

Diseño de Procesos de Mejora para obtener un “PMA” del FAA

Antonio Galloza Avilés
Maestría en Ingeniería en Ingeniería de Manufactura
Rafael Nieves, PharmD.
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad Politécnica de Puerto Rico

Abstracto – Actualmente existe mucha competencia entre compañías que realizan servicios similares, haciendo imperativo el buscar formas para poder mejorar los procesos de los productos que las mismas ofrecen, haciéndolos más eficientes pero a la misma vez que los mismos se puedan ofrecer en precios competitivos. Vivimos en una era donde la tecnología está avanzando a pasos agigantados, y debemos utilizar ese factor a nuestro favor para que los servicios que nuestras compañías ofrecen sean producto de la innovación. Este proyecto presenta como la tecnología de Escáneres 3D se ha desarrollado en estos últimos años y como la misma puede ser utilizada para agilizar nuestros procesos o simplemente buscar nuevas alternativas de negocio.

Key Terms — DMADV, “Payback Period”, Piezas “OEM”, PMA (Aprobación para Manufacturar una pieza”).

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una compañía aeroespacial está trabajando en un proyecto para obtener varios PMA de un avión que lleva alrededor de 20 años de servicio. Actualmente, para poder realizar el proyecto, la compañía posee un modelo físico de la pieza original, planos del proceso de manufactura (ej. “Forging”) los cuales no poseen las dimensiones finales para poder terminar la pieza, y algunos de los dibujos de diseño están bastante maltratados, borrosos.

Por tal razón se está analizando la alternativa de utilizar la tecnología de Escáneres 3D para obtener el diseño final de la pieza. Con este método se podrá reducir el tiempo que conlleva este proceso si el mismo es realizado por los ingenieros que actualmente están siendo involucrados en culminar esta tarea.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La principal meta de cualquier compañía, sin importar el tipo de industria, es la de tener ganancias o aumentar sus márgenes de ganancias. Cada día que pasa es bien importante encontrar nuevas alternativas que nos permitan innovar para continuar siendo competitivo ante tantos avances tecnológicos existentes y venideros.

Al igual que las demás industrias, la industria aeroespacial no ha sido la excepción ante los problemas económicos que estamos enfrentando y también ha tenido que hacer ajustes para lidiar con la crisis económica mundial que está sucediendo. Una de las alternativas a la cual están recurriendo es la de preferir comprar piezas que sean reemplazo sobre las originales u “OEM”. En muchos casos las piezas reemplazo pueden llegar a costar la mitad de lo que costaría la pieza original.

En los Estados Unidos está prohibido instalar una pieza que sea reemplazo o la modificación de un componente en un avión que sea certificado sin las debidas aprobaciones o certificaciones. En otras palabras, para que un fabricante que no sea el dueño de una pieza, pueda fabricarla y ofrecerla en el mercado como un reemplazo, necesita obtener del FAA (Administración Federal de Aviación, por sus siglas en inglés) la Aprobación para manufacturar la pieza (“Part Manufacturer Approval”).

REVISIÓN DE LITERATURA

A continuación se presentaran diferentes conceptos importantes para el entendimiento de los fundamentos de este trabajo de investigación como se demuestra en [1].

“Type Certificate”

Un certificado que se emite para significar o validar la navegabilidad de un diseño para

manufacturar un avión. En el caso de aviones comerciales el certificado es emitido por la Asociación Federal de Aviación (FAA). Una vez este certificado es emitido, el diseño del avión no se puede cambiar sin el debido permiso.

“Supplemental Type Certificate” (STC)

Un “STC” es un “type Certificate” que se emite cuando una compañía o persona ha recibido del FAA la aprobación para modificar el diseño original de algún componente de un avión y que ya posea un “Type certificate”. Dicho documento será la aprobación de la modificación y explicará como tal modificación afectará el diseño original.

“Part Manufacturer Approval” (PMA)

Un “PMA” es una aprobación por parte del “FAA” que permite a un fabricante el diseño, producción y venta de piezas que son reemplazo y que van a ser utilizadas en un avión con un certificado de navegabilidad suministrado por el “FAA”. Un PMA se compone de la aprobación del diseño y la producción de las piezas.

Piezas OEM

Piezas originales del Manufacturerero.

