

## Optimización del proceso de barrenado del área del estabilizador vertical para disminuir defectos en una empresa del sector aeroespacial mediante la implementación de la metodología DMAIC

### Optimization of the drilling process in the vertical stabilizer area to reduce defects in a company in the aerospace sector by implementing the DMAIC methodology

CHAVEZ-MEDINA, Juan†, SANTIESTEBAN-LÓPEZ, Norma Angélica, SÁNCHEZ-FLORES Lizbeth y CRUZ-DE LOS ÁNGELES, José Aurelio

*Universidad Politécnica de Puebla, México.*

*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Juan, Chávez-Medina* / ORC ID: 0000-0002-1978-0620, CVU CONACYT ID: 417889

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Noma Angélica, Santiesteban-López* / ORC ID: 0000-0001-7700-4139, CVU CONACYT ID: 240825

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Lizbeth, Sánchez-Flores* / ORC ID: 0000-0003-1318-3873, CVU CONACYT ID: 422258

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *José Aurelio, Cruz-de los Ángeles* / ORC ID: 0000-0002-8682-366X, CVU CONACYT ID: 674056

DOI: 10.35429/JIE.2020.12.4.1.12

Recibido Abril 10, 2020; Aceptado Junio 30, 2020

#### Resumen

Actualmente para las organizaciones es muy importante cumplir con la satisfacción de los clientes tanto externos como internos, de igual forma se debe cumplir con los estándares de calidad establecidos, debido a que los productos que se realizan pueden llegar a atentar contra el bienestar del consumidor final. El presente trabajo trata de esta temática, sin embargo, es necesario mencionar que la empresa donde se realizó el proyecto será denominada como "Empresa A", debido a un contrato de confidencialidad. En la cual se encuentra un proceso donde se realizan barrenos en la piel del estabilizador vertical con una maquina semi automatizada. Al final se inspecciona y se nota que el avellanado presenta marcas las cuales son visibles o pueden sentirse al pasar la uña por encima. Este problema genera que los operadores tengan que realizar nuevamente este proceso, pero a mano para no rebasar la medida establecida del avellanado y dejarlo con una estética de pulido espejo. El objetivo de este proyecto es minimizar estos defectos que se presentan en la piel del estabilizador vertical en el proceso de barrenado de la "Empresa A" los cuales ha estado generando retrabajo en la línea de producción. En este contexto, la importancia de cumplir con los estándares de calidad lograría seguir conteniendo en un mercado cada vez más estricto, buscando la mejora continua, la estandarización y control de los procesos y la satisfacción de los clientes. El presente trabajo identifica, reduce y controla las fuentes de variación que están afectando las salidas del proceso de barrenado del estabilizar vertical, mediante la aplicación de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar (improve en inglés) y Controlar. Los resultados que se generaron fueron favorables para el proceso ya que además de la disminución de los defectos se encontraron otras áreas de mejora para que el proceso tuviera una estandarización y control. Teniendo en cuenta esto se recomienda que el departamento de métodos y producción deben seguir trabajando en conjunto, para que no se sigan presentando estos defectos. Se pueden realizar investigaciones adicionales para identificar otros factores que afecten de manera indirecta el proceso de barrenado y esto sería de gran oportunidad para la estación.

**Estándares de calidad, Defectos, sector aeroespacial, Proceso de barrenado, Metodología DMAIC**

#### Abstract

Currently for organizations it is very important to comply with the satisfaction of both external and internal customers, in the same way it must comply with the established quality protocols, because the products that can be obtained can come to undermine the consumer's well-being final. The present work deals with this subject, however, it is necessary to specify that the company where the project was carried out will be determined as "Company A", due to a confidentiality contract. In which there is a process where holes are made in the skin of the vertical stabilizer with a semi-automated machine. At the end it is inspected, and it is noted that the countersink has marks which are visible or can be felt when the nail is passed over it. This problem causes operators to have to carry out this process again, but by hand so as not to exceed the established countersink measurement and leave it with a mirror polished aesthetic. The objective of this project is to minimize these defects that appear in the skin of the vertical stabilizer in the drilling process of "Company A", which have been generating rework in the production line. In this context, the importance of complying with quality problems would continue to contend in an increasingly strict market, seeking continuous improvement, standardization and control of processes, and customer satisfaction. The present identification work reduces and controls the sources of variation that are affecting the outputs of the vertical stabilizer barrier process, through the application of the DMAIC methodology (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control. generated were favorable to the process and that in addition to the reduction of defects, other areas of improvement were found so that the affected process became standardized and controlled. Taking this into account, it is recommended that the methods and production department continue to work together, so that these defects do not continue to appear. Additional research can be done to identify other factors that indirectly affect the drilling process and this could be a great opportunity for the station.

**Quality, Defects, aerospace sector, Drilling, DMAIC methodology**

**Citación:** CHAVEZ-MEDINA, Juan, SANTIESTEBAN-LÓPEZ, Norma Angélica, SÁNCHEZ-FLORES Lizbeth y CRUZ-DE LOS ÁNGELES, José Aurelio. Optimización del proceso de barrenado del área del estabilizador vertical para disminuir defectos en una empresa del sector aeroespacial mediante la implementación de la metodología DMAIC. Revista de Ingeniería Industrial. 2020. 4-12:1-12.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Actualmente crece el desarrollo del sector aeronáutico en el mundo cada día más rápido y es por eso que México tiene previsto que para el 2020 este dentro de los 10 primeros países más importantes a nivel mundial. Como lo mencionó Luis Lizcano, Director General de la Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial (FEMIA), en 2018 las exportaciones mexicanas del sector aeronáutico consiguieron un valor cercano a los 8,500 millones de dólares (12% más que el año pasado) lo que recuperó un 20% de superávit en la balanza comercial (Fernández, 2019).

Hay que mencionar además que, en el cierre del pasado año 2018 se registraron aproximadamente de 60,000 empleos. Por consiguiente, el pronóstico de FEMIA para el año 2020 es que México se localice entre los primeros 10 países más importantes de la industria a nivel internacional, con exportaciones por más de 12,000 millones de dólares, más de 110,000 empleos y 22% de superávit en la balanza comercial (Pineda, 2019).

Hoy existe una flota aérea mundial de 23 mil 480 aviones, y para 2036 se espera que este número aumente a los 46 mil 900 gracias al aumento de la demanda, que incrementará en un 57%. Este sector no depende de México, sino que se trata de un asunto global la industria seguirá creciendo de forma dinámica, pese a que la economía global se desacelere (Redacción A21, 2019).

