



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Medición, análisis y rediseño de parrillas de horno aplicando metodología Seis Sigma **Measurement, analysis and redesign of oven racks applying Six Sigma methodology**

Arguelles-Ojeda, J.^a, Pineda-Rico, Z. [‡] Cruz-Alvarado, C.^b

^a Ingeniería Mecánica Administrativa. Coordinación Académica Región Altiplano, Carr Cedral Km. 5+600, CP 78700, Matehuala, S.L.P.

^b Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico de Matehuala, Carretera 57 km.5, CP78746, Matehuala, S.L.P.
luis.arguelles@uaslp.mx; zaira.pineda@uaslp.mx; carlos_cruz28@hotmail.com

Innovación tecnológica: Metodología combinada para la implementación de proyectos.

Área de aplicación industrial: Ingeniería del producto, Calidad.

Recibido: 27 marzo 2021

Aceptado: 28 sept. 2021

Abstract

In this paper we suggest the implementation of a method that consists of the combination of the two most common Six Sigma methodologies: DMAIC and Operational Excellence (OPEX), in order to be applied in the design and/or implementation of projects for the launch of new products, improvement of quality or redesign of products in the manufacturing industry and thus decrease the execution time of projects using both approaches. The following tools are used in the suggested methodology: Mental map, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), test plan, design critics, process critics, process map, process capability analysis (SPC) and design of experiments (DOE). By applying the aforementioned methodology to the case study, it is possible to reduce at least 40% of the time dedicated to the conception of the project without the need to reduce the quality of the products and accomplish the client's specifications. This allows to carry out the design, planning, implementation and control of the products, or when it is necessary to make any modification to an existing product or quality improvement; so that it is reliable for its manufacture, production, assembly, packaging and storage. The project consists of finding the root cause that makes the stove oven racks not support the weight of the food, causing it to spoil, as well as the stove. The company attended 30,000 annual complaints from stove users, in Mexico, the United States and Canada, with the respective cost that each of these calls represent, as well as the numerous replacements and repairs for defective products. Proven annual savings

of \$ 1,500,000 are achieved in elimination of service calls, product replenishment, on-site repairs and assembly line downtime.

Keywords: DMAIC, Operational Excellence, oven racks, six sigma.

Resumen

Este trabajo propone la implementación de un método que consiste en la combinación de las dos metodologías de Seis Sigma más comunes: DMAIC y Excelencia Operacional (OPEX), para de esta manera ser aplicado en la realización práctica de los proyectos para el lanzamiento de nuevos productos, mejora de calidad o rediseño de productos en la industria de manufactura y así disminuir el tiempo de ejecución de los proyectos utilizando ambos enfoques. En la metodología propuesta se utilizan las siguientes herramientas: Mapa de ideas, el Análisis del Modo y Efecto de las Fallas (AMEF), plan de pruebas, críticos de diseño, críticos de proceso, mapa de procesos, gráficas de capacidad de procesos (CEP) y diseño de experimentos (DOE). Al aplicar la mencionada metodología al caso de estudio, se logra reducir al menos un 40% del tiempo dedicado a la concepción del proyecto, sin la necesidad de reducir la calidad de los productos y cumpliendo las especificaciones del cliente. Esto permite llevar a cabo el diseño, la planeación, la implementación y el control de los productos, o cuando es necesario hacer alguna modificación a un producto existente o mejora de calidad; de forma que sea confiable para su manufactura, producción, ensamble, empaque y almacenaje. De esta manera, aplicando el método descrito, se presenta su aplicación en un caso de estudio para un proyecto de reducción de llamadas de servicio. El proyecto consiste en encontrar la causa raíz que hace que las parrillas del horno de la estufa no soporten el peso de los alimentos, ocasionando que los mismos se arruinen, así como la estufa. La empresa llegó a atender 30,000 quejas anuales de los usuarios de las estufas, en México, Estados Unidos y Canadá, con el respectivo costo que cada una de estas llamadas representan, así como las numerosas reposiciones y reparaciones por productos defectuosos. Se logran ahorros anuales comprobados de 1,500,000 USD por conceptos de eliminación de llamadas de servicio, reposición de productos, reparaciones a domicilio y tiempo muerto en la línea de ensamble.

Palabras clave: DMAIC, Excelencia Operacional, parrillas de horno, seis sigma.

I. Introducción

Desde el punto de vista industrial, el tiempo invertido en el lanzamiento de un nuevo producto o su modificación afecta directamente al presupuesto asignado. Mientras que, en manufactura el tiempo de ejecución tiene repercusión directa en términos de eficiencia, eficacia y optimización [1]. Asegurar la mejora continua tiende a favorecer la optimización de los costos y el incremento de la

productividad, desafortunadamente en algunos casos esto se logra a costa de la calidad del producto. Es posible diseñar un proyecto con las características necesarias para su aprobación e implementación sin sacrificar la calidad de los productos o servicios, mediante el uso de herramientas actuales e innovadoras como la metodología Seis Sigma [1]. En el desarrollo de proyectos para la realización de nuevos productos o para la modificación de un producto existente, se puede utilizar dos metodologías

que aseguren el éxito de la mejora: DMAIC, que considera sus siglas como los pasos a seguir en un proyecto Seis Sigma: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, aplicando ciertas herramientas en cada etapa sin permitir variantes [2][3]; y el enfoque de la Excelencia operacional (OPEX por sus siglas en inglés), el cual permite que el usuario determine las herramientas a utilizar partiendo de un número ilimitado, y que las aplique en una secuencia ordenada y sistemática.

