

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Proyecto de Ingeniería e Innovación I

Anteproyecto de Aplicación

**Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante
proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas**

Para obtener el grado de

Maestría en Ingeniería e Innovación

LGAC: Sistemas y Procesos Industriales

Área de énfasis: Sistemas de Manufactura

Presenta

Jesús Antonio Díaz Sáñez

Asesor Académico: Abiud Flores

Asesor de la Industria: Héctor Acero

Mexicali, Baja California. Marzo del 2020

Agradecimientos

Quiero agradecer a la compañía Rockwell Collins – Safran por el apoyo económico y la confianza prestada hacia mí persona para poder cumplir una meta profesional más en mi vida.

Dentro de la empresa hay bastantes compañeros que gracias a ellos tome la decisión de empezar este camino de regreso a la escuela como lo es M.C. Heriberto Montoya quien siempre estuvo detrás de haciendo la pregunta de “¿y la maestría para cuándo?” sin su acoso día tras día no creo que hubiera aceptado el reto. De igual manera a mi supervisor M.C. Edel Arellanes por haberme dado su aprobación para poder adquirir la beca en la compañía y haberme impulsado a tomar la maestría, cabe mencionar que ambos son maestros egresados de Cetys.

También me agradezco a Cetys y a todos sus maestros que durante todo este tiempo y esfuerzo estuvieron transmitiendo su conocimiento para que más personas logren sus metas profesionales, en lo personal me gustaría agradecer al Dr. Dan Shunk por su dedicación a la docencia y esfuerzo por estar en Mexicali enseñando a tantos alumnos.

Por ultimo a mi compañero de maestría y de trabajo, Roberto Torres quien se aventuró junto conmigo en este proyecto de mejora para nuestro conocimiento, quien durante estos 2 años nos desvelamos para poder cumplir una meta más en nuestras vidas profesionales.

Dedicatorias

Para poder llegar a un lugar, primero hay que aprender a caminar, es por ello que primeramente quiero agradecer a mi padre por haber inculcado que el aprendizaje a través del estudio es un arma muy poderosa en la vida y nunca dar por hecho que ya llegamos a nuestro limite, muchas gracias padre por todo tu esfuerzo en donde quiera que estés, sé que si estuvieras en vida estarías muy orgulloso de tu bebé.

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

Quiero también agradecer a mi hermosa familia mi esposa Alexsandra y mi hijo Gustavo por todo su apoyo durante todas estas noches de desvelo, por todo este tiempo que me dieron para poder realizar una meta profesional más en mi vida, estoy eternamente agradecido con ustedes que son mi fuente de inspiración para seguir adelante.

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

Carta Institucional



Carta Institucional

Marzo 2020, Mexicali Baja California

A quien corresponda,

Por medio de la presente se hace constar que el proyecto de aplicación "Inserción de pines de acero en orificios de acero donde existe Interferencia mecánica entre los componentes, por ajuste de expansión", presentado por el alumno Jesús Antonio Díaz Sánchez, con matrícula 036334, inscrito en Cetye Universidad en la Maestría en Ingeniería e Innovación ha sido Implementado exitosamente en la empresa Safran Electronics and Defense, Avionics.

Dicho proyecto de aplicación está enfocado al desarrollo y aplicación de un proceso para la inserción de pines mediante un proceso criogénico y el diseño de herramientas que mantienen la co-linealidad entre las piezas a instalar, para asegurar una correcta instalación, logrando controlar y dejarlo en 4 σ con un C_{pk} mayor a 1.33 lo cual ayudara a evitar contratiempos en la manufactura en el área de G650.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Edel Arellanas', written over a horizontal line.

Carlos Edel Arellanas

Gerente de Operaciones

Safran, Electronics and Defense, Avionics

Safran Electronics & Defense Services México, S.A. De C.V.

Francisco L. Montejano #1200 Int. 3 Col. FOW1955TE C.P. 21038 • Mexicali, B.C. • Tel: (606) 837-9400
www.safran-group.com

Índice

Listado de figuras	6
Listado de tablas	7
Acrónimos	8
Resumen	9
Introducción	10
Antecedentes	10
Planteamiento de la investigación	12
Justificación	13
Planteamiento del problema	15
Preguntas de investigación	21
Objetivos	22
Hipótesis	22
Marco Teórico	23
Interferencia mecánica	24
Ajuste a presión	24
Ajuste por encogimiento y/o expansión	25
Diseño de Herramientas	26
Poka Yoke	27
Dureza del material	28
Fuerza de inserción	28
Six Sigma	29
Marco Referencial	30
Metodología	33
Concepto de Operación	33
Requerimiento del Plano	33
Descomposición de requerimientos	34
Diseño detallado	34
Implementación	34
Integración y pruebas	35
Comprobar resultados	35
Documentar y mantener	35
Resultados	36

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

Discusión, Conclusión y Recomendación	43
Referencias	44

Listado de figuras

Figura 1.1 Requerimiento de altura para ensamble 983-XYZX-801	11
Figura 1.2 Gráfica de capacidad de pin con longitud final .365 pulgadas	16
Figura 1.3 Gráfica de capacidad de inserción de pin con longitud final .235 pulgadas	17
Figura 1.4 Gráfica Xbar-R.	18
Figura 1.5 Diagrama de causa y efecto	19
Figura 2.1 Corte seccional de un pin solido en un collar por ajuste de presión	24
Figura 2.2 Conector USB, solo permite conectar de una forma	27
Figura 2.3 Plan-Do-Check-Act cycle	30
Figura 2.4 Alineación entre dos componentes	32
Figura 3.1 Gráfico V	33
Figura 4.1 Base para instalación de pines	38
Figura 4.2 Dado para la instalación a la medida correcta	39
Figura 4.3 Herramientas usadas en el proceso de inserción	39
Figura 4.4 Proceso criogénico para el ajuste por expansión	40
Figura 4.5 Proceso de inserción de pin -641	41
Figura 4.6 Reporte de capacidad del proceso de inserción a .365 pulgadas	42
Figura 4.7 Reporte de capacidad del proceso de inserción a .235 pulgadas	43
Figura 4.8 Reporte de capacidad del proceso de inserción a .365 pulgadas, nivel sigma	44
Figura 4.9 Reporte de capacidad del proceso de inserción a .235", nivel sigma	45
Figura 4.10 Producto final	46

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

Listado de tablas

Table 1 Definición de Problema. Elaboración propia

24

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

Acrónimos

DMAIC	Define, Measure, Analysis, Improve & Control
EEMSA	Ensambladores Electrónicos de México, S.A.
MFI	Manufacturing Flow Inhibitors
MPS	Master Production Schedule
R&H	Run and Hold
SAP	Systems Applications and Products
SEDA	Safran Electronics & Defense, Avionics
TDMS	Technical Data Management System
TPS	Toyota Production Systems

Resumen

En un mercado tan exigente como lo es la industria aeroespacial, las entregas a tiempo, con bajo costo y con la calidad deseada se vuelve un desafío para cada proveedor. Hoy en día como compañía nuestro reto es satisfacer la demanda de nuestro cliente en tiempo, como casa ensambladora lo primordial es tener material para poder procesar, es así como nace la necesidad de hacer más eficaz nuestro proceso de manufactura.

En este proyecto se describe la metodología para el diseño de herramientas que nos ayuden a tener un nivel de aceptación de 4σ ; el cual es normalmente aceptado por las compañías como norma a pesar de que esto crea 6,200 defectos por millón de oportunidades (Pyzdek & Keller, 2010), con la finalidad de encontrar los factores que se deben cuidar al realizar herramientas para la inserción.

Para asegurar el éxito de la compañía, el componente clave que se tiene que tener en cuenta es la entrega a tiempo debido a los mercados cada vez más competitivos donde la innovación y el crecimiento se produce a día con día (Kishimoto, Medina, Sotelo & Raymundo, 2020). Para poder lograr entregas a tiempo en ensamble Speedbrake se utilizara la metodología grafico V con el cual se buscara encontrar el método correcto de instalación de pines y reducir el desperdicio de piezas por inserciones incorrectas.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios llegando a tener un C_{pk} 3.07 para el proceso de inserción del pin a una longitud de .365 de pulgada, mientras que para el proceso de .235 de pulgada el C_{pk} obtenido es de 1.48. En ambos casos se concluyó que con el rediseño de una base que permite la colinealidad entre herramientas y piezas a instalar, más el enfriamiento criogénico para la instalación por ajuste de expansión nos ayudan a pasar el C_{pk} de 1.33 el cual es aceptado por la industria como practica a seguir para decir que un proceso está controlado (Singpurwalla, N.D., Box, G., Cox, D.R., 1998).

Introducción

Antecedentes

Safran Electronics & Defense, Avionics (SEDA) es una compañía multinacional de origen Francés que está en el giro aeroespacial, que inició operaciones en Mexicali, Baja California en febrero de 2019 tras la adquisición de la parte electromecánica de lo que antes era Rockwell Collins.

En Safran Mexicali se manufacturan partes que pertenecen a los mandos de control de aviones comerciales, privados y militares, para distintas compañías aeroespaciales, entre otros tipos de ensambles como son medidores de combustible, válvulas de oxígeno, válvulas de desagüe, válvulas hidráulicas entre otras. Estos ensambles son de alta complejidad y criticidad debido a las funciones que realizan dentro de los aviones, es por ello que nosotros como proveedores tenemos que manufacturar con los estándares más altos de calidad para asegurar el correcto funcionamiento dentro de los aviones de nuestros clientes.