Como se observa, el crecimiento del sector aeronáutico es notable y como lo menciona el Programa Estratégico de la Industria Aeroespacial en los últimos 10 años el número de plantas y centros de ingeniería, así como de entidades de apoyo que se han establecido en el país se ha triplicado, pasando de 109 en 2006 a 330 identificadas en 2016. Se han establecido en el país compañías de clase mundial, lo que ha permitido la formación de importantes conglomerados industriales en diversas regiones del país, principalmente en la parte norte y centro (Secretaría de economía, 2017).

El estado de Querétaro es el principal destino en el país de inversión extranjera en el sector aeronáutico, al captar 31% de los 3 mil 138 millones de dólares registrados entre 1999 y 2018, además se ha convertido en el cuarto destino de inversiones aeronáuticas a nivel mundial. En el 2018 el sector aeroespacial solo en el estado de Querétaro se generaron ocho mil 400 empleos directos, y para el cierre de este año 2019 se calcula que serán nueve mil 500 plazas (Ramos, 2019).

Todo este gran desarrollo que está presentando el sector aeronáutico demanda que los métodos sean cada vez más competentes para la fabricación de productos más sofisticados, exigiendo una perfección, debido a que las tolerancias se vuelven cada vez menores, tanto que las condiciones inicialmente aprobadas de acuerdo al método del proceso a través de máquinas herramientas ya no podrán ser más aplicadas.

Por lo anterior, este trabajo tiene el propósito de optimizar el proceso de barrenado del área del estabilizador vertical para disminuir los defectos de "marcas en los avellanados" en la estación Agx880 en una empresa del sector aeroespacial mediante la implementación de la metodología DMAIC.

## Fundamentos teóricos y definiciones de constructo

Six Sigma es un término gestado por el ingeniero Bill Smith, de Motorola, quien, en 1987, después de trabajar durante casi 35 años en ingeniería y control de calidad, se unió a Motorola. Se utilizó "Six Sigma" para describir un nivel esperado de margen de diseño y calidad del producto. Smith y Harry trabajaron juntos para llegar a un enfoque de resolución de problemas en cuatro etapas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, que se convirtió en la piedra angular del proceso Six Sigma, más tarde llamado DMAIC (Molina, 2016). Como menciona Aguirre (2015), Six Sigma además de buscar mejorar y controlar los problemas visibles busca resolver problemas que no se han detectado aun, como causas que no se toman a consideración, pero pueden afectar el proceso considerablemente. Una política que deben manejar las empresas es invertir en calidad, ya que así el cliente comenzará a confiar en el producto de la empresa.

Hoy en día la introducción e implementación de Six Sigma ha tenido un gran impacto en las empresas de manufactura. Es evidente que desde hace tiempo las empresas utilizaran la administración de la calidad como una herramienta de mejora apoyándose en un sistema de trabajo lo que en conjunto con un equipo el compromiso, y esfuerzo permanente llegan a cumplir o incluso exceder con las expectativas del cliente.

Uno de los propósitos de Six Sigma según Tolamatl, *et al.* (2011), es reconocer y anular los defectos en un proceso, que son causas de conformidades para los clientes además de afectar la rentabilidad de las empresas.

Es importante señalar que las grandes empresas siguen creciendo gracias a las estrategias de calidad basándose en las normas, en el caso del sector aeroespacial las normas de calidad son EN 9100, EN 9110 y EN 9120 dirigidas a los sectores de fabricación de material aeroespacial, empresas de mantenimiento aeronáutico, logística y componentes aeronáuticos (SAE, 2004).

Volviendo al tema la Metodología Six Sigma se ha utilizado en las empresas para el mejoramiento de la calidad, incremento de la productividad y la disminución de costos repercutiendo en un mejoramiento de la empresa. Sigma ( $\sigma$ ) es una letra del alfabeto griego la cual también es utilizada en estadística para representar la desviación estándar;  $6\sigma$  corresponde al ancho de banda de una distribución normal.

Por otra parte, Six Sigma es una métrica que se emplea para indicar el número de DPMO (Defects per Million Opportunities, en inglés), o cómo se desempeña el proceso con respecto a las necesidades del cliente. El cálculo de dicho número se realiza a través de las siguientes expresiones según Forrest W. Breyfogle en su obra "Implementing Six Sigma" (Bahena, 2006).

- Unidad (U): Es un artículo producido o procesado.
- Defecto (D): Cualquier evento que no cumpla la especificación de un CTQ (control total de calidad).
- Defectuoso: Una unidad que tiene uno o más defectos.

- Defectos por unidad (DPU): Es la cantidad de defectos en un producto.

$$DPU = D / U \quad (1)$$

- Oportunidad de defectos (O): Cualquier acontecimiento que pueda medirse y de una oportunidad de no satisfacer un requisito del cliente.

- Defectos por oportunidad (DPO):

$$DPO = D / (U \times O) \quad (2)$$

- Defectos por millón de oportunidades (DPMO): Es el número de defectos encontrados en cada millón de unidades.

- Capacidad del proceso: Capacidad del proceso para cumplir especificaciones o requerimientos del cliente.

- Rendimiento estándar o de primera pasada (YFT): Es el porcentaje de producto sin defectos antes de realizar una revisión del trabajo efectuado y es la probabilidad de que una unidad pase el ensamble final con 0 defectos.

$$YFT = (1 - DPO) * 100 \quad (3)$$

- Rendimiento al final o de última pasada (YLT): Es el porcentaje de producto sin defectos después de realizar la revisión del trabajo.

- Rendimiento Real o Estándar (YRT) mide la probabilidad de pasar por todos los subprocesos sin un defecto, se determina con el producto del resultado de cada paso:  $YFP1x YFP2x YFP3x \dots YFPn$ .

- Rendimiento Normal (YN) mide el promedio de rendimientos por los pasos del proceso. Es el promedio exponencial basado en el número de pasos del proceso, no es un promedio aritmético.

$$YN = n\sqrt{YRT} \quad (4)$$

(Urdhwareshe, 2011).

