

Reducción del tiempo de horneado en la fabricación de insuladores: estudio de caso Six Sigma

Reduced baking time in the manufacture of insulators: Six Sigma case study

CANO-CARRASCO, Adolfo*†, FORNÉS-RIVERA, René Daniel, VÁSQUEZ-TORRES, María Del Carmen y PEÑÚÑURI-GONZÁLEZ, Sandra Armida

ID 1^{er} Autor: *Adolfo, Cano-Carrasco*/ ORC ID: 0000-0002-3392-3667, Researcher ID Thomson: G-5035-2018, CVU CONACYT ID: 266064

ID 1^{er} Coautor: *René Daniel, Fornés-Rivera*/ ORC ID: 0000-0002-7438-0056, Researcher ID Thomson: G-3906-2018, CVU CONACYT ID: 280435

ID 2^{do} Coautor: *María del Carmen, Vázquez-Torres*/ ORC ID: 0000-0003-0938-4955, CVU CONACYT ID: 286266

ID 3^{er} Coautor: *Sandra Armida, Peñuñuri-González*/ ORC ID: 0000-0002-3277-732X, Researcher ID Thomson: S-8718-2018, CVU CONACYT ID: 620249

Recibido 11 de Abril, 2018; Aceptado 16 de Junio, 2018

Resumen

Este artículo aborda un caso de estudio para ilustrar la aplicación de la metodología Six Sigma en una empresa mexicana del giro aeroespacial. La investigación se genera a partir de datos del proceso de elaboración de insuladores y muestra la mejora derivada de la aplicación de las fases de la metodología DMAIC para conseguir una reducción del tiempo de ciclo de insuladores al disminuir el tiempo de horneado de las piezas. Las implicaciones prácticas son la mejora aplicada directamente al proceso de producción y el aprendizaje en la experiencia de la realización del proyecto a través de la identificación de factores que influyen en la resistencia a la tensión del insulador y su aislamiento eléctrico. No obstante que Six Sigma ha sido exitosa en los últimos años en el sector manufacturero, su aplicación debe ser analizada para generar conocimiento que pueda ser aplicado en futuros proyectos.

Six Sigma, DMAIC, mejora continua

Abstract

This article brings out a case study to illustrate the application of the Six Sigma methodology in a Mexican aerospace company. The research is generated from data about insulators development process and shows the improvement derived from the application of DMAIC methodology phases to get a reduction of insulators cycle time, which is due to decrease in pieces baking time. The practical implications are the improvement directly applied to the production process and learning in the experience of carrying out this project through the identification of factors that influence the insulator tension resistance and its electrical isolation. Although Six Sigma has been successful in recent years in the manufacturing sector, its application must be analyzed to generate knowledge that can be applied in future projects.

Six Sigma, DMAIC, Constant improvement

Citación: CANO-CARRASCO, Adolfo, FORNÉS-RIVERA, René Daniel, VÁSQUEZ-TORRES, María Del Carmen y PEÑÚÑURI-GONZÁLEZ, Sandra Armida. Reducción del tiempo de horneado en la fabricación de insuladores: estudio de caso Six Sigma. Revista de Invención Técnica 2018. 2-6:18-30

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: adolfo.cano@itson.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El principio de que la calidad se logra a través de la reducción de la variabilidad propuesto por Shewhart (1931), fue adoptado posteriormente cuando muchos directivos notaron que la mejora de la calidad detona de modo inevitable en el mejoramiento de la productividad Deming (1986), esto se explica a través de una reacción de eventos en cadena, si mejoramos la calidad, decrecen los costos por reprocesos, equivocaciones, retrasos, se aprovecha mejor el tiempo de máquinas, el tiempo de los trabajadores y los materiales, el tener mejor calidad y precio más bajo, conquista al mercado logrando así la permanencia en el negocio y por ende habrá más trabajo.

Uno de los grandes retos que enfrentan actualmente las empresas es la globalización y el movimiento del mercado, implicando el tener que poner en marcha estrategias de mejora e innovación sustentables que asociadas a una fabricación de bajo costo para tener éxito y lograr la rentabilidad al ser más productivas Cruz y Monge (2015).

En el caso de la industria mexicana La productividad se ha caracterizado en la pérdida de competitividad de las manufacturas, que ha estado basada principalmente en una estrategia de bajo costo de la mano de obra. Esta estrategia parece no ser sustentable cuando la demanda se reduce en los mercados internacionales y frente al aumento de la competencia que tiene su origen en otras economías emergentes, sobre todo China Casa nueva y Rodríguez (2009). En adición a lo anterior Mertens (2005) establece que la competitividad de la industria manufacturera requiere de “lograr un eslabón cualitativamente diferente y superior de competitividad, basada en productos con mayor valor agregado”.

Uno de los sectores más importantes de la manufactura es el aeroespacial, la cual se encargada del diseño, fabricación, comercialización y mantenimiento de aeronaves, desde aviones hasta naves espaciales, así como de los equipos específicos asociados, tales como son los sistemas de propulsión y navegación.

El sector aeroespacial se ha caracterizado en los últimos años por un notable crecimiento, según BANCOMEXT (2015) el presidente de la Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial (FEMIA), Benito Gritzewsky, comenta: “La industria aeroespacial está cosechando los frutos de un esfuerzo que inició hace más de 30 años en nuestro país, gracias al establecimiento, a principios de los años ochenta, de grandes corporaciones transnacionales, que generan miles de empleos” y resalta la importancia para México al comentar “Las metas son altas: para 2020 se busca el décimo lugar en la posición global de manufactura, generar 110 mil empleos y exportaciones por 12 billones de dólares” por ello es importante visualizar las áreas de oportunidad para atajarlas a tiempo fortaleciendo a dicho sector.

Se considera que en cinco años, la industria aeroespacial duplique su crecimiento en México, esto por el incremento en la demanda de aviones y por ende de sus componentes necesarios para su elaboración, un dato estimado proyecta 37,000 aeronaves nuevas en los próximos 20 años. Por otra parte, algo que ha distinguido a México es su competitividad en costos de manufactura aeroespacial aunado a su ubicación geográfica que lo convierte en un campo de operaciones estratégico para este tipo de industria. El estado de Sonora, México alberga uno de los clústeres de mecanizados aeronáuticos más importantes e integrado del país. Como mencionan acerca de la Industria Aeroespacial Mexicana (Archundia, Hernandez, Moreno, Padilla, Pérez y Sandoval, 2014) las partes principales que son manufacturadas consisten de álabes y componentes para turbinas y aeromotores.

