

Reducción de defectos en el proceso de inyección en una empresa de plásticos para el hogar

RESUMEN: La variabilidad en un proceso es causa principal de una gran cantidad de problemas de calidad, podemos mencionar que en la medida que disminuya se lograra reducir los defectos y errores del mismo proceso. Siendo el objetivo de este proyecto reducir los defectos, así como la disminución de la variación del proceso en una empresa de fabricación de plásticos para el hogar dentro del producto Macetón Grande, donde dichos defectos se presentan al fabricar el producto por la máquina de inyección, y mediante un análisis ABC, el uso del diagrama de Pareto, diagrama causa-efecto, gráficos de control P, análisis de capacidad de proceso binomial y un análisis R&R permitió determinar el estado del proceso actual el cual dio pauta a la implementación de un modelo de regresión múltiple con 12 variables de entrada y una variable de salida que determinaría el peso del producto de 890 gramos y los parámetros adecuados de operación del equipo, todo esto con el apoyo de un plan de acción que contemplaba el mantenimiento programado del equipo, la elaboración de procedimientos operativos, la capacitación del personal, para logra reducir el porcentaje de defectos del 13.8% a 3.4% y mejorando así el proceso de inyección.

PALABRAS CLAVE: defectos, estrategia, mejora de calidad, procesos, variabilidad.



Colaboración

Martínez Lara Leonardo; Jiménez Gómez Gema del Carmen; Muñoz Delgado Josimar, Instituto Tecnológico Superior de Alvarado

ABSTRACT: The variability in a process is the main cause of a large number of quality problems, we can mention that as it decreases, it is possible to reduce the defects and errors of the same process. Being the objective of this project to reduce defects, as well as to decrease the variation of the process in a home plastics manufacturing company within the Macetón Grande product, where said defects appear when the product is manufactured by the injection machine, and by means of an ABC analysis, the use of the Pareto diagram, causeeffect diagram, P control charts, binomial process capacity analysis and an R&R analysis allowed to determine the state of the current process which led to the implementation of a model of multiple regression with 12 input variables and one output variable that would determine the weight of the product of 890 grams and the appropriate parameters of equipment operation, all this with the support of an action plan that contemplated the scheduled maintenance of the equipment, the development of operating procedures, training of personnel, to reduce the percentage of defects from 13.8% to 3.4% and better thus praying the injection process.

KEYWORDS: defects, strategy, quality improvement, processes, variability.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de aplicación de la metodología Seis Sigma se desarrolló en una empresa de la cuenca del Papaloapan dedicada a la transformación de plástico para el hogar mediante el proceso de inyección. Seis Sigma, es un concepto desarrollado en 1985 por Motorola y es una metodología de transformación del negocio que maximiza los beneficios y ofrece valor a los clientes, centrándose en la reducción de la variación y la eliminación de los defectos mediante el uso de diversas herramientas estadísticas [6].

Esta metodología se ha aplicación en la fabricación de autopartes, el proceso de inyección, donde General Electric logró incursionar posicionar una resina que era 30% más cara que la de la competencia (precio/Kg), pero reduciendo los costos de fabricación en un 20%, eliminando 10% de reproceso y descartando la etapa de pintura, ya que la pieza desarrollada permitía que las piezas fueran inyectadas exactamente con el mismo color del automóvil.

La situación en particular que prevalece en la elaboración del producto "Macetón Grande", son los defectos: mucho flash, producto obtuso, producto con tiro corto, emplastado, degradación, marcas, burbujas y mal rebabado en el área de inyección, cuantificándose en un 13.8% de los defectos presentados en este producto, y donde se observa que el 80.6% (ver Figura 1), de las no conformidades incurrir en "Mucho Flash", "Producto Obtuso" y "Producto Con Tiro Corto" generando un producto con mucha rebaba, lo cual ocasiona desperdicio de material.

Se presentan los problemas de calidad antes mencionados cuando la pieza no logra cumplir las especificaciones deseadas como lo es coloración, acabado superficial, entre otros. Siendo el objetivo del proyecto reducir los defectos en el producto, y la disminución de la variación del proceso en la fabricación del mismo (ver Figura 1), mediante el uso e implementación de herramientas estadísticas y estrategias, con el fin de mejorar el proceso. Para lo cual se plantea la siguiente pregunta ¿con la implementación de herramientas estadísticas y estrategias para mejora del proceso, se logrará disminuir los defectos del producto?

