETIVO E HIPÓTESIS (REFEREE 67840 OBSERVACIÓN CUMPLIDA)

El área que requiere atención inmediata es moldeo, al ser considerada el área con mayores problemas de calidad, propiciado desperdicios y retrabajos. Una posible variable que puede contribuir en la generación de defectos sería la trituración de aquellas piezas que se encuentran fuera de especificación para que puedan ser usadas como material reprocesado [2].

De acuerdo a lo anterior, y en base a análisis realizados, el objetivo principal del proyecto fue reducir la cantidad de defectos en las piezas, siendo el principal defecto el número de piezas rayadas.

De inicio y a manera de hipótesis, las posibles causas en el número de defectos serían los siguientes factores: calidad de los materiales, la distancia de descompresión, el tiempo de permanencia del material en la máquina, el adaptador de la moldeadora, entre otros.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto estuvo enfocado exclusivamente en el área de moldeo la cual abastece a todas las áreas de ensamble final y es la única área de toda la planta que trabaja tres turnos y cuenta con 39 máquinas moldeadoras de inyección de plástico con capacidades que oscilan entre 33 y 500 toneladas. La investigación se realizó en una máquina moldeadora de 80 toneladas y un molde de cuatro cavidades que fabrican una cubierta plástica impermeable.

A la moldeadora de inyección se le suministra una resina de policarbonato transparente, previamente secada por un lapso de cuatro horas a una temperatura de 250°F. Los parámetros de la máquina moldeadora son configurados con valores específicos para plastificar la resina y formar una cubierta plástica que cumpla con los criterios de aceptación. La operación de moldeo es realizada en forma semiautomática, es decir, que se cuenta con un operador dedicado exclusivamente a la máquina moldeadora para remover de manera manual las piezas de las cavidades del molde.

Para el desarrollo de esto es necesario utilizar algunos materiales y equipos de soporte para la planeación y realización del proyecto, análisis y validación de los datos los cuales se mencionan a continuación:

- Máquina de inyección de plástico marca: Cincinnati Milacron ® número 310081 con capacidad de 80 toneladas.

- Secador de resina Novatec 150LB ®
- Policarbonato Tejin Clear, Panlite LV-2225Z
- Policarbonato Lexan 243R112
- Mold reléase EconoMist ®

La Tabla 1 muestra la metodología desarrollada en el proyecto. Todas las etapas y actividades mostradas en la tabla fueron desarrolladas en el proyecto, pero por limitaciones de espacio no fueron incluidas en el documento.

	Fases	Actividad	Salida
Fase 1 Definir	Definición y delimitación del problema, objetivos, hipótesis y formación de equipo multidisciplinario.	Realizar carta del proyecto y recolectar datos que sustenten el problema.	Identificación de la variable dependiente y alcance del proyecto, así como la planeación de actividades para lograr los objetivos.
	Identificación de características críticas de calidad (CTQ's).		
	Análisis financiero.		
Fase 2 Medir	Entender el proceso, validar el sistema de medición e identificar las posibles causas de los defectos.	Elaborar un mapeo de proceso, Diagrama Causa-Efecto, una matriz X-Y y un MSA incluyendo un R&R por atributos.	Entender a detalle el proceso, identificar variables independientes y dependientes y validación del sistema de medición.
	Determinar la capacidad del proceso.	Análisis de capacidad y gráfico de control.	Conocer el estatus del proceso al inicio del proyecto.
Fase 3 Analizar	Identificar la fuente de variación en el proceso.	Lluvia de ideas, FMEA, estadístico de diferencia de proporciones y Chi cuadrada.	Identificar las variables independientes significativas que influyen e la variable dependiente.
Fase 4 Mejorar	Determinar la correlación existente entre las variables independientes y dependiente	DOE factorial completo 2 ³ con las variables significativas (factores) en los niveles bajo y alto.	Encontrar el punto óptimo de operación de las variables independientes en la clasificación menor es mejor.
	Corrida de validación y determinar nueva capacidad de proceso.	DOE con los valores óptimos de los factores, análisis de capacidad y gráfico de control.	Control y validez interna (confirmación del resultado óptimo en la variable dependiente).
Fase 5 Controlar	Establecer medidas de control del proceso para asegurar que las mejoras se mantengan.	Implementar gráficos de control estadístico, registrar los factores y niveles óptimos en el sistema de producción y actualizar FMEA.	Asegurar que cada vez que se produzca el número de parte bajo investigación, sea en las condiciones óptimas del proceso.
	Conclusiones y recomendaciones	Sumario ejecutivo y validación financiera.	Tomar este proyecto de referencia para extender la implementación de la metodología de seis sigma en otros números de parte.

Tabla 1. Fases de la Metodología (Fuente propia)

3.0 FASES DE LA METODOLOGÍA

3.1 ETAPA 1. DEFINICIÓN

Durante el año 2019 se generó en la compañía un desperdicio de \$310,789.00 dólares, donde el área de moldeo contribuyó con el 46%, lo cual representa aproximadamente \$142,567.00 dólares, mientras que el 54% restante se generó en seis áreas distintas, como se muestra en la Figura 1.

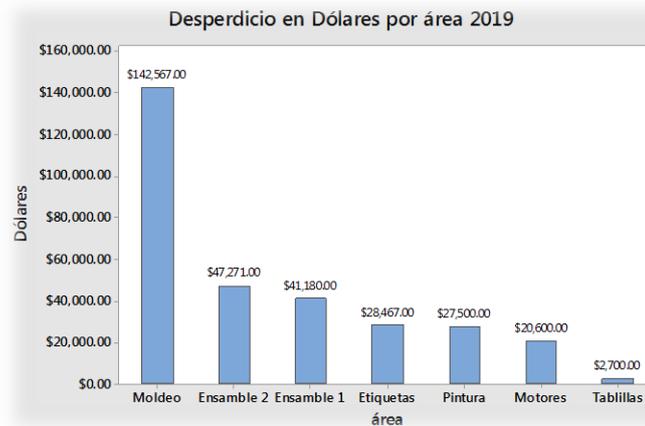


Figura 1 Desperdicio en dólares por área en el año 2019 (Fuente propia)

La resina de policarbonato transparente es el principal contribuidor de desperdicio, aportando el 25%, lo cual corresponde aproximadamente a \$36,200.00 dólares. La Figura 2 muestra los principales números de parte generadores de desperdicio en el área de moldeo.



Figura 2 Principales números de parte generadores de desperdicio en dólares (Fuente propia)

De las siete categorías de defectos registradas en el área de moldeo en piezas moldeadas con policarbonato transparente, las piezas rayadas es el principal defecto impactando con un 48% del total de los defectos. La Figura 3 muestra la clasificación de los defectos y los porcentajes que se observaron.