Escáner 3D

Un Escáner 3D es un dispositivo de imagen que colecta la distancia de puntos medidos de un objeto y lo traduce a un modelo virtual. Entre los usos que se le está dando a esta tecnología están:

- Creación de imágenes y animaciones en películas y video.
- “Ingeniería Inversa”.
- Creación de prototipos.
- Modelos arquitectónicos e industriales.
- Creación de imágenes y modelos de dispositivos médicos.

DMADV [2]

Es una metodología de “Six Sigma” cuyo enfoque principal es en el desarrollo de nuevos servicios, productos o procesos. Dicha metodología podría ser implementada cuando una compañía

necesita desarrollar un producto que todavía no existe, o cuando un producto que ya existe necesita una nueva especificación, característica o exigencia del cliente que el producto no posea. Esta metodología se compone de los siguientes pasos:

- Definir
- Medir
- Analizar
- Diseñar
- Verificar

METODOLOGÍA

El Proyecto que se estará desarrollando en este trabajo de investigación es uno en el cual se estará implementando un nuevo proceso para poder diseñar piezas de aviones ya existentes, pero que por motivos de la longevidad de los mismos, las medidas y especificaciones de los planos existentes no son legibles o simplemente no se encuentran.

Con el fin de alcanzar los objetivos de este proyecto, en esta sección se discutirá la metodología y procedimiento que se utilizara en el mismo. La metodología a utilizarse será la estrategia de desarrollo de “Six Sigma” DMADV. El acrónimo DMADV consta de cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar.

- **Definir:** Esta fase consiste de identificar el propósito del proceso o servicio a desarrollar. Esto se hace para identificar y establecer metas que sean reales y a la misma vez que sean posible dado a los recursos que posea la compañía.
- **Medir:** Durante esta fase se miden los factores que consideran críticos para la calidad (“CTQs”). Los pasos que se deben tomar en este proceso son:
 - Definir los requisitos que hay en el mercado.
 - Identificar los parámetros críticos para el diseño.
 - Diseñar un cuadro de mando integral el cual evaluara los componentes del diseño que son más importantes a la calidad, evaluando

la capacidad del producto como su proceso de producción.

- **Analizar:** En esta fase se debe desarrollar distintas alternativas de diseño, desarrollando diseños conceptuales, evaluando y seleccionando los mejores componentes, para luego desarrollar el mejor diseño posible. Es bien importante tener en cuenta que el mejor diseño no es el más sofisticado, sino que el mejor diseño debe ser el que cumpla con todas las expectativas y requerimientos del cliente.
- **Diseñar:** En esta fase se incluye varios diseños de la alternativa seleccionada. Es bien importante que los diseños sean unos bien detallados y de un gran alto nivel de diseño. Cuando se termine este proceso se puede proceder a realizar un modelo de prototipo el cual permita ver si hay errores en el diseño y hacer las modificaciones necesarias.
- **Verificar:** En esta última fase, el equipo de trabajo debe validar que el diseño cumple con las expectativas del cliente y asegurarse que será aceptable una vez sea presentado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados serán presentados y discutidos siguiendo la metodología DMADV.

Definir

Una industria aeroespacial recibió la encomienda de crear el diseño de unas piezas de aviones que serán utilizadas en el proceso para recibir la aprobación del FAA para poder manufacturar tales piezas como reemplazos. Entre los documentos y recursos suministrados para poder realizar el proyecto se encuentran: la pieza física y los planos del proceso de “forging” o forjado, sin tener presente un plano detallado, el cual permita tener dimensiones finales detalladas.

El reto que enfrenta la compañía aeroespacial es la de crear un diseño que será manufacturado, y el producto final deberá poder instalarse en un espacio ya existente en un avión. El mismo no deberá

interferir con el funcionamiento de ninguna pieza que se encuentre alrededor.

Medir

En esta sección nos enfocaremos en los puntos importantes que la compañía debe tener en cuenta para que el diseño de la pieza final sea aceptable para el cliente. En esta etapa del proceso existen demasiadas dudas e interrogantes de cómo se realizara un diseño final que imite en forma y función la pieza original (OEM). Por tal motivo, esta sección será expresada a través de distintas preguntas.

- ¿Cómo asegurarnos que el modelo que se realice quepa en el avión?
- ¿Cómo asegurarse que una vez la pieza está instalada no interfiera con otros componentes del avión?
- ¿Cómo asegurarnos que las dimensiones tomadas cumplan con el margen de tolerancia permitido?