Con la reducción de los defectos se beneficiará a la empresa reduciendo el desperdicio de material, así como mejorar el proceso en términos de cantidad de productos con calidad. Para ello se utilizaron herramientas estadísticas, como el diagrama de Pareto para definir un diagnóstico de los defectos incurridos, se midieron por medio del estudio de repetibilidad y reproducibilidad para atributos (R&R) la consistencia del proceso de medición, basados en evaluaciones subjetivas realizadas por inspectores, y saber si estas coinciden, o de lo contrario saber en qué porcentaje no saben detectar los defectos presentados en el

producto e implementar acciones para contrarrestar los actos [1]. También se emplearon gráficos P para analizar la variación que existida en una proporción de productos defectuosos en el proceso y conocer el tipo de variación que existía [2].

Para identificar las causas que provocan los defectos se procedió a realizar un diagrama de Causa-efecto, el cual ayudó a identificar las causas potenciales del problema. Se realizó un análisis de la capacidad para evaluar la probabilidad (p) de que un elemento seleccionado de un proceso sea defectuoso. En la siguiente etapa se propusieron mejoras para dar solución a las causas, y se llevó a cabo un plan de acción [3]. Se utilizó un modelo de regresión lineal múltiple para establecer la relación lineal entre las variables que afectan la salida del producto en base a las características ideales de este y se analizó de nuevo el proceso mediante un análisis de capacidad binomial para saber si se logró con el objetivo de disminuir los defectos en el producto [10].

Para el análisis del producto se toman en cuenta las características de calidad que debe cumplir el producto para que de esta forma sea juzgado como producto conforme o no conforme, y para lograr que el producto sea de calidad se aplicaron correcciones, empezando a observar el ciclo del moldeo, detectando que las variables que intervienen en este proceso son variables de la máquina, del molde, de la materia prima, del equipo periférico, variables del acabado y manejo de las piezas moldeadas. Las primeras cuatro variables involucran tiempos, presiones, temperaturas y velocidades, los cuales son parámetros que se pueden modificar para corregir defectos en el producto. La última variable de la lista anterior, posiblemente la más difícil de fijar, debido a que interviene el factor humano.

Cabe mencionar que para proceder a la mejora en la variabilidad del proceso se mostró como limitante la resistencia al cambio por parte del personal, realizando para ello pláticas entre cada jornada acerca de los beneficios de obtener un producto de calidad, así como de sus consecuencias al persistir los defectos.



Figura 1. Macetón grande.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para lograr la disminución de los defectos y mejora de la variación del proceso se llevó a cabo una secuencia de pasos donde se implementan las herramientas de calidad que ayudaron a lograr el objetivo, siendo como primer punto analizar el proceso que a continuación se describe [4]:

- Cierre del molde.
- Se inyecta el polímero fundido y se compacta.
- Comienza el enfriamiento de la parte inyectada, la máquina inicia el recargado de material para su posterior inyección.
- Finalizando el tiempo de enfriamiento, inicia la apertura del molde.
- Expulsión de la pieza.

Para el estudio del proceso se llevó a cabo de la siguiente manera:

Fase 1: Definir.

La empresa fabrica Macetones Grandes de acuerdo a lotes aproximadamente de 250 piezas en cada turno durante una semana. Cuando el tamaño del subgrupo n no se mantiene constante a lo largo de las muestras se tiene la alternativa, de usar el tamaño promedio de subgrupo n-barra, en lugar de n. [1]. En ocasiones el tamaño del lote varía por diferentes motivos, haciendo algunas veces más o menos, en este caso se utiliza el tamaño de muestra (lote) promedio, de tal manera que el número total de piezas inspeccionadas fue de 3,750 piezas.