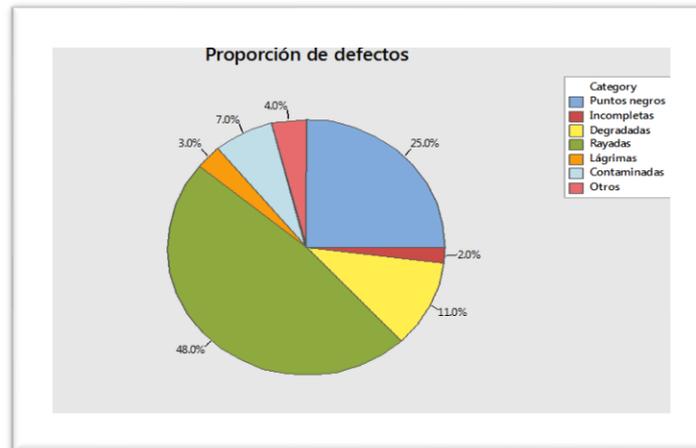


Figura 3 Definición y clasificación de defectos en partes moldeadas (Fuente propia)

Las características críticas (CTQ: Críticas para la Calidad, por sus siglas en inglés) en el producto que no son aceptadas por el cliente tanto interno como externo y son parte de los criterios de calidad son: piezas rayadas, puntos negros, contaminadas, degradadas, incompletas y burbujas. Ver Figura 3.

Adicionalmente, durante la fase de definición es necesario realizar un análisis financiero estipulando la situación actual y el objetivo que se pretende alcanzar. La variación del proceso que se está investigando en este proyecto, repercute directamente en desperdicio de piezas moldeadas produciendo principalmente piezas rayadas, por lo tanto, se debe especificar el monto monetario que se pretende reducir al concluir este proyecto. Las pérdidas anuales actuales son de \$157,000.00 dólares

3.2 ETAPA 2. MEDICIÓN

En esta etapa se desarrolló un mapa de proceso y un diagrama SIPOC (Proveedor, Entradas, Proceso, Salidas, Cliente, por sus siglas en inglés (Supplier, Input, Process, Output, Customer) para entender de manera visual, toda la secuencia de pasos en el proceso de moldeo e identificar cómo están establecidas actualmente las operaciones, así mismo, para poder determinar las variables críticas de entrada y su efecto en la variable de salida de cada operación, además de realizar la clasificación de las variables de entrada como: controlables, de proceso y de ruido, siendo las variables controlables las que tienen un rango numérico, las variables de proceso aquellas que son controladas a través de procedimientos y, por último, las de ruido que son ajenas al proceso pero que repercuten en el resultado.

El diagrama SIPOC se desarrolló con la intención de conocer el proceso actual del número de parte 6WP3047. Este diagrama que se muestra en la Figura 4 nos facilita comprender cómo se realiza el trabajo de moldear dicho número de parte, además, identificar cuáles son los proveedores que intervienen, dónde inicia y termina el proceso, identificar variables de entrada y salida, cuáles operaciones agregan o no valor y saber quién es el cliente.

En esta etapa se entiende y cuantifica mejor la magnitud del problema, además se demuestra que se tiene un sistema de medición adecuado [5] y el impacto que este tiene en la variación el proceso, buscando comprobar que el desperdicio generado en el área de moldeo no es causado por el sistema de medición, sino por un problema ajeno a este, es decir, validar que las piezas rechazadas, realmente eran piezas malas y las aceptadas, realmente eran piezas buenas.

