



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Reducción de partes defectuosas fabricadas a base de resina fenólica moldeadas por inyección durante el proceso de acabado "shot-blasting"

Reduction of defective injection molded phenolic resin -based during the "shot-blasting" finishing process.

Arguelles-Ojeda, J.L.*, Pineda-Rico, Z.

Ingeniería Mecánica Administrativa. Coordinación Académica Región Altiplano, Carr. Cedral Km. 5+600, CP 78700, Matehuala, S.L.P.
luis.arguelles@uaslp.mx; zaira.pineda@uaslp.mx

Innovación tecnológica: Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) y de la Excelencia Operacional (OPEX) a procesos de moldeo por inyección de plástico.

Área de aplicación industrial: Calidad, procesos de manufactura, moldeo por inyección de plástico.

Recibido: 30 marzo 2022

Aceptado: 01 diciembre 2022

Abstract

Phenol formaldehyde resins are synthetic polymers obtained by the reaction of phenol or substituted phenol with formaldehyde and have been used constantly in the plastics industry since the early 20th century. They are used for the production of molded products, mainly in the manufacture of circuit boards, electrical components and motors. One of the most common problems in the plastic injection molding industry is the economic loss due to product failures during manufacture, coupled with the ecological problem represented by the huge amounts of scrap generated by non-conforming products.

The methodologies of Surface Response (MSR) and Operational Excellence (OPEX) are used in the present work to seek to reduce the defective parts per million (PPM) that occur in the manufacturing lines of the E series half shell component a product used to cover electrical switches. Defects range from scratches or cracks to broken parts, which must be reworked or thrown away.

The OPEX methodology, seeks to find the root cause that is causing the half shell to crack, fissure or break. The experimentation is carried out using the Response Surface Methodology (RSM), a methodology that has proven its effectiveness in optimizing processes by choosing the most significant factors that directly affect the response of the experiment and allows the number of tests be kept to a generating significant savings in resources.

In this way, the process map, the functional diagrams and the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) are carried out to find that the root cause of the defects is the shot blasting process to which the piece is subjected. Once the process and its factors (Machine speed, process time and quantity of pieces) have been analyzed, the MSR is applied to these factors, resulting in the process time being the most significant factor for the generation of defects. Using the same methodology, the optimal combination of factors is reached, setting the machine speed at 15 rpm, the process time at 1 minute and the number of pieces at 56, factors that were previously chosen at random. By implementing this combination, up to 90% of the defect production is eliminated, saving \$150,000 USD.

Keywords: RSM, OPEX, defect reduction, phenolic resin.

Resumen

Las resinas de fenol formaldehído son polímeros sintéticos obtenidos por la reacción de fenol o fenol sustituido con formaldehído y se vienen utilizando de forma constante en la industria de los plásticos desde principios del siglo XX. Se utilizan para la producción de productos moldeados, principalmente en la fabricación de placas de circuitos, componentes eléctricos y motores. Uno de los problemas más comunes en la industria de la inyección de plástico es la pérdida económica debido a fallas en el producto durante su fabricación, aunado al problema ecológico que representan las enormes cantidades de *scrap* que se generan por producto no conforme.

Las metodologías de Superficie de Respuesta (MSR) y la de Excelencia Operacional (OPEX), son utilizadas en el presente trabajo para buscar reducir las partes por millón defectuosas (PPM) que se presentan en las líneas de fabricación del componente *half shell* de la serie E, producto que sirve para cubrir interruptores eléctricos. Los defectos incluyen desde ralladuras o fisuras hasta piezas rotas, que se deben retrabajar, reprocesar o tirar.

Por medio de la metodología OPEX se busca encontrar la causa raíz que está generando que la *half Shell* se ralle, se fisure o se rompa. La experimentación se realiza mediante la Metodología de superficie de Respuesta (MSR), una metodología que ha comprobado su eficacia para optimizar procesos por medio de la elección de los factores más significativos que afectan directamente a la respuesta del experimento y permite que el número de pruebas sea el mínimo generando un importante ahorro en los recursos.

De esta manera, se realizan el mapa de procesos, los diagramas de funciones, y el Análisis del Modo y Efectos de las Fallas (AMEF) para encontrar que la causa raíz de los defectos es el proceso de granallado al que se somete la pieza. Una vez que se analiza dicho proceso y sus factores (Velocidad de máquina, tiempo de proceso y cantidad de piezas), se procede a aplicar la MSR en los mencionados factores, dando como resultado que el tiempo de proceso es el factor más significativo para la generación de los defectos. Por medio de la misma metodología se llega a la combinación de los factores, fijando la velocidad de máquina en 15 rpm, el tiempo de proceso en 1 minuto y la cantidad de piezas en 56, factores que anteriormente se elegían al azar. Por medio de la implementación de esta combinación, se elimina hasta el 90% de producción de defectos, ahorrando un estimado de 150,000 USD.

Palabras clave: MSR, OPEX, reducción de defectos, resina fenólica.

I. Introducción

En la actualidad cada día es más evidente el daño medio ambiental que se está causando a el planeta debido a la contaminación por residuos plásticos, una cantidad de 8.3 mil millones de toneladas de residuos plásticos fueron producidas desde la década de 1950; de esa cantidad solo el 9% de esa cantidad han sido reciclados [1-8].

Las resinas termoestables de fenol formaldehído se utilizan de forma común para la producción de productos moldeados por inyección de plástico, principalmente en la fabricación de placas de circuitos, cubiertas de componentes eléctricos y motores. Son altamente resistentes a cualquier tipo de tratamiento para ser degradadas, lo que las hace difíciles de reciclar, constituyendo un problema que trae consecuencias graves de contaminación y de salud [9,10].