El diagnóstico realizado, arrojó defectos o no conformidades en la elaboración del Macetón grande de acuerdo a las especificaciones de características superficiales, registrando que el 80% de los defectos se centra en tres principales defectos que son “Mucho Flash” con un 38.8%, “el producto sale obtuso” con un 26.7% y “producto con tiro corto” con un 15.2%, datos obtenidos a través de un diagrama de Pareto (ver la Figura 2) arrojando que el producto sale con mucha rebaba, lo que se considera un desperdicio y pérdida del material; por lo que se pudo definir que es necesario hacer un estudio detallado.

Fase 2: Medir.

Una de las variables a medir es el acabado y manejo de las piezas moldeadas, en este proceso interviene el factor humano y para ello se realiza el estudio R&R para atributos, que permite evaluar la consistencia del proceso de medición basados en evaluaciones subjetivas realizadas por inspectores, que clasifican las piezas en pocas categorías (por ejemplo, defectuosa o no). [1].

En la elaboración del Macetón Grande el mismo operario es el encargado de inspeccionar las piezas, el cual realiza evaluaciones subjetivas, basadas en este caso con el sentido de la vista. Para esto los operarios solo clasifican las piezas como producto “Conforme” o “No conforme”. Ante esto, se presenta el estudio de R&R, el cual consistió en obtener datos estadísticos en acuerdos o desacuerdos entre los operadores (reproducibilidad), dentro de los operadores (repetibilidad) y de los operadores con el estándar, en la Figura 3 se muestra el resumen del análisis de concordancia de atributos, el cual muestra las evaluaciones que se les realizaron a los operarios, obteniendo un porcentaje de exactitud promedio que significa que coincidieron exactamente en un 95.3%.

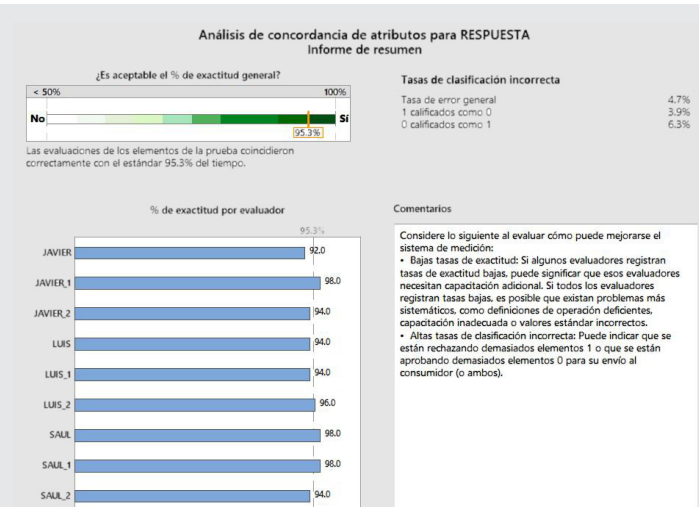


Figura 3. Análisis de concordancia de atributos

Diagrama de Pareto de DEFECTOS - Informe de resumen

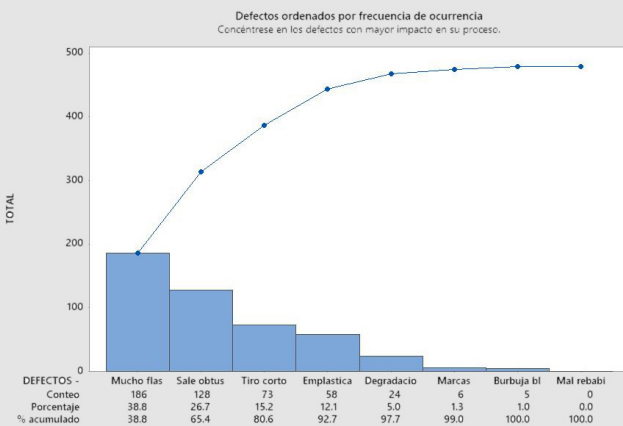


Figura 2. Defectos presentados en el macetón grande.