La capacidad en el sector aeronáutico inició con el ensamble de electrónicos (conectores y arneses), así mismo ha impulsado aún más la complejidad y tecnología relacionada con materiales compuestos, así como en aeroestructuras y en la disponibilidad de procesos especiales. La estrategia del estado se basa en el desarrollo de la cadena de suministro, con un enfoque en la innovación, principalmente en la fabricación de turbinas, y la generación de talento especializado en las necesidades de la industria (Secretaría de Economía, 2013).

El presente documento muestra la aplicación de la metodología Six Sigma en la mejora de un proceso. La empresa bajo estudio se dedica a la fabricación de componentes de interconexión de alta confiabilidad para la industria aeroespacial, defensa, médica y de telecomunicaciones.

Actualmente la empresa cuenta con tres naves industriales, cada nave tiene una función distinta en el proceso, en la nave uno, “Ensamblado” se encarga de la fabricación de conectores, antenas, switches, cable fibra óptica, cables coaxiales, entre otros. Mientras que la nave dos “Maquinado” está encargada de la fabricación de piezas con máquinas fresadoras CNC y DMG. Por último, la nave tres “Platinado” tiene como función el proceso de galvanoplastia, consiste en depositar metales como plata, níquel, cobre, entre otros, sobre piezas de aluminio o plástico para darles conductividad y resistencia a la corrosión (Noriega y Guerrero, 2016).

La investigación se centra en el área de Sub ensamble en la que se realiza el primer ensamble de conectores que se envían posteriormente al área de ensamble final

Un insulador, es un componente o cuerpo que intercepta el paso a la electricidad y el calor aislándolo de otros componentes o sistemas. En la Figura 1 se observa la tapa del insulador de la familia NSX, después se muestra como es la base del insulador cuando se le inserta el clip, y por último se muestra como es el insulador con su tapa pegada.

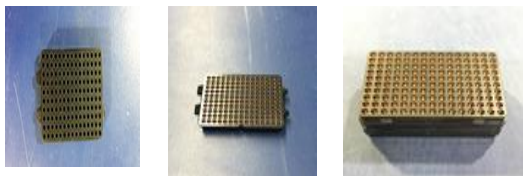


Figura 1 Tapa, base procesada e insulador con tapa.

La tapa puede ser delgada y gruesa dependiendo de las especificaciones, sin embargo, su función principal es prevenir que los clips se salgan de su posición debido a su diferencia de diámetro y mantener unida la pieza, existen diferentes tipos de familias, entre ellas están las piezas con número de parte EPXB28, la cual es una pieza rectangular que consta de 28 cavidades y pertenece a la familia de productos EPXB como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Pieza de la familia EPXB.

También se encuentra la pieza NSX150 la cual a su vez es una pieza rectangular que cuenta con 150 cavidades y pertenece a la familia NSX (ver Figura 3), estas dos familias se trabajan en la línea 1 en el área de Sub ensamble.

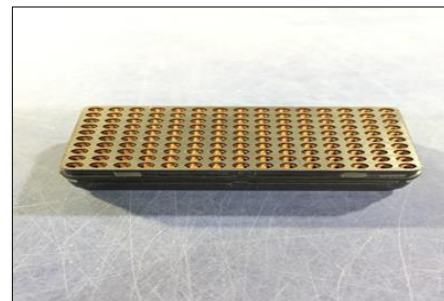


Figura 3 Pieza de la familia NSX

En la línea 1 se encuentran las siguientes estaciones y las actividades que se realizan en cada una de ellas: (1) Clip (automático y manual): En la actividad de clip se insertan los clips a los insuladores (base de la pieza) los cuales sirven para conducir la corriente a través de la cavidad, se realiza manualmente cuando los clips son muy grandes para insertarlos con la máquina y se requiere hacerlo directamente con las manos o con ayuda de una aguja.

Se realiza en modo automático cuando una pieza lleva muchos clips del mismo tamaño y se utiliza una máquina que los va insertando de uno por uno de manera mecánica; (2) Pegado 1 (incluye: pegado, clamping, horneado y enfriado): Se une con la ayuda de un adhesivo llamado Eccobond, el insulador con su tapadera; para después pasar a la actividad de clamp, la cual consiste en prensar los insuladores pegados con su tapa para posteriormente pasar al horno, el cual requiere una hora de recuperación de temperatura, cinco horas de horneado más una hora de enfriado posterior al horneado; (3) Rectificado: Consiste en quitarle un par de pestañas a las piezas las cuales no son deseadas y provienen del moldeo del material; (4) Prueba eléctrica: Consiste en someter las cavidades de la pieza a altas tensiones eléctricas para comprobar que no se cree un arco eléctrico entre cavidades; (5) Pegado 2 (pegado, clamping, horneado, y enfriado): el Pegado 2 consta de las mismas tres actividades del Pegado 1, a diferencia de que en el Pegado 2 se pega un material llamado Seal, Grommet o ambos, según sea requerido por el cliente, y utilizan unas bases llamadas platos para posicionar el Grommet; (6) Marcado de cavidades: esta actividad consta de imprimir tinta en la tapadera ya pegada, marcas que el cliente requiere para su uso; (7) Marcado láser: esta actividad se realiza en un lateral de la pieza en la cual se imprime la marca de la empresa, entre otros datos relevantes; (8) Inspección final y empaque: en la inspección final se revisa que todas las piezas se encuentren como las ordenó el cliente para posteriormente ser empacadas y almacenadas listas para enviarse.