La metodología DMAIC tiene un amplio rango de aplicaciones que van desde su uso en la industria [4], la educación [5], la ingeniería [6], las ciencias administrativas [7,8] y las ciencias de la salud [9], entre otras. La implementación de la metodología DMAIC en producción y manufactura ha mostrado resultados favorables en la implementación de diversos proyectos de mejora. De Assis Júnior (2016), presenta un método combinado utilizando el ciclo de Deming y la metodología DMAIC para reducir los costos de producción de un concentrado para bebidas refrescantes, en el curso de seis meses se logró un ahorro de al menos 30% [10]. Girmanová (2017), utiliza la metodología DMAIC con el objetivo de mejorar la calidad de un producto obtenido a través de una operación metalúrgica. La aplicación de la metodología permitió identificar la causa principal que generaba la baja calidad del producto por lo que se logró reducir la ocurrencia de los defectos, reducir costos de producción y aumentar la satisfacción del cliente [11]. Sharma (2018), presenta el uso de la metodología DMAIC en conjunto con otras herramientas de calidad para el disminuir defectos en el maquinado de rines de automóvil construidos en aleaciones de aluminio. Además de mejorar el proceso de maquinado con el CNC, con el uso de las herramientas de la metodología se logra reducir la tolerancia en un 50% [12]. Kumar (2015),

aplica la metodología DMAIC para encontrar los defectos y sus causas raíz, así como proveer la solución para reducir o eliminar estos defectos. Como resultado, la cantidad de sobrantes se redujo de 9.9% a 5%, generando un incremento del nivel Sigma de la empresa de 2.8 a 3.2, además de aumentar ganancia del proceso de 90.1% a 95% [13]. En la implementación de mejoras es muy importante mantener el compromiso del personal y desarrollar una fuerte cultura de ejecución, pues de otra manera los problemas pueden volver a surgir eventualmente. Friedli (2013), define a la búsqueda de la mejora continua en la planta de producción en todas sus dimensiones como excelencia operacional, donde la mejora se mide con métricas balanceadas de ejecución abarcando la eficiencia y la efectividad [14]. Por otro lado, el enfoque de OPEX tiene amplia presencia en todas las empresas que buscan evaluar el control del rendimiento y para aplicaciones de monitoreo [15]; por lo que se ha podido documentar casos de éxito en diferentes tipos de industria [16-18].

En este trabajo se propone una combinación de la metodología DMAIC y el enfoque OPEX para el diseño, la planeación, la implementación y el control de los nuevos productos, el rediseño o la mejora de calidad.

La excelencia operacional OPEX es una filosofía de liderazgo, trabajo en equipo y resolución de problemas que da como resultado la mejora continua en la organización, a través del enfoque en las necesidades del cliente, el empoderamiento (“empowerment”) de los empleados y la optimización de los procesos. La Excelencia Operacional se define como “la gestión sistémica y sistemática de la productividad, calidad, confiabilidad, y excelencia”, implica usar la capacidad total de la compañía (procesos, tecnología y talento humano) para

implementar estrategias de optimización que garanticen la efectividad de las operaciones, para el éxito del negocio. Para lograr la Excelencia Operacional se usan metodologías como: La Planeación Estratégica, la Reingeniería de Procesos, la Calidad Total, el Mejoramiento Continuo, la Gestión de Activos, la Confiabilidad Operacional, y las nuevas Tecnologías de la Información. La metodología de OPEX permite que el experto determine, a partir de un número ilimitado, las herramientas del Seis Sigma a utilizar y que las aplique en una secuencia ordenada y sistemática [3].

Por otro lado, DMAIC es una metodología de investigación del Seis Sigma que garantiza justificar las decisiones con base en el análisis estadístico de datos, que permite mejorar la eficiencia de un proceso o la calidad de un producto, y consta de cinco etapas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. En la etapa Definir, se identifican los aspectos más importantes de un proceso, requisitos, organización y cliente para determinar posibles proyectos de mejora. En la etapa Medir, el objetivo es realizar la adquisición de datos en el objeto de estudio. En la etapa de Analizar, se determinan las causas del mal funcionamiento de un proceso a través del procesamiento de datos. La etapa de Mejorar se enfoca en generar las posibles soluciones al problema detectado e implementar las más pertinentes. Por último, la fase de Controlar permite establecer un plan de controles que garanticen obtener los niveles de mejora predeterminados [19].

Las herramientas consideradas en esta propuesta y su orden de aplicación son:

- Mapa de ideas: Es un auxiliar gráfico donde se colocan todas las preguntas que se generan del proyecto, su objetivo es ayudar al líder del proyecto a trabajar en la solución de las diversas preguntas, proporcionando múltiples respuestas y evitando que nos enfoquemos en una solución única.
- Análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF): Utilizado para identificar los modos de falla potencial para eliminarlos o reducirlos, lo que permite tomar acciones correctivas y priorizar las fallas potenciales de acuerdo con la evaluación de riesgos.
- El mapa de procesos: Es un auxiliar gráfico que muestra de manera sistemática los pasos para llevar a cabo el ensamble del producto. Este diagrama exhibe las oportunidades de mejora identificando las variables independientes del proceso (X's) y clasificándolas en cada una de las estaciones de proceso, con miras a alcanzar el objetivo o variable dependiente (Y).
- Los gráficos de promedios, rangos y capacidad: Muestran el control y la capacidad de los procesos donde es posible determinar si los procesos se encuentran en control y en especificación, así como los niveles de partes por millón defectuosas.
- El diseño de experimentos (DOE): Permite elegir los factores más significativos que ocasionan el problema de estudio.

La figura 1 muestra el diagrama de flujo de las herramientas mencionadas, en orden de aplicación.



Figura 1. Diagrama de flujo de las herramientas utilizadas.

II. Materiales y equipos

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

- 2 estufas de 30" marca Whirpool, modelos de exportación.
- 8 parrillas de acero inoxidable.
- 20 planchas de acero tipo D2 de diferentes pesos.

Cada de una de las estufas se ensamblan de acuerdo a las especificaciones definidas por el líder de proyecto para cumplir con los niveles marcados por el Diseño de Experimentos. Los componentes clave para el análisis de los niveles, se ensamblan por medio de pijas, por lo que en dichos componentes o piezas tenemos la existencia de barrenos troquelados, esto será fundamental para generar las gráficas de capacidad de procesos.