Uno de nuestros clientes principales es Gulfstream quien es una compañía dedicada a la industria aeroespacial de carácter privado, nosotros dentro de una de nuestras celdas proveemos partes para el avión de negocios modelo G650, en donde uno de los ensambles que les proveemos se está presentando problemas en los procesos de inserción de pines en orificios en donde se presenta interferencia mecánica como mecanismo de retención.

Este problema se ha estado presentando desde que se inició operaciones de esta celda de manufactura en 2011 cuando estos ensambles fueron transicionados a Mexicali, sin embargo no fue hasta 2019 que debido a este problema una entrega de clientes se vio afectada, lo que ocasiono que se mandara realizar una investigación de este problema en donde se encontró que el proceso de manufactura tiene un 84% de aceptación en la inserción de pines, estos pines son cilíndricos de diferentes longitudes con un diámetro de $.1875''$ y se insertan en un orificio de $.1875''/.1872''$; ver figura 1.1,

lo que ocasiona que de 5 inserciones que se realicen 1 va a fallar y tomando en cuenta que el ensamble tiene dos inserciones en la misma pieza, el riesgo de que una pieza no quede dentro de los requerimientos del dibujo; $.365 \pm .010$ y $.235 \pm .010$ pulgadas, se incrementa a dos piezas buenas de cada 3 que se realizan.

Cuando una pieza queda por encima de la máxima longitud permitida por la tolerancia esta ya no puede ser bajada más debido a que el pin no entro de la manera correcta, es por ello que la pieza tiene que desecharse. Esta pieza ya no se puede rescatar lo que ocasiona un costo en material de \$250 dólares aproximadamente solo en material.

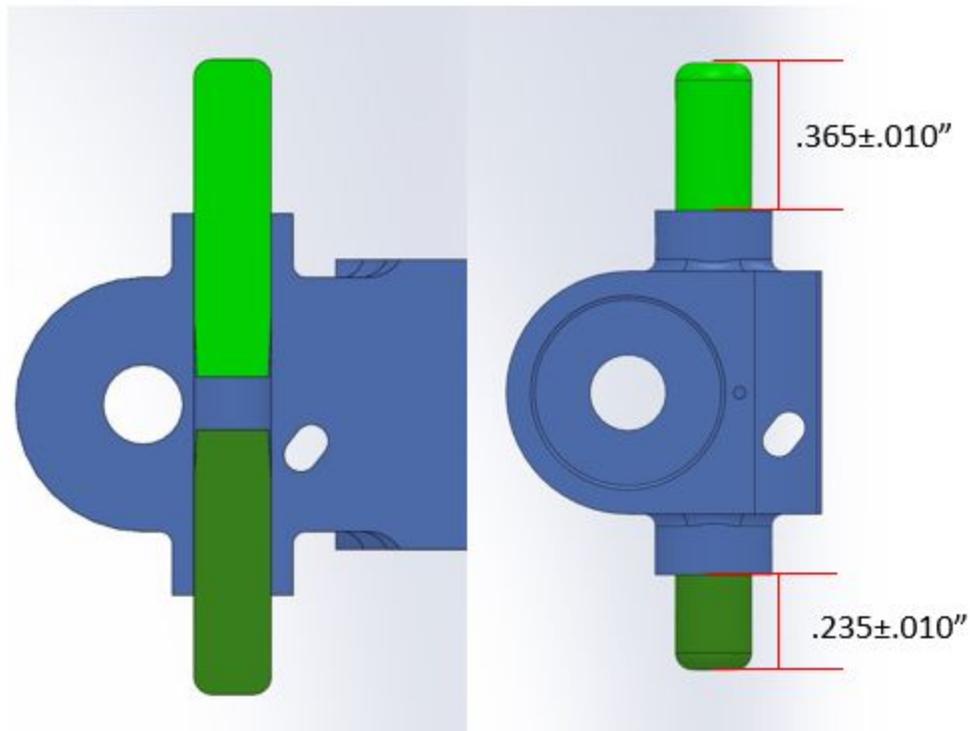


Figura 1.1 Requerimiento de altura para ensamble 983-XYZX-801. Elaboración propia.

Es bien sabido que hoy en día la competitividad es muy grande y que por cada producto se tiene varias opciones de proveedores (Yan J., Cheng H., Wang X., 2014), es por eso que tenemos la necesidad de entregar productos de calidad, con entregas a tiempo y bajo costo, para poder obtener estos beneficios es necesario trabajar en la mejora continua para reducir costos y llegar a la excelencia operacional.

Planteamiento de la investigación

Lo que hoy se conoce como Safran dio sus inicios como Ensambladores Electrónicos de México; mejor conocido como EEMSA, la cual es la maquiladora más longeva de México la cual inicio operaciones en Mexicali en 1966, perteneciendo a Hughes Aircraft empresa que fue adquirida por Rockwell Collins en 1997.

Para el año 2000 Rockwell Collins adquiere a Kaiser Aerospace and Electronics, empresa que se dedica al diseño y manufactura de equipo electromecánico, siendo hasta 2011 que Rockwell Collins decide transferir la manufactura de estos ensambles a Mexicali, lo que convierte a EEMSA en una casa manufacturera de producto electromecánico.

Posteriormente en 2018 Rockwell es adquirida por United Technologies quien vende el producto electromecánico a Safran, compañía de origen francés quien tiene presencia en México en varias ciudades de México como: Tijuana (Zodiac Aerospace), Chihuahua y Querétaro.

Con la reciente adquisición de Safran se tienen nuevos indicadores clave como las entregas a tiempo y como uno de sus clientes principales a Gulsftream Aerospace, es de aquí que nace la necesidad de que las líneas de producción en donde esté involucrado este cliente el material sigan su flujo de acuerdo a lo planead. Para ello se necesita trabajar en los procesos para que sean eficientes y se puedan entregar en tiempo.

Los métricos claves para el área de G650 en Safran Mexicali, para el año fiscal 2019 son:

- Entregas a cliente del 95%
- MPS diario 92%
- MFI de 16
- Semáforos con un promedio mensual de 50

Siendo los Inhibidores del Flujo de Manufactura (por sus siglas en inglés, MFI) y las entregas a clientes los más afectadas; esto debido a que se desechó material, en total solo se contabiliza 1 MFI, siendo un total de 4 piezas las que se quedaron en corto afectando 4 entregas a nuestro cliente. De aquí nace la necesidad de justificar e investigar porque le fallamos las entregas al cliente, si se tenía material en almacén para satisfacer estas entregas. Al revisar los movimientos en SAP para determinar qué es lo que había pasado se encontró que el material se había pedido para reemplazar material que no cumplía los requerimientos especificados por dibujo.

Revisando el historial de este proceso, se encontró que habían realizado cambios en los herramientales, los cuales incluyen una base de aluminio y un punzón de acero no endurecido para realizar el proceso y varios cambios de prensas, a pesar de estos cambios el problema persiste en la línea de manufactura.

Contabilizando las piezas que se han desechado se tiene los siguientes números:

- Pines Qty: 16 con costo total de \$80 dlls
- Carcasas Qty: 8 con costo total de \$1,752 dlls

Estos costos no incluyen el costo del retrabajo, el tiempo invertido del asociado, los costos por ordenar material antes de tiempo y el tiempo del almacenista para entregar el material, el cual solamente incrementaría el desperdicio. Sin embargo teniendo en cuenta el nivel de aceptación que se tiene que es de 84% y la demanda pronosticada para el año fiscal 2020, el cual es de 90 piezas con dos pines por parte, estaríamos necesitando 29 carcasas más que se traducen en \$6,351 dlls anuales si no se realizan los ajustes necesarios en el proceso de manufactura.

Justificación

Entender cómo se deben obtener los requerimientos para el diseño de herramientas y procesos de instalación que satisfagan las necesidades de nuestro

dibujo de ingeniería para a su vez poder cumplir con las necesidades de nuestros cliente a la primera vez y sin necesidad de retrabajos, para esto se necesita saber cuál es la intención del proceso que se está haciendo, cual es el objetivo final que se espera obtener y que al final se pueda tener un método cuantitativo para validar que el proceso que se realizó fue de manera efectiva y que este haya cumplido con los requerimientos deseados.

Con esta investigación se pretende encontrar el proceso correcto para la instalación de pines en donde el método de retención es por interferencia mecánica, para ellos es necesario diseñar herramientas nuevas que mantengan la co-linealidad entre los componentes y las herramientas que se usaran para esto. Además de la integración de nuevos métodos como un proceso criogénico con el cual estaríamos logrando el ajuste por expansión.

Al ser un método común en nuestra empresa; inserción con interferencia mecánica, encontrando la ecuación perfecta para la interacción parte – herramienta esto será de gran ayuda ya que se extendería en otras áreas de manufactura un método adecuado para la inserción en donde se asegure una correcta instalación sin necesidad de estar recurriendo al diseño cambiante de herramientas.

Se iniciara este proceso en el área de G650 con 3 piezas como objeto de estudio con los cuales se pretende realizar las pruebas y ajustes a manera de establecer la manera correcta para realizar las herramientas, una vez encontrado la correlación entre las 3, el conocimiento podrá ser documentado a manera de practica estándar para que cualquier otra persona que se encuentre en una situación similar pueda tomar esto para solventar alguna necesidad en su área.