Una de las formas de evitar los altos niveles de *scrap* o retrabajos en los procesos de moldeo por inyección, es lograr que la pieza sea fabricada con las especificaciones de diseño y calidad a la primera corrida de producción y así mismo incrementar la productividad implementando alguna metodología de vanguardia con resultados

comprobados [11-15]. Es por eso que, en el presente trabajo, se aplican las herramientas de la Excelencia Operacional y de la Metodología de Superficie de Respuesta para optimizar un proceso de moldeo por inyección de plástico donde se fabrica la *half Shell*, una pieza que recubre los interruptores eléctricos de los productos denominados familia E, en una empresa de manufactura de interruptores. En diversas investigaciones recientes, se han utilizado metodologías de mejora de calidad para optimizar los procesos mencionados, por lo que a continuación se mencionan algunas de las más relevantes.

Méndez [16], logra incrementar la Eficiencia General de los Equipos (OEE), en un proceso de moldeo por inyección de plástico de un 44% a un 88.44% por medio de la metodología DMAIC y de las herramientas de manufactura esbelta como diagramas de Pareto, diagramas de Ishikawa, diseños de experimentos (DOE), análisis de capacidad, cambio de matriz en menos de 10 minutos (SMED) y 5's.

Núñez et al [17], presentan un análisis de las actividades requeridas para minimizar el tiempo del cambio de herramientas en el área de moldeo por inyección de plásticos de un proceso. Mediante un evento de

mejoramiento continuo, se utilizan la metodología DMAIC, técnicas enfocadas a la reducción del tiempo de cambio de herramientas (SMED), la organización y limpieza de áreas de trabajo (5'S), los sistemas de gestión de inventarios (FIFO). De esta forma, se logra la disminución del tiempo promedio invertido en el cambio de herramientas en un 20%, lo que mensualmente permitirá disponer de 180 horas adicionales para dedicarlas a actividades de producción, incrementando la productividad.

Asencio [18], aplica la metodología de Lean Manufacturing en una empresa de inyección de plásticos para identificar aquellas partes del proceso que no aplican valor al producto para posteriormente, reducirlos, optimizarlos o (si es posible) eliminarlos con el uso de técnicas propias del Lean Manufacturing, estudiando el flujo de valor en el proceso.

Gualteros et al [19], llevan a cabo la implementación de la técnica de las 3 "M" (Muda, Mura y Muri) para determinar las causas que ocasionan desperdicios dentro de procesos de inyección de plástico en una empresa. De esta manera, proponen una alternativa para evitar la emisión de desperdicios que podría llevar a la empresa a ahorrar alrededor de 1,500,000 USD anuales para así incrementar su productividad.

Barzola [20], utiliza la metodología Seis sigma para proponer mejoras en el área de producción de envases en una empresa con procesos de inyección de plástico. Con las herramientas de la metodología se evidencia que hay falta de control en la mano de obra y así mismo un plan de mantenimiento preventivo de las máquinas y moldes. Debido a la deficiencia se genera un 20% de productos no conformes al año lo que representa una pérdida de \$ 73,060.00 para la empresa. Luego de haber analizado la situación actual de la empresa se determinó

que el nivel Sigma es de 2.88 de 6, cuyo rendimiento es de 91,54% de Porcentaje de Calidad. Con una inversión inicial para realizar los cambios de \$11,954.00 se calcula un TIR (Tasa Interna de Retorno) del 52% y el periodo de retorno de la inversión será durante el segundo año.

Una vez mencionado lo anterior, en este trabajo se lleva a cabo la propuesta de reducir el porcentaje de piezas defectuosas de la *Half Shell*, pieza que se fabrica por moldeo de inyección de plástico. Cabe mencionar que además de las características dimensionales que la pieza debe cumplir, están las características de estética, como el brillo y la ausencia de ralladuras o fisuras. Las herramientas consideradas en esta propuesta y su orden de aplicación son: El mapa de procesos, diagramas de funciones, el Análisis del Modo y Efectos de las Fallas (AMEF), y la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR).

II. Materiales y equipos

Para llevar a cabo la experimentación del proyecto son necesarios diversos equipos/materiales:

- Máquina de limpieza por chorro marca Goff modelo 2-1/2 Cu. Ft.
- 1000 piezas *Half Shell* para pruebas no destructivas (Se regresan a producción).
- Software Statgraphics Centurion.

III. Métodos experimentales

Como primer paso, se procede a realizar el mapa de procesos para familiarizarse con los diferentes procesos que el producto debe recorrer para su fabricación, posteriormente se realizan los diagramas de funciones, que son el preámbulo para el AMEF.

Una vez que se tienen realizados el AMEF y el mapa de procesos, se procede a escoger de estos los factores más significativos, los

cuales son velocidad de máquina, tiempo de funcionamiento y cantidad de piezas y se elabora la MSR, fijando el número de pruebas en 16, incluyendo los mencionados factores. La tabla #1 muestra el orden de las corridas y los valores de los factores para las 16 pruebas.

Tabla 1. Pruebas de la MSR.