Las 8 parrillas de acero inoxidable se mandan fabricar con el proveedor actual, a las diferentes longitudes contempladas en el Diseño de Experimentos. Las 20 planchas de acero D2, se utilizan para simular el peso de los alimentos y registrar el máximo peso que en cada prueba soportan las parrillas del horno.

III. Métodos experimentales

En esta sección, se da inicio con la descripción detallada del método propuesto, el cual plantea el uso en conjunto del enfoque que proporciona la excelencia operacional OPEX y el método DMAIC para la solución de un problema específico, determinando las herramientas apropiadas para la mejora del proceso. Para una referencia de las herramientas que utilizan OPEX y DMAIC en cada etapa, se muestra la tabla #1, la cual contiene una comparativa.

Tabla 1. Herramientas de OPEX y DMAIC.

| Etapa | Metodología | Herramientas |
|----------|-------------|--|
| Definir | DMAIC | Mapa de procesos, matriz causa y efecto, diagrama de Ishikawa, diagrama de pareto, hojas de comprobación, las 7 herramientas. |
| | OPEX | Mapa de Ideas, mapa de producto, diagrama de pareto, gantt de actividades, diagrama de Ishikawa, evaluación del riesgo, benchmarking, pensamiento crítico. |
| Medir | DMAIC | Gage R&R, estrategia de muestreo. |
| | OPEX | Control estadístico del proceso, análisis de sistemas de medición, árbol de muestreo, análisis del modo y efecto de las fallas. |
| Analizar | DMAIC | Línea base, SIPOC, control estadístico del proceso, gráficas EWMA, análisis de la capacidad de procesos, análisis de correlación y regresión, análisis de datos categóricos, pruebas de hipótesis. |

| | | |
|-----------|-------|---|
| | OPEX | Análisis de la capacidad de procesos, análisis de correlación y regresión, análisis de datos categóricos, análisis de tolerancias geométricas, pruebas de hipótesis. |
| Mejorar | DMAIC | Carta de proyecto, add-delete, análisis financiero del proyecto, análisis del modo y efecto de las fallas, evaluación del riesgo, análisis de tolerancias geométricas, diseño de experimentos, ANOVA. |
| | OPEX | Diseño de experimentos, ANOVA, metodología de superficie de respuesta, diagrama de relación entre factores. |
| Controlar | DMAIC | Plan de control, auditoría de procesos, revisión de ahorros mensuales, control estadístico de procesos. |
| | OPEX | Plan de control, auditoría de procesos, revisión de ahorros mensuales, control estadístico de procesos, árbol de muestreo. |

IV. Resultados y discusión

En esta sección se procede a aplicar la metodología descrita, la combinación de DMAIC y OPEX, para atender una problemática real:

En la totalidad de los modelos producidos de una marca de estufas en una empresa manufacturera, las parrillas del horno se vencen con el peso de los alimentos que se colocaba en ellas al hornear, ocasionando que estos se arruinaran y que el horno no se pudiera volver a utilizar. El proyecto consistió en encontrar la causa raíz que hacía que las parrillas no soporten el peso de los alimentos. La empresa tenía cerca de 30,000 quejas anuales de los usuarios de las estufas, en México, Estados Unidos y Canadá, cada una de estas llamadas generaba costo, así como las numerosas reposiciones por productos defectuosos.

4.1 Mapa de ideas

Dentro del mapa de ideas se incluyó el objetivo, la pregunta inicial, la historia del proyecto, la documentación de las partes por millón generadas (PPM's) y las preguntas que surgieron sobre las teorías de diseño y las teorías de proceso, con la finalidad de contestar cada una en el transcurso del proyecto y que de esa manera el líder del proyecto se convierta en un experto de la problemática a estudiar. Es importante mencionar que el mapa de ideas se comenzó solamente con preguntas, lo que evitó que el líder buscara soluciones rápidas o intuitivas.

4.2 Análisis del Modo y Efecto de las Fallas (AMEF)

La tabla #2 muestra una vista parcial del AMEF.

Tabla 2. Análisis del Modo y Efecto de las Fallas.

| Análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial AMEF | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|---|-----|--|----------------|----------------------------------|----|-------------------|---|-----------------------|-------------------------------------|--|---|---|---|----|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Ensamble | Cavidad de horno- parrillas | | | | | | | | | No. De AMEF | 15 | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Subensamble | | | | | | | | | | Iteración: | 3 | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | Componente | | | | | | | | | | Preparado por: | J. Arguelles | | | | | |
| Equipo de Trabajo: J.L. Arguelles, Z. Pineda, C. Cruz | | | Responsable del Diseño: J.L. Arguelles | | | Fecha de AMEF: | | | Original: I-11-10 | | Rev: I-02-11 | | | | | | |
| Número / Nombre de la Parte | Función de la Parte | Modo de Falla Potencial | Efectos Potenciales de la Falla | Sev | Causa Potencial / Mecanismo de la Falla | Ocur | Controles de Diseño Actuales | D | N | P | Acciones Recomendadas | Responsable y Fecha de Cumplimiento | Acciones Tomadas | S | O | D | N |
| Parrilla | Las parrillas deben resistir un peso mínimo de 11 kg. de acuerdo con NOM-019 inciso 5.10.1 | Las parrillas se caen con un peso menor ó de 11 Kg | No se cumple con NOM-019 inciso 5.10.1 | 9 | El ensamble de la cavidad no soporta 11 kg | 10 | Prueba de falla forzada | 10 | 900 | | Hacer la prueba | J.L. Arguelles, 15/02/2011 | Se realizó la prueba haciendo cambios según DOE | 9 | 2 | 1 | 18 |
| | | | | 9 | El sistema falla a máxima temperatura | 9 | | 3 | 243 | | | | | 9 | 1 | 1 | 9 |
| | | Las parrillas no deslizan con un peso de 11 kg | Las parrillas no cumplen con su función | 8 | El ensamble de la cavidad presiona la parrilla | 5 | Prueba de funcionalidad con peso | 4 | 160 | | Hacer la prueba | J.L. Arguelles, 15/02/2011 | Se realiza la prueba con 11 kg., 18 kg. y 30 kg. | 8 | 1 | 1 | 8 |

La tabla #2 nos muestra el modo de falla más común del problema que nos atañe; que las parrillas se caigan. Por otro lado, la norma NOM-019 INCISO 5.10.1 [20] marca que el peso mínimo a sostener es de 11 kg. En este trabajo se determinó un peso máximo de 18 kg con lo que se pretende cubrir las especificaciones de la norma, así

como satisfacer las necesidades promedio de uso. Para determinar el tratamiento que se les da a los modos de falla, se toma como base una propuesta que se muestra en la tabla #3, donde se clasifican los modos de falla en base a su RPN (Número prioritario de riesgo).