Control Estadístico del Proceso

Para este punto se monitorea como se encuentra el proceso de inyección de plástico mediante un gráfico de control p, para posteriormente tener un control sobre él. Para monitorear el proceso se toma como referencia el registro del tamaño total de piezas inspeccionadas que fue de 3,750 piezas, el cual estas se clasificaron como “conformes” o “no conformes” según las propias características superficiales del producto, como textura, acabados, marcas, producto incompleto, entre otros. El estudio muestra que la proporción de piezas defectuosas, fluctúa entre 0.0516 y 0.2120, con un promedio de 0.1318. Por lo tanto, se requiere un cambio en el proceso ya que existen variaciones especiales que provocan que el proceso esté descontrolado y se sigan dando proporciones de piezas defectuosas. (ver Figura 4).

Tabla 1. Medidas tomadas para corregir las causas.

# Tarea	Hallazgo	Acción a implementar
1	No existe un método establecido para ajuste de parámetros (temperatura y presión inadecuada).	Desarrollar un procedimiento documentado que establezca las condiciones adecuadas de operación del macetón grande para la máquina, estableciendo los parámetros idóneos para la operación de la máquina.
2	No se realiza mantenimiento a la máquina.	Realizar mantenimiento a la máquina y programar los planes de mantenimiento de los equipos.
3	Mal control en la utilización del material molido.	Definir un instructivo para el adecuado uso y control el material molido a utilizar en el proceso.
4	Los operarios no saben ajustar la máquina.	Capacitar al personal en base a los lineamientos establecidos en el procedimiento de operación de la máquina.

En la Figura 6 se muestra el resumen del proceso binomial de piezas defectuosas, utilizando una gráfica P, y se obtiene que el 13.18% de piezas son defectuosas, que corresponde a 131,780 Partes por Millón (PPM) de piezas fuera de especificación. Que indica que se esperan 131,780 piezas defectuosas por cada 1,000,000 (PPM) producidas, y con nivel z del proceso del 1.1180.

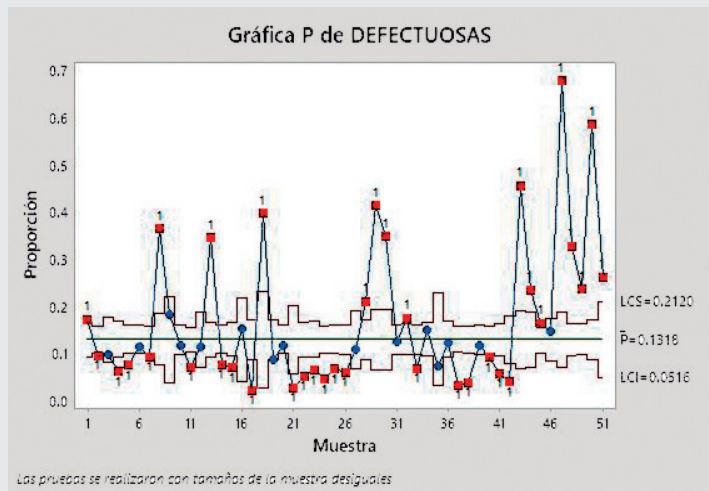


Figura 4. Gráfica P

Fase 3: Analizar

Para identificar las posibles causas del problema que se presenta en la elaboración de los Macetones Grandes se utiliza una lluvia de ideas en conjunto con el personal de la planta que está frente al proceso y se obtienen las siguientes posibles causas:

- No existe un método establecido para ajustes de parámetros.
- Utilización de materia prima de diferentes marcas.
- No se le realiza mantenimiento a la maquinaria.
- Falta de compromiso del personal.
- Mal control en la utilización de material molido.
- Variación del voltaje de la máquina.
- Los operarios no saben ajustar la máquina.
- Molde mal ajustado.
- Temperatura y presión inadecuada.
- Falta de lubricación al molde.
- Falla en el Sistema de Enfriamiento (Chiller).

Para analizar cuáles de las posibles causas son más importantes, se representan en un diagrama causa - efecto (ver Figura 5), y posteriormente se proponen medidas para corregir las causas más potenciales mostradas en la Tabla 1.