Prueba	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)	Cantidad (u)
1	20	3.5	72
2	25	5	88
3	20	5.4	72
4	20	1.5	72
5	15	2	56
6	14	3.5	72
7	15	5	88
8	20	3.5	92
9	26	3.5	72
10	15	5	56
11	25	5	56
12	15	2	88
13	20	3.5	51

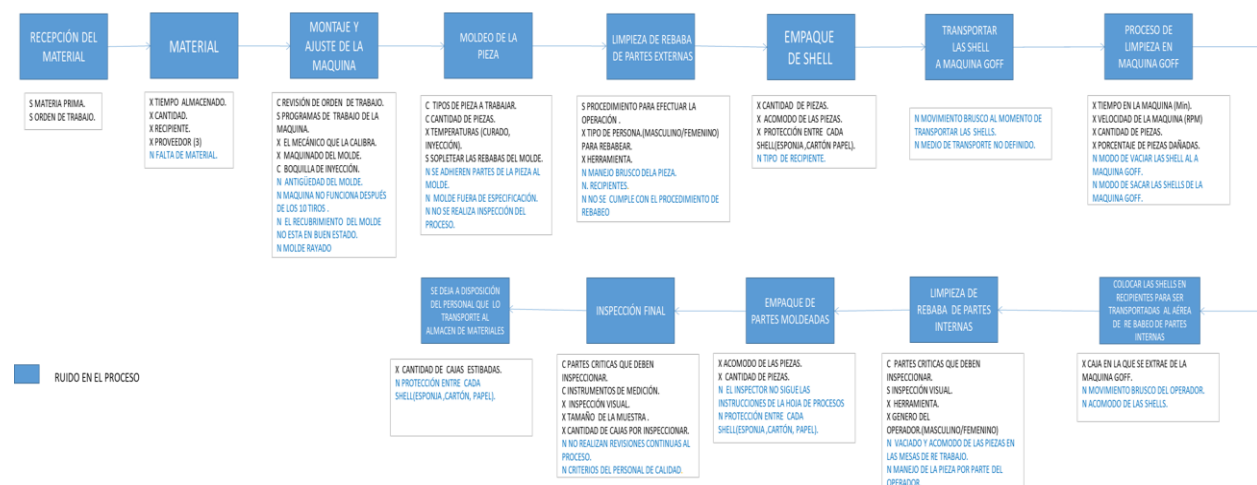


Figura 1. Mapa de procesos del área de moldeo.

Como se puede apreciar en la figura 1, el mapa de procesos del área de moldeo incluye varias operaciones, por lo que la figura 2 muestra una ampliación de la porción del mapa donde se detecta la causa raíz del problema, la operación de la máquina Goff. La operación de la máquina Goff es necesaria para la *half Shell*, ya que en esta parte del proceso las piezas se

14	25	2	88
15	25	2	56
16	20	3.5	72

IV. Resultados y discusión

4.1 Mapa de procesos

Para llevar a cabo un conocimiento completo del proceso, se realizan los mapas de procesos de todas las estaciones por donde la *half shell* debe pasar para su fabricación. En la figura 1 se muestra únicamente el mapa de procesos de moldeo, ya que en esta área es donde se ubica la causa raíz del problema, definida después del estudio del proyecto. La nomenclatura de las letras que se colocan antes de cada operación en las estaciones del proceso es de acuerdo a:

S- Operaciones estándares, C- Operaciones controladas, N- Ruido u operaciones que no pertenecen al proceso ideal, X- Variables estadísticas [21].

limpian y se pulen, hasta que tengan brillo, el cual está definido como un Crítico de Calidad (CTQ) por el cliente, la pieza no debe empacarse sin esta característica. Mencionar que en el momento en que se realizó el presente estudio, el operador de la máquina no tenía los parámetros de velocidad de máquina, tiempo de operación y cantidad de piezas definido, lo decidía de

acuerdo a la carga de trabajo que él tuviera, casi al azar, lo que causa variación en el proceso. Podemos apreciar que los mencionados parámetros aparecen en el

mapa como variables estadísticas (X), así como el resultado de la operación, el porcentaje de piezas dañadas.

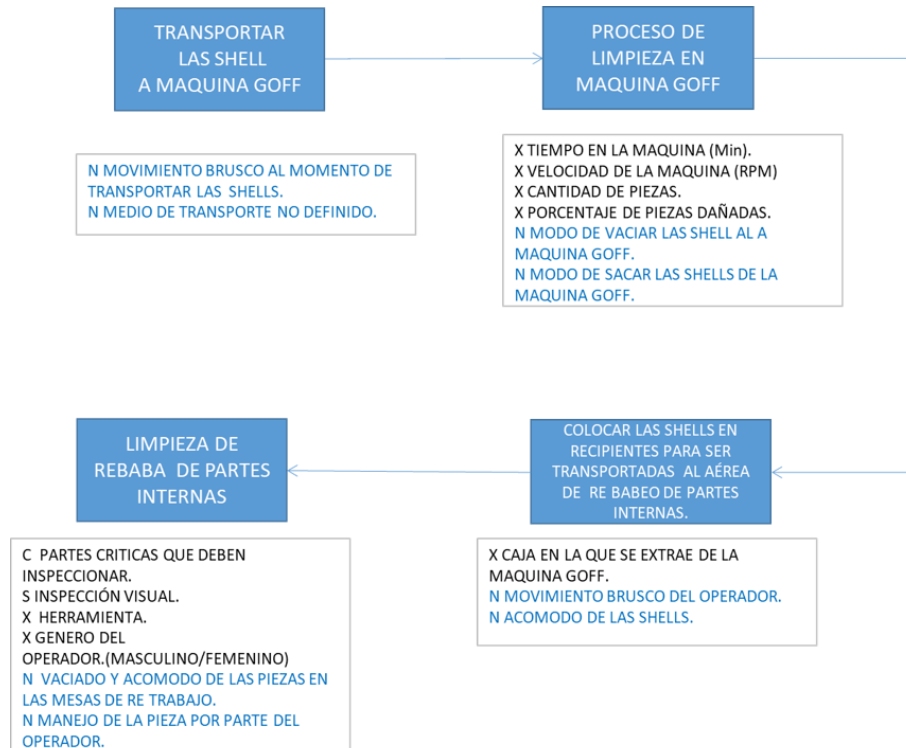


Figura 2. Proceso de la máquina Goff y sus variables.