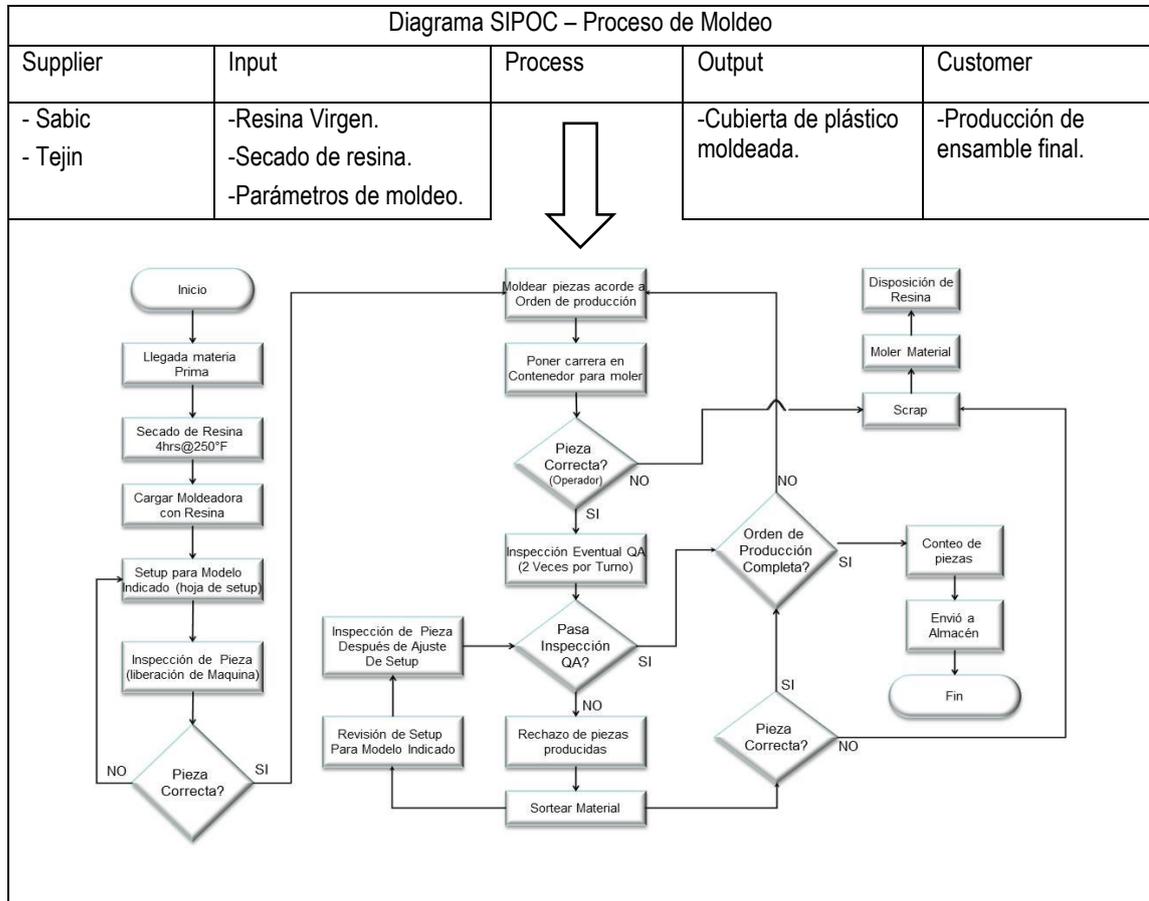


Figura 4 Diagrama SIPOC Proceso de Moldeo de la pieza 6WP3047

Se llevó a cabo un análisis del sistema de medición (MSA, por sus siglas en inglés) para asegurar que el sistema tiene baja variación debida a la repetitividad y reproducibilidad, eliminando de esta manera el impacto negativo a la variación del proceso causado por el sistema de medición. Debido a que la inspección del número de parte 6WP3047 se hace de manera visual, se realizó un R&R por atributos con 50 piezas, de las cuales 30 fueron piezas buenas y 20 fueron piezas malas. En este análisis R&R participó un operador, un inspector de calidad y un técnico de procesos de cada turno y el total de personas que realizaron el R&R fueron nueve, debido a que actualmente se trabajan tres turnos. La Tabla 2 muestra los resultados de congruencia de los R&R por atributos realizados. Es necesario mencionar que se llevaron a cabo tres diferentes evaluaciones de R&R: el primero se realizó en la forma en que se estaba efectuando en los tres turnos (tres inspectores por turno); en el segundo se les capacitó con el fin de mejorar la inspección y el método en cada uno de ellos; en el tercero se diseñó una plantilla para la identificación de los defectos logrando de esta manera una excelente congruencia.

Resultados antes y después de Capacitación					Después
Evaluador	Turno	Entre	Eval. vs Estándar	Entre después	Eval, vs Estándar
Jaime	1	70%	58%	100%	100%
Isabel	1	90%	86%	96%	96%
David	1	90%	88%	98%	98%
Raúl	2	86%	44%	96%	96%
Nava	2	72%	62%	98%	98%
Jorge	2	90%	74%	98%	98%
Víctor	3	80%	68%	98%	98%
Alan	3	94%	90%	98%	98%
Salvador	3	92%	74%	98%	98%

Tabla 2 Comparación de Congruencia de todos los Evaluadores Contra el Estándar

3.3 ETAPA 3. ANALIZAR

En esta etapa se llevó a cabo el análisis de la información recolectada del estado actual del proceso a través de diferentes herramientas para determinar las causas raíz potenciales de la variación del proceso en el área de moldeo, lo cual repercute en las piezas rayadas. De acuerdo a la experiencia del equipo, se desarrolló un diagrama de causa y efecto, encontrándose un total de 34 variables posibles causantes de piezas rayadas. Estas variables fueron evaluadas y ponderadas en una matriz de causa y efecto, la cual se muestra en la Tabla 3.

Matriz Causa y Efecto (XY)												
Proceso:		Moldeo										
Fecha:												
		Escala de calificación: 1- ninguno, 3- marginal, 9- mayor										
Variables de salida (Ys)	Descripción	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Piezas Rayadas	Puntos negros	Incompletas	Contaminadas	Degradadas					
VARIABLES DE ENTRADA (Xs)												
MEDICIÓN												
1	Inspección visual		9	9	3	9	3					222
2	Diferentes criterios		9	9	3	9	3					222
3	Falta de criterios		9	9	3	9	3					222
4	Falta de ayuda visual		9	9	3	9	3					222
5	No existe métrico		9	9	3	9	3					222
MATERIAL												
6	Manejo incorrecto mat.		3	1	1	3	3					62
7	Calidad de material		9	9	9	9	9					270
8	Material contaminado		3	9	3	9	3					162
9	Humedad en material		9	3	9	9	9					222
10	Degradado		9	3	1	1	9					142
11	T. permanencia en máquina		9	9	3	3	9					210
PERSONAL												
12	Entrenamiento		3	1	3	3	3					74
13	Experiencia		3	3	3	3	3					90
14	Rotación		9	3	3	1	3					142
15	Falta de compromiso		3	1	1	1	3					54
AMBIENTE												
16	Temp. ambiente		3	1	3	1	1					62
17	Humedad ambiental		3	1	3	1	1					62
18	Iluminación		1	1	1	1	1					30
METODO												
19	Diseño de molde		3	1	9	1	1					98
20	Carreras grandes		1	1	3	1	1					42
21	Material Caído		9	1	1	1	1					110
22	Ciclo semiautomático		3	1	1	1	1					50
23	Falta de procedimiento		3	3	3	3	3					90
MAQUINA												
24	Setup											0
25	Molde dañado		9	3	9	1	1					174
26	Mantenimiento		3	3	3	3	3					90
27	Temp. de molde		3	3	9	1	3					118
28	Presión de inyección		9	1	9	9	9					206
29	Velocidad de inyección		9	1	9	3	9					182
30	Tiempo de inyección		1	1	9	3	9					102
31	Tamaño de tiro		9	9	3	1	3					190
32	Temperatura nariz		9	1	9	3	9					182
33	Temperatura de zonas		9	1	9	3	9					182
34	Suck back		9	1	9	1	9					174
			201	121	153	125	143					4682

Tabla 3 Análisis de variables mediante la Matriz de Causa y Efecto (X-Y) (Fuente propia)

Una vez ponderadas las variables, el equipo acordó evaluar las primeras ocho de mayor puntuación esperando que dentro de estas variables se encuentren las principales causantes de la variación del proceso. La lista de las variables a validar se muestra en la Tabla 4. De las variables de la tabla se eligieron para análisis y su influencia sobre los defectos en las piezas las siguientes: Calidad del material, falta de criterio de los inspectores y el tiempo de permanencia del material en la máquina.

	Variables de Entrada (Xs)	Calificación
1	Calidad del material	270
2	Inspección visual	222
3	Diferentes criterios	222
4	Falta de criterios	222
5	Falta de ayuda visual	222
6	No existe métrico	222
7	Humedad en material	222
8	Tiempo de permanencia del material en la máquina	250

Tabla 4 Variables a analizar (Fuente propia)

Validación de la variable Calidad de Material

Actualmente en la planta se usan dos policarbonatos transparentes, que poseen las mismas propiedades mecánicas, pero que provienen de distintos proveedores, los cuales mantienen una competencia de precio entre ellos, y se obtienen resinas a bajo costo. El equipo de trabajo de moldeo considera que la resina RM88649 tiene mejores propiedades mecánicas y produce menos defectos que la resina RM88658. Para probar esta hipótesis, se realizó una prueba de proporciones requiriéndose la participación de ingeniería del proveedor de la resina RM88658. El experimento de comparación se realizó en una moldeadora diferente y con un número de parte diferente. Antes de realizar el experimento, se analizó el planteamiento en una junta previa, los puntos críticos de calidad, los objetivos, métricos a utilizar y actividades necesarias.

El experimento consistió en producir en los tres turnos (24 horas) con el número de resina RM88658 contabilizando los defectos. Después, producir con la resina RM88649 y de igual manera contabilizar los defectos. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 5.