La estación bajo estudio será la de Pegado 1, específicamente se aborda la actividad de horneado, la cual tan solo en este proceso tiene una duración de cinco horas más una hora de recuperación del horno y una hora del enfriado, esto la convierte en la más lenta de la línea a consecuencia de esto se observa una oportunidad de ser mejorada. Por otra parte, la capacidad del horno es limitada a seis charolas de las cuales solo tiene la capacidad de nueve clamps y cada clamp contiene seis piezas con esto se concluye que produce alrededor de 324 piezas por horno cada cinco horas (sin considerar los tiempos de recuperación), para posteriormente utilizar la máquina de prueba eléctrica para verificar el aislamiento eléctrico entre las cavidades de la pieza.

Otra característica en el área es que los tiempos de las operaciones actualmente son dispares debido a que hay actividades que duran un tiempo considerable y limitan la capacidad de producción. El Gráfico 1 muestra la relación de los tiempos de las operaciones respecto al tiempo Takt del área de Sub ensamble.

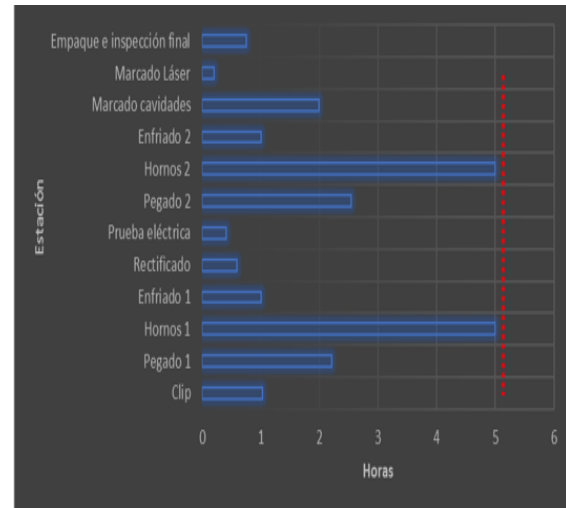


Gráfico 1 Tiempos de estaciones de línea 1

Como se puede observar en la gráfica anterior, la línea punteada roja muestra el cuello de botella que es generado por la operación de horneado la cual requiere de cinco horas, dicho tiempo de operación limita la producción. El tiempo de ciclo describe cuánto tiempo toma completar una tarea específica desde el comienzo hasta el final, para las piezas que entran a la estación de clip hasta que son empacadas en la estación de inspección final dura 1.5 días (este valor lo proporciona el área a través del registro de los tiempos de procesamiento de las diferentes piezas y familias en un sistema de datos interno).

Problema

En la empresa bajo estudio dentro del área de Sub ensamble tiene un tiempo de ciclo en general de 1.5 días. La operación que presenta la mayor contribución, en cuanto al tiempo es la de horneado de piezas con un tiempo de operación de cinco horas, en las cuales las piezas quedan retenidas dentro del horno y no pueden ser movidas hasta que termine la operación de horneado, por lo cual influye directamente en el tiempo de ciclo.

Esta actividad requiere adicionalmente una hora de recuperación de temperatura hasta 155 °C y una hora de enfriamiento de las piezas, considerando que la operación de horneado se requiere nuevamente en la etapa de Pegado 2 esto agrega siete horas adicionales de operación resultando una contribución de 14 horas al tiempo de ciclo mencionado. Aunque son similares los procesos en Pegado 1 y Pegado 2 las operaciones manejan distintas variables así que esta investigación se enfoca solo al Pegado 1.

Por lo anterior se plantea el siguiente problema: En la estación de pegado 1 de la línea 1 existe un alto tiempo de horneado de las piezas que limita la capacidad de producción del proceso de elaboración de insuladores.

Hipótesis

Para esta investigación se han establecido las siguientes hipótesis:

Ho: No existe diferencia entre los tratamientos considerados que intervienen en el horneado de piezas en las familias EPXB28 en la estación de pegado de la línea 1 (Nivel de confianza 95%).

Ha: Se presenta diferencia entre los tratamientos considerados que intervienen en el horneado de piezas en las familias EPXB28 en la estación de pegado de la línea 1 (Nivel de confianza 95%).

Objetivo

Reducir el tiempo de horneado en la elaboración de insuladores en la estación de pegado 1 de la línea 1.

Objetivos específicos

En adición a lo anterior se tienen los siguientes objetivos específicos:

Ilustrar a través de un caso de estudio la aplicación de la metodología Six Sigma DMAIC.

Determinar el efecto de los posibles tratamientos que intervienen en el horneado de piezas en las familias EPXB28 en la estación de pegado 1 de la línea 1.

Establecer un plan de control para evitar desviaciones en relación a los requisitos de calidad del proceso de producción de insuladores.

Marco Teórico

El crecimiento industrial provocado por la revolución industrial a fines del siglo XIX, permitió el desarrollo de los métodos científicos de estudio de tiempo - movimiento y estandarización del trabajo, a la vez que promovió la premisa de que la productividad se incrementa al elevar la habilidad y destreza del trabajador. Por consiguiente fue una preocupación lograr un mayor rango de tareas convirtiéndolos en mano de obra altamente calificada; fue así que se marcó una tendencia al adoptar este enfoque para distintos sistemas de fabricación elevando los niveles de producción para disminuir los costos unitarios y tratar de obtener con ello niveles de calidad con menor variación (Mefford,2009). El cuestionamiento de dicho enfoque de producción se realizó posterior a 1960 al observar los grandes volúmenes de materiales requeridos para operar los procesos de producción, cuya operación eficaz requiere de altos inventarios por sobreproducción y niveles altos de desperdicio (Ohno, 1988).

La compañía Toyota en Japón fue la promotora del cambio de paradigma, al observar como los aspectos mencionados consumen muchos recursos de la organización, tales como materiales, infraestructura y humanos para funcionar de modo eficaz (Ohno, 1988). En síntesis para tener una visión de eficiencia en el enfoque en masa era requerido largas corridas de producción provocando altos niveles de utilización de capital y espacio, el amortiguar la ocurrencia de problemas en la operación de los procesos ocultó el confrontar los problemas de producción reales que enfrentan las organizaciones (Ohno, 1988).

Fue así como se dio el surgimiento de la metodología de mejora de procesos Lean, la cual es utilizada para cumplir eficazmente con la entrega de productos eficientando los recursos implicados al reducir el tiempo y mejorar la calidad (Laureani A., Jiju A. & Douglas A., 2010).