Además, la figura dos, muestra algunas otras hipótesis de la causa raíz, que en su momento descartaron, como el acomodo de las piezas para su transporte, movimientos bruscos en el transporte y modo de vaciado y extracción de piezas. Es así como el mapa de procesos constituye una guía que va encerrando la causa raíz del problema, al analizar concienzudamente cada proceso, paso a paso, agregándole variables, ruidos, etc.

4.2 Diagrama de funciones

Se realizan los diagramas de las funciones que debe cumplir cada uno de los procesos por donde la pieza es fabricada/ensamblada. Al igual que en el mapa de procesos, aquí solo mostraremos el diagrama de funciones del área de moldeo ya que la causa raíz es el proceso de acabado en la máquina Goff, según se dijo antes. La figura 3 lo ilustra.

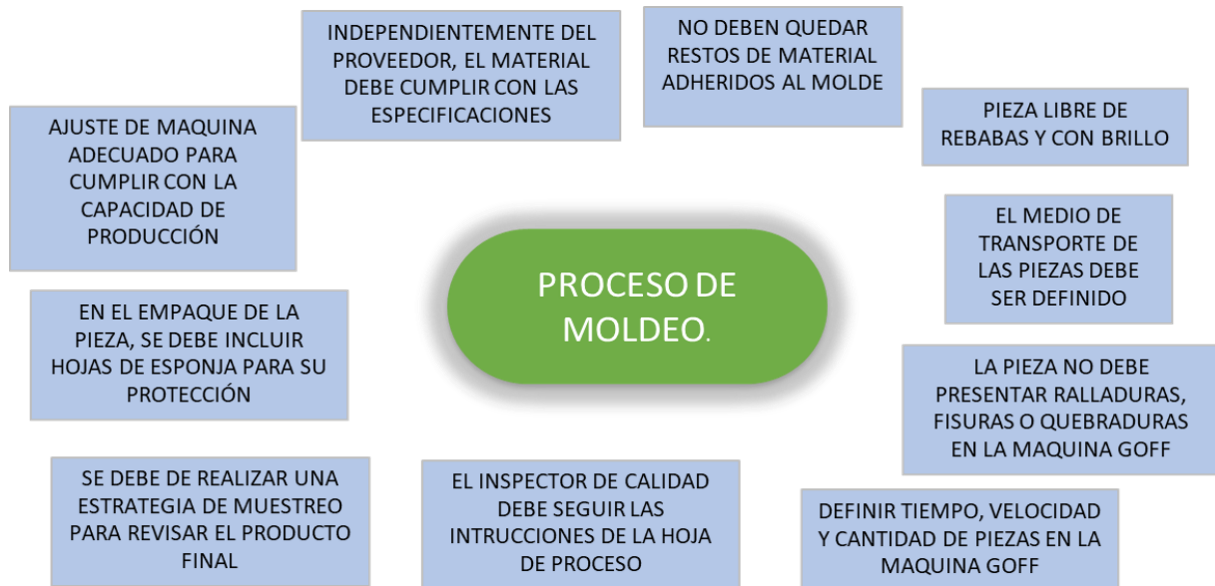


Figura 3. Diagrama de funciones del proceso de moldeo.

En la figura 3 podemos observar que una de las funciones que debe estar definida son los parámetros de velocidad de máquina, tiempo de operación y cantidad de piezas. Una de las funciones básicas para el cliente (CTQ), también está incluida, la pieza no debe presentar ralladuras, fisuras o quebraduras, el cual sí está identificado como condición de rechazo de pieza. El resto de las funciones que se muestran deberán ser cumplidas, para evitar retrasos, retrabajos o rechazos de piezas. Cabe mencionar que los diagramas de funciones, son herramientas

base para la realización del Análisis del Modo y Efecto de la Falla (AMEF), ya que de ahí obtendremos las funciones del proceso y por ende el modo de Falla.

4.3 Análisis del Modo y Efecto de la Falla (AMEF)

Al igual que lo venimos realizado en el proyecto, se realizan los AMEF de todos los procesos involucrados, pero aquí solo mostramos una porción del AMEF del proceso de la máquina Goff, en la figura 4.