Una vez que se obtengan los resultados efectivos, este proceso de adquisición de requerimientos serán plasmados en un documento con el cual se pretende estandarización la operación del departamento de ingeniera, para atacar de la misma manera todos los procesos en donde se requiera la instalación de productos por medio de interferencia mecánica y de esta manera asegurar la correcta instalación de

nuestros productos y lograr un nivel de aceptación en el proceso de inserción del 96% y así reducir gastos de manufactura.

Planteamiento del problema

Uno de los clientes claves de la empresa Safran es Gulfstream quien a inicios del año fiscal se le fallo en entregas a tiempo en el ensamble frenos de aire; Speedbrake en inglés, esto debido a problemas con materiales en corto o no disponibles para procesar el ensamble. Al no cumplir con la salida de ventas en el área, gerencia notifico que se necesitaba encontrar la causa raíz del problema de entrega a tiempo con el cliente.

Durante la investigación se detectó que el problema no está relacionado con cortos, si no que un problema en el proceso de manufactura que está produciendo que se consume más material del que se debería tomar, esto debido a un proceso de inserción de pines en un orificio en una carcasa la cual tiene que quedar a ciertas dimensión, los pines estaban quedando por encima de la longitud requerida la cual es $.365" \pm .010"$ y otro en dimensión de $.235" \pm .010"$. Los resultados que se estaban obteniendo eran mayores, esto debido a que no se hacia la inserción de manera correcta lo cual atoraba el pin durante su trayecto quedando por encima de la máxima permitida hasta por $.020"$.

Cuantificando el problema; mediante movimientos en SAP, nos dimos cuenta que había bastantes movimientos en que nos indicaba que se estaba requiriendo más material del necesario en sistema, lo cual nos indica algo no anda bien en el procesamiento de estas piezas, esto no se había reportado como un problema al departamento de ingeniería hasta que se reportó por producción el faltante de material.

Revisando los datos recabados en el sistema de gestión de datos técnicos (TDMS por sus siglas en ingles), se obtuvo los datos históricos de las medidas antes mencionadas y nos dimos cuenta que el proceso a pesar de dar resultados dentro de especificación, este no está dentro de control como se puede observar en figura 1.2.

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

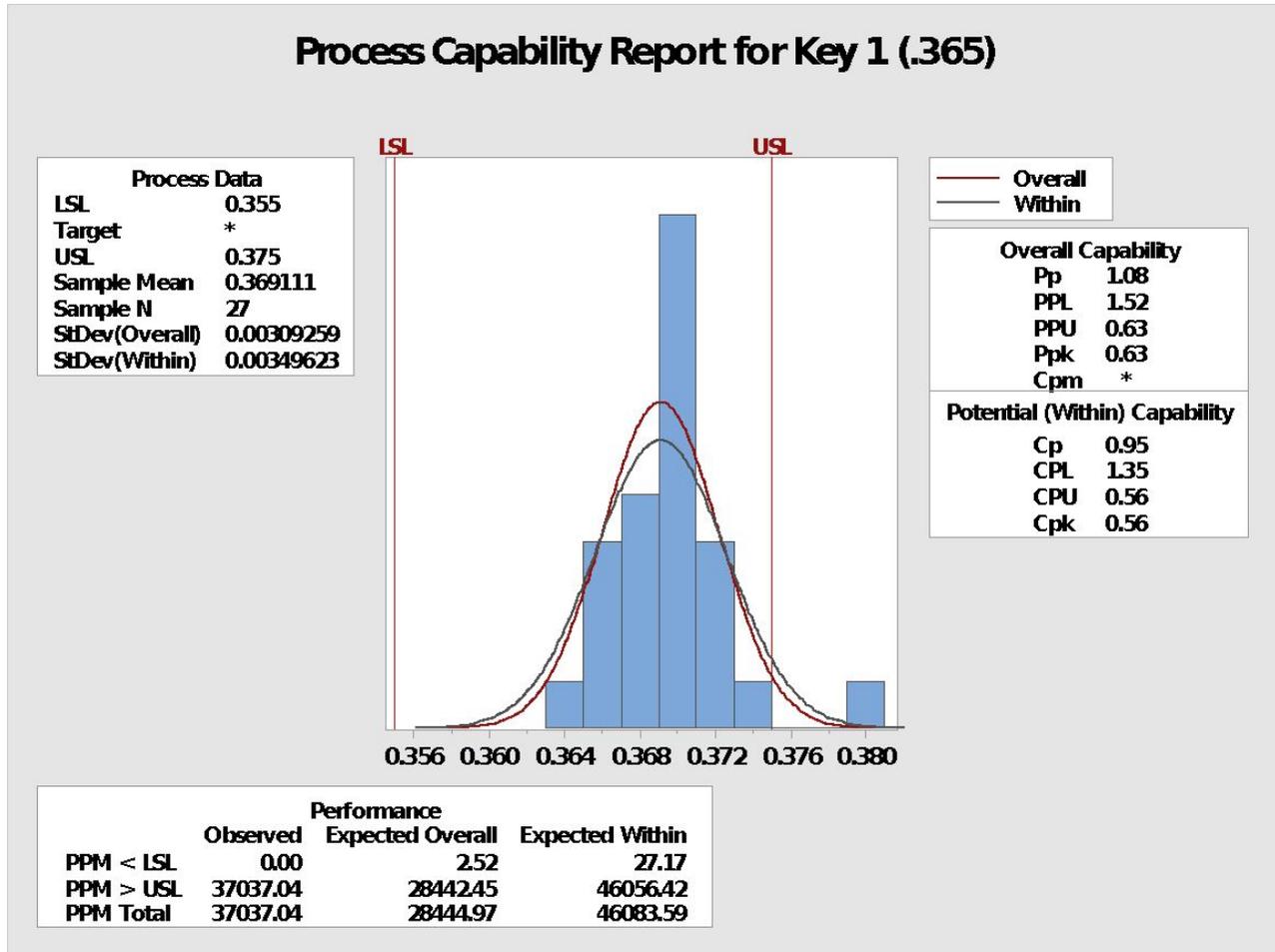


Figura 1.2 Gráfica de capacidad de pin con longitud final .365 pulgadas. Elaboración propia.

En la Figura 1.2 se puede observar que los resultados tienden a irse al límite superior de nuestra dimensión nominal la cual es de $.365 \pm .010$, además se observa que nuestro C_{pk} es menor al C_p lo cual nos indica que nos estamos alejando de la media y el C_{pk} está por debajo del 1.33 permitido, lo cual nos indica que el proceso no está controlado.

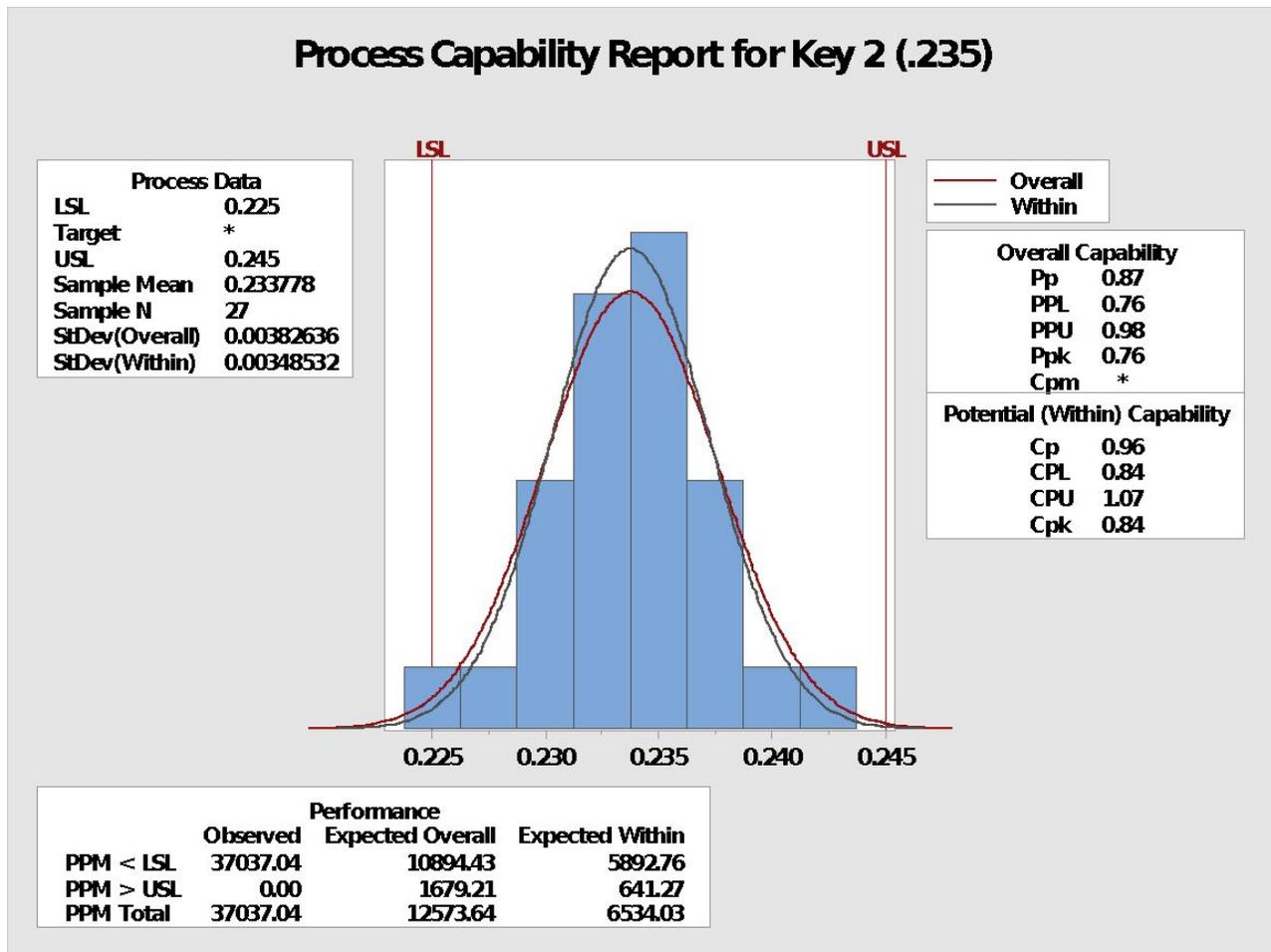


Figura 1.3 Gráfica de capacidad de inserción de pin con longitud final .235 pulgadas.
Elaboración propia.