Analizar

Dado a que no se posee los planos con las dimensiones finales de la pieza, el modelo final se deberá obtener de las dimensiones del plano de “forging” y haciendo uso de la pieza física. Aunque el plano de “forging” no tiene todas las dimensiones finales del diseño de la pieza, podemos determinar del mismo las dimensiones que no cambiaran una vez terminada la pieza. Podemos utilizar esas dimensiones para escalar otras dimensiones que sean desconocidas utilizando programas de diseño como “SolidWorks”, e incluso, dichas dimensiones pueden ser escaladas a mano o utilizando un lector como Adobe. A pesar de que se puede obtener la geometría deseada con las dimensiones escaladas, existe la incertidumbre de si tales dimensiones obtenidas están dentro de los parámetros permitidos (los cuales tampoco sabemos).

Adicional a escalar las dimensiones se procedió a medir las dimensiones de la pieza real. Métodos o instrumentos utilizados para medir la pieza son:

- Regla
- Caliper

- Medidor de esquinas redondas y biseladas (“Chamfers”).

Dado a que la pieza suministrada por el cliente estaba pintada y tenía varios revestimientos, las dimensiones obtenidas haciendo uso de los instrumentos listados anteriormente podrían tener una dimensión final errónea.

Gracias a los distintos avances tecnológicos que hoy día vemos a diario, se investigó una nueva alternativa que va de la mano con la tecnología de imprimir en 3D. Se descubrió que además de impresoras 3D, también existen los escáneres en 3D. Estos dispositivos te permiten escanear una pieza en tan solo minutos. La mayoría de estos escáneres tienen la capacidad de traducir el diseño de la pieza a un lenguaje que puede ser cargado en varios programas CAD tales como “SolidWorks”, “NX-Unigraphics”, “Pro-Engineering”, etc.

Diseñar

Uno de los retos principales de hacer una pieza que tenga muchos cambios en geometría y una forma bien complicada, sin tener todas las dimensiones finales, es la de hacer que el programa de diseño acepte muchas de las relaciones o asunciones utilizadas por el usuario para poder obtener una dimensión final.

El objetivo de cualquier compañía es la de hacer dinero y tener ganancias. Si el presupuesto para el diseño de la pieza y el tiempo para terminarla fuera indefinido, se podría considerar otras alternativas; como la contratación de un ingeniero de diseño con muchos años de experiencia, lo cual vendría atado de varios procesos adicionales (experiencia).

Dado a las restricciones en presupuesto, la alternativa más conveniente fue la de subcontratar una compañía para que escaneara la pieza. Por escanear la pieza en un escáner 3D y entregar un archivo que pueda ser traducido en Solid Works, la compañía cobra \$2,000 los cuales representan una fracción del costo que está resultando la mano de obra de todos los ingenieros involucrados para terminar la pieza.

La tabla 1 presentada más adelante muestra la cotización de la pieza finalizada en término de horas. Para la cotización de la pieza se contempló que el tiempo para hacer el diseño de la misma era de 40 horas. El costo de realizar el diseño de la pieza si la misma es realizada por un empleado que gana \$25/hr sería de \$1,000. Por otro lado, si se involucrase al ingeniero con más experiencia el costo del diseño de la pieza sería de \$3,200. Si analizamos estas dos alternativas pudimos darnos cuenta que 40 horas no eran suficientes para un ingeniero con conocimientos básicos de diseño en la industria aeroespacial, lo cual indica que el presupuesto se saldría de las horas ya cotizadas para completar la tarea. La otra alternativa sería utilizar el ingeniero con vasta experiencia. Dado a que su razón de cobro por hora es mayor, resulta más atractivo explorar la tecnología de escanear la pieza y así poder utilizar al ingeniero experto en otras tareas.

Tabla 1
Cotización por Pieza

	Costo por empleado (\$/hora)	Cotización por pieza (horas)	Costo por labor
Ingeniero con conocimientos básicos aeroespacial	25	40	\$ 1,000
Ingeniero con más vasta experiencia en la industria aeroespacial	80	40	\$ 3,200

Como se discutió anteriormente, dado a la poca información que se tenía de las dimensiones de la pieza no fue posible cumplir con la cantidad de horas que se establecieron para terminar la pieza. La tabla numero 2 muestra el escenario del costo real que conllevo terminar el diseño de la pieza final. Cabe señalar que el costo final presentado en la tabla contempla la cantidad de horas que se consumieron antes de tomar la decisión de escanear la pieza más el costo de la pieza ya escaneada.