	Num de Proceso/ Descripción del proceso	Función del Proceso	Modo de Falla Potencial	Efectos Potenciales de la Falla	S e v	Causa Potencial / Mecanismo de la Falla	O c u	Controles de proceso Actuales	D e t	N P R	Acciones Recomendadas	Responsable y Fecha	Acciones Tomadas	S e v	O c u	D e t	N P R
Á R E A D E M O L D E O	7	PROCESO DE LIMPIEZA EN MAQUINA GOFF.	PIEZA LIBRE DE REBABAS Y CON BRILLO	PARTES CON REBABA	RETRABAJO	6	FALTA DE ARENA (WALL NUT)	2	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO PI-INY-0007	6	72	CUMPLIR CON PI-INY- 0007	OPERADOR DE MAQUINA/SIEMPRE				
				ARENA DESGASTADA		6		2	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO PI-INY-0008	6	72	CUMPLIR CON PI-INY- 0008	OPERADOR DE MAQUINA/SIEMPRE				
				PROBLEMAS DE APARIENCIA	RETRABAJO	6	VARIACIÓN EN CRITERIO DE ACEPTACIÓN.	5	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO PI-INY-0009	6	180	CUMPLIR CON PI-INY- 0009	OPERADOR DE MAQUINA/SIEMPRE				
			DEFINIR TIEMPO, VELOCIDAD Y CANTIDAD DE PIEZAS	PARAMETRO S SON PROGRAMA DOS AL AZAR	PIEZA RALLADA, FISURADA, ROTA O SIN BRILLO	7	PIEZAS SE GOLPEAN ENTRE SI POR EXCESO DE TIEMPO, VELOCIDAD O CANTIDAD	8	NO EXISTE	4	224	REALIZAR UNA SUPERFICIE DE RESPUESTA O DISEÑO DE EXPERIMENTOS	J. ARGUELLES 15 NOV				
			LA PIEZA NO DEBE PRESENTAR RALLADURAS, FISURAS O QUEBRADURAS	PIEZAS RALLADAS, FISURADAS O ROTAS	RECHAZOS.	6	VARIACIÓN EN LOS PARAMETROS DE MAQUINA.	4	NO EXISTE	6	144	OPTIMIZAR LOS VALORES DE LOS PARAMETROS	J. ARGUELLES 15 NOV				
						6	VACIADO DE SHELL.	3	NO EXISTE	6	108	IMPLEMENTAR HOJA DE PROCESO	MANUFACTURA 25 NOV				
						6	ACOMODO INCORRECTO DE SHELL.	1	NO EXISTE	6	36	IMPLEMENTAR HOJA DE PROCESO	MANUFACTURA 25 NOV				

Figura 4. AMEF para proceso de limpieza en máquina Goff.

La figura 4 muestra el proceso de limpieza en la máquina Goff. En la función de pieza libre de rebabas y con brillo, el Número Prioritario de Riesgo (NPR) más alto que tenemos es en el modo de falla de problemas de apariencia (180) ya que el operador revisar que el brillo de la pieza cumpla con las especificaciones del cliente, en caso de que no se cumpla, la pieza se puede volver a meter a la máquina, pero con el riesgo de que por el exceso de tiempo/velocidad se ralle, se fisure o se quiebre, en dado caso, la pieza ya sería *scrap*.

Para la función de definir tiempo, velocidad y cantidad de piezas, tenemos que el modo de falla es que dichos parámetros son programados al azar, lo que causa una variación, ya que las combinaciones que el operador puede escoger son múltiples, ocasionando fallas. El NPR es el más alto detectado en los AMEF realizados, 224, por este motivo, este modo de falla nos marca que este modo de falla debe ser disminuido como primera prioridad en el proyecto. Hay que diseñar el experimento para la superficie de respuesta lo más pronto posible, para disminuir la variación, el *scrap* generado en esta operación de limpieza y optimizar los

parámetros de la máquina, que sean parámetros fijos, y que operador no decida de acuerdo a su carga de trabajo. Caso muy similar se presenta en la función de la pieza no debe presentar ralladuras, fisuras o quebraduras, donde el NPR máximo de 144 se presenta en la causa de la variación de los parámetros, y se sugiere su optimización.

Cabe mencionar que los NPR del proceso de limpieza en la máquina Goff que muestra la figura 4, son los más altos de todos los AMEF. También mencionar que las columnas de acciones tomadas, severidad, ocurrencia, detección y NPR que aparecen vacías en la figura 4, se llenarán y se presentarán una vez que se haya cumplido con las acciones recomendadas.

4.4 Metodología de Superficie de Respuesta (MSR)

Se aplica la Metodología de Superficie de Respuesta para la optimización de los factores incluidos, en base a los valores obtenidos del porcentaje de defectos de las pruebas, los cuales se muestran en la tabla #2.

Tabla 2. Resultados del porcentaje de defectos en las pruebas.

Prueba	Velocidad (rpm)	Tiempo (min)	Cantidad (u)	% de piezas defectuosas
1	20	3.5	72	25
2	25	5	88	40
3	20	5.4	72	29
4	20	1.5	72	20
5	15	2	56	20
6	14	3.5	72	24
7	15	5	88	34
8	20	3.5	92	26
9	26	3.5	72	35
10	15	5	56	27
11	25	5	56	50
12	15	2	88	19
13	20	3.5	51	24
14	25	2	88	25
15	25	2	56	24
16	20	3.5	72	26

Con base a esta información, se presentan a continuación las diferentes gráficas y resultados generados.

4.5 Discusión de resultados.

La figura 5 nos muestra el diagrama de Pareto para los factores más significativos en el % de piezas defectuosas, donde podemos ver que el tiempo de proceso es el factor más

significativo para el resultado. La velocidad de la máquina es el segundo en significancia, el efecto cuadrático de la velocidad de máquina es el tercero, seguido de la interacción entre tiempo de proceso y velocidad de máquina; dejando en ultimo termino la cantidad de piezas como factor menos significativo.

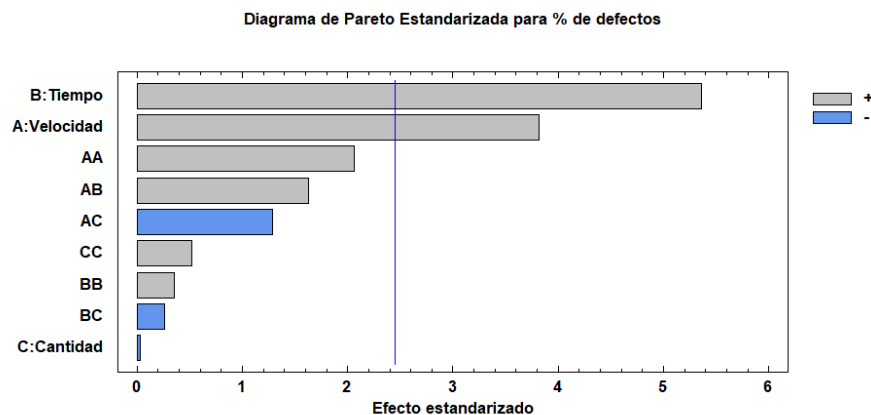


Figura 5. Diagrama de Pareto de los factores.