Womack y Jones (1996) expresan que Lean es "una forma de especificar el valor, alinear las acciones de creación de valor en la mejor secuencia, llevar a cabo esas actividades sin interrupción cada vez que alguien las solicite, y realizarlas de manera más efectiva". Por otra parte el pensamiento Lean es esbelto porque proporciona una manera de hacer más y más con menos y menos esfuerzo humano, menos equipo humano, menos tiempo y menos espacio, mientras se acerca cada vez más a proporcionar a los clientes exactamente lo que quieren (Laureani A., Jiju A. & Douglas A., 2010).

Por otra parte Six Sigma es una metodología de mejora de procesos impulsada por datos utilizada para lograr resultados de proceso estables y predecibles, reduciendo la variación y los defectos del proceso: Snee (1999) expresa que es "una estrategia comercial que busca identificar y eliminar causas de errores o defectos o fallas en los negocios, enfocándose en productos que son críticos para los clientes".

Lean y Six Sigma han seguido trayectorias independientes desde la década de 1980, cuando los términos se codificaron y definieron por primera vez. Lean se originó en Japón (dentro del Sistema de Producción de Toyota); y Six Sigma comenzó su vida en los Estados Unidos dentro del Motorola Research Center (Rogers, 2011) y (Laureani A., Jiju A. & Douglas A., 2010).

Las metodologías usadas de modo frecuente en Six Sigma están constituidas por los pasos, que representan las fases de Definir, Mejorar, Analizar, Mejorar y Controlar en el caso de procesos ya existentes y en el caso de nuevos productos y procesos Definir, Mejorar, Analizar, Diseñar y Verificar. En el caso del enfoque de DMAIC constituye un ciclo de mejoramiento efectivo y resuelve problemas relativos a reducir la variación y la tasa de defectos (Hung & Sung, 2011).

Las herramientas y técnicas para la implementación de Six Sigma comúnmente usadas en ambos enfoques DMAIC o DMDV son: SIPOC (supplier, input, process, Output, Customer), Mapeo de procesos (process mapping), Mapeo de procesos de valor (value Stream mapping),

Despliegue de funciones de calidad (Quality Function Deployment), Análisis de modo efecto falla (Fail Mode Effect Analysis), Análisis de Pareto, Análisis de capacidad de proceso, Diseño de experimentos, Análisis causa efecto (Tabassum, Bayraktar, Din & Durucu, 2016).

La manufactura esbelta desarrolla la mejora continua a través de un enfoque sistemático para identificar y eliminar actividades de No valor, teniendo como meta mantener los costos bajos para lograr la competitividad (Rahani & Al-Ashraf, 2012). A su vez se apoya en una filosofía de gestión y el uso de herramientas y técnicas de fabricación esbeltas.

Cualesquier actividad que absorbe recursos pero no crea valor es reconocida como desperdicio, los más comunes están representados por errores que precisan retrabajo, producción excesiva de artículos que ocasionan un acumulación de producto, pasos innecesarios, movimientos innecesarios de personal y transporte de materiales, productos innecesarios, esperas, bienes y servicios que no satisfacen los requisitos del cliente (Womack & Jones, 2012) (Holtzeimer-María de Á., Guillen-Mima, 2015).

Desde el punto de vista estadístico Sigma (σ) representa la desviación estándar respecto al valor medio de un conjunto de datos. En el ámbito de este estudio Sigma como métrica propia de la metodología es reconocida como (Z) la cual es la métrica de capacidad de procesos de mayor uso en Seis Sigma. Y se obtiene calculando la distancia entre la media y las especificaciones, para posteriormente dividir esta distancia entre la desviación estándar Gutiérrez P. H. y De la Bara S. R. (2009).

Para un proceso con doble especificación se tiene Z superior, Z_s , y Z inferior, Z_i , que se definen de la siguiente manera:

$$Z_s = \frac{ES - \mu}{\sigma} \quad Y \quad Z_i = \frac{\mu - EI}{\sigma} \quad (1)$$

La capacidad de un proceso medida en términos del índice Z es igual al valor más pequeño entre Z_s y Z_i , es decir:

$$Z = \text{mínimo} [Z_s, Z_i] \quad (2)$$

Metodología de Investigación

Se describe a continuación la metodología aplicada en este proyecto, para satisfacer los objetivos de investigación trazados.

Tipo de Investigación

Esta es una investigación aplicada que ilustra la ejecución de la metodología Six Sigma en su forma DMAIC a un proceso de elaboración de insuladores en una empresa de tipo aeroespacial.

Sujetos

Esta investigación se limita a la actividad de horneado de piezas en las familias EPXB28 en la estación de pegado 1 de la línea 1 para fabricación de insuladores.

Materiales

Los materiales considerados en esta investigación se detallan a continuación:

- Software Microsoft Visio para la realización de los diagramas de los procesos y representaciones gráficas del layout.
- Báscula proporcionada para el estudio de repetibilidad y reproducibilidad.
- Cronómetro para la toma de tiempos de las operaciones del proceso bajo estudio.
- Minitab versión 17.
- Hornos utilizados en la fabricación de insuladores y asignados a la línea 1.
- Goma para el pegado de los componentes.
- Dispositivo para medir la Tension de los insuladores en la prueba de resistencia.
- Dispositivo para medir el aislamiento eléctrico de los insuladores producidos.

Procedimiento

Las actividades de este proyecto se fundamentaron en Pande & Holpp (2002) y Gutiérrez P. H. y De la Bara S. R. (2009).

Definir el proyecto

En esta fase del proyecto se realizó un recorrido por la línea 1 para recabar información relevante, se identificaron las estaciones de trabajo, materiales y herramientas a utilizar dentro del proceso de pegado 1. Se elaboró una carta constitutiva del proyecto, determinando los roles y funciones del equipo de trabajo, el proceso a abordar, el dueño del proceso, los indicadores y metas, así como la situación inicial del problema, los CTQ (critical to quality), fechas de inicio y término del proyecto.