Tabla 2
Costo Total de Pieza Finalizada

	Costo por empleado (\$/hora)	Cantidad de empleados utilizados	Cantidad de horas utilizadas (horas/empleado)	Costo por escanear la pieza (\$)	Costo total de la pieza (\$)
Ingeniero con conocimientos básicos aeroespacial	25	2	50	2,000	4,500

La tabla 2 presenta el escenario de todo el presupuesto que se invirtió en cumplir con el diseño final de la pieza mientras que la tabla 3 nos muestra un escenario en el cual subcontratar una compañía para escanear la pieza está contemplado desde el comienzo. Dado que la parte del procedimiento más complicada es el crear el diseño de la pieza y este procedimiento será reemplazado por el archivo producto del escáner 3D, solamente se asignaran 8 horas para crear el plano con todas las dimensiones y nomenclaturas necesarias, lo cual nos deja con un costo total de \$2,200 en tener el diseño completamente realizado.

Tabla 3
Costo Total después de Subcontratar el Proceso de Escanear

	Costo por empleado (\$/hora)	Cantidad de empleados utilizados	Cantidad de horas asignadas (horas/empleado)	Costo por escanear la pieza (\$)	Costo total de la pieza
Ingeniero con conocimientos básicos aeroespacial	25	1	8	5 2,000.00	5 2,200

Después de haber analizado la opción de subcontratar una compañía, sería prudente considerar la alternativa de comprar un escáner 3D para la compañía. El análisis para escoger esta opción debe ser más exhaustivo ya que conlleva de una inversión inicial.

ANÁLISIS

En el mercado existe una gran variedad de escáneres 3D cuyos precios pueden empezar aproximadamente de \$1000 dólares en adelante. A pesar de la gran variedad existente, no todos van a lograr el resultado que se espera en una industria con tantas regulaciones como lo es la industria aeroespacial. Haciendo uso del internet como método de búsqueda para encontrar la tecnología que más nos pueda beneficiar antes que perjudicar, se encontró que existen escáneres 3D los cuales están diseñados para hacer “Ingeniería Inversa”. El rango de precios para un escáner a ser utilizado para hacer “Ingeniería Inversa” podría estar entre \$20,000 a \$50,000. De los modelos encontrados el modelo “Go-Scan” de la compañía “Creaform3d” parece

cumplir y satisfacer las necesidades de la compañía y cuyo costo es de \$50,000.

El único requisito que la compañía tenía era el de crear un plano de piezas ya existentes para luego incluirlo en la documentación para solicitar un “PMA”. Los usos del “Go-Scan” como se demuestra en [3] y descritas a continuación fueron las responsables de escogerlo como una excelente opción para el proyecto analizado en este artículo:

- Ingeniería Inversa
- Modelos y Maquetas de Medición
- Integración de modificaciones en un archivo “CAD”
- Medición de Piezas existentes para equipo alternativo o “aftermarket”
- Medición de Modelo de Arcilla



Figura 1
Escáner 3D Go!Scan 50

Para propósitos de este artículo se estará haciendo uso del análisis de periodo de recuperación (“Payback Period”) para determinar si esta alternativa es conveniente para la compañía, como se demuestra en [4]. El análisis de periodo de recuperación es un método simple cuyo propósito es el de analizar cuanto tiempo tomara recuperar una inversión inicial. La ecuación a utilizarse será la siguiente:

$$\text{Periodo de Recuperacion} = \frac{\text{Inversion Inicial}}{\text{Cantidad de Ganancias anuales}} \quad (1)$$

La tabla 4 presenta el análisis de periodo de recuperación para el escáner 3D con un valor de \$50,000. Como inversión inicial se tomó en cuenta el costo del escáner más un 10% de su valor, el cual será asignado para el entrenamiento de los empleados más el mantenimiento del equipo. Otra asunción que se tomó para el análisis es el de que la compañía como mínimo debe escanear 1 pieza por mes y que se cobre no menos de \$2,000 por pieza. Después de todas estas asunciones, la Inversión Inicial se recuperaría en 2 años y 4 meses aproximadamente.

Tabla 4
Análisis de Periodo de Recuperación

Inversion Inicial		Payback Method		
Costo Escaner(\$)	Costo por Entrenar al personal (\$)	Costo por pieza (\$)	Piezas por mes	Payback Period (años)
50,000.00	5,000.00	2,000.00	1	2.3

Verificar

En el paso de **Verificar** solo se tomara en cuenta del paso de Diseñar el producto de los resultados que se obtuvieron de haber utilizado la tecnología de escáneres 3D como método de automatización de un proceso. El análisis del método de recuperación solo será utilizado como tópico de interés para la conclusión de este reporte.