Donde  $n$  es igual al número de pasos en el proceso. Cabe señalar que la diferencia entre  $dpmu$  y  $dpmo$  es que una unidad puede tener varias oportunidades de cometer defectos. Por ejemplo, Si en cierto proceso se encontraron 10 defectos en una muestra de 100 unidades:

$$dpu = 10/100 = 0.1 \text{ (defectos por unidad)}$$

$dpmu = (dpu) (10^6) = 100,000$  (defectos por cada millón de unidades)

Si en cada unidad existen 10 posibilidades de ocurrencia en un defecto.

$$dpo = 10/1000 = 0.01$$

$dpmo = dpmu/10 = 10,000$  (defectos por cada millón de oportunidades).

El fin de esta metodología es disminuir los defectos a la cantidad de 3.4 DPMO, es necesario que las empresas suban a estos niveles para poder ser competitivas a nivel mundial. La aplicación de esta metodología se basa en un problema real realizando estudios estadísticos para poder identificar las fuentes de variabilidad, así se identifican las variables que afectan el proceso y los niveles de desempeño óptimo, al final son monitoreadas las variables críticas y se mantiene el proceso en un control estadístico.

Para su implementación se cuenta con las publicaciones de grandes empresas (Motorola, General Electric, Sony, NASA, etc.) y se simplifica en 7 fases básicas: definición del proyecto de mejora, medición, análisis, mejoramiento, control, estandarización y reconocimiento (Reyes, 2002). Esta metodología es también conocida como el DMAMC acrónimo de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, son como las fases que tienen las grandes empresas ya mencionadas (Navarro, *et al.*, 2017).

### Optimización de procesos industriales

La Optimización un proceso industrial significa mejorar el proceso y para ello se requiere utilizar o asegurar todos los recursos que intervienen en él de la manera más excelente posible. Dicha optimización está orientada hacia dos metas fundamentales: maximizar ganancias y minimizar costos, esto teniendo como consecuencia una mayor producción a un menor costo.

Por consiguiente, el principal propósito de optimizar un proceso es incrementar la productividad. La optimización de procesos es una tarea difícil pero realizable, el cual se quiere de la colaboración y apoyo de todo el personal de la organización, trabajo en equipo.

El proceso de Optimizar implica en primer lugar poseer el conocimiento total del mismo, es decir, se necesita poseer toda la información relativa de las operaciones realizados en forma sistemática (García, 2016).

### Productividad

La Productividad se define como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados. En la industria la productividad sirve para evaluar el rendimiento de talleres, maquinaria, equipo de trabajo y los empleados.

La productividad de máquinas y equipos están dados como parte de sus características técnicas. En concreto, la productividad debe ser definida como el indicador de eficiencia que relaciona la cantidad de producto utilizado en la cantidad de producción obtenida. “El mejor camino para que un negocio pueda crecer y aumentar su rentabilidad o sus utilidades es aumentando su productividad” (ITEMSA, 2014).

### Contexto del caso de la “Empresa A”

Uno de los procesos críticos dentro de la “Empresa A” es la elaboración del estabilizador vertical, siendo su función mantener estable el avión, ya que si existe una perturbación que haga que el avión se desvíe y deje de estar alineado con la corriente incidente, el estabilizador vertical verá la corriente con un cierto ángulo de ataque y, al no ser más que un ala pequeña, provocará una fuerza en el centro de gravedad que hará que se alinee de nuevo con la corriente incidente sin necesidad de que el piloto toque ningún mando (Flores, 2016).

Como se mencionó este proceso es crítico y se han estado levantando reportes de no conformidad por las discrepancias presentadas en el producto. Dicho lo anterior se define una discrepancia como la diferencia que existe dos cifras que deben ser iguales, sin embargo, difieren en los resultados y en los métodos de cálculo dados (El Economist, 2013).

La empresa se divide en cinco zonas de trabajo, en la zona dos es donde se realiza el proceso del estabilizador vertical. Hablando de zona dos se reportaron en total de lo que lleva el año 470 reportes de no conformidad RNC por sus siglas en inglés, siendo 206 por parte del factor técnico y 264 por parte del factor humano. Estas cantidades son inquietantes ya que estamos hablando de un producto que atenta en contra de cliente final.

Este problema tiene antecedentes desde el 2018 en otra planta de la “Empresa A” situada en el parque industrial el Márquez, sin embargo, en junio de este año se incrementó el número de defectos en la planta donde se realizó el proyecto; se presentaron en la piel del estabilizador vertical entre ellos las marcas en los avellanados el cual puso en alerta a todos los departamentos.

Actualmente en la denominada “Empresa A” se utilizan herramientas semi automáticas para el barrenado de la piel de estabilizador, por lo cual, debe de ser más rápido el tiempo del proceso, sin embargo, la maquina llega a fallar y en ocasiones esas discrepancias realizan un para para poder identificar analizar qué fue lo que sucedió además una máquina que está valorada en \$10,000 USD para realizar un barrenado y un avellanado, lo cual representa que si se utiliza solo para barrenar se convierte en un taladro convencional de \$230 USD, esto significaría que no se está utilizando los recursos de manera adecuada, lo que hace al departamento no competitivo. De acuerdo a estos datos el proyecto está enfocado a la disminución de estas discrepancias.

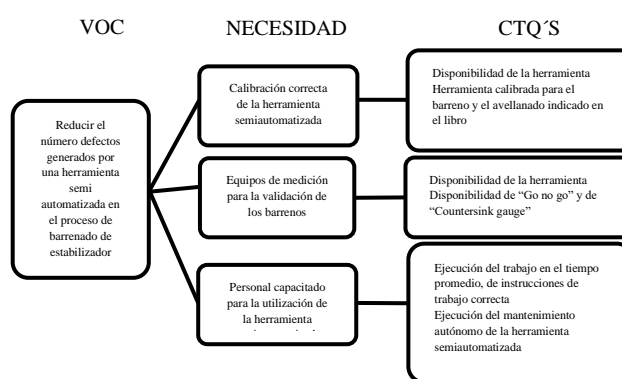
### Metodología Six Sigma

Dentro de la “Empresa A” se encuentra la estación AGX880 en la cual se estará realizando las fases de la metodología DMAIC, la cual, ha estado representado problemas en los avellanados del proceso de barrenado, es proceso que como objetivo se pretende disminuir estos defectos. A continuación, se describen cada una de las fases del proyecto.

## Desarrollo

### Fase de definición

El porcentaje por reducir fue platicado entre los departamentos teniendo un en cuenta que es un proceso crítico, por lo cual se decidió disminuir los defectos un 15%. Y para identificar como afecta este problema al KPI de calidad en el proceso se analiza las características críticas de la calidad que se muestran en la figura 1.