La figura 6 nos muestra la gráfica de efectos principales, donde entre más inclinada esta la línea más fuerte es el efecto individual de cada factor, podemos observar que la línea recta que describe el tiempo de proceso y la curva de la velocidad de máquina están más

inclinadas que la curva de la cantidad de piezas, lo que coincide con la gráfica de Pareto, indicándonos el tiempo de proceso como el factor más significativo, seguida muy de cerca de la velocidad de máquina.

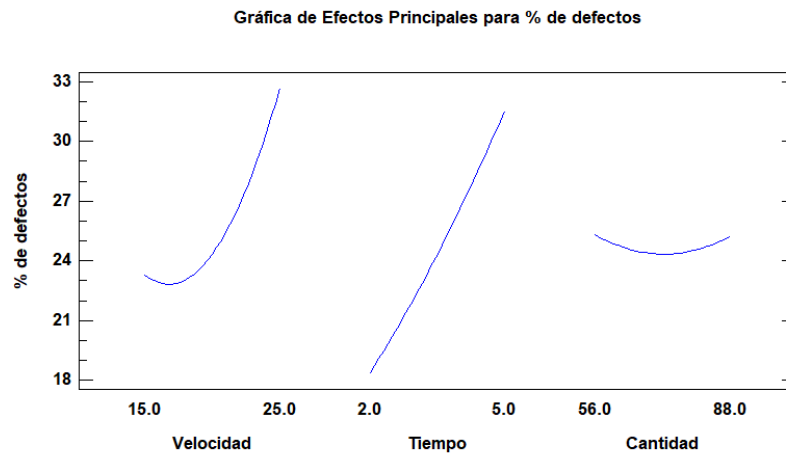


Figura 6. Gráfica de los efectos principales.

La figura 7 nos muestra la gráfica de superficie con la cantidad de piezas de 72, donde se puede apreciar que conforme se incrementa el tiempo de proceso, también el porcentaje de piezas defectuosas aumenta, mismo caso que sucede con la velocidad,

siendo lo mejor valores entre 15 rpm y 20 rpm. Observamos que, si el operador se decide por la combinación de mayor tiempo y velocidad, se pueden generar más del 50% de defectos, es decir, enviar a *scrap* la mitad de las piezas de una corrida de producción.

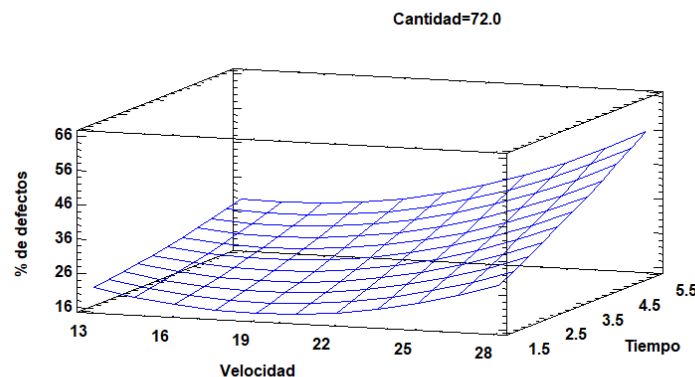


Figura 7. Gráfica de superficie.

El modelo finalmente utilizado en términos de los tres factores, tiempo de proceso (T), velocidad de máquina (V) y cantidad de piezas (C) fue el siguiente:

$$\begin{aligned} \% \text{ de defectos} = & 55.0406 - 4.301 * V - 2.74109 * T \\ & + 0.00280131 * C + 0.145498 * V^2 \\ & + 0.316667 * V * T - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 0.0234375 * V * C + 0.275387 * T^2 - \\ & 0.015625 * T * C + 0.0035992 * C^2 \end{aligned}$$

El valor de los coeficientes de determinación $R^2 = 89.7\%$ y $R_{aj}^2 = 74.26\%$ son aceptables al ser mayores de 70%, significando que los factores explican un alto porcentaje de la variabilidad observada en la variable de

respuesta. Los resultados óptimos para la reducción de defectos que arroja el software en la ejecución de la MSR son:

- Velocidad de 15 rpm
- Tiempo de 1.56 min
- Cantidad de piezas de 51

En base a los resultados obtenidos se corren dos pruebas más, con una réplica cada una, en busca de un mejor resultado que el 19%, el cual fue el menor porcentaje de defectos en las 16 pruebas. Cabe mencionar que 19% de defectos por corrida aún les parece a los dueños del proceso un número alto. La primera prueba se corre a 15 rpm, 1 min y 56 piezas, obteniendo un 9% de defectos, y en la réplica se obtiene 8%. La segunda prueba se corre a 15 rpm, 1 min y 88 piezas, obteniendo un 20% de defectos, y en la réplica se obtiene 18%. La opción de que la

cantidad de piezas se maneje así, es porque la empresa cuenta con dos tipos de contenedores de *Half Shell*, el contenedor de 56 piezas y el de 88 piezas. Con estos últimos resultados basados en los resultados de la MSR, se recomienda a la empresa implementar que el proceso se controle con los parámetros de Velocidad de máquina a 15 rpm, Tiempo de proceso de 1 min y Cantidad de piezas de 56. Es cierto que el número de piezas será el menor posible, pero el tiempo de proceso y la velocidad de máquina también, lo que ayudará a que este proceso no sea un cuello de botella, sino que tenga el operador el tiempo suficiente para llevar a cabo el proceso de limpieza.