TURNO	RESINA	PRODUCCION	DEFECTOS	PROPORCION
2	RM88658	1380	81	5.87%
3	RM88658	1683	62	3.68%
1	RM88658	2100	55	2.62%
2	RM88649	1594	84	5.27%
3	RM88649	1560	60	3.85%
1	RM88649	1800	17	0.94%
		RM88658	RM88649	
Producción		5163	4954	
Defectos		198	161	
% Defectos		3.83%	3.25%	

Tabla 5 Resultado de la proporción de defectos entre las resinas (Fuente propia)

La prueba para comparación de dos proporciones arrojó los siguientes resultados (Ver Tabla 6).

Muestra	x	N	Proporción muestral
1	198	5163	0.038350
2	161	4954	0.032499
Estimado para diferencia		0.00585081	
Intervalo de Confianza del 95%		(-0.00134787, 0.0130495)	
Prueba para diferencia = 0 (vs ≠ 0):		Z = 1.59	p-value = 0.111
Prueba exacta de Fisher:		p – value = 0.119	

Tabla 6 Resultados de la prueba de proporciones (Fuente propia)

La prueba demuestra que a un nivel de significancia del 0.05, la resina no tiene un impacto significativo sobre la aparición de los defectos en las piezas. Esto lo prueba el valor $p = 0.111 > \alpha = 0.05$ en la prueba de proporciones y el valor $p = 0.119$ en la prueba exacta de Fisher.

Aun y cuando estadísticamente se comprobó que el tipo de resina no tiene un impacto significativo, el equipo de trabajo quiso demostrar al proveedor de la resina la mala calidad de su producto poniendo en funcionamiento una máquina moldeadora diferente que frecuentemente produce piezas de mala calidad y se le atribuye a la pobre calidad de la resina.

La falla se pudo reproducir, obteniéndose piezas con degradación; sin embargo, el Ingeniero del proveedor ajustó parámetros de la máquina moldeadora y corrigió el problema, pero después de un tiempo de producción el problema de degradación se volvió a presentar. Por segunda ocasión, el Ingeniero del proveedor ajustó parámetros de la máquina moldeadora y eliminó el problema, pero nuevamente varió el proceso después de un tiempo de producción y se obtuvieron piezas de mala calidad.

Debido a la situación, el Ingeniero del proveedor requirió quitar el tornillo y realizar una revisión exhaustiva de los componentes. La Figura 4 muestra a los técnicos durante la revisión del mismo. Lo que se encontró fue que la válvula *check* estaba floja y lo más

significativo y que provocaba el daño de las piezas moldeadas, es que el adaptador estaba dañado. La Figura 5 muestra el adaptador dañado y un adaptador nuevo con el propósito de comparativo y visualizar la magnitud del daño de la pieza. Una vez reemplazado el adaptador por una pieza en buenas condiciones, el problema de piezas degradadas no se presentó más, esto comprueba que el tipo de resina no es una variable significativa, ya que en el caso de las piezas degradadas, fue a causa de un mal estado de la moldeadora.



Figura 4 Técnicos revisando el tornillo



Figura 5 Comparativo del adaptador dañado y uno nuevo (Fuente propia)

3.4 ETAPA 4. MEJORA

Una vez determinadas en el análisis las fuentes de variación como las moldeadoras y el estado del adaptador, además de la significancia de las resinas a un 89%, en esta etapa de mejora se validan las variables consideradas en la Tabla 4, esto con el fin de incluir algunas de ellas en un Diseño de Experimentos (DOE), buscando determinar cuál es la mejor combinación de los factores que reducen o eliminan la variación en el número de defectos. Recordemos que los defectos en las piezas son: piezas rayadas, puntos negros, contaminadas, degradadas, incompletas y burbujas.

Validación de la Variable de Criterios de Calidad

De acuerdo con la prueba R & R por atributos la falta y el manejo incorrecto de los criterios de calidad es una variable que contribuyó al desperdicio de piezas moldeadas por no tener definido el criterio de aceptación o rechazo.

Para validar estadísticamente esto, se comparó la cantidad de defectos producidos en los tres turnos, esperando encontrar una cantidad similar entre ellos, si es que los criterios estuvieran claros para todo el personal; de lo contrario, es un indicador de la falta de comprensión de los criterios de evaluación de los defectos en las piezas.

Los datos considerados para el análisis fueron del primer, segundo y tercer turno del periodo de junio a octubre. Con la intención de identificar si la herramienta estadística a utilizar debe ser paramétrica o no paramétrica, se analizó la normalidad de los datos con una prueba de Anderson Darling a para validar las hipótesis resultando un AD = 1.926 y un valor $p = 0.005$ indicando que los datos no son normales. Debido a esto se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis para validar la igualdad de las medianas entre las tres poblaciones. Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis se muestran en la Tabla 7.

Prueba de Kruskal-Wallis: Defectos vs Turno				
Turno	N	Mediana	Rango Promedio	Z
Turno 1	73	22	133	2.27
Turno 2	80	4	81.6	-5.90
Turno 3	82	25	140.1	3.65
Total	235		118.0	
H = 35.19	Grados de libertad = 2		p = 0.000	
H = 35.26	Grados de libertad = 2		p = 0.000 (Ajustado para empates)	

Tabla 7 Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para igualdad de medianas

Esto demuestra que, de acuerdo a la cantidad de defectos reportados, al menos uno de los tres turnos es diferente, lo que confirma que al menos uno de los tres turnos no tiene claro los criterios de aceptación y rechazo, y, por lo tanto, esta es una variable crítica la cual se debe mejorar y controlar.

Validación de la Variable Humedad de Material

El policarbonato transparente utilizado para moldear el número de parte 6WP3047 requiere por especificación de proveedor un tiempo de secado de cuatro horas a una temperatura de 250°F. Primeramente se verificó que la resina cumple con el tiempo de secado con el secador actual. Para esto, se consideró la siguiente información: la capacidad del secador es de 150 libras, el peso de las piezas considerando la colada es de 0.91346 libras y el tiempo de ciclo es de 36 segundos, lo que indica que en una hora se producen 100 ciclos (3600 segundos/36 segundos) y si en cada ciclo se consume 0.91346 libras, entonces en una hora se consume 91.346 libras, por lo tanto las 150 libras de resina del secador se consumen en 1.64 horas, lo que indica que el secador no es el adecuado para secar la resina por el periodo de cuatro horas.

Se colocó un segundo secador con capacidad de 200 libras en paralelo para incrementar el tiempo de secado de resina, la cual entra primero al secador de 200 libras, luego al secador de 150 libras y finalmente se suministra a la máquina moldeadora. El arreglo incrementó el tiempo de secado a 3.8315 horas.