**Figura 1** Críticos de calidad de acuerdo con la voz del cliente

Fuente: Elaboración propia

### Estructura organizacional, roles y responsabilidades

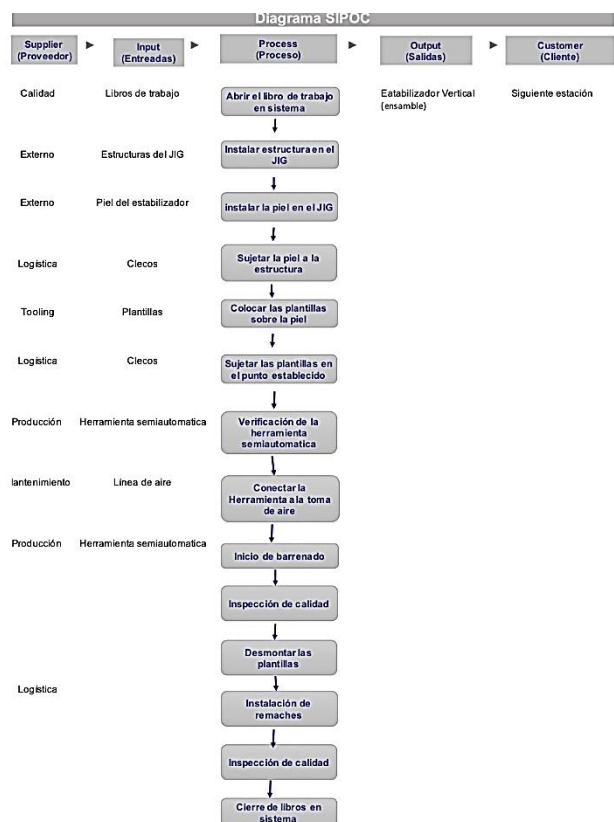
Las actividades fueron dirigidas por miembros del equipo de Six sigma apoyados con equipo de métodos, debido a las pruebas que se debían realizar, a los cuales, se le asignaron roles y responsabilidades en la que se describe claramente las labores y deberes que se deben cumplir.

### Principales productos que se elaboran en la empresa

Dentro de la empresa existen diferentes productos que se manufacturan, entre uno de los componentes está el subensamble del estabilizador vertical de un avión de negocios, en la estación también se realiza el ensamble del sistema hidráulico, este producto tiene que avanzar a otra estación para ser colocado con en otro subensamble para poder terminar siendo enviado a una de las plantas en Montreal donde ahí se termina de unir al motos y las turbinas para poder entregar al cliente final.

## Descripción del proceso

Es importante describir el proceso de para entender cómo se elabora el estabilizador vertical. A continuación, se presenta cuáles son las actividades involucradas y de qué forma están interconectadas en el proceso de barrenado en el siguiente diagrama

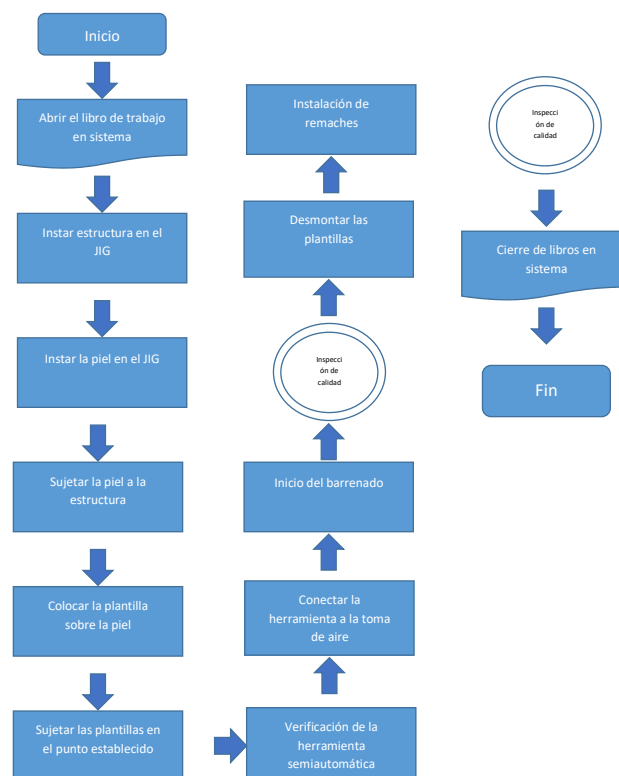


**Figura 2** Diagrama SIPOC

Fuente: Elaboración propia

Para mejorar la comprensión del proceso a continuación se muestran los pasos necesarios para la realización del proceso de barrenado del estabilizador vertical, ver figura 3.

Para seguir con esta fase, se presentan los datos históricos que se tiene de los defectos presentados en zona 2, donde está ubicada la estación de trabajo donde se fabrica el estabilizador vertical. En esta estación se manejan reportes de no conformidad para levantar anomalías o fallas dentro de nuestro producto. Como se muestra en la siguiente gráfica hay reportes que se levantaron como responsable al factor humano y al factor técnico (herramientas, JIG, herramientas de corte, plantillas). Mencionando de zona 2 se reportaron en total de lo que lleva el año 470 reportes de no conformidad (RNC).



**Figura 3** Diagrama de flujo del proceso de barrenado

Fuente: Elaboración propia

En esta etapa de definición se describieron las características que se requieren, como el proceso que se tienen el área productiva de la “Empresa A”, donde se desarrolló esta investigación, así como también se han identificado las personas que interactúan en el proceso directa o indirectamente. Además de obtener información adicional a través de los diagramas elaborados en esta fase, como los alcances y las limitaciones del proyecto.

## Fase de medición

En esta fase se analizó la causa efecto del proceso a través del diagrama de Ishikawa (ver figura 4) para determinar las posibles fuentes que provocan defectos, así como también las posibles variables que afectan y un diagrama de Pareto para conocer los defectos.