La figura 8 muestra el AMEF completo para el proceso de limpieza en la máquina Goff.

		Num de Proceso/ Descripción del proceso	Función del Proceso	Modo de Falla Potencial	Efectos Potenciales de la Falla	S e v	Causa Potencial / Mecanismo de la Falla	O c u	Controles de proceso Actuales	D e t	N P R	Acciones Recomendadas	Responsable y Fecha	Acciones Tomadas	S e v	O c u	D e t	P R
Á R E A D E M O L D E O	7	PROCESO DE LIMPIEZA EN MAQUINA GOFF	PIEZA LIBRE DE REBABAS Y CON BRILLO	PARTES CON REBABA	RETRABAJO	6	FALTA DE ARENA (WALL NUT)	2	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO PI-INY-0007	6	72	CUMPLIR CON PI- INY-0007	OPERADOR DE MAQUINA/SIEMPRE	HOJA DE PROCESO A PIE DE MAQUINA	6	1	1	6
						6	ARENA DESGASTADA	2	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO PI-INY-0008	6	72	CUMPLIR CON PI- INY-0008	OPERADOR DE MAQUINA/SIEMPRE		6	1	1	6
				PROBLEMAS DE APARIENCIA	RETRABAJO	6	VARIACIÓN EN CRITERIO DE ACEPTACIÓN.	5	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO PI-INY-0009	6	180	CUMPLIR CON PI- INY-0009	OPERADOR DE MAQUINA/SIEMPRE	INSTRUCCIÓN PARA APARIENCIA	6	2	1	12
			DEFINIR TIEMPO, VELOCIDAD Y CANTIDAD DE PIEZAS	PARAMETROS SON PROGRAMADOS AL AZAR	PIEZA RALLADA, FISURADA, ROTA O SIN BRILLO	7	PIEZAS SE GOLPEAN ENTRE SI POR EXCESO DE TIEMPO, VELOCIDAD O CANTIDAD	8	NO EXISTE	4	224	REALIZAR UNA SUPERFICIE DE RESPUESTA O DISEÑO DE EXPERIMENTOS	J. ARGUELLES 15 NOV	SE REALIZA MSR	7	1	1	7
			LA PIEZA NO DEBE PRESENTAR RALLADURAS, FISURAS O QUEBRADURAS	PIEZAS RALLADAS, FISURADAS O ROTAS	RECHAZOS.	6	VARIACIÓN EN LOS PARAMETROS DE MAQUINA.	4	NO EXISTE	6	144	OPTIMIZAR LOS VALORES DE LOS PARAMETROS	J. ARGUELLES 15 NOV	SE OPTIMIZAN LOS VALORES EN 1 MIN. 15 RPM Y 56 PIEZAS	6	1	1	6
						6	VACIADO DE SHELL	3	NO EXISTE	6	108	IMPLEMENTAR HOJA DE PROCESO	MANUFACTURA 25 NOV	HOJA DE PROCESO A PIE DE MAQUINA	6	2	1	12
						6	ACOMODO INCORRECTO DE SHELL	1	NO EXISTE	6	36	IMPLEMENTAR HOJA DE PROCESO	MANUFACTURA 25 NOV		6	2	1	12

Figura 8. AMEF completo.

Con la implementación de las acciones que se sugirieron por parte del equipo de trabajo en el AMEF en el área de moldeo y en el proceso de la máquina Goff, podemos observar en la figura 8, que el NPR final para cada modo de falla baja considerablemente. Principalmente en las funciones de definir tiempo, velocidad y

cantidad de piezas y la de la pieza no debe presentar ralladuras, fisuras o quebraduras, donde los NPR van de un valor de 224 a 7, de 144 a 6 y de 108 a 12. Considerar que la severidad en un modo de falla nunca se puede modificar, en lo que nos toca trabajar es en la ocurrencia y la detección del modo de falla.

V. Conclusiones

Por medio de los mapas de procesos, diagramas de funciones y AMEF, se determinó que el proceso de limpieza de las *Half Shell* en la máquina Goff es la causa raíz del problema, es el proceso donde se están generando los defectos.

Se llevaron a cabo en total 20 pruebas en la máquina Goff, esto apoyándose en la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR). En las primeras 16 pruebas el menor porcentaje de defectos que se obtuvo fue del 19% de piezas no conformes (ralladas, fisuradas o quebradas), lo que para los dueños del proceso es un porcentaje alto para cuestiones de retrabajos o *scrap*.

Por medio de los resultados de la MSR, se define que el tiempo de proceso es clave para la generación de defectos y se fijan los parámetros de tiempo de proceso en 1 min, velocidad de máquina en 15 rpm y cantidad de piezas en 56, obteniendo como mejor resultado un 8% de defectos. Mencionar que los valores de 1 min de tiempo de proceso y de 15 rpm en la máquina Goff son los menores a los que puede trabajar, se recomienda a la empresa buscar otra opción para limpiar y abrillantar las piezas, ya sea una máquina que se pueda programar a menor tiempo de proceso y menor velocidad u otro método, lo que seguramente bajará el porcentaje de piezas defectuosas, ya que como se demostró, cuando se corre el proceso a más de 15 rpm de velocidad y más de 1 minuto de tiempo, la cantidad de piezas defectuosas pueden llegar hasta el 50% de piezas, por corrida de producción.