Validación de la Variable Distancia de Descompresión

Esta variable no fue listada como una de las principales causas de la generación de piezas rayadas, sin embargo el proveedor de resina recomendó la verificación del parámetro de distancia de descompresión, indicando que el valor de 0.45 predeterminado y fijo en la moldeadora, era muy alto. Este parámetro se usa en la parte final del ciclo de moldeo y debe ser la mínima necesaria para evitar escurrimiento de material por la nariz. Una excesiva descompresión puede provocar que se absorba aire que pudiera manifestarse en el próximo ciclo de inyección como defecto de piezas rayadas.

Para validar la contribución de este parámetro de distancia de descompresión en el efecto de piezas rayadas, se realizó un análisis por regresión lineal, realizando decrementos de 0.05 al valor original de 0.45 hasta llegar al valor de 0.25. En cada ajuste del parámetro, se produjo piezas por un ciclo de 30 minutos y se contabilizaron los defectos por piezas rayadas. Los resultados del análisis de regresión lineal se muestran enseguida:

La ecuación de regresión es:

$$\text{Defectos} = - 11.70 + 50.00 \text{ Distancia de Descompresión}$$

S = 1.19722 R-Sq = 93.6% R-Sq (Adj) = 91.4%

Enseguida se muestra la Tabla de Análisis de Varianza.

Tabla de Análisis de Varianza

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F	Valor p
Regresión	1	62.5	62.5	43.6	0.007
Error	3	4.3	1.433		
Total	4	66.8			

El valor p = 0.07 demuestra la relación existente entre los defectos de piezas rayadas y la distancia de descompresión.

Validación de la Variable Tiempo de Permanencia del Material en la Máquina

El tiempo de permanencia del material en la máquina, se refiere al tiempo que la resina reside en el cañón de la moldeadora antes de ser inyectada y el equipo considera que entre mayor sea el tiempo de residencia del material en la moldeadora se producen más defectos.

El inicio del ciclo de la moldeadora donde se produce el número de parte bajo estudio 6WP3047, está influenciado directamente por el operador por ser este un ciclo semiautomático, esto porque una vez que la moldeadora completa su ciclo, el operador abre la puerta y retira manualmente las piezas moldeadas y el nuevo ciclo inicia cuando el operador cierra la puerta, así, entre más tiempo tarde el operador en retirar las piezas mayor será el tiempo de residencia del material en la moldeadora.

El análisis del tiempo de permanencia se realizó en conjunto con el parámetro de distancia de descompresión verificando si existe correlación entre ellos. El tiempo de residencia del material en la moldeadora se controló con el tiempo que el operador tarda en cerrar la puerta y se manejaron intervalos de 15, 30, 45 y 60 segundos. Primeramente se fijó el parámetro de distancia de descompresión en 0.25 y se produjeron 10 ciclos con cada uno de los intervalos mencionados. El resultado fundamental de esta prueba fue un $R^2 = 0$, indicando que no existe correlación entre ambos parámetros.

La segunda parte de la prueba consistió en realizar el mismo análisis de regresión lineal cambiando el parámetro de distancia de descompresión a 0.45. Los resultados del análisis de regresión lineal del tiempo de activación de ciclo y la cantidad de defectos de piezas rayadas se muestran enseguida:

La ecuación de regresión es:

Defectos = $-4.500 + 0.2533$ Tiempo de ciclo (a una distancia de descompresión de 0.45)

S = 1.70294 R-Sq = 92.6% R-Sq(Adj) = 88.8% .

Este resultado muestra un excelente ajuste de la línea de regresión a los datos explicando aproximadamente el 92.6% de la variación.

Enseguida se muestra la Tabla de Análisis de Varianzas.

Tabla de Análisis de Varianzas

Fuente	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	F de Fisher	Valor p
Regresión	1	72.2	72.2	24.9	0.038
Error	2	5.8	2.9		
Total	3	78.0			

La tabla siguiente muestra el resumen de los análisis de regresión, los cuales demuestran que existe una relación entre los defectos, la distancia de descompresión y el tiempo de ciclo, por lo cual, son factores a considerar para un análisis conjunto de ambas variables.

Tabla resumen de los análisis de regresión

Regresión	Valor p	R ²	Ecuación de Regresión
Defectos con distancia descompresión	0.007	93.6%	Defectos = - 11.70 + 50.00 Distancia de Descompresión
Defectos con tiempo de ciclo	0.038	92.6%	Defectos = -4.500 + 0.2533 Tiempo de ciclo

Es importante observar que entre menor sea el valor de ambos parámetros, la cantidad de defectos será menor. Para validar lo antes expuesto se realizó un Diseño de Experimentos donde se manipularon de manera controlada la distancia de descompresión y el tiempo de activación de ciclo, buscando los niveles óptimos para la reducción de las piezas rayadas. Al final, se realizó una corrida de confirmación para constatar que los niveles determinados son realmente los óptimos para la reducción de los defectos (piezas rayadas).

Diseño de Experimentos

El diseño experimental consistió en dos factores y cuatro niveles. El primer factor considerado fue la distancia de descompresión, ya que, de acuerdo con el análisis de la regresión lineal de la validación de la variable de distancia de descompresión, es un parámetro estadísticamente significativo. Los valores de los cuatro niveles de la distancia de descompresión recomendados son 0.25, 0.35, 0.45 y 0.50. El valor establecido en la hoja de configuración del moldeador es 0.45, sin embargo, se decidió usarlo hasta 0.50 para verificar el efecto que tiene sobre la respuesta. La ecuación de regresión entre los defectos y la distancia de descompresión está dada por

$$\text{Defectos} = - 11.70 + 50.00 \text{ Distancia de Descompresión}$$

con un *valor p* de 0.007 y un $R^2 = 93.6\%$. El resultado muestra la significancia (influencia) de la distancia de descompresión sobre la variable de respuesta (Defectos en las piezas) y el excelente ajuste de la regresión ajustada.

El segundo factor considerado es el tiempo de activación de ciclo ya que en la validación se demostró que era estadísticamente significativo. Los niveles para este factor son 30, 45, 60, y 75 segundos. Así, se trabajó con un diseño factorial completo 4^2 con dos replicas. La Tabla 5 muestra el diseño aleatorizado.