Tabla 3. Número Prioritario de Riesgo.

| Número Prioritario de Riesgo | | |
|------------------------------|--------------|---|
| Callificación | Severidad | Descripción |
| RPN < 30 | Menor | Este modo de falla puede ser detectado en los laboratorios de la empresa, significa un cambio sencillo en el diseño, a no ser que el modo de falla este incluido en la norma. |
| 30 < RPN < 50 | Significante | El Número Prioritario de Riesgo de este modo de falla puede ser disminuido después de un ajuste al diseño en los laboratorios de la empresa. |
| 50 < RPN < 100 | Muy Serio | El Número Prioritario de Riesgo de este modo de falla puede ser disminuido después de un ajuste al diseño en un laboratorio externo a la empresa. |
| RPN > 100 | Peligroso | Este modo de falla debe ser disminuido o eliminado a través de las diversas pruebas de laboratorio que se realicen, o de ser necesario debemos cambiar el concepto de diseño. Si no es disminuido, el producto no se puede vender al mercado. |

A través del AMEF, se obtuvieron el plan de pruebas, los críticos de diseño y los críticos de proceso; los cuales son propuestas en este

trabajo y se muestran los resultados del análisis en las tablas #4, #5 y #6 respectivamente.

Tabla 4. Plan de pruebas.

| Modo de falla | Criterio de aceptación | Requisición | ¿Cumplió? |
|---|-------------------------------|--------------------|------------------|
| Las parrillas no deslizan libremente | Prueba NOM 019 inciso 5.10.1 | TOF-1487-2010 | Si |
| Las parrillas deben soportar mínimo 11 kg | Prueba NOM 019 inciso 5.10.1 | TOF-1488-2010 | Si |
| El sistema falla a máxima operación | Diseño de experimentos | TOF-1489-2010 | Si |
| El sistema se debe ensamblar en 8 seg. | Prueba en línea de ensamble | TOF-1490-2010 | Si |
| El sistema debe soportar mínimo 18 kg | Diseño de experimentos | TOF-1489-2010 | Si |
| Las parrillas caen en todos los niveles | Prueba NOM 019 inciso 5.10.1 | TOF-1488-2010 | Si |
| Las parrillas caen en algunos niveles | Prueba NOM 019 inciso 5.10.1 | TOF-1488-2010 | Si |

Tabla 5. Críticos de diseño.

| Críticos de diseño |
|--|
| Definir los límites de operación de la cavidad |
| Definir el rango confiable de longitud para la parrilla |
| Determinar la máxima temperatura de operación para el rediseño |
| Realizar los ensambles en 3D para el rediseño |
| Análisis de tolerancia geométricas |
| Especificar el máximo peso para el rediseño |

Tabla 6. Críticos de proceso.

| Críticos de proceso |
|---|
| Analizar la capacidad de procesos de los ensambles |
| El rediseño se debe ensamblar en 8 seg. |
| Analizar control estadístico de procesos |
| Analizar el mapa de procesos identificando operaciones críticas |

4.3 Mapa de procesos

Con esta herramienta se analizó cada operación, estación, ensamble con el objetivo de encontrar variaciones en el proceso. En el mapa de procesos se integró información como gráficas de control estadístico, diseños de experimentos, estrategias de muestreo, Gage R&R, tiempos, torques, etc. La figura 2 muestra el mapa de procesos.