Medir variables

En esta etapa se generó un mapa de proceso en el cual se identificaron las variables posibles en la medición y posteriormente fueron analizadas por medio de un AMEF para establecer su prioridad y definir así las variables a medir. El proceso de medición comenzó con el establecimiento del plan de medición para recolección de datos.

Este incluyó datos para la validación del sistema de medición, datos para el análisis de la tensión a la ruptura con los tratamientos considerados en la experimentación y datos para el análisis de capacidad en relación a la cantidad de goma que requiere el insulador. Se revisó la variación del proceso de medición de las variables críticas para el cliente a través de un estudio de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) para datos de atributos y continuos considerando dos operarios y diez piezas, para la variable Cantidad de goma de los insuladores; para la variable Aislamiento eléctrico se eligieron dos operarios y veinte piezas diferentes. El análisis se realizó con la ayuda del software Minitab.

Analizar

En esta etapa se realizó un gráfico de control del proceso para verificar si estaba en control, posteriormente se determinó la capacidad de proceso para establecer la situación en la que se encuentra. Se realizó una comparación de las diferencias de las medias de los tratamientos experimentales a los que se sometieron los insuladores a través de una comparación de los parámetros de fuerza de ruptura.

Las variables consideradas para el análisis fueron: Tipo de horno, Cantidad de goma, Temperatura de horneado, Tipo de goma, Tiempo de horneado. Se realizó un análisis de la distribución de los datos a través de diagrama de caja y bigote; posteriormente se compararon las medias de los distintos tratamientos con el fin de descartar si los cambios en los niveles de las variables tienen efecto sobre los parámetros de aislamiento eléctrico y fuerza de ruptura. 3.4 Mejorar el proceso. A partir de los resultados de la etapa de análisis se desarrollaron recomendaciones en cuanto al proceso de pegado 1, en relación al manejo de la goma, la utilización del tiempo de horneado y el tipo de horno utilizado. 3.5 Controlar el proceso. Se elaboró un Plan maestro de control para estandarizar el proceso y producir productos de calidad con las especificaciones del cliente, los datos considerados consistieron en la descripción de actividades, herramientas e instrucción de trabajo, especificaciones, características de proceso y producto. Adicionalmente se incluyen acciones derivadas del AMEF para prevenir desviaciones del proceso en función de los riesgos críticos detectados.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las actividades del procedimiento realizado.

Definir el proyecto

Como primera actividad se organizó la estructura del proyecto como lo expresa la figura 4.

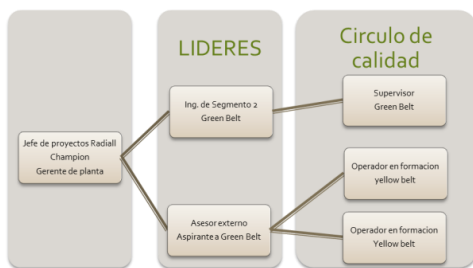


Figura 4 Estructura del equipo del proyecto

La situación inicial del proceso muestra una problemática en la estación de Pegado 1 relacionada con la reducción del tiempo de horneado, sin problemas de no conformidad en cuanto a especificaciones de calidad.

Aún cuando la cantidad de Goma tiene un rango de especificación, no ha sido prioridad en este caso el lograr disminuir la variación en la cantidad de goma, por ello los niveles Sigma para corto y largo plazo cuyos valores en la muestra analizada son respectivamente: $Z_c=3.42$ y $Z_l=3.09$ proyectan un nivel de partes por millón fuera de especificación de 573 tal como se muestra en la tabla 1.

Indicador	(Base Line)	Meta
Tiempo de	5hr	2hr
Aislamiento Eléctrico	PPM=0	
Peso Goma en base a una muestra del proceso actual con subgrupos de n=5	En corto plazo PPM=573, Cpk=1.14, $Z_c=3.42$. En largo plazo PPM=1740.85, Ppk=1.03, $Z_l=3.09$ $Z_c-Z_l=0.33$ se tiene un buen control del proceso	

Tabla 1 Etapa de definición (extracto del proyecto)

Adicionalmente se puede observar que las variables críticas de la calidad en este proyecto son constituidas por el peso de la goma y el aislamiento eléctrico. Sin embargo, se consideró la variable alterna: Resistencia a la tensión para evaluar la calidad del proceso de pegado 1.

Medir variables

Esta fase se realizó en tres etapas:

Plan de colección de datos

A partir de las variables identificadas en el mapa de procesos, se aplicó una matriz causa- efecto, como la mostrada en la figura 5.

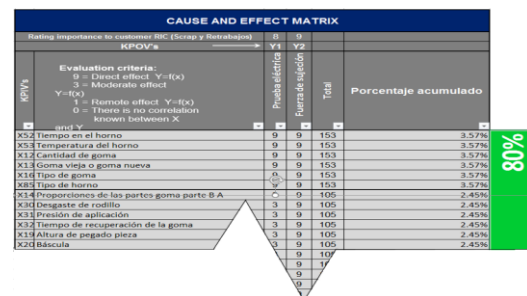


Figura 5 Matriz causa y efecto.

Nota: La matriz anterior consideró la relación de las variables X's con las Y's tomando como referencia las puntuaciones siguientes: 9=Efecto directo $Y=f(x)$, 3=Efecto moderado $Y=f(x)$, 1=Efecto remoto $Y=f(x)$, 0=Ausencia de correlación.

Posteriormente se aplicó un AMEF para determinar las variables más importantes para el proyecto véase figura 6.