StdOrder	RunOrder	PrType	Blocks	Distancia de Descompresión	Tiempo de Activación de Ciclo	Defectos
7	1	1	1	0.35	60	0
18	2	1	1	0.25	45	0
4	3	1	1	0.25	75	0
22	4	1	1	0.35	45	2
1	5	1	1	0.25	30	0
12	6	1	1	0.45	75	2
13	7	1	1	0.50	30	1
17	8	1	1	0.25	30	0
28	9	1	1	0.45	75	2
31	10	1	1	0.50	60	6
10	11	1	1	0.45	45	4
33	12	1	1	0.35	60	2
5	13	1	1	0.35	30	0
15	14	1	1	0.50	60	8
21	15	1	1	0.35	30	0
30	16	1	1	0.50	45	4
8	17	1	1	0.35	75	1
20	18	1	1	0.25	75	0
6	19	1	1	0.35	45	0
27	20	1	1	0.45	60	0
26	21	1	1	0.45	45	2
9	22	1	1	0.45	30	2
24	23	1	1	0.35	75	1
2	24	1	1	0.25	45	0
14	25	1	1	0.50	45	2
32	26	1	1	0.50	75	19
3	27	1	1	0.25	60	0
25	28	1	1	0.45	30	2
11	29	1	1	0.45	60	0
29	30	1	1	0.50	30	6
19	31	1	1	0.25	60	0
16	32	1	1	0.50	75	16

Tabla 5 Secuencia y Parámetros del Diseño de Experimentos (Fuente propia)

En cada una de las 32 corridas se ajustaron los parámetros de distancia de descompresión y el tiempo de activación de ciclo conforme a los valores listados en las columnas Distancia de Descompresión y Tiempo de Activación de Ciclo de la Tabla 5.

Para lograr que la máquina moldeadora se estabilizara, se ajustaba el parámetro de distancia de descompresión a la corrida que se iba a evaluar y se producían diez ciclos de manera regular, es decir, el operador no manipulaba el tiempo de ciclo. Inmediatamente después se produjeron otros diez ciclos pero ahora considerando el tiempo de activación del ciclo y dado que el molde es de cuatro

cavidades, se obtuvo un total de 40 piezas por corrida. En esas 40 piezas de cada corrida, se contabilizó los defectos de piezas rayadas y se anotó en la columna Defectos de la Tabla 5. Esta secuencia se repitió en los 32 ciclos, es decir, que se utilizó un total de 1280 piezas para el experimento y otras 1280 piezas para estabilizar la máquina moldeadora.

Los resultados gráficos para los efectos principales muestran que, a medida que aumenta el valor de los parámetros de distancia de descompresión y el tiempo de activación del ciclo, aumentan los defectos de las partes rayadas, es decir, que la condición óptima es usar el valor del parámetro de descompresión en 0.25 y el tiempo de ciclo de activación de 30 o menos. (Ver Figura 6).

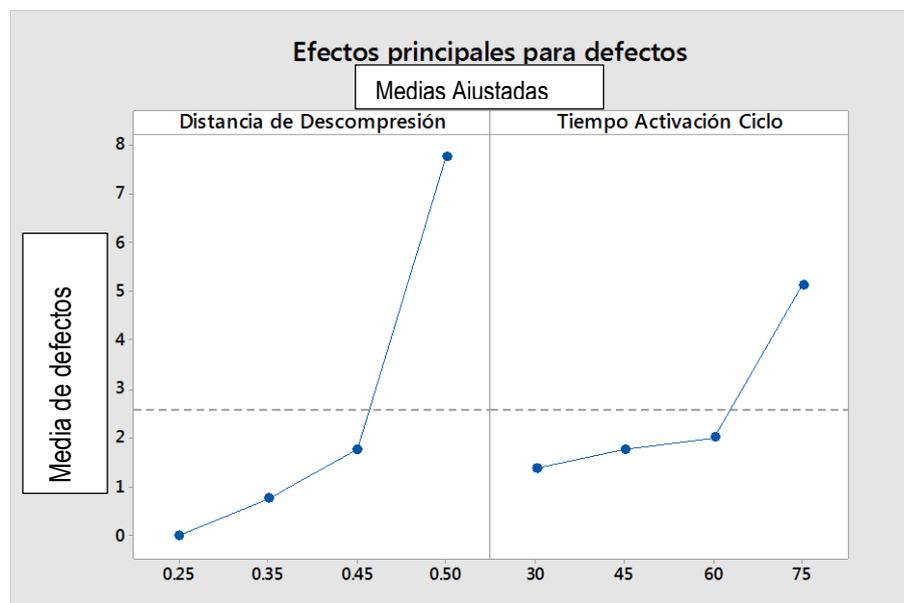


Figura 6 Gráfica de Efectos Principales (Distancia de Descompresión y Tiempo de Activación de Ciclo VS Defectos) (Fuente propia)

Los resultados del análisis del diseño experimental se muestran en la tabla siguiente:

Fuente	GL	SS Ajustada	MS Ajustada	F	Valor p
Modelo	15	582.87	38.858	23.03	0.000
Lineal	6	371.00	61.833	36.64	0.000
A: Distancia de descompresión	3	299.37	99.792	59.14	0.000
B: Tiempo de activación de ciclo	3	71.63	23.875	14.15	0.000
Interacción	9	211.88	23.5432	13.95	0.000
Interacción AB	9	211.88	23.542	13.95	0.000
Error	16	27.00	1.687		
Total	31	609.87			

Tabla 6 Análisis de Varianza del diseño experimental (fuente propia)

El resumen del modelo enseguida muestra el ajuste del diseño experimental (Coeficiente de determinación $R^2 = 95.57\%$ y R^2 ajustado del 91%)

	<p>REDUCCIÓN DE LA VARIACIÓN EN UN PROCESO DE MOLDEO DE PARTES A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA 6 SIGMA</p>	<p>ORGANIZACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS</p>
<p>ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN</p>	<p>Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, José Guadalupe Terrones Lucero, Eduardo Rafael Poblano-Ojinaga, Luz Elena Terrazas Mata</p>	<p>Aseguramiento y Control Estadísticos de Calidad</p>

Resumen del modelo

S R-sq R-sq(adj) R-sq(pred)
1.29904 95.57% 91.42% 82.29%

El análisis de varianza muestra que ambos factores y su interacción son significantes (Valores $p = 0.000$). La gráfica de los factores principales muestra que los niveles recomendados de los factores para disminuir los defectos de piezas rayadas son: Tiempo de descompresión = 0.25 y tiempo de activación de ciclo = 30 segundos. La Tabla de Análisis de Varianzas muestra que, la distancia de descompresión, el tiempo de activación de ciclo y la interacción entre ambos muestran valores $p = 0.000$, lo que demuestra la significancia de los factores y su interacción sobre los defectos en las piezas. Ver Fase 4 en Tabla 7.

Corrida de Confirmación

Se realizó una corrida de confirmación estableciendo el parámetro de distancia de descompresión en 0.25 y se aseguró que el tiempo de activación del ciclo no fuera mayor a 30 segundos en un período de cinco horas, lo que representó una producción de 2000 piezas y no se encontró un solo defecto de piezas ralladas.

3.5 CONTROL

En esta última fase de la metodología DMAIC, se buscó la manera de mantener y documentar las mejoras logradas de las fases previas para asegurar que el proceso sea estable y así reducir o eliminar el defecto de piezas ralladas y otros defectos antes mencionados.