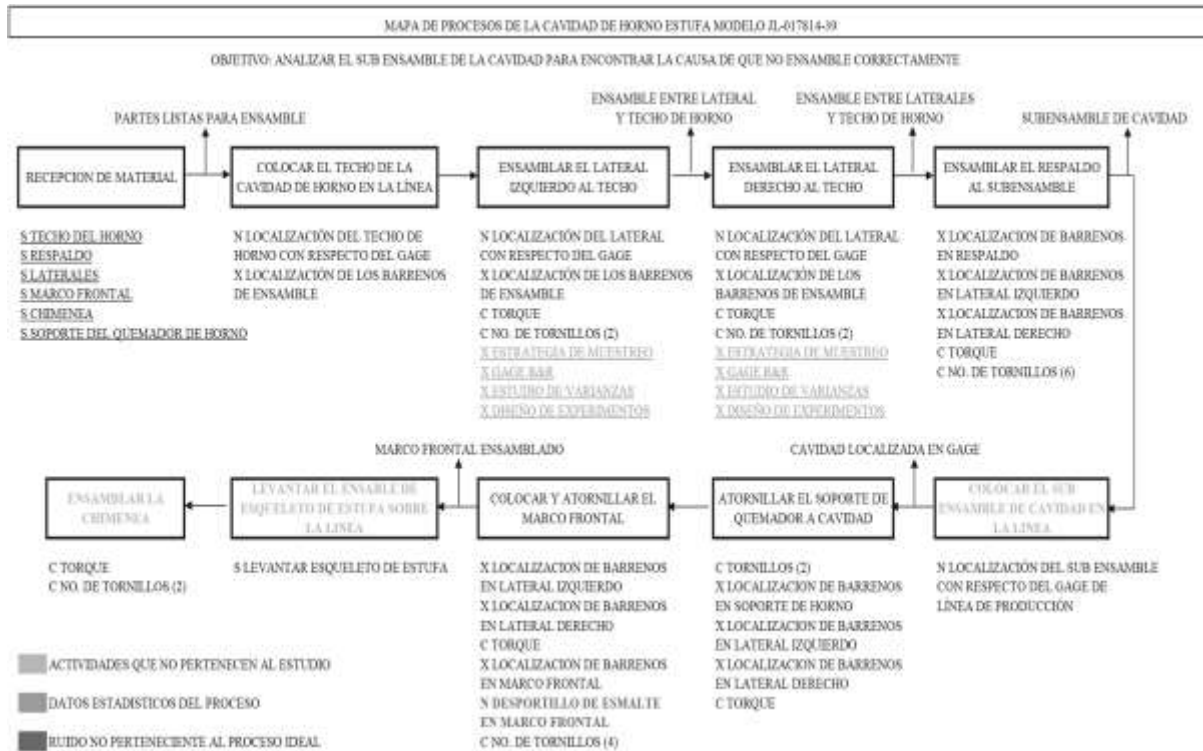


Figura 2. Mapa de procesos.

La nomenclatura utilizada en la figura 2 significa:

- S- Operaciones estándares.
- C- Operaciones controladas.
- N- Ruido o actividades que no pertenecen al proceso ideal.
- X- Variables estadísticas.

El análisis realizado establece, entre otros, que existe un ruido (N) del desportillo de esmalte en el marco frontal. Analizando el proceso se concluye que el ensamblaje de la cavidad se está forzando, por lo que estos tornillos que ensamblan el marco frontal con la cavidad están ocasionando el desportillo de esmalte.

4.4 Gráficas de capacidad de procesos

Las gráficas de capacidad de proceso de la longitud de parrilla mostraron que la dimensión estaba en especificación y las gráficas de promedios y rangos se mostraron bajo control. Se realizaron las gráficas de capacidad de proceso para las piezas que componen la cavidad del horno en la estufa. En primera instancia, las gráficas de los barrenos del lateral derecho, donde barrenos 1 y 2 son los que ensamblan con el marco frontal y barrenos 3 y 4 ensamblan con el respaldo del horno. Cabe mencionar que se generan todas las gráficas, pero solo se muestran las que están fuera de especificación, por interés del trabajo. Las figuras 3 y 4 muestran las que están fuera de especificación, barrenos 3 y 4.

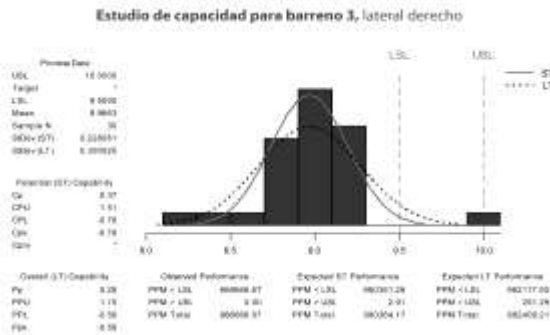


Figura 3. Barreno 3, lateral derecho.

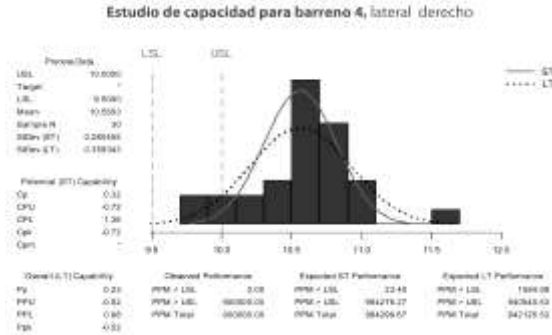


Figura 4. Barreno 4, lateral derecho.

Se realizaron las gráficas de capacidad de proceso de los barrenos del lateral izquierdo, donde barreno 1 y 2 son los que ensamblan con el marco frontal y barreno 3 y 4

ensamblan con el respaldo. Las figuras 5, 6, 7 y 8 muestran que todos los barrenos en esta pieza estaban fuera de especificación.

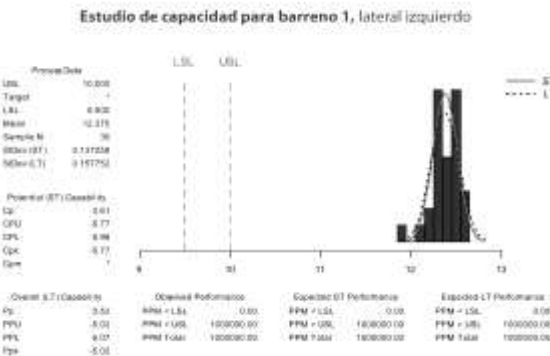


Figura 5. Barreno 1, lateral izquierdo.

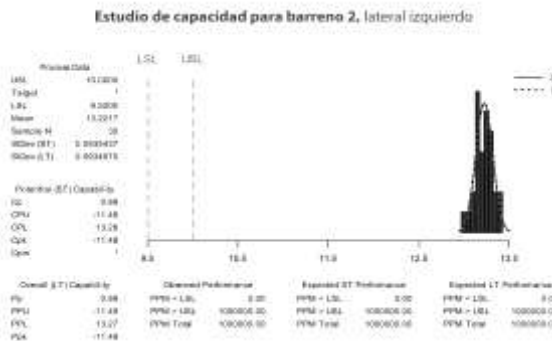


Figura 6. Barreno 2, lateral izquierdo.

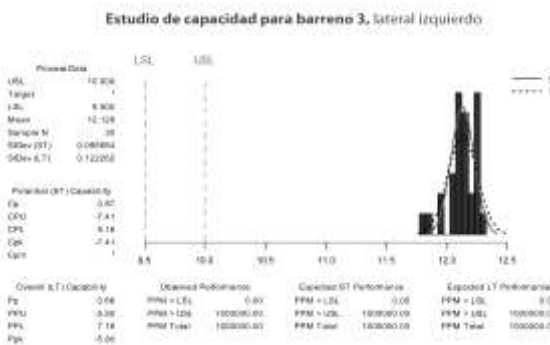


Figura 7. Barreno 3, lateral izquierdo.