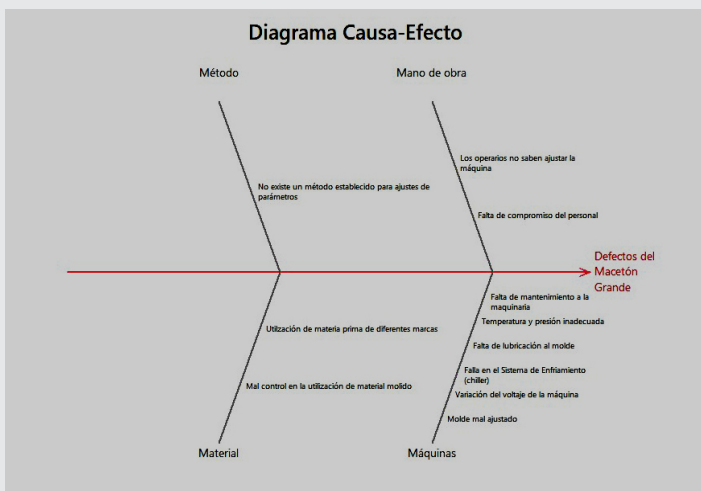


Figura 5. Diagrama de Causa - Efecto

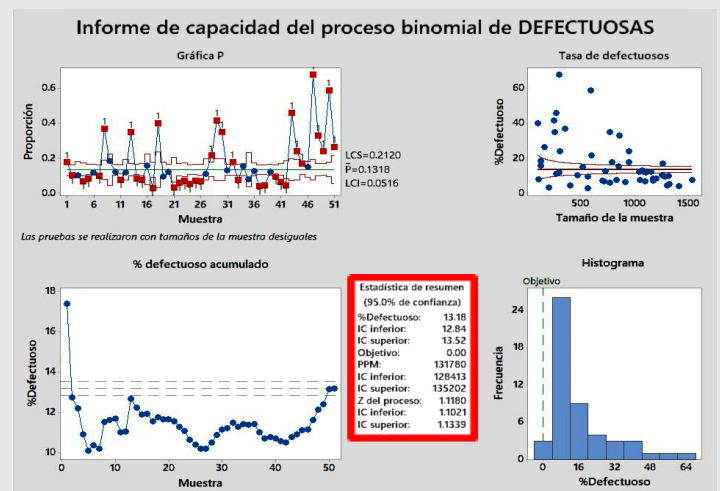


Figura 6. Informe de capacidad del proceso binomial.

Fase 4: Mejorar

Para poder mejorar el proceso y disminuir los defectos que se detectaron en la elaboración del Macetón Grande, se implementaron soluciones de acuerdo al análisis de causa – raíz, realizando las siguientes actividades:

- Se realizó e implementó un Procedimiento documentado donde se establecen las condiciones adecuadas de operación de la máquina para la elaboración del Macetón Grande. Donde se incluyen los parámetros idóneos en que la máquina debe operar, obtenido por medio de una regresión múltiple donde se estableció la relación lineal entre las variables que afectan la salida del producto.
- Se elaboró un plan de mantenimiento programado y realizó mantenimiento a la máquina con personal externo especializado.
- Se definió un instructivo para el adecuado uso y control del material molido a utilizar en el proceso y se dio a conocer al personal.
- Se capacitó al personal en base a los lineamientos establecidos en el procedimiento de operación de la máquina.

Para llevar a cabo el cumplimiento de la primera actividad, se realiza un análisis de regresión múltiple a través de un modelo matemático [5], relacionando las variables independientes (x), con una variable dependiente de respuesta (Y) utilizando la Ec.1

$$\hat{Y} = b + ax_1 + ax_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad \text{Ec. (1)}$$

Las 12 variables a considerar para la realización del análisis de regresión son las mostradas en la Figura 7. Estos datos se analizaron para establecer un estándar de parámetros a emplear por la máquina que elabora el producto, y lograr que los macetones salgan sin defectos, generando con ello calidad en el producto.

Peso	Velocidad de Cierre	Presión de Inyección	Posición de Inyección	Velocidad de Inyección	Presión de Carga	Distancia del Tornillo (velocidad)	S. Back (Posición)	Tiempo de Enfriamiento	Tiempo de Inyección	Temperatura del Chiller (agua)	Temperatura del Chiller (agua)	Temperatura Ambiente
Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
gr.	Seg.	Psi.	Seg.	Seg.	Psi.	Seg.	Seg.	Seg.	Seg.	°C	°C	°C

Figura 7. Variables a considerar para análisis de regresión.