En la Figura 1.3 se puede observar que los resultados tienden al valor nominal .235 sin embargo hay mucha dispersión de los datos, además se observa que nuestro C_{pk} es menor al C_p lo cual nos indica que nos estamos alejando de la media y al igual que la dimensión de .365 el C_{pk} está por debajo del 1.33.

Revisando más a detalle se realizó un SPC en donde se observa que la media está .004 pulgadas arriba de nuestra nominal; observa figura 1.4, además de mostrar tendencia hacia arriba en los últimos datos recabados. Esto nos indica que probablemente se esté sufriendo un desgaste en la herramienta que se utiliza para insertar el pin.

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

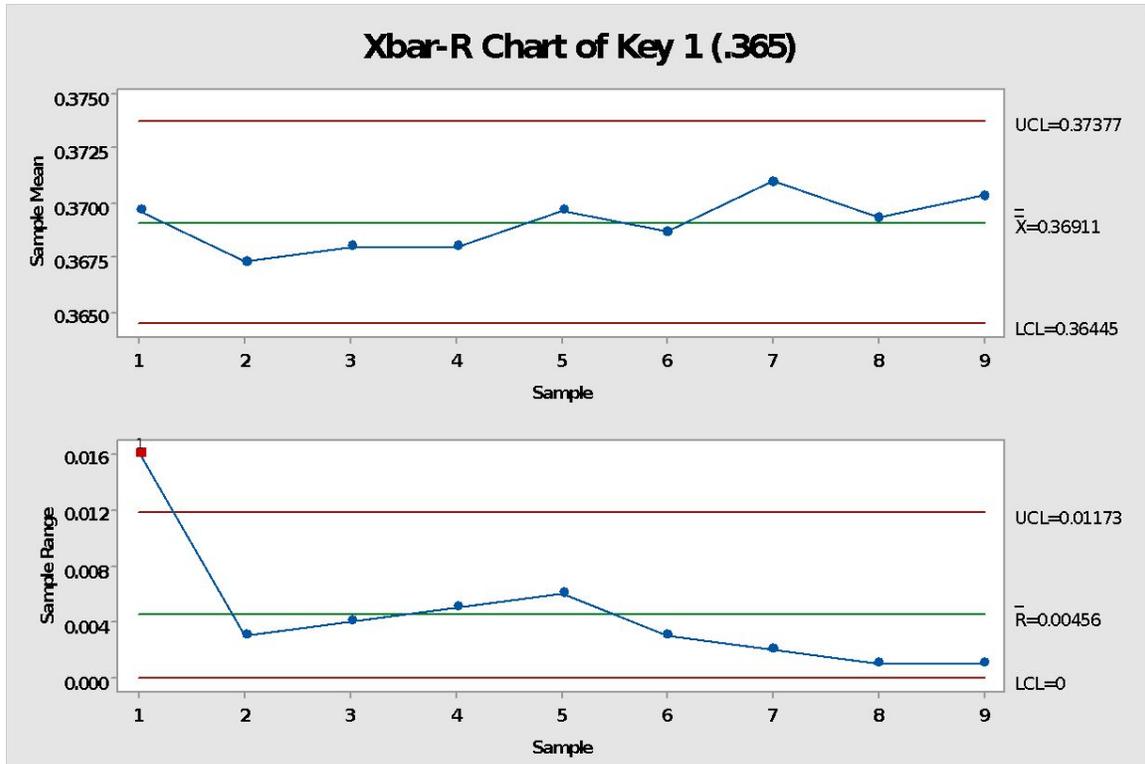


Figura 1.4 Gráfica Xbar-R. Elaboración propia.

En base a los resultados obtenidos nos dimos cuenta de que tenemos un problema en el proceso de inserción, para ellos es necesario atacar el problema. Se reunió con el personal involucrado y se realizó una lluvia de ideas para poder determinar cuáles podrían ser las causas que estén ocasionando el problema, para ellos se realizó un diagrama de causa y efecto; figura 1.5, en donde tendremos nuestro punto de partida para ir investigando cuales son los aspectos que se deben revisar para poder determinar cuáles son las características que debe tener nuestras herramientas para darnos resultados consistentes cercanos a la media.

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

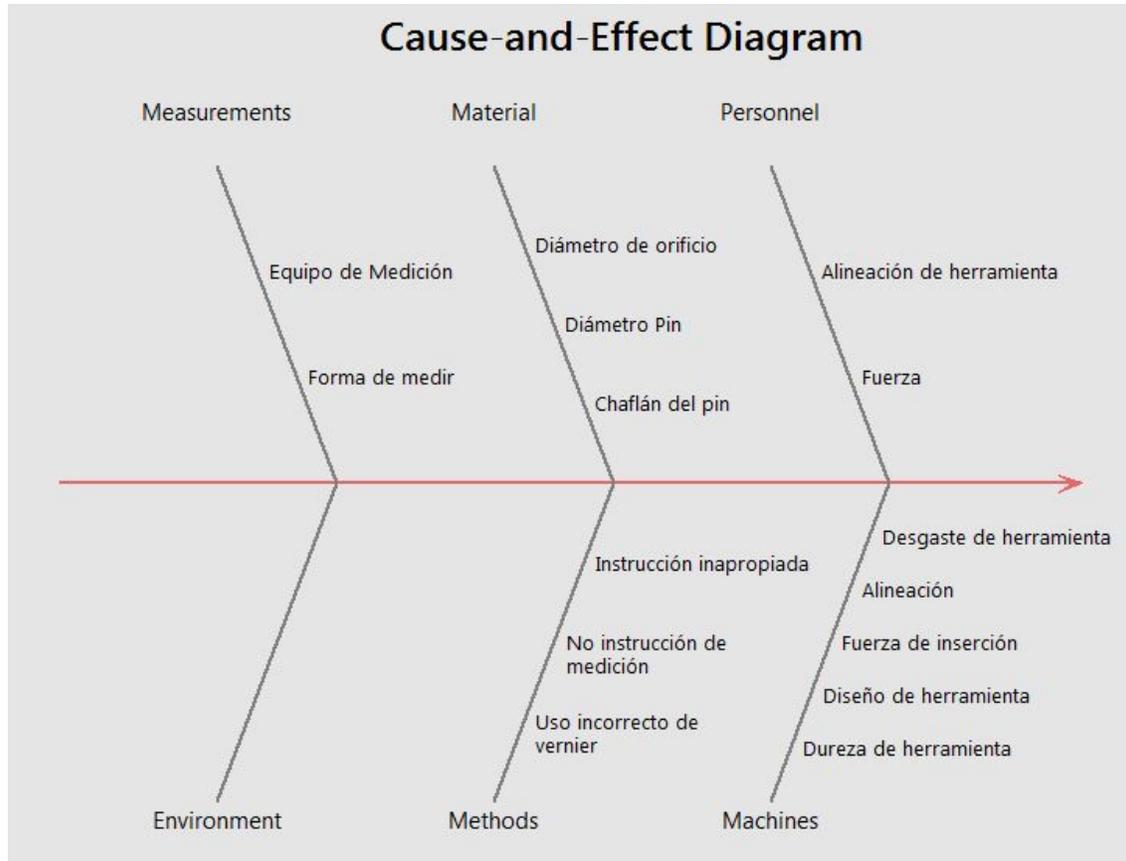


Figura 1.5 Diagrama de causa y efecto. Elaboración propia.

Analizando el diagrama de causa y efecto, nos indica que nuestro principal problema es la herramienta que estamos usando para el proceso de inserción esto debido a que no tiene la dureza necesaria, no tiene mecanismo de alineación lo cual hace que cada inserción sea diferente y repercute en la fuerza necesaria para insertar el pin e inclusive si este entra a la medida requerida o no.

Preguntas de investigación

- ¿Se puede desarrollar un proceso y herramientas con las cuales se pueda cumplir las expectativas del plano o dibujo de ingeniería?
- ¿Cuál debe ser el material seleccionado para realizar herramientas usadas en inserción mecánica?
- ¿Por qué es de importancia la creación de herramientas que funcionen de manera correcta y que aseguren la correcta instalación?
- ¿Cómo la creación de herramientas efectivas ayudara a la reducción del desperdicio?

En base a las preguntas de investigación se han identificado las siguientes variables en la presente investigación:

- Dependientes
 - Materiales
 - Diseño
- Independientes
 - Tiempo de ciclo
 - Material desperdiciado

Objetivos

Objetivos generales

Desarrollar e implementar un proceso y herramientas para la inserción de pines de acero en orificios de acero donde existe interferencia mecánica entre ambos componentes, por medio de ajuste por expansión cuidando que exista co-linealidad entre las herramientas y las piezas a insertar para evitar los desperdicios por material no conformante.