El siguiente paso después de obtener el diseño de la pieza final lista en un programa de diseño, es el de verificar que las dimensiones del modelo son las mismas que la del modelo original. A pesar de que anteriormente se planteó que el plano suministrado fue el de “forging” y no uno de la pieza final, el mismo posee varias dimensiones que ya son finales. Esas dimensiones conocidas se tomaron en nuestro diseño final y las mismas resultaron exactas. Adicional se hicieron varias pruebas para comparar otras dimensiones que no fueron dadas en el plano. Utilizando un caliper digital, la pieza física fue medida en varias localizaciones las cuales eran fáciles de comparar en el modelo de CAD. Como resultado la comparación de las medidas tuvo una diferencia máxima de una milésima, cuando el tipo

de piezas que se analizó para este proyecto permite una tolerancia de hasta 3 milésimas.

Cabe señalar que la comparación de medidas entre la pieza física y la del modelo CAD fueron tomadas en áreas en las cuales podía existir algún tipo de interferencia con otras piezas a su alrededor. Ejemplo de áreas utilizadas para realizar las medidas están las siguientes:

- Diámetros internos y externos.
- Distancias máximas:
 - Grosor
 - Longitud
 - Altura
- Grosos reducidos.

CONCLUSIÓN

El proceso de diseñar para la industria aeroespacial debe ser realizado con mucha responsabilidad y compromiso ya que la vida de muchas personas depende de cada uno de los componentes instalados en el avión que será utilizado como medio de transporte.

El proyecto presentado en este artículo fue uno de gran tensión dado el hecho de que se tenía que diseñar una pieza de un avión que debía poseer las mismas dimensiones que la pieza original, pero con el inconveniente de que no se poseía el plano con las dimensiones finales de la pieza original. Se intentó crear el diseño midiendo la pieza original (física), pero existía la incertidumbre de que si las medidas obtenidas estaban dentro de las tolerancias permitidas.

Tomando ventaja de lo avanzada que esta la tecnología de escáneres e impresoras 3D, se decidió utilizar dicha tecnología para escanear la pieza original suministrada por el cliente y así poder obtener todas las dimensiones que no eran conocidas.

Cabe señalar, que la tecnología de escáneres 3D está bien avanzada y hay varias opciones en el mercado, por lo tanto, hay que hacer un análisis bien exhaustivo para determinar cuál de las tecnologías disponibles satisfará las necesidades del negocio. Por tal motivo, la compañía presentada en este

proyecto procedió a contactar otra compañía en los Estados Unidos la cual se dedica a escanear piezas para la industria aeroespacial y aseguró que las dimensiones de dicha pieza tendrán tolerancias aceptables.

Finalmente, el subcontratar el proceso de escanear la pieza fue el más conveniente ya que el costo de la misma fue menor que el costo de mano de obra de los ingenieros que estaban involucrados en hacer la pieza.

Otra alternativa analizada en el capítulo 4 fue la de comprar un escáner 3D. Esta opción deber ser una que tiene que ser tomada con mucha cautela y análisis, ya que el éxito de la misma dependería del tiempo en recuperar la inversión inicial.

Después de haber comparado ambas opciones presentadas en este trabajo, podemos concluir que la mejor opción para la compañía aeroespacial presentada en este reporte es la de subcontratar una compañía que haga el proceso de escanear la pieza, ya que esta presenta resultados inmediatos sin tener que hacer una inversión inicial.

No obstante, la alternativa de comprar un escáner 3D para la compañía es una que resultaría bien atractiva, que aunque es una decisión que no se debería tomar a la ligera la misma abriría puertas a nuevas oportunidades de ingresos en el futuro.

REFERENCIAS

- [1] FAA. (2016). *Parts Manufacturer Approval (PMA)* [Online]. Available:https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/pma/.
- [2] Graves, A. (2012). *What is DMADV?* [Online]. Available: <http://www.sixsigmadaily.com/what-is-dmadv/>
- [3] Creaform3D (2016). *Portable 3D Scanners: Go!Scan 3D* [Online]. Available://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/handheld-portable-3d-scanner-goscan-3d.
- [4] Investopedia (2016). *Payback Period* [Online]. Available: <http://www.investopedia.com/terms/p/paybackperiod.asp>.