En la Figura 8 se muestra la gráfica obtenida del optimizador de respuesta Objetivo, donde se establecen los parámetros indicados para el funcionamiento de la máquina y lograr que el Macetón Grande salga sin defectos y no se desperdicie material.



Figura 8. Gráfica de parámetros de respuesta

RESULTADOS

En cada una de las etapas de implementación de la metodología se fueron obteniendo resultados que impactarían en el cumplimiento del objetivo final, dentro de la fase 1 se definió la voz del cliente conociendo por medio del análisis ABC y la aplicación de diagrama de Pareto el producto que mas utilidad genera a la empresa, para de esta forma identificar los defectos asociados a ellos que disminuyen su calidad y la cantidad representada a un lote de productos.

En la fase 2 el uso y aplicación de las herramientas R&R nos ayudaron a determinar si la medición de los defectos del producto se realizaba adecuadamente encontrándose que no era así ya que cada operador empleaba un criterio distinto, para lo cual se propuso establecer un procedimiento definido para esta actividad, con los Grafico de control de proporción definimos que la fluctuación de la variación en los productos “no conformes” (ver Figura 4) el cual era necesario establecer un control dentro del proceso para mejorarlo, así fue como el diagrama Pareto y el diagrama Causa-efecto marcaron la pauta para definir un plan de acción en la mejora del proceso dentro de la fase de análisis del proyecto fase 3 donde se lleva a cabo el análisis de capacidad del proceso en forma binomial.

En la última fase se desarrolla un plan de mantenimiento programado necesario para el buen funcionamiento del equipo y así obtener durante el proceso variables de lecturas adecuadas, se definió el procedimiento de inspección del producto y se forma la capacitación sobre la adecuada operación del equipo a todo el personal involucrada en la fabricación del Macetón grande. Mediante el uso de un modelo de regresión múltiple el cual considera la utilización de 12 variables de entrada (X) entre ellas presión de cierre, presión de apretura, temperatura del molde, etc. obtenidas con un formato de parámetros de operación del equipo y la variable de respuesta (Y) representa el peso del producto monitoreado en el proceso ya que no contaba con una especificación del peso ideal del producto terminado ni mucho menos límites de especificaciones del mismo, obteniendo como resultado 890 gramos del peso ideal en la fabricación del producto; se pudo obtener como resultado el fuerte grado de correlación entre las variables independientes y la variable dependiente del 97.81% entre las variables de salida (x) con el peso de los Macetones Grandes en conjunto con los parámetros de operación adecuados del equipo como se muestra en la Figura 9.

Peso	Velocidad de Cierre	Presión de Inyección	Posición de Inyección	Velocidad de Inyección	Presión de Carga	Distancia del Tornillo (velocidad)	S. Back (Posición)	Tiempo de Enfriamiento	Tiempo de Inyección	Temperatura del Chiller (agua)	Temperatura del Chiller (agua)	Temperatura Ambiente
Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
890	47	109	280	64	99.99	50	259	28	4.2	9.9	27.4	27
Alto	47	120	280	72	100	50	260	38	4.5	14.1	32.30	28
Bajo	27	109	257	64	85	45	235	18	4.2	9.4	27.4	23

Figura 9. Parámetros de respuesta

Para corroborar la mejoría del proceso y la disminución de los defectos, después de implementar las acciones necesarias para corregir las causas, se sometió el proceso a un análisis de capacidad binomial como se observa en la Figura 10 mostrando que el 3.33% de piezas son defectuosas, las cuales corresponden a 33,313 Partes por Millón (PPM) de piezas fuera de especificación. Que indica que se esperan 33,313 piezas defectuosas por cada 1,000,000 (PPM) producidas y con nivel z del proceso del 1.8342 determinando así la mejora en el proceso.