Objetivos particulares

- Desarrollar los pasos a seguir para realización de herramientas para insertar partes con interferencia mecánica
- Incrementar el eficiencia del ensambles 983-XYZX-801 84% al 99.38%
- Disminuir los tiempos de manufactura de piezas por inserción mediante la reducción de desperdicios
- Implementar el proceso de ajuste por expansión

Hipótesis

El re-diseño de las herramientas que permitan tener co-linealidad con las piezas a instalar y la utilización del ajuste por expansión; sometiendo a bajas temperaturas el pin, será capaz de hacer que la instalación de los pines tenga un índice de aceptación mayor o igual al 99.38%.

Marco Teórico

De acuerdo a la tercera ley de Newton o principio de acción y reacción, en la industria ante un defecto se tiene que reaccionar de manera inmediata para dar una solución a la problemática que se está dando, pero ¿porque es tan importante atacar un defecto? de acuerdo con los 7 desperdicios del Toyota Production System (TPS) un defecto se produce cuando un producto no es apto para su uso, eso se deriva en costos adicionales por retrabajo o en el peor de los casos desechar las piezas (Nawras Skhmot, 2017).

Sabiendo que un defecto es algo que ocasiona que los costos operativos se incrementen se necesitamos definir bien cuál es la situación que tenemos o problema al cual nos estamos afrontando, el definir el problema es el primer y más importante paso en la investigación ya que esto nos permite conocer y delimitar el terreno de los desconocido (Trinchet, Carlos y Trinchet, Rafael, 2007).

Definición del Problema	
Elemento	Actual
¿ Qué? Problema específico que está afectando el éxito del negocio	Pin MS16555-640 y -641 no se están instalando de la manera correcta en el ensamble 983-XYZX-801
¿ Quién? O quienes son clientes internos o externos afectados por el problema	Gulfstream y la línea top de producción de G650
¿ Dónde está ocurriendo el problema?	Línea de sub-ensambles de G650
¿ Cuándo fue observado por primera vez?	Primer semana de Julio
¿ Cuánto está afectando este problema? Magnitud del métrico que está afectado	4 semáforos fueron levantados para soporte en el área de producción y 1 entrega a cliente
¿ Cómo sabes? Que es lo que no se está cumpliendo	Por dibujo se requiere un longitud de .235" y .365" del pin, esta dimensión está por encima de los valores permitidos.
Composición del problema: Cuando –Que – Donde – Cuanto – Como sabes	La primera semana de Julio de 2019, el pin MS16555-640 y -641 no se están instalando de manera correcta en el ensamble 983-XYZX-801 en el área de sub-ensambles de G650, afectando

	4 semáforos y una entrega a clientes, esto debido a que se requiere una un longitud de .235" y .365" del pin, esta dimensión está por encima de los valores permitidos.
--	---

Tabla 1 Definición de Problema. Elaboración propia

Interferencia mecánica

Una vez definido el problema nos adentramos a lo que está pasando durante el proceso de manufactura, en este caso consiste en la instalación dos pines MS16555-640 y MS16555-641 los cuales tienen un diámetro .1878"/.1876 en un orificio con diámetro de .1875"/.1872" (NASM165555, 2000), que implica esto al haber una diferencia de diámetros la cual vamos a llamar ajuste de interferencia, la cual se define como el ajuste que tiene límites los cuales siempre producen una interferencia entre las piezas cuando estas se ensamblan (ANSI B4.1, 2009).

$$\text{Interferencia (+)} = \text{diametro mayor (Pin)} - \text{diametro menor (orificio)}$$

$$\text{Interferencia (-)} = \text{diametro menor (Pin)} - \text{diametro mayor (orificio)}$$

Tenemos una interferencia máxima de .0006" y mínima de .0001, la interferencia mecánica. Este método de ensamble basado en la interferencia mecánica entre dos partes que se unen, teniendo la interferencia cuando se unen después de haberse unido para mantener las piezas juntas, para este tipo de instalación existen dos métodos que son el ajuste de presión y el de ajuste por encogimiento y/o expansión (Groover, 2010).

Ajuste a presión

El ensamble por ajuste de presión es donde una o dos componentes tiene interferencia entre estos (Groover, 2010). Normalmente este tipo de piezas son cilíndricas y la aplicación en el caso de estudio es como pivote para mover unos discos de presión.

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

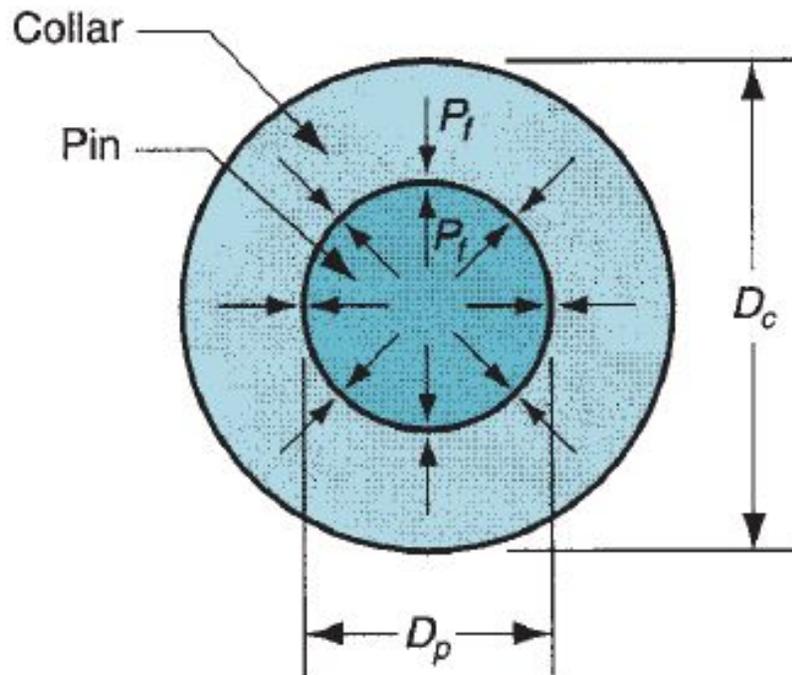


Figura 2.1 Corte seccional de un pin sólido en un collar por ajuste de presión (Groover, 2010).

Ajuste por encogimiento y/o expansión

Este tipo de ajuste se da cuando a temperatura ambiente pin y el collar tienen interferencia entre ellos, para lograr el ajuste por encogimiento el collar es calentado para expandir el diámetro en donde entrará el pin mientras que la parte que interna se mantiene a temperatura ambiente o puede ser también enfriada (Groover, 2010).

Métodos usados para calentar:

- Hornos
- Antorchas
- Calentadores de resistencia

Este método no es muy aconsejable porque se puede llegar a variar la dureza del material al estar elevando la temperatura del material.

Métodos usados para enfriar:

- Refrigeradores
- Empaque en hielo seco
- Inmersión en líquidos fríos
- Nitrógeno líquido

Los resultados del cambio en los diámetros dependen del coeficiente de expansión termal y las diferencias que existan en la temperatura ambiente y la temperatura a la que se llevó a la pieza, como se define en la ecuación 1.

$$D_2 - D_1 = \alpha D_1 (T_2 - T_1)$$

Ecuación 1

Donde:

$D_1 =$ *Diametro de la parte T_1*

$D_2 =$ *Diametro de la parte T_2*

$T_1 =$ *Temperatura ambiente*

$T_2 =$ *Temperatura a la cual se calento o enfrio*

$\alpha =$ *Coeficiente de expansion termal lineal*

Diseño de Herramientas

El diseño de herramientas es un área especializada de ingeniería de fabricación que comprende el análisis, planificación, diseño, construcción y aplicación de herramienta, métodos y procedimientos necesarios para aumentar la productividad de fabricación (EngineeringClicks, 2016).

El diseño de herramientas se da cuando las piezas a ensamblar requieren algo no estándar como lo es un dado con características especiales, para estos casos es importante revisar primero si lo que se desea realizar no existe en el mercado. En nuestro caso para la inserción de pins, debido a la geometría de la pieza en donde se insertara el pin es necesario una base no estándar capaz de sostener la pieza y un

punzón que nos de las dimensiones de inserción. Debido al tipo de pieza que se está ensamblando necesitaremos un dispositivo Poka Yoke para evitar errores en la instalación.

Poka Yoke

Las herramientas poka yoke son herramientas a prueba de error que ayudan a que solamente se pueda realizar el trabajo de una sola forma y evitar el error (Liker, 2004). Esta es considerada una herramienta de calidad la cual fue introducida por Shigeo Shingo dentro del sistema de producción de Toyota en los años 60 (Romero, 2015).

Las herramientas poka yoke tienen como objetivo evitar el error humano y evidenciar el hecho a la persona que está utilizando la pieza que está haciendo algo incorrecto, un ejemplo sencillo es la conexión de los puertos USB; figura 2.2, los cuales solamente pueden ser conectados de una manera imposibilitando al usuario en conectarlo en forma incorrecta. Es por ello que en la industria esto es muy utilizado para evitar la instalación incorrecta de piezas.