Proceso			Falla		Prevención			Vibración		
Ejecutor	Operación	Proceso	Modo de falla	Efectos de falla	Causas	Gravedad	Medio de detección	O	S	D
Pegado 1	Horno	Tiempo en el horno	Tiempo insuficiente de horneado	Mal pegado de la goma Goma no se endurece lo suficiente	Se abre la puerta durante el proceso Falta recuperación de temperatura Se sacan piezas antes de tiempo	Moderada	Visual	2	1	10
Pegado 1	Horno	Temperatura en el horno	Temperatura por arriba del límite	Se desmolda el pegamento Goma en cantidad	Falta de atención a los hornos	Alta	Visual	3	2	4
								24		
Pegado 1	Horno	Temperatura en el horno	Temperatura por debajo del límite	No pagan los partes Desajuste en pieza Fuerza de union débil	Falta de seguimiento a controles de calidad	Bajo	Visual	2	1	10
								10		
Pegado 1	Pegado	Cantidad de goma	Exceso de goma en pieza	Goma en cantidad Insulador con goma Levantamiento de pieza maquina de pegado No se retira suficiente Ajustamiento de gr	Se abre constantemente la puerta Condición de la maquina	Alta	Visual	2	2	5
								20		
Pegado 1	Pegado	Cantidad de goma	Falta de goma en pieza	Falta de atención a los hornos	Falta de atención a los hornos	Alta	Visual	3	1	10
								10		

Figura 6 AMEF de las variables de entrada al proceso

Se realizó el plan de recolección de datos detallando las variables, su definición operacional, sus especificaciones, su método de medición, la frecuencia con la que se medirá y el responsable. Para el caso de estudio las variables se resumen en la tabla 2.

Validez del Sistema de medición.

Como resultado de este paso, en el caso del sistema de medición para la prueba de aislamiento eléctrico: El operador 1 falló en una de las pruebas, mientras que el operador 2 coincidió con el estándar, el sistema de medición es excelente ya que el índice kappa (All Appraisers vs Standard) presenta un valor kappa>=90%. Por otra parte en la medición del peso de los insuladores, el número de categorías diferentes que detecta el estudio es alto, con un valor 748, poniendo en evidencia la precisión de los equipos utilizados. La variación debida al Sistema de medición es menor al uno por ciento es decir se obtuvo 0.19%, de la variación del estudio.

La contribución realizada por la variación de los operarios es insignificante en relación al sistema de medición. La repetibilidad resulta también muy baja al igual que la reproducibilidad con valores de 0.19 y 0.02 por ello la máxima variación fue la generada parte a parte con un valor casi de 100 por ciento se puede concluir que el sistema de medición es efectivo.

	Nombre	Definición
Y1	Aislamiento eléctrico	Prueba de calidad que consiste en verificar el aislamiento entre cavidades de la pieza.
Y2	Resistencia a la tensión	Prueba de ruptura la cual consiste en comprobar que el insulador y la tapa resistan una cierta cantidad de fuerza aplicada.
X12	Cantidad de Goma	Cantidad de goma aplicada entre la base de insulador y tapa de insulador.
X13	Edad de goma	La edad de la goma se cataloga como nueva y vieja dependiendo del tiempo de utilizarla
X52	Tiempo horneado	El tiempo que permanecen las piezas en el horno sin considerar el tiempo de preparación del mismo para que alcance una temperatura especificada.
X85	Tipo de horno	Existen 2 tipos de hornos en el área de producción.
53	Temper.	Temperatura a la que se someten los insuladores para el secado dentro del horno.

Tabla 2 Definición de variables

NOTA: Y2 Resistencia a la tensión, esta variable no es considerada como requisito de calidad de calidad del producto pero se adicionó por ser importante para establecer la calidad del proceso de pegado con una especificación Y2>=500N

Análisis de la capacidad del peso de goma en el proceso de pegado de insulador

Para este paso se tomaron 20 subgrupos de tamaño 5 de la familia EPXB28 con el peso del insulador las especificaciones consideradas fueron de LIE=0.037 gr., LSE= 0.041 gr. Los resultados muestran los valores siguientes en el corto plazo PPM=573, Cpk=1.14, Zc=3.42.

Análisis

La experimentación se concretó a las variables Y1 Aislamiento eléctrico, Y2 Fuerza de sujeción, X12 Cantidad de Goma, X13 Edad de goma, X52 Tiempo de horneado, X85 Tipo de horno, y X53 Temperatura de horno. Se realizó una comparación de distintos tratamientos a los que se sometieron los insuladores, las variables de control fueron la temperatura del horno con valores de 155°C y 175°C, el tiempo de vida de la goma (0-4hr goma nueva, 4-5hrs goma vieja), el tipo de horno chico y grande, el tiempo de horneado de 2 y 5hrs, la cantidad de goma por arriba y debajo de la media el detalle de los tratamientos se concentra en la tabla 3.

	Tipo de goma	Tiempo horneado	Cantidad goma	Tipo horno	Temp.
T1	Goma	5 hr	Arriba	Grande	155°C
T2	Goma	5 hr	Arriba	Grande	155°C
T3	Goma	2 hr	Arriba	Grande	155°C
T4	Goma	5 hr	Arriba	Chico	155°C
T5	Goma	2 hr	Arriba	Chico	175°C
T6	Goma Nueva	5 hr	Abajo Media	Chico	155°C

Tabla 3 Tratamientos a los que se sometió a los insuladores EPXB28

Para los tratamientos EPXB28 se realizó la comparación de las diferencias de medias a través de prueba Tukey (Gráfico 2). El resultado revela que no existe diferencia estadística entre los distintos tratamientos. Respecto a la distribución de la Resistencia a la tensión, el tratamiento 1 muestra mayor variación, presentando datos atípicos en dos de las pruebas realizadas, no obstante el sesgo presente en la muestra los resultados permanecen igual estadísticamente.

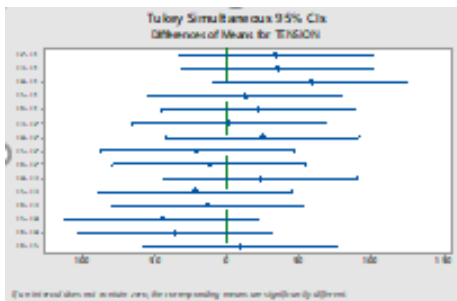


Gráfico 2 Prueba Tukey para los tratamientos de la familia EPXB28

El tratamiento que presenta un mejor desempeño de la Resistencia a la tensión es el T4, en el que se utiliza Goma Nueva, con 5 hr de horneado, con una cantidad de goma Arriba Media (valor nominal de la especificación), en horno de dimensión Chica a 155°C de temperatura con los intervalos de confianza para las medias (ver Gráfico 3).