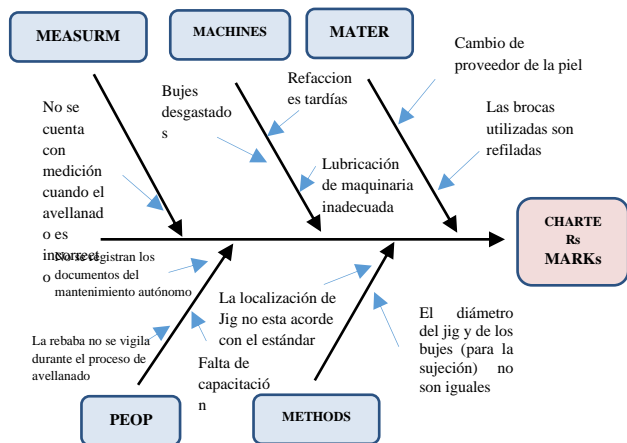


Figura 4 Diagrama de Ishikawa  
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el diagrama de Ishikawa el problema significativo es en la maquinaria ya que el factor humano se podría eliminar por ser una herramienta semi automatizada. Lo que genera que se presenten marcas en el avellanado del barreno.

De acuerdo con los datos obtenidos durante los meses de enero hasta agosto del presente año se elaboró un diagrama de Pareto, en la cual, se determinó que los barrenos y las marcas en el avellanado constituyen el 80% de los defectos y son las variables de salida que se deben controlar. En este contexto por parte de la empresa se decidió atacar las marcas de en los avellanados, debido a que este problema se tenía como prioritario para el departamento de métodos involucrado con las herramientas semi automatizadas.

Para analizar el proceso detalladamente se desarrolló una tabla con las variables importantes del proceso y así al identificarlas saber cómo se deben controlar para que el proceso se lleve a cabo adecuadamente. En la tabla 1 se observan las variables a controlar para cada operación.

Descripción de operación	Variable por controlar
Sujeción de las plantillas sobre la piel del estabilizador vertical.	La colocación de la plantilla correcta y la sujeción estándar propuesta.
Verificación de las condiciones de la herramienta semi automatizada y de corte	Seguir parámetros del cheque de la herramienta semi automatizada (HRI) Adecuada operación de lubricación Verificación de la vida útil de la broca (conteo de la herramienta semi automatizada).

Posicionamiento de la herramienta semi automatizada que es indicada por el diámetro del barreno que realiza.	Colocación de la herramienta en la plantilla correspondiente al diámetro a barrenar. Verificación de una correcta sujeción para evitar la vibración.
Validación por parte del operador del diámetro y del avellanado del barreno realizado	Limpieza antes y después de cada barreno. Verificación de los diámetros establecidos del barreno con la herramienta Pasa no pasa. Verificación de la profundidad establecida del avellanado sin ninguna marca presente en ella.

Tabla 1 Variables del proceso  
Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del nivel sigma del proceso de barrenado en el estabilizador vertical se toma en cuenta que en la piel del estabilizador se hacen 1,697 barrenos, de los cuales se levantan 9 RNC por barrenos con condiciones de marcas en el avellanado, de los cuales se tuvieron que retrabajar. Con esta información se calculó el DPMO el cual fue de 1,061 y el nivel sigma del proceso, que se adquirió fue de 4.6. El cálculo de Six Sigma fue calculado a través de la calculadora 6SixSigma (figura 5).

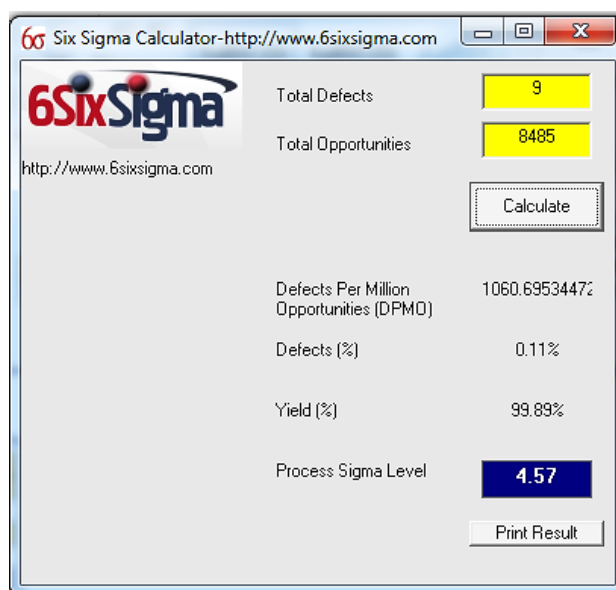


Figura 5 Calculadora Six Sigma  
Fuente: Sixsigma.com (2019), en red

Los datos obtenidos en esta fase son parte fundamental, debido a que refleja la posición de la empresa dentro del contexto mundial en competitividad de 4.7 sigmas, de acuerdo con la Tabla 2.

Nivel de Sigma	Defectos por Millón de Oportunidades	Nivel de Calidad	Costo de Calidad Promedio	Clasificación
6	3.40	99.9999998%	Menos del 1% de Ventas	Clase Mundial
5	233.00	99.98%	5 - 10% de Ventas	Industria Promedio
4	6.210	99.4%	15 - 25% de Ventas	Baja Competitividad
3	68.807	93.3%	25 - 40% de Ventas	No Competitivo
2	308.537	69.2%	No Aplica	No Competitivo
1	690.000	30.9%	No Aplica	No Competitivo

**Tabla 2** Clasificación de las empresas por nivel de desempeño de Six Sigma

Fuente: Citado en Rueda, (2007)

Con un nivel Six Sigma de 4.57 de acuerdo con la fig. 5, se puede mencionar que el proceso de barrenado de la piel del estabilizador vertical tiene niveles bajos de productividad, eficiencia y calidad (ver tabla 2). Lo cual interpreta a una baja rentabilidad del por unidad del producto; esto también refleja un aumento en los costos de producción.

### Fase de análisis

Para esta Etapa se identificaron las causas que afectan al proceso (variable x), por lo cual se realizó un AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas) para la identificación de las fallas en el proceso y de esta forma evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos y causas, es así como, para esta forma, evitará su ocurrencia y se tendrá un método documentado de prevención. (Ver en anexo 1).

De acuerdo con este análisis el número de prioridad de riesgo (RPN), es el producto de la multiplicación de la severidad, ocurrencia y detección. El RPN es un número que indica la prioridad que se le debe dar a cada falla para eliminarla. Cuando este número es superior a 100 es evidente que se deben implementar acciones correctivas para evitar la ocurrencia de esas fallas, sin embargo, varios expertos coinciden que un RPN superior a 30 requiere de un tratamiento de modo de falla. De esta forma se identifica que las acciones que se deben tomar están en la falla de la herramienta de corte, la herramienta semi automatizada y de la sujeción de las plantillas.