En esta fase, las mejoras realizadas se documentarán y supervisarán con el fin de mantenerlas a lo largo del tiempo y garantizar que cada vez que se produzca el número de pieza 3047, esté en las condiciones óptimas del proceso.

Hoja de Configuración de Parámetros

La hoja de configuración de parámetros de la máquina moldeadora, contiene todos los parámetros y valores con los que funciona la moldeadora actualmente. Esta hoja se encuentra permanentemente en la máquina moldeadora. La última actualización de la hoja de parámetros es del 21 de octubre del 2019, por lo tanto se escribió una nueva hoja de parámetros especificando el nuevo valor de la distancia de descompresión de 0.25 y se explicó a los técnicos de los tres turnos la razón de la nueva hoja de configuración de parámetros.

Cambio de Ingeniería

La compañía donde se realiza la investigación tiene un sistema para cambios de ingeniería, el cual es administrado por ingeniería pero es utilizado por todos los departamentos de la empresa. Cualquier cambio debe ser a través de un cambio de ingeniería el cual es aprobado por varias personas en un flujo electrónico. El área de producción verifica la opción de cambio para saber si existen notas especiales de un determinado producto de la compañía.

Para documentar el valor del parámetro de distancia de descompresión de 0.25, se creó el cambio de ingeniería ECO018793 en el número de parte 6WP3047 que es necesario tener un valor de 0.25 en el parámetro de distancia de descompresión.

Gráfico del número de partes defectuosas np

Se generarán gráficos estadísticos con límites de control que permitan visualizar de una manera gráfica y eficiente la condición del proceso para monitorear y asegurar que se mantiene estable a través del tiempo. Se desarrollará un plan de entrenamiento para que los usuarios de los gráficos identifiquen las actividades a realizar, en caso de ser necesario, si el proceso tiende a salirse de control.

El defecto de pieza rayada es una característica cualitativa, es decir que es una característica no cuantificable, por tal razón se implementó un gráfico de control de proceso por atributos np. El gráfico np es llevado por los tres turnos y se tomarán muestras en subgrupos de 8 piezas cada hora y los límites superior e inferior serán calculados en base a más menos tres desviaciones estándar.

El gráfico será posteoado en la máquina moldeadora número 81 y será responsabilidad de calidad actualizarlo cada hora. Las muestras se tomarán de los dos últimos ciclos de producción.

Se actualizarán las acciones en el FMEA para registrar los niveles de los factores significativos y así reducir la ocurrencia recalculando los RPN los cuales deberán de disminuir. De igual manera se actualizará el control plan para reflejar los cambios registrados en el FMEA. Ver Fase de Control en Tabla 7.

4. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El área de moldeo maneja una gran diversidad de parámetros. Durante esta investigación se encontró que son tres factores principales que causan la variación del proceso y como consecuencia propicia defectos y desperdicio. Los tres factores fueron el Sistema de Medición, la Distancia de descompresión y el tiempo de activación de ciclo o tiempo del material en la máquina. Ver Fase 1 en la Tabla 7.

Sistema de medición. El sistema de medición fue uno de los principales contribuyentes a la generación de desperdicio debido a que no existía un criterio definido y estandarizado de lo que es aceptable o no para el cliente y se estaba tirando material que estaba en buenas condiciones y existen dos evidencias contundentes acerca de la falta o mala interpretación de los criterios. La primera es el sistema de medición R&R por atributos que tuvo un resultado total de 22% cuando lo mínimo aceptado como bueno es 80%. Después de un entrenamiento masivo se aplicó un segundo gage R&R donde se incrementó el resultado a un 32% hasta que finalmente se diseñó una filmína para inspección y se logró obtener un 80%. Ver Fase 2 en Tabla 7.

Distancia de descompresión. El análisis de regresión lineal comprobó que un valor alto del parámetro de distancia de descompresión provoca el defecto de piezas rayadas. El proveedor recomienda que este valor sea lo menor posible, por lo tanto, al realizar decrementos de 0.05 in, se encontró que el óptimo es 0.25 donde no se generan piezas ralladas. Ver Fase 3 en Tabla 7.

Tiempo de activación de ciclo. El ciclo total está influenciado por el operador por ser este un ciclo semiautomático, es decir, que el operador tiene que abrir la puerta de la moldeadora para retirar las piezas. Si el operador tarda más tiempo de lo habitual, el tiempo de ciclo será más largo y provocará variación en el proceso por no ser un tiempo estandarizado. El tiempo que el operador tarda en cerrar la puerta para iniciar un nuevo ciclo de la máquina moldeadora, es sumamente crítico y tiene una correlación muy alta con el parámetro de distancia de descompresión, es decir, que un tiempo de activación de ciclo alto y un valor de distancia de descompresión alto, tenderá a generar el defecto de piezas rayadas. El valor óptimo de activación de ciclo debe ser 30 segundos o menos para evitar piezas ralladas. Ver Fase 3 en Tabla 7.

El proyecto redujo considerablemente las piezas rayadas y los diferentes defectos en las piezas, al mismo tiempo que se mejoraron áreas de mantenimiento (reemplazo de dispositivos) y de los sistemas de medición. Los ahorros generados a la empresa fueron superiores a \$250,000 dólares y, el personal encargado del área fue promovido a mejores posiciones.

	Fases	Actividad	Salida
Fase 1 Definir	Definición y delimitación del problema, objetivos, hipótesis y formación de equipo multidisciplinario.	Determinar el área de mayores problemas en función del desperdicio (\$).	Los defectos en las piezas, principalmente las piezas rayadas, es considerada la variable dependiente y el número de parte RM88658, el mayor contribuyente.
	Identificación de características críticas de calidad (CTQ's).	Las Características Críticas para la Calidad (CTQ) fueron las piezas rayadas, los puntos negros, piezas degradadas, entre otras.	
	Análisis financiero.	Los costos de desperdicio eran > \$200,000 Dls.	
Fase 2	Entender el proceso, validar	Elaborar un mapeo del proceso	Se encontró que en la