Por medio de la implementación de la mencionada combinación, se elimina hasta el 90% de producción de defectos, ahorrando un estimado de 150,000 USD.

Agradecimientos

- Agradecer al personal de la empresa Carling Technologies por las facilidades para que el presente proyecto fuera analizado e implementado.
- A la Lic. Jenny Calvillo Alba por su apoyo en la edición de textos y figuras.

VI. Referencias

- [1] Navarro, L., Cordero, A., Nolasco, C., Collado, L. (2022). *Degradación química de pet y su metabolismo por consorcios fúngicos*. South Florida Journal of Development, 3(1), p.1492-1506, DOI: 10.46932/sfjdv3n1-114
- [2] Rodríguez, J. (2021). *Propuesta para la creación de una planta de recuperación y procesamiento de plástico en la vega Cundinamarca*, Tesis de licenciatura. Universidad Santo Tomás. <http://hdl.handle.net/11634/43436>
- [3] Cantor, J., Peña, M. (2021). *Revisión de los procesos para la producción de combustibles provenientes de residuos plásticos*, Tesis de licenciatura. Universidad Antonio Nariño. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/5005>
- [4] Cedeño, G., Crooks, K., Soto, M., Terán, N., & Walters, A. (2022). *Conciencia ambiental frente al inadecuado manejo del plástico por el ser humano*. Las Enfermeras De Hoy, 1(2), 44–58. <http://200.75.215.107/index.php/edh/article/view/35>
- [5] Jiménez J., Ramos, C., Sánchez, B., Vial, A. (2021). VEOC. Ingenia Materiales, Num.3, 57-58. http://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales/article/view/4649

- [6] Medina, J. (2021). *Propuesta de proceso verde aplicado al aprovechamiento de residuos y transformación de micro plásticos*. Tesis de maestría, Universidad EAN. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/10894>
- [7] Ojeda, J., Mercante, I. (2021). *Reciclaje de residuos plásticos para la producción de agregados livianos*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 37, 489-499. <https://doi.org/10.20937/RICA.54081>
- [8] Sandoval, J., Bermúdez, D. (2021). *Degradación del polietilentereftalato por medio de microorganismos*. Informador Técnico, 85(2), 219-229. <https://doi.org/10.23850/22565035.3592>
- [9] Rojas, W., Palacios, J., Miranda, M. (2022). *Sistema automático de adquisición y análisis de datos con machine learning para el control de calidad en una máquina de inyección de plástico*. Polo del conocimiento, 7(2), 1298-1311. <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v7i2.3647>
- [10] Estrella, M. (2020). *Predicción de esfuerzos residuales y deformaciones resultantes en partes moldeadas por inyección mediante análisis numérico*. Tesis de doctorado. ITESM. <https://hdl.handle.net/11285/637479>
- [11] Mital, J. (2021). *Análisis del sistema logístico e implantación de un proyecto de Renault mediante uso de técnicas de lean manufacturing en un proveedor del sector del automóvil*. Tesis de licenciatura. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/164051>
- [12] Giraldo, R., Martín, L. (2021). *Tempus: simplificación de procesos y tiempos de producción convencional de piezas plásticas por inyección para la industria nacional, mediante el desarrollo tecnológico de la fabricación aditiva*. Tesis de Maestría. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/22276>
- [13] Aguirre, R., Redosado, L. (2021). *Implementación de la metodología PHVA para mejorar la productividad del proceso de producción de piezas en PRFV en el área de fibra de vidrio en una empresa del sector automotriz*. Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/29626>
- [14] Benitez, A., Vargas, C., Montealegre, W. (2020). *Simulación de moldeo por inyección basado en el Método de Volúmenes Finitos (FVM) Mold Injection Simulation based on Finite Volume Method (FVM)*. INGE CUC, vol. 16 no. 2, pp. 119-130. DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.16.2.2020.08>
- [15] Hernández, R., Bustos, J., Núñez, M., Ramos, V. (2018). *Control de variables en el proceso de inyección de probetas plásticas*. Pistas Educativas, 38(118).
- [16] Méndez, U. (2021). *Incremento en el OEE del modelo Quick Connector por medio de herramientas de manufactura esbelta*. Semana Académica, 1(1). <https://ingenieriaindustrialitt.org/publicacion/semana-academica/article/view/37>
- [17] Núñez, J., Pérez, I., Méndez, L., Rodríguez, L. (2021). *Eliminación de Desperdicios y Ahorro de Recursos en Áreas de Moldeo por Inyección de Plásticos Basado en la Metodología SMED*. Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Autónomo 2021, Vol. 13, No. 2, 172-181. <http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/18468>
- [18] Asencio, D. (2021). *Aplicación de técnicas de Lean Manufacturing en empresa de inyección de plásticos*. Tesis de licenciatura. Universitat Politècnica de

Catalunya.

<http://hdl.handle.net/2117/347930>

[19] Gualteros, K., Valencia, K. (2020). *Estrategia para la reducción de desperdicios en procesos de inyección de plástico en la empresa Proenfar SAS*. Tesis Doctoral, Editorial Universitaria San Mateo. <http://localhost:80/jspui/handle/123456789/233>

[20] Barzola Pincay, W. I. (2021). *Propuesta de metodología de trabajo Six Sigma en el área de producción de envase de la Empresa Industria Plásticas Josa Cía. Ltda.* Tesis Doctoral, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/52597>

[21] Arguelles, J., Pineda, Z., Cruz, C. (2021). *Medición, análisis y rediseño de parrillas de horno aplicando metodología Seis Sigma*. Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica, Vol. 9, No. 53, pp. 12-26. https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/parrillas_uaslp_2_riiit_nov-dic_2021.pdf