### Fase de mejora

Continuando con las fases de definición, medición y análisis, se procedió a la siguiente fase, la cual es denominada de mejora. Durante diversas reuniones se eligieron acciones correctivas para cada problema, estas acciones se observan en la tabla

Acciones correctivas
a. Mejorar y estandarizar la sujeción de las plantillas para el barrenado.
b. Inspeccionar las planillas y reemplazar las desgastadas.
c. Seguimiento del mantenimiento autónomo de las herramientas semi automatizadas.
d. Seguimiento del plan de mantenimiento preventivo de la herramienta semiautomatizada.
e. Concientizar y capacitar al personal sobre el correcto posicionamiento y uso de las herramientas semi automatizadas.
f. Corroborar la entrada de herramientas de corte en buen estado (nuevas/refiladas).
g. Comparación antes y después de implementar el modelo Six Sigma
h. Estandarización de tiempos de abastecimiento de herramientas de corte.
i. Estandarización de tiempos de abastecimiento de refacciones de las herramientas semiautomatizadas.

**Tabla 3** Acciones correctivas

Fuente: Elaboración propia

Para la implementación de cada mejora se establecieron fechas de cumplimiento y el plan de implementación se colocó a la vista de todos los colaboradores para darle seguimiento. Las acciones a. y b. se realizaron con la intención de evitar las vibraciones que se generan por no estar bien sujetas a la piel del estabilizador y eso causaba que la herramienta semi automatizada ni estuviera fijada dejando rebaba y generando marcas en el avellanado de los barrenos.

Las acciones c. y d. son para maximizar la disponibilidad de la herramienta semi automatizada, frenando las fallas imprevistas y los defectos causados por ellas. Con la ayuda de los operadores se realizaban mantenimientos autónomos siguiendo la hoja de inspección inicial para verificar los campos de lubricación, herramienta de corte en buenas condiciones, contador positivo, sin fuga o que no tenga rebaba por dentro de la flecha etc.



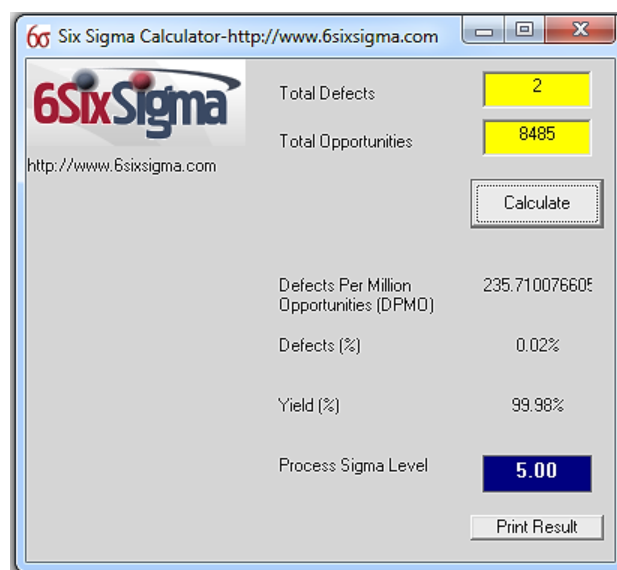
Las acciones f, h, e i. se realizaron para tener un proceso cliente-proveedor más eficaz debido a que se realizaron juntas para un acuerdo de fechas de llegadas de las refacciones para estas herramientas en los mantenimientos preventivos, ya que por el uso presentaban desgaste en ciertos componentes y como las refacciones eran exportadas tenían un tiempo de llegada muy extenso. A demás de entregar las herramientas de corte con certificación para la validación de su reafilado. La actividad g. fue establecida para poder comparar el antes y después de implementar la metodología DMAIC que se enunciara propiamente en la siguiente fase.

### Fase de control

En esta esta etapa de diseñar los controles necesarios para asegurar que perdure lo que se conseguido en cuanto a los cambios realizados. Acordé los reportes de no conformidad de la recolección de datos del mes de noviembre con el fin de analizar el estado de variación del proceso de este mes, se levantaron 2 productos no conformes por condiciones de marcas en los avellanados de una producción de 1,697 barrenos con avellanado, lo que determina un DPMO de 236 (ver fig. 6).

Es importante mencionar que estos resultados se obtuvieron después de aplicar la metodología DMAIC, gracias a la integración de los departamentos que apoyaron este proyecto y con un especialista de soporte se logró cumplir con las funciones y los roles que se tuvieron viéndose reflejado en el incremento del valor de Six Sigma en el proceso.

En cuanto a las acciones y documento que se realizaron para evitar que incrementara de nuevo los defectos se menciona lo siguiente: el seguimiento a los estándares establecidos para la sujeción de las plantillas y con la verificación de las mismas plantillas para la colocación de la herramienta semi automatizada, el procedimiento de la utilización correcta de las mismas además del seguimiento de los mantenimientos preventivos con el cambio de las refacciones desgastadas por unas nuevas y con el mantenimiento autónomo realizado por los operadores para la verificación de la herramienta semi automatizada. El entrenamiento realizado para los nuevos operadores y el uso bajo la supervisión de un operador con experiencia.



**Figura 6** Nivel sigma alcanzado después de aplicar la metodología

*Fuente: 6Sixsigma.com (2019), en red*

En cuanto a las acciones y documento que se realizaron para evitar que incrementara de nuevo los defectos se menciona lo siguiente: el seguimiento a los estándares establecidos para la sujeción de las plantillas y con la verificación de las mismas plantillas para la colocación de la herramienta semi automatizada, el procedimiento de la utilización correcta de las mismas además del seguimiento de los mantenimientos preventivos con el cambio de las refacciones desgastadas por unas nuevas y con el mantenimiento autónomo realizado por los operadores para la verificación de la herramienta semi automatizada. El entrenamiento realizado para los nuevos operadores y el uso bajo la supervisión de un operador con experiencia.

### Discusión de resultados

Una vez realizado el proceso para identificar las áreas de oportunidad para incrementar la calidad y reducir la variación de los procesos, se pasó al de medición encontrando 9 defectos de una producción de 8485 unidades, lo cual, representó 1060.65 DPMO.

En esta misma la fase de medición se determinó las variables a controlar (ver tabla 1) que causaban la viabilidad del proceso utilizando herramientas básicas de calidad como el diagrama de Ishikawa, Pareto, el valor de Six Sigma, el cual se ubicó en nivel 4.57 (ver fig. 5), clasificándose en un nivel de baja competitividad de acuerdo con Rueda (2007).