Figura 2.2 Conector USB, solo permite conectar de una forma

Figura 2.2 Conector USB, solo permite conectar de una forma

Dureza del material

Este es un tema muy importante para la realización de los herramientales, es necesario saber que dureza tienen los materiales que estaremos usando para realizar la inserción, de esto se sabrá si es necesario un ajuste por encogimiento o si simplemente se usara el ajuste por presión, además de esto también se necesita saber esto para ver el tipo de material que se usara para diseñar las herramientas.

Groover (2010) nos dice que la dureza de un material está definida como la resistencia a abolladuras permanentes, siendo esta una característica muy importante para las herramientas usadas en la manufactura donde los rayones y la resistencia son muy importantes, así como nuestro caso en donde aplicaremos bastante fuerza para la inserción es importante que no se modifiquen las dimensiones de las piezas.

Fuerza de inserción

Una de las características de la unión con interferencia mecánica es que a pesar de que existe una interferencia en el orden de las diez milésimas, estas uniones son muy fuertes (Brown). Para determinar la fuerza con la cual se debe de insertar; esto con fines de darnos una idea de qué tipo de equipo se necesitara para la instalación, se puede obtener de la siguiente manera:

$$F = \mu * p_{max}$$

Ecuación 2

Donde:

μ = *Coeficiente de fricción*

p_{max} = *Presión de interferencia*

La presión de interferencia es la fuerza que se ejerce entre el orificio y el pin que fueron instalados con interferencia mecánica (Groover, 2010), la cual se obtiene con la siguiente ecuación 3:

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

$$p = \frac{Ei(D_c^2 - D_p^2)}{D_p D_c^2}$$

Donde:

E = modulo de elasticidad

i = interferencia entre el pin y el orificio

D_c = diametro del orificio

D_p = diametro del pin

Una vez obtenido la información técnica que nos ayudara a resolver la problemática planteada, procederemos a ver la filosofía de trabajo que nos ayudara a obtener los resultados esperados, para ello se utilizara la filosofía Six Sigma (del inglés, Seis Sigma).

Six Sigma

Son un conjunto de técnicas y principios de calidad altamente efectivos, rigurosos y enfocados, que incorporan elementos de los pioneros de calidad (Pizdek & Keller, 2010). Una de las herramientas que hace énfasis esta filosofía es el DMAIC (Define, Measure, Analysis, Improve & Control, por sus siglas en inglés):

- D Definir de la actividad a mejorar
- M Medir el sistema existente
- A Analizar el sistema actual para identificar las formas de eliminar las variaciones en el actual desempeño del sistema o proceso contra la meta deseada
- I Mejorar el sistema o proceso
- C Controlar el nuevo sistema

Básicamente se empieza por definir bien que es lo que necesitamos mejorar, después tomar las mediciones de cómo se está comportando el sistema actual, a manera de poder comparar con el estado futuro y poder definir si hubo o no una mejora. Posteriormente pasamos al análisis en donde se revisa el proceso a conciencia

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

con la finalidad de encontrar desperdicios y/o oportunidades de mejora que nos lleven a la mejora del proceso. Seguido de esto sigue la implementación de las mejoras en el proceso y por último el controlar en donde debemos evaluar los resultados para volver a empezar el ciclo, algo muy similar a la metodología PDCA (Plan Do Check Act, por sus siglas en ingles).



Figura 2.3 Plan-Do-Check-Act cycle (American Society of Quality, 2001)

Marco Referencial

Al revisar dicho proceso en la compañía para este número de parte se encontró que desde que se empezó a realizar este ensamble ha habido varios esfuerzos para erradicar la variación y los desperdicios de materiales. Hasta el momento no ha habido un investigación grande acerca de porque no se ha logrado llegar punto de manufactura en el cual no se esté desechando material, todos los esfuerzos anterior se han centrado en el cambio de las herramientas mecánicas; prensa hidráulicas, neumáticas y manuales, a través de los años además de varios reemplazos de los herramientas.

En cuestión del equipo Sprovieri (2005) nos dice que el cálculo de la fuerza necesaria para la inserción es muy complicado y muchas veces no es confiable debido a la cantidad de variaciones que pueden tener las piezas, lo cual hace que la mejor manera de determinar la fuerza requerida para insertar las piezas sea a de manera pruebas.

Un método que es usado para la instalación cuando existe interferencia mecánica es la lubricación, la cual ayuda reducir la fricción entre las piezas y reducir la fuerza necesaria para la inserción, Sprovieri (2005) nos indica que la lubricación puede ser no requerida siempre y cuando se tenga un buen diseño en la herramienta superior la cual ayuda a asistir en la inserción de manera correcta, la clave para que los herramientas funcionen de manera correcta dependerá del alineamiento que exista entre la base, carcasa donde se instalara el pin, pin, herramienta superior y el embolo de la prensa.

Unos de los aspectos importantes en este proceso de inserción es la alineación, el cual es un proceso mediante el cual dos o más maquinas se colocan de tal manera que el punto de transferencia de potencia de un eje a otro son colineales (SLS, 2017).

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

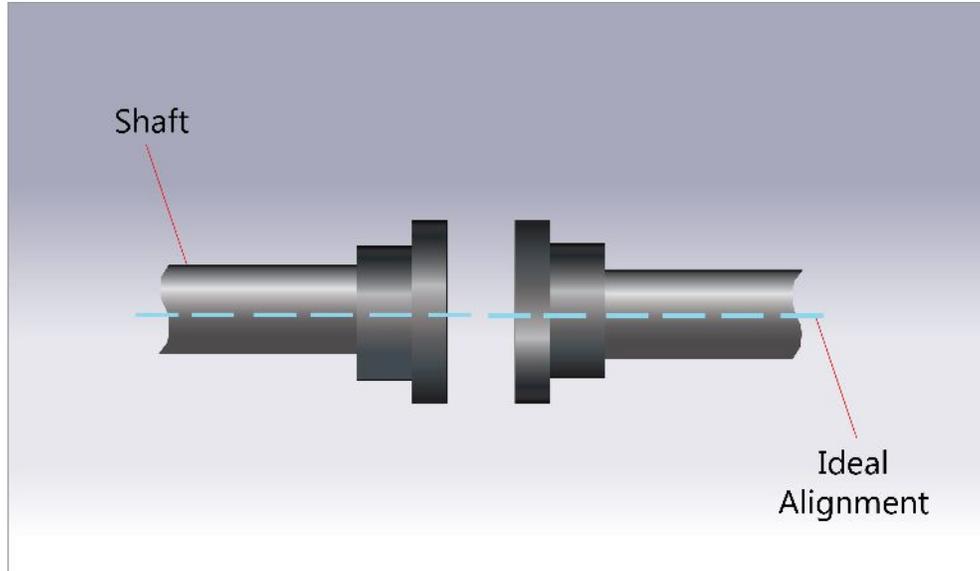


Figura 2.4 Alineación entre dos componentes (SLS, 2017)

Existen muchas técnicas para la mejora en las organizaciones y una muy popular que fue usada por General Electric con mucho éxito es Six Sigma (Linker, 2004). General Electric con la implementación de Six Sigma detectaron muchos defectos que habían pasado desapercibidos, esto debido a que al decir defecto nos enfocamos solamente a algo que no cumple contra especificación, pero cuando empezamos o buscarnos como medir algo, es aquí cuando podemos mejorar, para determinar que hay una mejora necesitamos tener una vara contra la cual medir nuestro nuevo desempeño, es aquí donde entra esta filosofía, medir y controlar, básicamente como estaba contra como estoy.

Metodología

Para desarrollar el método de análisis de requerimientos para realizar el diseño de herramientas, nos basaremos en el gráfico V; ver figura 3.1:

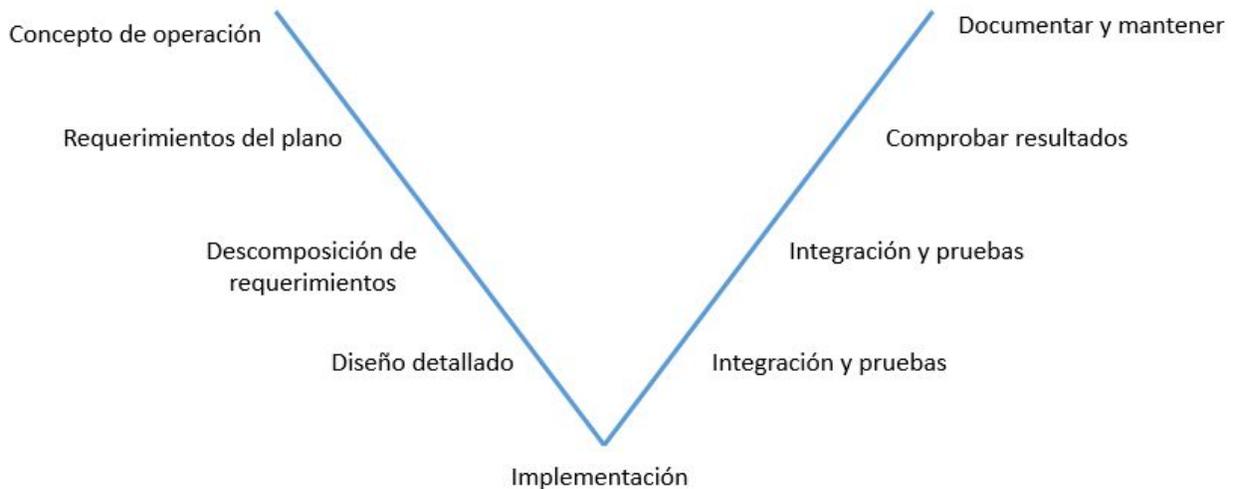


Figura 3.1 Gráfico V. Elaboración propia.