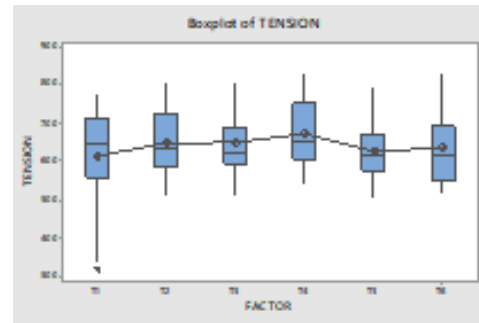


Gráfico 3 Diagrama caja y bigote para los tratamientos de la familia EPXB28

Mejorar

Realizando un análisis con factores independientes, éstos no influyen en la prueba eléctrica ni en la prueba de Resistencia a la tensión. De los Gráficos 4 a la 8, el mejor desempeño es Goma Nueva, tiempo de 5 hrs de horneado es mejor resultado, sin embargo es recomendable reducir el costo de operación reduciendo el proceso a 2 hrs dado que no hay diferencia significativa, una cantidad de goma por arriba del valor nominal de la especificación brinda un resultado consistente y menor variación, por lo que la recomendación es redefinir esta especificación y orientar el proceso a producir teniendo como objetivo el valor nominal de esta especificación, el tipo de horno es una variable que no presenta discrepancia, puede usarse según disposición, la temperatura recomendada es de 155°C, representando un ahorro en cuanto al tiempo de preparación.

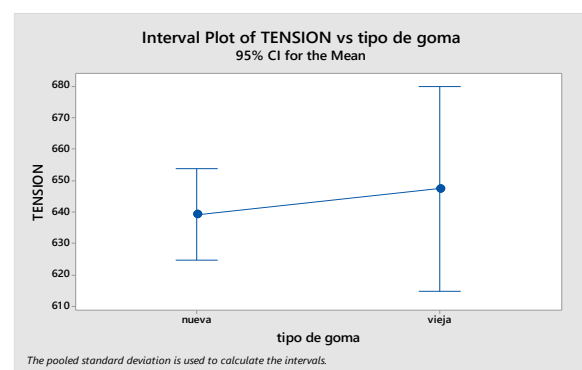


Gráfico 4 Intervalo de conf. Goma

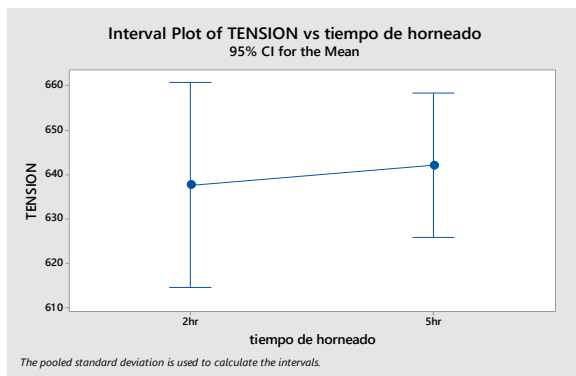


Gráfico 5 Intervalo de conf. Horneado

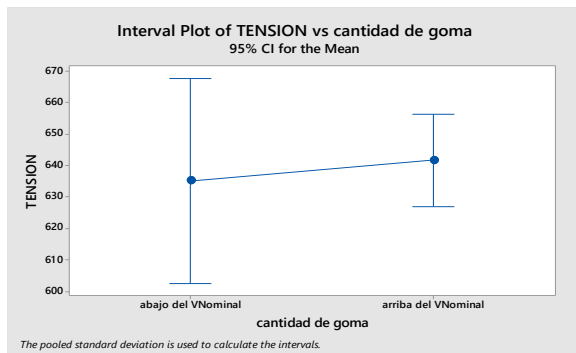


Gráfico 6 Intervalo de conf. Cant. De goma

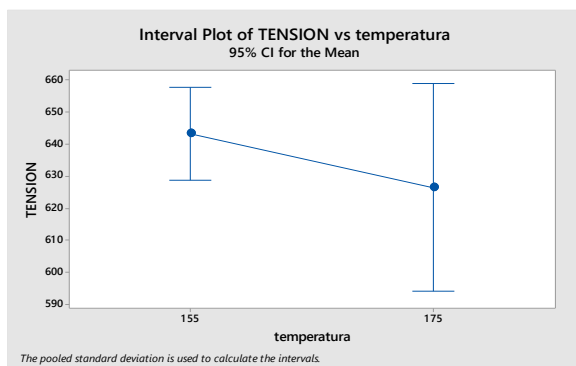


Gráfico 7 Intervalo de conf. Temp.

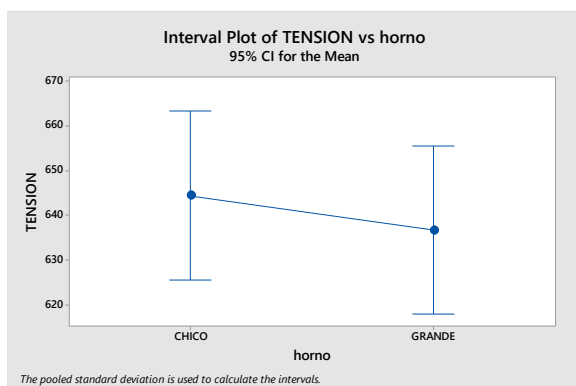


Gráfico 8 Intervalo de conf. Horno

Las condiciones de operación actuales en el proceso de pegado 1 consisten de un tiempo de recuperación del horno de 1 hr y tiempo de horneado de 5hrs, a 155°C, utilizando goma durante todo su tiempo de vida de 5 hr y la cantidad de goma solo precisa cumplir el rango de especificación de 0.037 gr a 0.041gr.

Se recomienda: (1) Elaborar el lote de Goma para 4 hr esto garantizaría que se esté usando goma nueva y se logre mejor desempeño. (2) Reducir el tiempo de horneado a 2 hrs respetando la recomendación del fabricante de elevar la temperatura a 175°, aunque la temperatura de 155° C presente un menor tiempo de recuperación del horno (por la apertura en cada horneada) no se tiene una certeza del efecto conjunto de mover estas dos variables. (3) Realizar un diseño de experimento para estudiar la interacción entre temperatura y tiempo de horneado sobre la resistencia a la ruptura de la pieza con la siguiente estructura, niveles de 155° y 175°C de temperatura, 2 y 5hrs de tiempo de horneado. (4) Enfocar la producción de insuladores en el valor nominal de la goma ya que actualmente se le pide al operador solo producir dentro del rango de especificación dando como resultado una distribución uniforme de la variable cantidad de goma.