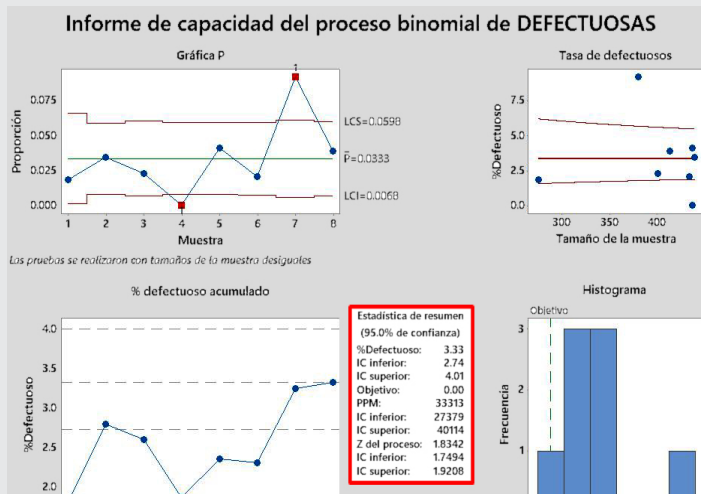


Figura 10. Informe de capacidad del proceso binomial mejorado

CONCLUSIONES

La aportación principal de este proyecto es lograr obtener un producto con calidad mediante el mejoramiento del proceso.

El uso de las herramientas de la calidad y las estrategias adecuadas que se emplearon, lograron reducir hasta un 3.33% de los defectos que existentes; en específico la determinación del modelo de regresión múltiple logro determinar los parámetros adecuados de operación para alcanzar el peso apropiado de los Macetones grande de 890 gramos.

Es cierto que la implementación de esta metodología dio como resultado una mejora operacional y financiera dentro de la industria, pero no podemos perder de vista que para lograr cambios más profundos debemos asegurar el seguimiento continuo a las propuestas establecidas; la organización debe de generar mayor compromiso al igual que el personal, enfocándose principalmente en el cambio cultural que hará que en algún momento la empresa llegue a alcanzar la excelencia operativa y la mejora continua.

Este tipo de estudios conllevan a fortalecer la aplicación de técnicas estadísticas con un análisis profundo en la aplicación de la ingeniería en la industria encaminada a la fabricación de pasticos para el uso doméstico, la cual pudiera dar paso a futuras aplicaciones de

ingeniería y científicas como la implementación de las Core Tools y Lean Manufacturing alineadas a la estrategias definias por la organización como modelos de cambio y el diseño de modelos de costos que definan con mayor precisión los ahorros totales de la empresa y porque no determinar modelos de incentivos que motiven a la plantilla laboral para darle seguimiento a los proyectos a implantar en un futuro y así hacerlos participe en el éxito de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

[1] H. G. Pulido, *Contol Estadístico de Calidad y Seis Sigma*, México: McGraw-Hill, 2013.

[2] H. Gutiérrez Pulido, *Calidad Total y Productividad*, Cuarta edición ed., México, D.F.: McGRAW-HILL, 2014.

[3] P. R. Aguilar, «Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas Mexicanas: Experiencias y Reflexiones.», *Contaduria y administración*, pp. 3-4, 2002.

[4] L. L. Esquivel, *Manual de moldeo de plásticos I*, Mexico: Trillas, 2011.

[5] D. Montgomery y G. Runger, *Probabilidad y estadísticas aplicadas a la ingeniería*, Virginia: Limusa Wiley, 2005.

[6] C. I. H. Martínez, «La metodología Lean Seis Sigma, sus herramientas y ventajas.», *Universidad Veracruzana, Xalapa*, 2014.

[7] W. Oliveira, «Pagina dedicada a mejora de procesos Seis Sigma», 4 8 2017. [En línea]. Available: <https://www.heflo.com/es/blog/calidad/metodologia-six-sigma/>.

[8] C. Gastelum Acosta, J. Limon Romero, M. Maciel Monteon y Y. Baez Lopez, «Seis Sigma en Instituciones de Educación Superior en México.», *uabc, Tijuana*, 2018.

[9] E. Gutiérrez González y O. Vladmirovna Panteleeva, *Probabilidad y estadística. Aplicaciones a la ingeniería y ciencias*, México, D.F.: Grupo Editorial Patria S.A. de C.V.; Edición: 1, 2017.

[10] R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers y K. Ye, *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias.*, México, D.F.: PEARSON, 2012.