Este modelo es una variación del método de cascada, en el cual el desarrollo es balanceado y existe una validación del paso realizado anteriormente, siendo siempre validado y aprobado una vez que se pasa al siguiente paso (Balaji, S., & Murugaiyan, M. S., 2012). De tal manera que existe siempre una validación entre las fases de desarrollo y prueba, lo cual hace más fácil cambiar algo dentro del proceso cuando surge alguna necesidad o simplemente se agrega un nuevo requerimiento del cliente.

El gráfico V se utiliza para visualizar el enfoque de ingeniería del sistema, particularmente durante el concepto y las etapas de desarrollo, destacando la necesidad de definir los planes de verificación durante el desarrollo de los requisitos, la necesidad de verificación continua con las partes interesadas y la importancia de la evaluación continua de riesgos y oportunidades (INCOSE, 2007).

Concepto de Operación

Antes de empezar se necesita saber qué es lo que se pretende hacer para ello es necesario saber cuál es la intención del proceso de ensamble que se está realizando, además en este paso es necesario saber cuáles son las necesidades de nuestro cliente.

En nuestro caso de estudio el requerimiento de nuestro cliente que es la celda de manufactura de Gulfstream G650, nos están pidiendo un proceso capaz de dar más de 4σ .

Requerimiento del Plano

En este paso de la metodología se busca cuáles son los requerimientos que necesitamos cumplir una vez terminado el proceso, básicamente ver que es lo que nuestro plano requiere. Los requerimientos por plano son que debe tener una longitud los pines de $.365" \pm .010"$ y $.235" \pm .010"$, los pines deben ir instalados a la dimensión mostrada y en una posición específica.

Para ello se requiere que los elementos de las herramientas sean en la medida de lo posible, herramientas que permitan la instalación de una sola manera; dispositivos poka yoke, para evitar instalaciones en posiciones incorrectas.

Descomposición de requerimientos

Este se considera uno de los pasos más importantes ya que de aquí nacen los detalles para el diseño de las herramientas, en este paso se necesita saber más a detalle características de las piezas que serán instaladas como lo son:

- Dimensiones y sus tolerancias
- Dimensiones de traslape
- Materiales de los componentes
- Definición de material para las herramientas
- Tratamientos térmicos para incrementar la dureza de los materiales

- Dureza de los materiales
- Herramienta mecánica que hará la instalación (prensa)
- Requerimientos de dibujo
- Requerimientos de contrato
- Requerimientos por estandarizaciones militares o aeroespaciales como ANSI B4.1

Diseño detallado

Aquí es donde las ideas empiezan a surgir para integrar todos los requerimientos en algo tangible capaz de cumplir todos los requerimientos descritos en los pasos anteriores. Para eso se requiere la utilización de software de simulación para desarrollar las herramientas, en este caso estaremos utilizando el software Solidworks 2018 para la creación de los conceptos para la realización de las herramientas que nos ayudaran a mantener la co-linealidad durante la instalación.

Además de los sistemas cada para la simulación, se estará haciendo pruebas en impresiones 3D para ver que las dimensiones tomadas hayan sido correctas y que al momento de hacer la pieza en metal no se tengan problemas de ajuste con las prensas que se usaran para la instalación de los pines y así poder hacer ajusten en los dibujos 2D que se enviaran al proveedor y evitar gastos en la creación de las herramientas.

En cuanto al proceso criogénico en este paso se realizara todo lo necesario para extraer nitrógeno líquido de los contenedores industriales a contenedores pequeños para poder manejarlos dentro de la empresa y así definir el equipo de protección que el operador deberá utilizar y el cómo se deberá usar.

Implementación

Una vez materializado la herramienta esta pasara al proceso de implementación, en el caso de nuestra compañía tenemos herramientas digitales para dar seguimiento mediante desviaciones a las ayudas visuales para poder analizar si la implementación de una mejora o herramienta podrá representar algo positivo; esta herramienta es

llamada R&H, en donde se implementaran las instrucciones de uso de la nueva herramienta con el fin de recabar información para determinar si el concepto realizado puede o no ser liberado a producción.

Es aquí donde las herramientas nuevas se unen con el proceso criogénico para ver cómo interactúan entre ellas y ver si los resultados son satisfactorios, de no serlo se tendrá que regresar a alguna fase anterior del gráfico para ver que se tiene que revisar o que fallo para incorporar nuevos pasos o requerimientos al proceso.

Integración y pruebas

Durante el proceso de pruebas e integración, se medirán los resultados de las inserciones para ver si se están dando los resultados requeridos por los requerimientos de plano, para ello nos ayudaremos de gráficas estadísticas como lo son:

- Gráficas de control
- Histogramas
- Gráficas de capacidad
- Gage R&R

Básicamente se estarán recopilando cada uno de los datos, en este caso las medidas del pin para poder comparar estas contra los resultados antes de la mejora y además hacer el análisis estadístico el cual nos dirá si la implementación es satisfactoria o no.

Comprobar resultados

Una vez obtenidos los datos y haber realizado el análisis estadístico de estos, se procederá a revisar si cumplen con las expectativas requeridas en el plano y los requerimientos de cliente, teniendo en cuenta que este dentro de control y los resultados obtenidos estén dentro de un C_{pk} aprobado.

Documentar y mantener

Por último se procederá a documentar dentro de las ayudas visuales el proceso de instalación así como las herramientas en control de documentos para que de esta forma los asociados encargados de ensamblar estas piezas puedan realizar el proceso de manera adecuado.

Además estas dimensiones serán requeridas que se recaben los datos de las dimensiones para poder realizar graficas de control y así poder detectar cualquier anomalía que se esté presentando en el proceso para corregir antes de que este se salga de control.

Resultados

Como resultados de la investigación y para obtener la co-linealidad entre las piezas a ensamblar y las herramientas, se diseñó una nueva base y un dado, los cuales fueron realizados de acero inoxidable el cual fue tratado térmicamente para obtener una dureza de 62 HRC. Con esto se pretende tener una mayor durabilidad de las herramientas y tener la fuerza suficiente para no sufrir desgaste al insertar.

Con esta nueva herramienta se incorporó un soporte central y una sombra en la cual embona la carcasa con la cual se hará poka yoke la forma de instalar el pin además de tener las marcas donde se identifican que pin debe ser insertado en la posición correcta; ver imagen 4.1, en esta se muestra la nueva herramienta.



Figura 4.1 Base para instalación de pines. Elaboración propia.

En la figura 4.2 se muestra el dado que será usado para el proceso de instalación el cual de ser en 2 piezas ahora solo es una sola pieza, la cual está marcada con el número de pin que debe ser instalado en cada orificio del dado.

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas



Figure 12 Dado para la instalación a la medida correcta. Elaboración propia.

Figura 4.2 Dado para la instalación a la medida correcta. Elaboración propia.

En la figura 4.3 se muestran las herramientas que anteriormente eran usadas para este proceso, en donde podemos ver como la base; la cual es de aluminio, tiene bastante desgaste al igual que los dos dados los cuales además no estaban diseñados para ser insertados en la prensa manual que estaban usando, ya que estos tienen un diámetro menor al de embolo de la prensa, lo cual hace bastante complicado tener la alineación entre los componentes.



Figure 13 Herramientas usadas en el proceso de inserción. Elaboración propia.

Figura 4.3 Herramientas usadas en el proceso de inserción. Elaboración propia.

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

Por ultimo en la imagen 4.4 podemos observar la parte del proceso criogénico en el cual se aprecia uno de los pines sumergidos en nitrógeno líquido con el cual se logró bajar la temperatura del pin para poder tener una condición de retracción y así disminuir la fricción generada por la interferencia entre el orificio y el pin, el cual una vez instalado regresa a la temperatura ambiente produciendo la expansión del pin.



Figure 14 Proceso criogénico para el ajuste por expansión. Elaboración propia.

Figura 4.4 Proceso criogénico para el ajuste por expansión. Elaboración propia.

Una vez alcanzada la temperatura los pines son instalados en la carcasa; figura 4.5 se observa el setup usado para la instalación

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas



Figure 15 Proceso de inserción de pin -641. Elaboración propia.

Figura 4.5 Proceso de inserción de pin -641. Elaboración propia.

En base a estas dos acciones tomadas se logró obtener los siguientes resultados; a pesar de que la muestra es muy pequeña, podemos observar que el proceso luce mejor que como estaba. Se contempla tener las 30 muestras las cuales darán sustento estadístico para decir que el cambio de las herramientas y el proceso fueron satisfactorios.