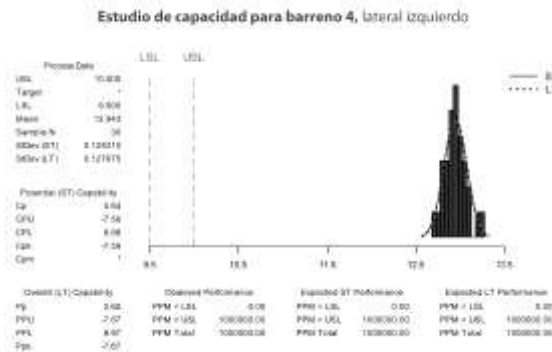


Figura 8. Barreno 4, lateral izquierdo.

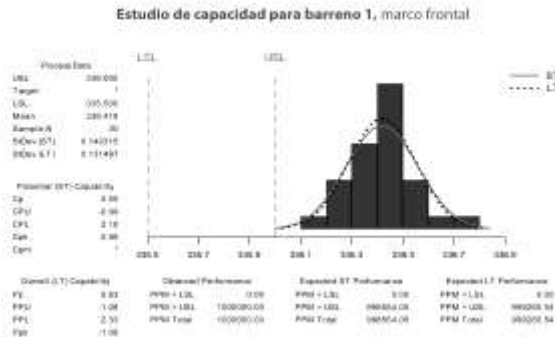


Figura 9. Barreno 1, marco frontal.

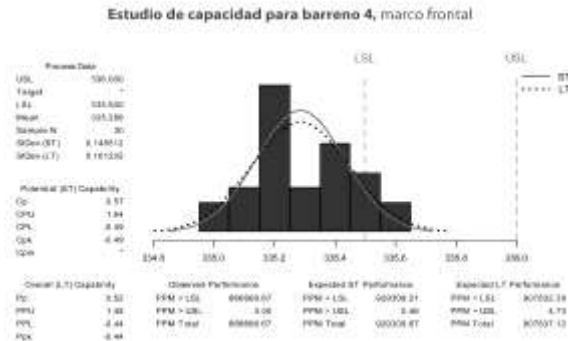


Figura 10. Barreno 4, marco frontal.

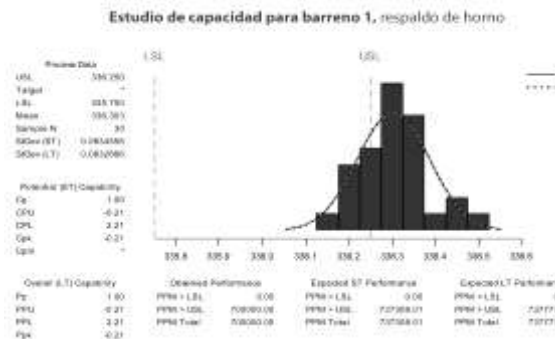


Figura 11. Barreno 1, respaldo de horno.

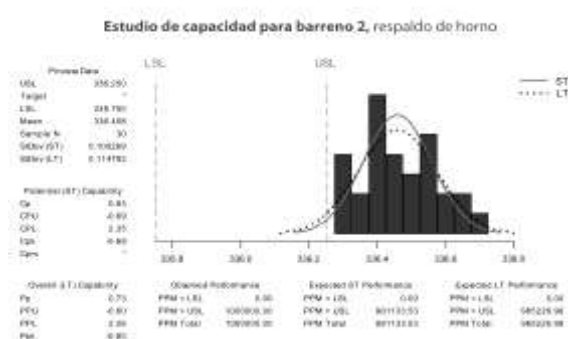


Figura 12. Barreno 2, respaldo de horno.

Por otro lado, se realizaron las gráficas de capacidad de proceso de los barrenos del marco frontal, donde barreno 1 y 2 son los que ensamblan con el lateral izquierdo y barreno 3 y 4 ensamblan con el derecho. Las figuras 9 y 10 muestran que los barrenos 1 y 4 son los que estaban fuera de especificación.

Por último, se realizaron las gráficas de capacidad de proceso de los barrenos del respaldo, donde barreno 1 y 2 son los que ensamblan con el lateral izquierdo y barreno 3 y 4 ensamblan con el derecho. Las figuras 11 y 12 muestran que los barrenos 1 y 2 son los que estaban fuera de especificación.

Como resumen de lo mostrado en las gráficas de capacidad de proceso, es posible determinar que existe un problema **Tabla 7.** Factores para el DOE.

| | | |
|-----------------------|----------|---------|
| | + | - |
| TEMPERATURA | 250°C | 0°C |
| MEDIDA DE LA PARRILLA | 149.5 mm | 148 mm |
| LÍMITES | 10.65 mm | 8.85 mm |

significativo de ensamble entre las piezas clave de la cavidad de horno (laterales, respaldo y marco frontal), ya que los barrenos de ninguna de estas piezas estaban coincidiendo, y no había pieza que cumpliera al 100% con la especificación de diseño. Por lo anterior, es posible mencionar que el desportillo detectado en el mapa de procesos y que se presenta en el marco frontal, es el resultado del ensamble de piezas que se encontraban fuera de especificaciones de diseño.

4.5 Diseño de experimentos

Los factores para el DOE se escogieron después de analizar lo relevante del AMEF, gráficos de control y mapa de procesos, para este caso son (ver tabla 7).

Con estos factores se realizó el árbol de pruebas que se muestra en la Figura 13. La

gráfica de efectos principales se muestra en la figura 14.