Medir	el sistema de medición e identificar las posibles causas de los defectos.	de moldeo (SIPOC), una matriz X-Y y un R&R por atributos.	determinación de los defectos en las piezas no había congruencia entre los inspectores. Se determinaron las variables calidad del material, criterios diferentes de inspección, tiempo de permanencia del material en la máquina.
	Determinar la capacidad del proceso.	Determinación de los PPM's, siendo estos mayores a 40,000.	
Fase 3 Analizar	Identificar la fuente de variación en el proceso.	Lluvia de ideas, FMEA, estadístico de diferencia de proporciones y Chi cuadrada.	Se determinó que las variables a analizar fueron la distancia de descompresión, la permanencia del material en la máquina, validando mediante experimentación la calidad del material. Se determinó un tiempo de revisión del adaptador que dañaba las piezas. Se determinó la calidad de la resina desde el punto de vista de la humedad contenida y la capacidad del secador.
Fase 4 Mejorar	Determinar la correlación existente entre las variables independientes y dependiente	DOE factorial completo 4 ² con las variables distancia de descompresión y el tiempo de activación de ciclo del material en la máquina, ambos en cuatro niveles.	Se elaboraron 40 piezas por corrida, es decir, 1280 piezas totales. Los resultados del diseño fueron distancia de descompresión de 0.25 y el tiempo de activación de ciclo < 30 seg.
	Corrida de validación y determinar nueva capacidad de proceso.	DOE con los valores óptimos de los factores. Determinación de PPM's.	Se obtuvo un proceso con un 0.5% de rechazos.
Fase 5 Controlar	Establecer medidas de control del proceso para asegurar que las mejoras se mantengan.	Implementar gráficos de control estadístico, registrar los factores y niveles óptimos en el sistema de producción y actualizar FMEA.	Asegurar que cada vez que se produzca el número de parte bajo investigación, sea en las condiciones óptimas del proceso.
	Conclusiones y recomendaciones	Sumario ejecutivo y validación financiera.	Tomar este proyecto de referencia para extender la implementación de la metodología de seis sigma en otros números de parte.

Tabla 7 Resultados de las Fases de la Metodología Six Sigma

	<p>REDUCCIÓN DE LA VARIACIÓN EN UN PROCESO DE MOLDEO DE PARTES A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA 6 SIGMA</p>	<p>ORGANIZACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS</p>
<p>ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN</p>	<p>Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, José Guadalupe Terrones Lucero, Eduardo Rafael Poblano-Ojinaga, Luz Elena Terrazas Mata</p>	<p>Aseguramiento y Control Estadísticos de Calidad</p>

Conclusiones y Recomendaciones

Con esta investigación se proporcionó una gran contribución al área de moldeo, sin embargo, aún se pueden realizar mejoras que tendrían un impacto significativo y financiero para la compañía lo cual le ayudará a mantener precios bajos y ser competitivo en el mercado.

La resina utilizada en el número de parte bajo estudio 6WP3047, es una resina policarbonato transparente con número de parte RM88649 que se utiliza en otros 13 números, por lo tanto se puede aplicar la misma metodología y técnica para la reducción de defectos.

Definir criterios de calidad para otros números de parte. La compañía bajo estudio moldea alrededor de 500 números de parte diferente y no existe procedimientos de los criterios de calidad para aceptar o rechazar piezas por medio de atributos (para datos continuos se especifica en los planos del producto), por lo tanto se recomienda trabajar en conjunto con el departamento de mercadotecnia por ser ellos el contacto directo con el cliente, para definir los criterios de otros números de parte. Una vez que los criterios estén definidos, sería indispensable aplicar un *gage R&R* para asegurar que el personal comprendió los criterios establecidos.

Los técnicos del área de moldeo tienen experiencia y muchos años trabajando en esa área, sin embargo, se considera necesario entrenamiento para detalles finos y entender la función de algunos parámetros como lo es la distancia de descompresión. Además, se requiere entrenamiento para la aplicación del *gage R&R* ya que ninguna persona de moldeo de ninguno de los tres turnos sabe el proceso y la aplicación del mismo.

REFERENCIAS

- [1] Juárez-David, Balart, R., Peydró, M.A., & Ferrandiz, S. (2013). Estudio y análisis del moldeo por inyección de materiales poliméricos 320 termoplásticos. *3Ciencias*. 1-14
- [2] Beltrán, M. & Marcilla, A. (2014). *Tecnología de los Polímeros*. Madrid: Editorial Universidad de Alicante. ISBN 978-84-9717-232-5
- [3] Andino Núñez, D., Paucar Samaniego, M. A. (2009) Diseño, modelación, simulación y construcción de molde para tapas de cilindros de gas de uso doméstico por inyección plástica. (Tesis inédita de maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica.
- [4] Ramírez, R. F., Lozano, J. T., (2013). Identificación de los parámetros de un equipo de moldeo por inyección que permita mejorar la calidad del producto. *Avances de Investigación en Ingeniería en el Estado de Sonora*. 42-47.
- [5] Laboratorio de Investigación Avanzada en Materiales Poliméricos LARPM (2012). *Propiedades mecánicas, térmicas y morfológicas, Reciclado de policarbonato / Mezcla de nano compuestos*. 2012-2124. DOI: <https://doi.org/10.1002/pc.22342>
- [6] Álvarez Castillo, S. (2007). Caracterización y aprovechamiento de residuos de las empresas Primex (PVC) y BASF (ABS): Aplicación en 329 mezclas plásticas. (Tesis inédita de maestría). Instituto Politécnico Nacional.
- [7] Montgomery, D. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons. 7th. Ed. ISBN 978-1-118-14681-1.
- [8] Murillo-Rojas, Lidia (2007), Análisis estadístico para el establecimiento de un control preventivo de procesos en el área de moldeo y creación de curvas de secado diferentes resinas termoplásticas Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales.
- [9] Álvarez Castillo, S. (2007). Caracterización y aprovechamiento de residuos de las empresas Primex (PVC) y BASF (ABS): Aplicación en 335 mezclas plásticas. (Tesis inédita de maestría). Instituto Politécnico Nacional.
- [10] Reyes, N. & Pactong, R. (2009). Auditoría de gestión a una empresa industrial para evitar las pérdidas por los desechos y desperdicios del 338 plástico.
- [11] Gutiérrez Pulido, H. y de la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. Tercera edición. Editorial McGraw-Hill / 340 INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V. ISBN: 978-607-15-0929-7. México, D.F.
- [12] Ocampo, J. R., Pavón, A. E. (2012). Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim. 342 LACCEI'2012.
- [13] Ilzarbe, L., Tanco, M., Viles, E., Alvarez, M. (2007). El diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos. Aplicación de la metodología al caso de una catapulta. *Red de Revistas Científicas de América y Latina y el Caribe, España y Portugal*. 10(20), 127- 345 138.
- [14] Ortiz, E. G., Anaya, E. C., Ortiz, S. G., Sanchez, P. P., (2013). Propuesta para la determinación de Parámetros Críticos para la Mejora y Control en un Proceso de Moldeo por Inyección. www.irsitio.com/refbase/90_ortizEspinoza_et al2013, Universidad de Sonora, 53-58.
- [15] Poblano-Ojinaga, E., Sanchez-Leal, J., Rodríguez-Medina, M., Valles-Chaves, A., Gonzalez-Torres, A. (2019) OPTIMIZATION OF THE 349 RESISTANCE OF EPS PARTS FOR PACKAGING TELEVISION THROUGH DESIG OF EXPERIMENTS. *DYNA Management*, 7(1) [11p.]. 350 DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/MN9341>