En la fase de mejora se establecieron 9 acciones correctivas (ver tabla 3), las cuales fueron fundamentales para coadyuvar al mejoramiento de la variación de los procesos y mejora de la calidad; toda esta fase de mejora se reflejó en la fase que le sigue de control el cual, la variación del proceso de un mes de producción, se levantaron solo 2 productos no conformes por condiciones de marcas en los avellanados de una producción de 1,697 barrenos con avellanado, lo que determina un DPMO de 235.71 de acuerdo a la calculadora Six Sigma (ver fig. 6).

En cuanto, al del ahorro aproximado que la empresa obtendrá en acorto plazo por la disminución de los defectos y mejora del proceso, se calcula en un 77.76% en comparación con los DPMO antes y después de Six Sigma, con un desempeño de proceso (Yiel) de 99.89% a 99.98%, lo cual, impacta en materia prima, maquinaria y equipo, métodos de trabajo y mano de obra principalmente.

En este orden de ideas se debe mencionar que, si bien la implementación generó un impacto positivo en lo financiero y operacional, la evaluación de los resultados del portafolio de proyectos muestra que aún se deben generar cambios fundamentales para lograr mejores resultados, y esto se menciona en concordancia con lo que también exponen Felizzola, H., & Luna, C. (2014); Muturi, *et al.*, (2015). Krueger, *et al.*, (2014), y otros autores.

En la última fase correspondiente al control, se debe mencionar que en cuanto al personal operativo, se estableció una estrategia de capacitación, basada en entrenamiento para los nuevos operadores bajo la supervisión de un operador con experiencia, en cuanto los métodos de trabajo, se estableció el seguimiento a los estándares establecidos para la sujeción de las plantillas y con la verificación de las mismas, para la colocación de la herramienta semi automatizada, apoyándose en un procedimiento de la utilización correcta.

En lo referente a la maquinaria y equipo, se llevó a cabo un plan de mantenimiento preventivo, atendiendo al cambio de las refacciones desgastadas por unas nuevas y con el mantenimiento autónomo realizado por los operadores para la verificación de la herramienta semi automatizada.

## Conclusiones y recomendaciones

La mejora del proyecto fue lo que se esperaba, se redujo a 22% del levantamiento de productos no conformes, por condiciones de marcas en los avellanados en la estación AGX880 del proceso de barrenado de la piel del estabilizador vertical. Aunado a esto se vio mejorado el rendimiento del proceso al pasar de un nivel Six Sigma de 4.6 a un nivel de 5, de este modo se notó el mejoramiento del rendimiento del proceso haciéndolo más confiable al cliente interno además de que se disminuyó el retrabajo que se realizaba manualmente permitiendo lograr con la meta de producción en cuanto a planeación.

Hoy en día sigue sin levantarse otros productos reporte de productos “no conformes” por condiciones de marcas en los avellanados y se ha mejorado la utilización de la correcta de la herramienta semi automatizada.

Se considera significativo comentar que la metodología DMAIC estuvo de acuerdo con la problemática planteada de la calidad en la empresa, se implementó de forma completa reduciendo costos derivados a la falta de calidad que generaban retrabajos y horas tarde en producción, ayudando a mejorar la productividad del proceso y por ende de la empresa.

De igual forma es importante comentar permitió representar el problema como la interacción de variables, además de orientar esfuerzos y recursos para disminuir los defectos. La utilización de los términos teóricos favoreció a la disciplina de calidad y productividad que se encontraban por debajo de los estándares establecidos en la empresa, además de proporcionar un mayor conocimiento para los involucrados aprendiendo a aplicar herramientas teóricas y prácticas para implementar un modelo de calidad empleando la metodología Six Sigma a una empresa de nivel mundial. El éxito de la implementación del proyecto de un la “Empresa A” del giro aeroespacial fue un conjunto de elementos de los que se destacan los siguiente:

Esta empresa siempre tiene estrategias de excelencia para la mejora de los procesos, es por ello que la utilización de esta herramienta fue muy fácil de utilizar porque todos los empleados pueden reconocer que siempre hay oportunidades de mejora.

La necesidad del departamento de mejorar el proceso de barrenado para aumentar la productividad.

Los asesores de este proyecto estuvieron de acuerdo en la realización y siempre permanecieron al pendiente y dieron seguimiento.

Se logró un liderazgo por parte del autor de este proyecto debido a todas las actividades que se realizaron y estuvieron a su cargo dándole una gran presentación a sus directivos ayudando a quedarse dentro de la empresa.

La comunicación entre los departamentos mejoro, semanalmente se tiene juntas de 10 minutos solo para mantener al tanto del seguimiento que se tiene por el departamento de producción, de calidad y de métodos.

Es importe también mencionar, que existe literatura de Six sigma en la cual exponen casos como la implementación de la pequeña y mediana empresa Timans, *et al*, (2016); Lande, *et al*, (2016); de procesos de alimentos como en el estudio de Dora, *et al*, (2015), de molinos de laminación de Zhang, *et al*, (2015), entre otros estudios, sin embargo, aunque mencionan que se han implementado en diversos procesos y empresas no se tiene referencia de aplicarlo en empresas de la industria aeroespacial, o estaciones de trabajo de componentes o partes de un avión, por ello este trabajo contribuye y toma relevancia en ese aspecto.

Como recomendaciones se tiene una en particular, cuando la herramienta haya tendido 6 meses de uso y aun si presentar algún problema se debe de llevar al taller para que se cambien los componentes que estén desgastados, debido a recomendaciones de proveedor. Y así poder prevenir que la herramienta semi automatizada falle en uso.

Se puede recibir que este proyecto mostro las herramientas utilizadas para que otros departamentos puedan implementar Six Sigma debido a que esta metodología mejora los procesos y se centra en la reducción de la variabilidad del mismo logrando disminuir los defectos o retrabajos para aumentar la productividad de la empresa.