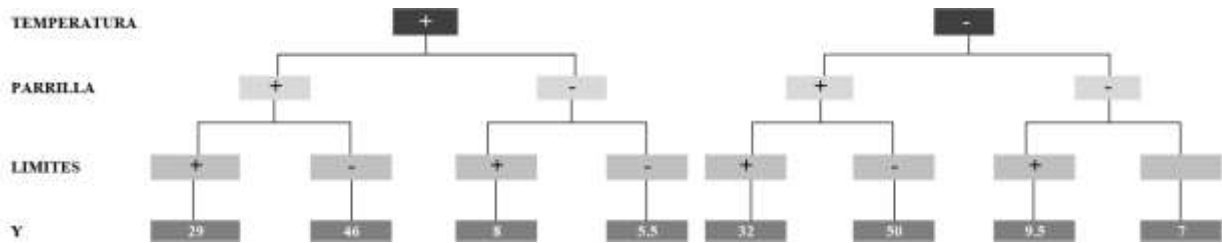


Figura 13. Árbol de pruebas con resultados.

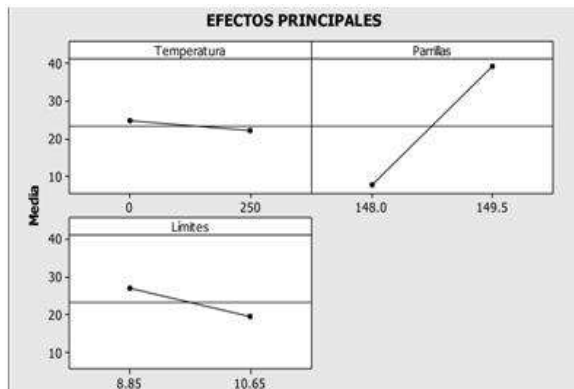


Figura 14. Gráfica de efectos principales.

Para interpretar correctamente esta gráfica, entre más inclinada la línea del efecto, más contribuye con la variación del sistema. En la figura 14, vemos que el efecto de la temperatura es casi nulo pues su línea es casi horizontal. El tamaño de la parrilla, en cambio, muestra el mayor efecto del experimento; es decir, que el tamaño de la parrilla es un factor significativo. El efecto de los límites de operación de la cavidad de horno ocupa el segundo en importancia. En este punto es seguro afirmar que, si controlamos la medida de la parrilla en la producción, no volverá a haber problemas con el peso a soportar, como efecto individual. Al estar analizando un ensamble, importante es, revisar la interacción entre variables. La figura 15 muestra la gráfica de interacciones.

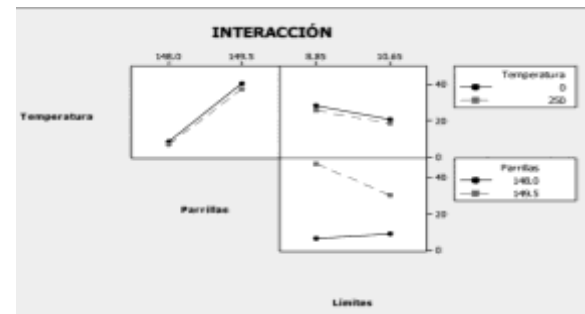


Figura 15. Gráfica de interacciones.

En la Figura 15, entre más paralelismo guarden las pendientes de los factores, menos interacción tienen entre ellos. En el gráfico vemos que la temperatura y la parrilla no muestran interacción alguna. Lo mismo pasa con la temperatura y los límites; en cambio, hay una interacción importante entre la medida de la parrilla y los límites de operación de la cavidad del horno, lo cual indica que la combinación de estos dos factores contribuye a la variación en el sistema. Estos son los dos factores en los que debemos enfocarnos para resolver el problema desde su causa raíz. Por último, la Figura 16 nos muestra la gráfica de cubos.

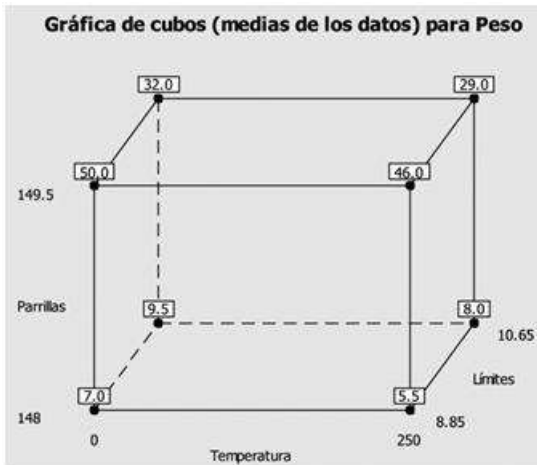


Figura 16. Gráfica de Cubos.

La gráfica de cubos nos indica la mejor combinación de factores para elegir. Para nuestro trabajo será la que soportó 29 kg, es decir; la parrilla de 149.5 mm, los límites a 10.65 mm y con la máxima temperatura de operación. La ventaja que tiene el DOE se nota en esta gráfica, el líder de proyecto tiene más de una alternativa para elegir su combinación de factores ideal, entonces aquí pueden entrar cuestiones como la inversión, el tiempo de implementación, los recursos humanos, etc. De esta manera, en la solución implementada, se realiza el cambio de ingeniería en el plano de la parrilla, se cambia la especificación a 149.25 +/- 0.25 mm, aprovechando así para también reducir la tolerancia, ya que la anterior especificación era 148.75 +/- 0.75, dando menor margen de error al producto. Con esta nueva especificación, nos aseguramos que la parrilla no presentará interferencia y que no quedará un gap en el ensamble que permita que se caigan, mientras la misma se cumple por parte del proveedor.