Lo anterior provoca que se tenga un índice de capacidad relativamente bajo.

Control

Se realizó un AMEF del proceso, para identificar los riesgos y evaluar su impacto, así mismo se realizó el plan de control para la implementación de la propuesta (ver tabla 4).

Tipo de goma	Tipo de horno	Cantidad de goma	Temperatura en el horno	Tiempo en el horno	Variables
De 1-4 horas de vida	Indistinto	0.037-0.041gr Atender valor nominal 0.039gr	175 °C	2 horas	Especificación
Medidor de tiempo de vida de la goma	Estandarización y calibración.	Báscula	Termómetro	Medidores de tiempo	Técnica medición
Diario	Mensual	Diario	Por orden	Por orden	Frecuencia muestra
Chequeo por orden de manufactura	Tablero de control hecho por el supervisor	Checar orden	Tablero de control	Tablero de control	Método control
Calcular el volumen de lote de goma en función de las órdenes a procesar durante 4	Chequeo periódico	Llevar control de calibración de báscula. Calibrar ajuste de navaja. Calibrar rodillos	Llevar un control de anomalías en proceso.		Plan

Tabla 4

Conclusiones

El resultado de la fase de análisis de esta investigación muestra el rechazo de la hipótesis nula al comprobar que no existe diferencia entre los tratamientos considerados que intervienen en el horneado de piezas en las familias EPXB28 en la estación de pegado de la línea 1 a un nivel de confianza del 95%. A su vez se logró el objetivo reducir el tiempo de horneado con la nueva propuesta de procesamiento en la estación de pegado 1 de la línea 1.

También se logró ilustrar a través de un caso de estudio la aplicación de la metodología Six Sigma DMAIC y a través de sus fases se determinó el efecto de los posibles tratamientos que intervienen en el horneado de piezas culminando con el plan de control para evitar desviaciones en relación a los requisitos de calidad del proceso.

Referencias

Archundia Ortiz, L., Hernández Martínez, P., Moreno Blat, J. M., Padilla Monroy, M. J., Pérez Díaz, R. E., y Sandoval Ríos, M., (2014). *Plan nacional del vuelo Industria Aeroespacial Mexicana mapa de vuelo*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/60149/MRT-Aeroespacial-2014.pdf>

Bancomext, (2015). Comunicado de Prensa: Ascenderán a 7,500 mdd las exportaciones del sector aeroespacial mexicano durante 2015. Recuperado del sitio: <http://www.bancomext.com/>

Casanueva R. C. y Rodríguez P. C.A., (2009). La productividad en la industria manufacturera mexicana; calidad del trabajo y capital humano. Comercio exterior, vol 59, num 1.

Cruz A. J. y Monge P .C., (2015). Manufacturing excellence approach to business performance model, VOLUME 10, European Journal of business and economics. ISSUE 1, 2015.

Deming W. E., (1986) Calidad Productividad y Competitividad. La salida de la crisis. Diaz de Santos. Editorial Cambridge University Press.

Gutiérrez P. H. y De la Bara S. R., (2009). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma.McGraw-Hill. Interamericana Editores S.A. de C.V., 2da. Ed., México.

Holtzeimer-María de los Ángeles., Guillen-Mima, Rivera.-Denise. y Valentín.-Pedro, (2015). Mejora continua en la logística de producción para minimizar desperdicios. Revista de Tecnología e Innovación Mejora continua en la logística de producción para minimizar desperdicios. Septiembre, 2(4), 729–739.

Hung, H.Ch. & Sung, M.H., (2011) “Applying Six Sigma to manufacturing processes in the food industry to reduce quality”, Academic Journals, ISSN: 1992-2248, PP. 580-591.

Laureani A., Jiju A. & Douglas A., (2010). Lean Six Sigma in a call centre: a case study. International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 59 No. 8, 2010 pp. 757-768.

Mefford R. N., (2009). Increasing productivity in global firms: The CEO challenge. *Journal of International Management*. School of Business and Management, University of San Francisco. Elsevier Inc. All rights reserved. doi:10.1016/j.intman.2008.12.004

Mertens L., Brown F. y Domínguez L., (2005). "Competitividad, productividad y trabajo decente: desafíos para la industria manufacturera" *Trabajo*, año 1, num 1.

Noriega .D. J. O. y Guerrero P. A. A., (2016). *Manufactura esbelta: implementación de mejoras en el área de ensamble final de una empresa aeroespacial*. Tesis de grado. Departamendo de Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico de Sonora

Ohno, T., (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press, Cambridge, Ma.

Pande, P.S. & Holpp, L., (2002). *What is Six Sigma?*, McGraw-Hill, Nueva York.

Rahani. A.R., & Al-Ashraf, M., (2012). *Production Flow Analysis through Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process Case Study*. *Procedia Engineering*, 41, 1727–1734. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.375>

Rogers D., (2011). *The Future of Lean Sigma Thinking in a Changing Business Environment*. Productivity Press Taylor and Francis Group Boca Raton London New York.

Secretaría de Economía, (2013). *Sector Aeroespacial*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/63679/FC_Aeroespacial_ES.pdf

Shewhart W. A., (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. D. Van Nostrand Company, Inc.

Snee, R.D., (1999), "Why should statisticians pay attention to Six Sigma?", *Quality Progress*, Vol. 32 No. 9, pp. 100-3.

Tabassum Z., Bayraktar C. A., Din A. M. & Durucu M., (2016). Analysis of critical success factors of Six Sigma in Pakistani small and medium-sized enterprises. *World academy of science, engineering and technology, International journal of social, behavioral, educational, economic, business and industrial engineering*, vol:10, no:8.

Womack, J.P. & Jones, D.T., (1996), *Lean Thinking*, Free Press, New York, NY.

Womack, J. P., & Jones, D. T., (2012). *Lean Thinking Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*.