Anexo 1

INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF) PARA EL REDISEÑO DE UN PROCESO\* DE RIESGO

ACTIVIDAD	MODO DE FALLO	EFEECTO DEL FALLO	SEVERIDAD (S)	CAUSA DEL FALLO	OCCURENCIA (O)	CONTROL	DETECTABILIDAD (D)	NUMERO DE FALLOS (N)
1. Alineación de la línea de trabajo	1.1. No poder entrar al sistema	No conectar los datos en tiempo y forma	2	1.1.1. No hay Internet	1	Telnet	1	2
2. Realizar verificación en el JIG	2.1. No tener las piezas correctas	Abasco en línea	4	2.1.1. Falta de abastecimiento	1	Requiset	1	4
3. Realizar la post en el JIG	3.1. Sin especificaciones	Abasco en línea	4	3.1.1. Falta de abastecimiento	1	Requiset	2	8
4. Realizar una prueba de estructura	4.1. Mal especificación al JIG	Chirreos de herramienta en la post	5	4.1.1. No seguir el estándar	1	Planillo en el ensamblaje	1	5
5. Colocación de las piezas	5.1. No esta bien sujeto a la post	Barridos fuera de especificación	5.1.1	5.1.1.1. Desajuste de la herramienta	2	Requiset	5	10
			5.1.2	5.1.2.1. No seguir el estándar de funcionamiento de la herramienta	2	Planillo	4	40
			5.1.3	5.1.3.1. No se hizo mantenimiento de la herramienta	4	ISO	2	60
			5.1.4	5.1.4.1. Falta de mantenimiento de la herramienta	5	ISO	2	10
6. Barrido con la herramienta semi automatizada	6.1. Que se trabo la herramienta	Barridos fuera de especificación	6.1.1	6.1.1.1. No se hizo lubricación	1	ISO	1	5
			6.1.2	6.1.2.1. No se hizo mantenimiento de la herramienta	4	ISO	1	20
			6.1.3	6.1.3.1. No se hizo mantenimiento de la herramienta	4	ISO	1	20
6.2. Que se rompa la broca	Barridos fuera de especificación	6.2.1	6.2.1.1. Broca dañada	4	Ninguno	3	60	
		6.2.2	6.2.2.1. Mal funcionamiento de la herramienta	2	Planillo	5	30	
7. Instalación de herramienta	7.1. Sin especificaciones	Aperto en línea	2	7.1.1. Falta de abastecimiento	1		1	2

Referencias

Bahena Q. M. (2006). Aplicación de la metodología seis sigma para mejorar la calidad y productividad de una planta de bebidas. Tesis de Maestría. México, Puebla: Universidad Iberoamericana.

Dora, M., & Gellynck, X. (2015). Lean Six Sigma implementation in a food processing SME: a case study. *Quality and Reliability Engineering International*, 31(7), 1151-1159.

El Economist (2013). Discrepancia estadística. El Economist. Recuperado de: <https://www.economist.com/2013/01/discrepancia-estadistica.html>

Felizzola, H., & Luna, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(2), 263-277.

Fernández, D. (2019). Centro Nacional de Tecnologías Aeronáuticas, CENTA. Recuperado de: <https://www.mexicoaerospace.com.mx/centro-nacional-de-tecnologias-aeronauticas-centa/>

Flores M. (2016) ¿Para qué sirven los estabilizadores? Recuperado de: <https://porquevuelanlosaviones.wordpress.com/2016/04/17/para-que-sirven-los-estabilizadores/>

García, A. (2016). Cultura de servicio en la optimización del servicio al cliente. *Telos*, 18(3), 381-398.

ITEMSA, (2014). La importancia de la productividad empresarial. Recuperado de: <https://www.grupoitemsa.com/la-importancia-de-la-productividad-empresarial/>

- Krueger, D. C., Mellat Parast, M., & Adams, S. (2014). Six Sigma implementation: a qualitative case study using grounded theory. *Production Planning & Control*, 25(10), 873-889.
- Lande, M., Shrivastava, R. L., & Seth, D. (2016). Critical success factors for Lean Six Sigma in SMEs (small and medium enterprises). *The TQM Journal*.
- Muturi, D., Ho, S., Douglas, A., Douglas, J., & Ochieng, J. (2015). Lean Six Sigma implementation in East Africa: findings from a pilot study. *The TQM Journal*.
- Narro, A., Soler, V. G., & Molina, A. I. P. (2017). Metodología e implementación de Six Sigma. *3c Empresa: investigación y pensamiento crítico*, (1), 73-80.
- Pineda, M. (2019). Industria aeroespacial en 2019: la cadena de valor es clave Recuperado de: <https://www.mms-mexico.com/art%c3%adculos/industria-aeroespacial-en-2019-la-cadena-de-valor-es-clave>
- Ramos, J. (2019) Sector aeroespacial necesita especialistas: Aeroclúster de Querétaro. Recuperado de: <https://www.elsoldemexico.com.mx/finanzas/sector-aeroespacial-necesita-especialistas-aerocluster-de-queretaro-3438293.html>
- Redacción A21 (2019) En 5 años, México entra al top de la industria aeroespacial. Recuperado de: <https://a21.com.mx/aeronautica/2019/08/14/en-5-anos-mexico-entra-al-top-de-la-industria-aeroespacial>
- Reyes P. (2002). Manufactura delgada (lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones. *Revista Contaduría y administración*. Recuperado de: <http://www.ejournal.unam.mx/rca/205/RCA20505.pdf>
- Rueda, B. L. (2007). Aplicación de la metodología seis sigma y lean manufacturing para la reducción de costos, en la producción de jeringas hipodérmicas desechables. Tesis de Maestría en ciencias en administración de negocios. México: Instituto Politécnico Nacional.
- SAE (2004). Sistema de Gestión de La Calidad-Aeroespacial-Requisitos. Última Revisión 2004-01 Recuperado de: <http://integra.cimav.edu.mx/intranet/data/files/calidad/documentos/SAE%20AS%209100%20B.pdf>
- Secretaría de economía. (2017) Pro-Aéreo 2.0 Programa Estratégico de la Industria Aeroespacial. Secretaría de economía Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/314141/ProA\\_reo2.0\\_publicar\\_050418.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/314141/ProA_reo2.0_publicar_050418.pdf)
- Timans, W., Ahaus, K., van Solingen, R., Kumar, M., & Antony, J. (2016). Implementation of continuous improvement based on Lean Six Sigma in small-and medium-sized enterprises. *Total Quality Management & Business Excellence*, 27(3-4), 309-324.
- Tolamatl, J., Gallardo, D., Varela., J. A., Flores, E. (2011). Aplicación de Seis Sigma en una Microempresa del Ramo Automotriz. *Conciencia Tecnológica*, pág. 12
- Urdhwareshe, H. (2011). Six sigma for business excellence: approach, tools and applications. Pearson Education India.
- Zhang, M., Wang, W., Goh, T. N., & He, Z. (2015). Aplicación completa de Six Sigma: un caso de estudio. *Planificación y Control de Producción*, 26(3), 219-234.