V. Conclusiones

La implementación de la metodología DMAIC en conjunto con el enfoque de OPEX aplicado a un caso real permite el uso combinado de las principales herramientas de ambos. Esto conlleva a un ahorro de

tiempo en el desarrollo del proyecto, al evitar que el líder del proyecto se desvíe del objetivo o realice actividades que no agregan valor a la consecución del mismo. En este caso de estudio se logró reducir hasta un 40% el tiempo dedicado a la concepción del proyecto sin reducir la calidad de los productos, lo que permite llevar a cabo el diseño, la planeación, la implementación y el control de los productos. El objetivo planteado en el proyecto se logró, determinando la causa raíz que originaba el mal funcionamiento de las parrillas de horno de una marca de estufas. Por medio del Diseño de Experimentos, se optimiza el ensamble del producto, determinando que la especificación de la parrilla cambia a 149.25 +/- 0.25 mm y que la medida de los límites que más conviene a la reducción del defecto es 10.65 mm, todo esto basado en los resultados de la experimentación y sus gráficas obtenidas. El proyecto de mejora realizado permitió eliminar las llamadas de servicios y quejas de clientes, así como reducir sustancialmente los costos por reposición de productos y reparaciones con un ahorro comprobado de 1,500,000 USD. Se sugiere el uso del método aquí descrito para proyectos de mejora de calidad y productividad, así como el desarrollo/rediseño de productos en las empresas de manufactura de productos.

VI. Referencias

- [1] Pyzdek, T., Keller, P. (2018). The Six Sigma Handbook. Fifth edition. Mc Graw Hill.
- [2] Cardiel-Ortega, J. J., Baeza-Serrato, R., Lizarraga-Morales, R. A. (2017). Development of a system dynamics model based on Six Sigma methodology. Ingeniería e Investigación, 37(1), 80-90. <https://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v37n1.62270>.

- [3] Arguelles, J. L., (2020). DMAIC vs excelencia operacional, las metodologías del seis sigma. Primera edición, Editorial AL Diseño.
- [4] Esteban, P., Minor, G. (2014). Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. *Tecnología En Marcha*, Vol 27, Issue 3, 88-106, (3), 88. <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v27i3.2070>.
- [5] Carnovale, S., Allen, C., Pullman, M., Wong, D. (2016). Using Continuous Improvement in Online Program Design: DMAIC as a Tool for Assurance of Learning Assessments. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 14(2), 128-153. <https://dx.doi.org/10.1111/dsji.12094>.
- [6] Implementation of DMAIC principle-six sigma technique on road safety. (2010). *Frontiers in Automobile and Mechanical Engineering*, *Frontiers in Automobile and Mechanical Engineering (FAME)*, 368. <https://dx.doi.org/10.1109/FAME.2010.5714861>.
- [7] Mantilla Celis, O. L, Sánchez García, J. M. (2012). Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Six Sigma. *Estudios Gerenciales*, 28(124), 23-43. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232012000300003&lng=pt&tlng=es.
- [8] Kansal, J., Singhal, S. (2017). Application and validation of DMAIC six sigma tool for enhancing customer satisfaction in a government R & D organization. *International Journal For Quality Research*, 11(4), 931-944. <https://dx.doi.org/10.18421/IJQR11.04-13>.
- [9] Kuwaiti, A., Subbarayalu, A. (2017). Reducing hospital-acquired infection rate using the Six Sigma DMAIC approach. *Saudi Journal of Medicine and Medical Sciences*, 5, 260-266.
- [10] de Assis Mourão Júnior, F., Magalhães, E. M., Reyes Carvajal, T. L. (2016). Proposal of Cost Reduction in the Production Process of Soft Drinks Concentrate from Tholor do Brasil based on the Use of Integrated PDCA/DMAIC Tools. *Business Management Dynamics*, 6(1), 36-54.
- [11] Girmanová, L., Šolc, M., Kliment, J., Divoková, A., Mikloš, V. (2017). Application of Six Sigma Using DMAIC Methodology in the Process of Product Quality Control in Metallurgical Operation. *Acta Technologica Agriculturae*, 20(4), 104-109. <https://dx.doi.org/10.1515/ata-2017-0020>.
- [12] Sharma, G., Rao, P., Babu, B. (2018). Process capability improvement through DMAIC for aluminum alloy wheel machining. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(2), 213-226. <https://dx.doi.org/10.1007/s40092-017-0220-z>.
- [13] Kumar, D. and Kaushish, D. (2015). Scrap Reduction in a Piston Manufacturing Industry: An Analysis Using Six Sigma and DMAIC Methodology (October 16, 2015). *The IUP Journal of Operations Management*, Vol. XIV, No. 2, May 2015, pp. 7-24. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2675089>
- [14] Friedli, T., Basu, P., Bellm, D., Werami, J. (2013) *Leading pharmaceutical operational excellence*. Springer, Primera Edición.
- [15] Thornhill, N.F, Shah, S.L., (2005). New directions in control loop assessment and diagnosis, *Computing & Control*

Engineering Journal, vol. 16, no. 4, 18-22.
<https://dx.doi.org/10.1049/cce:20050404>.

[16] Lopez, P., Terry, A., Daniely, D., Kalir, A. (2005). Effective utilization (Ue) - a breakthrough performance indicator for machine efficiency improvement, ISSM 2005, IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing, San Jose, CA, 63-66.
<https://dx.doi.org/10.1109/ISSM.2005.1513297>.

[17] Isoherranen, V., Niinikoski, E. R., Malinen, T., Jokinen, M., Kess, P. and Karkkainen, M. K. (2016). Operational excellence evaluation model for SMEs and regional findings, 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Bali, 199-203.

<https://dx.doi.org/10.1109/IEEM.2016.7797864>.

[18] Jamshidieini, B., Rezaie, K., Eskandari, N., Dadashi, A. (2017). Operational excellence in optimal planning and utilisation of power distribution network CIREC Open Access Proceedings Journal. Issue 1, 2449 – 2452.
<https://dx.doi.org/10.1049/oap-cired.2017.1115>.

[19] Garza, R.C., González, C.N., Rodríguez, E.L., Hernández, C.M. (2016). Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio, Revista de Métodos cuantitativos para la economía y la empresa, 22, 19-35, ISSN:1886-516X.

[20] Norma Oficial Mexicana NOM-019-STPS-2011. Secretaría de Gobernación, Diario Oficial de la Federación, Secretaría del Trabajo y Previsión Social.