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

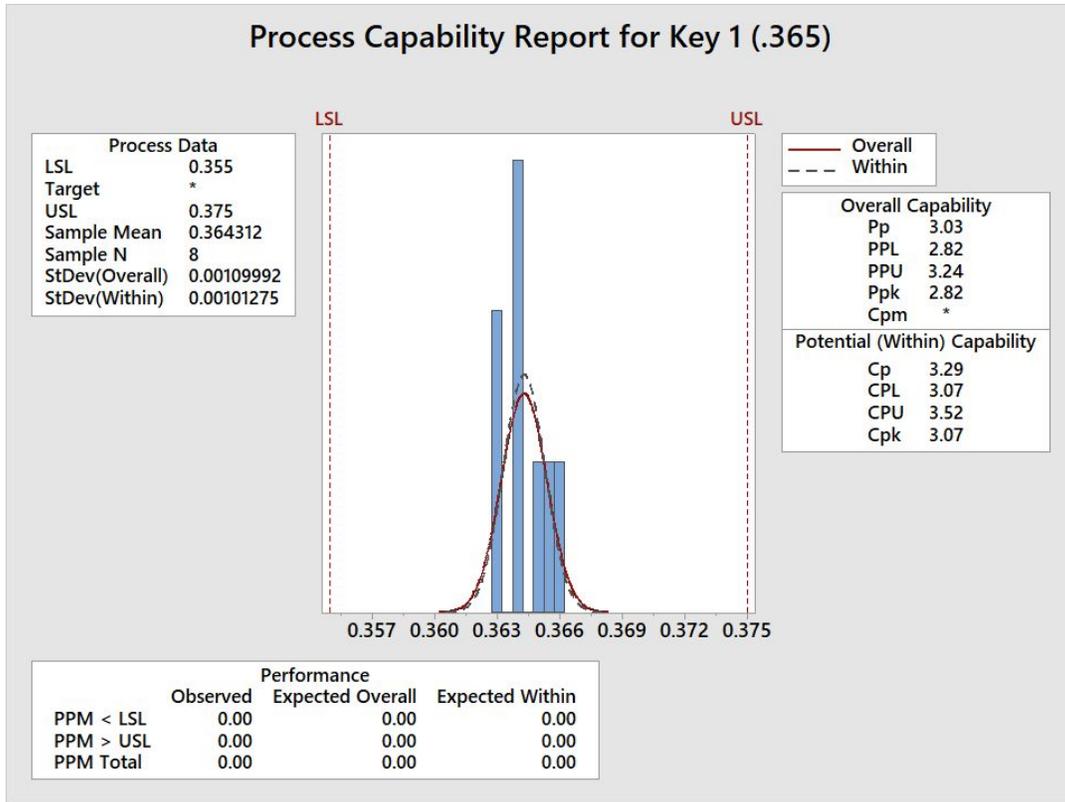


Figure 16 Reporte de capacidad del proceso de inserción a .365 pulgadas. Elaboración propia.

Figura 4.6 Reporte de capacidad del proceso de inserción a .365". Elaboración propia.

Para la inserción con dimensión de .365" se obtuvo un C_{pk} de 3.07 el cual es muy por encima del 1.33 el cual es el estándar aceptado por la industria, además se puede observar que el proceso C_{pk} y C_p está muy cercanos lo cual indica que el proceso está controlado cercado a la media. En este caso la media con una muestra de 8 piezas es de .364 una milésima de pulgada por debajo del nominal con una desviación estándar de .00109.

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

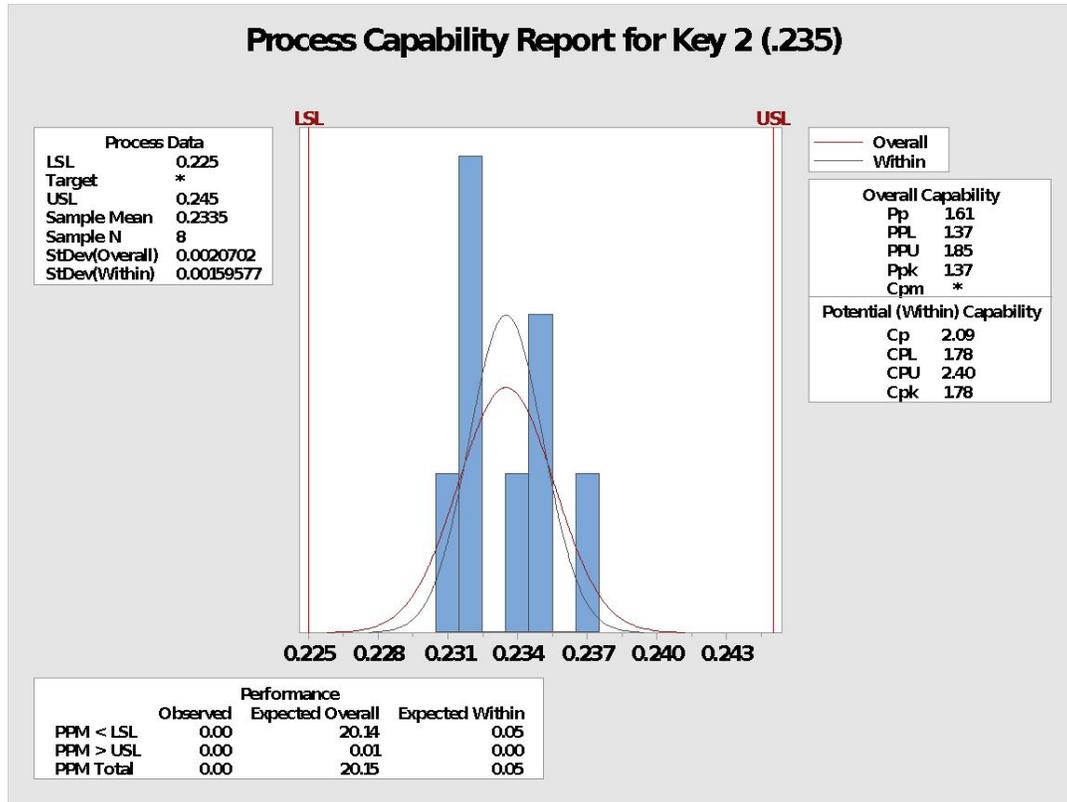


Figure 17 Reporte de capacidad del proceso de inserción a .235 pulgadas. Elaboración propia.

Figura 4.7 Reporte de capacidad del proceso de inserción a .235". Elaboración propia.

Para la inserción con dimensión de .235" se obtuvo un C_{pk} de 1.78 el cual está por encima del 1.33 el cual es el estándar aceptado por la industria, además se puede observar que el proceso C_{pk} y C_p está muy cercanos lo cual indica que el proceso está controlado cercado a la media. En este caso la media con una muestra de 8 piezas es de .233 dos milésimas de pulgada por debajo del nominal con una desviación estándar de .002.

En ambos casos obtuvimos un nivel sigma superior al 4σ como se aprecia en las Figuras 4.8 y 4.9, donde tenemos 4.11σ para el proceso de inserción del a una longitud de .235" y 8.47σ para el proceso de inserción de la longitud de .365". En base a los datos obtenidos a pesar de no contar con la muestra significativa, podemos decir que las acciones tomadas nos llevaron a mejorar el proceso.

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

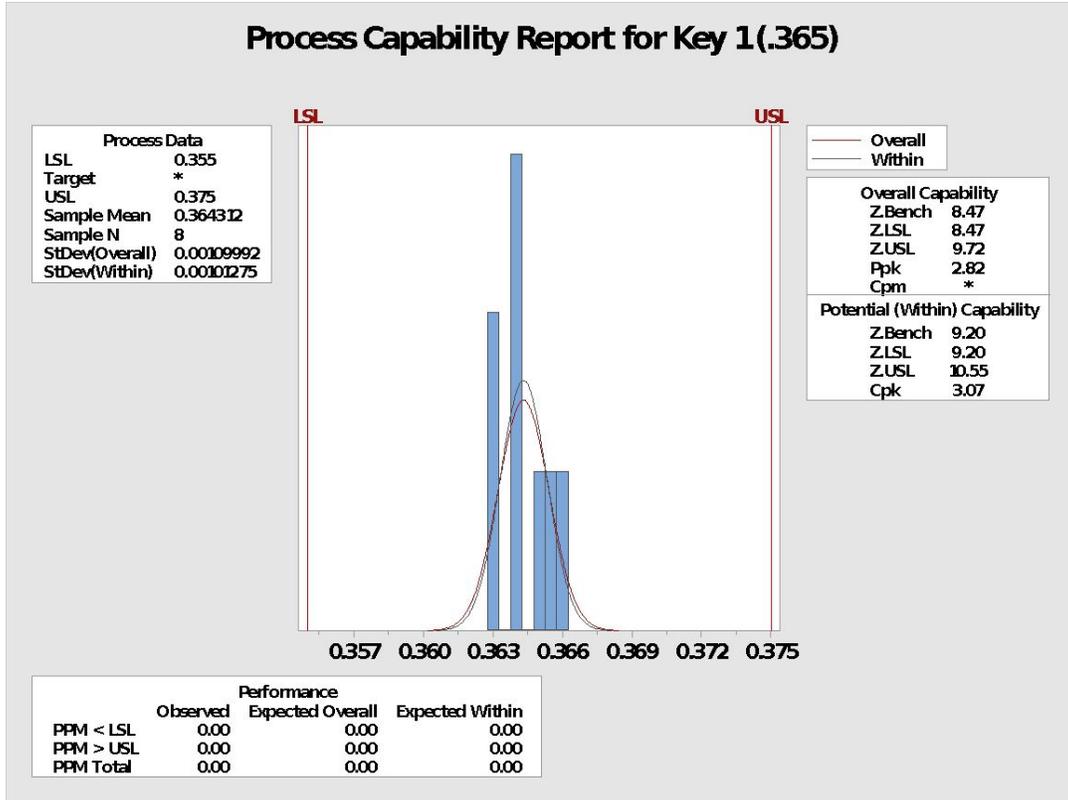


Figure 18 Reporte de capacidad del proceso de inserción a .365 pulgadas, nivel sigma. Elaboración propia.

Figura 4.8 Reporte de capacidad del proceso de inserción a .365”, nivel sigma.
Elaboración propia.

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

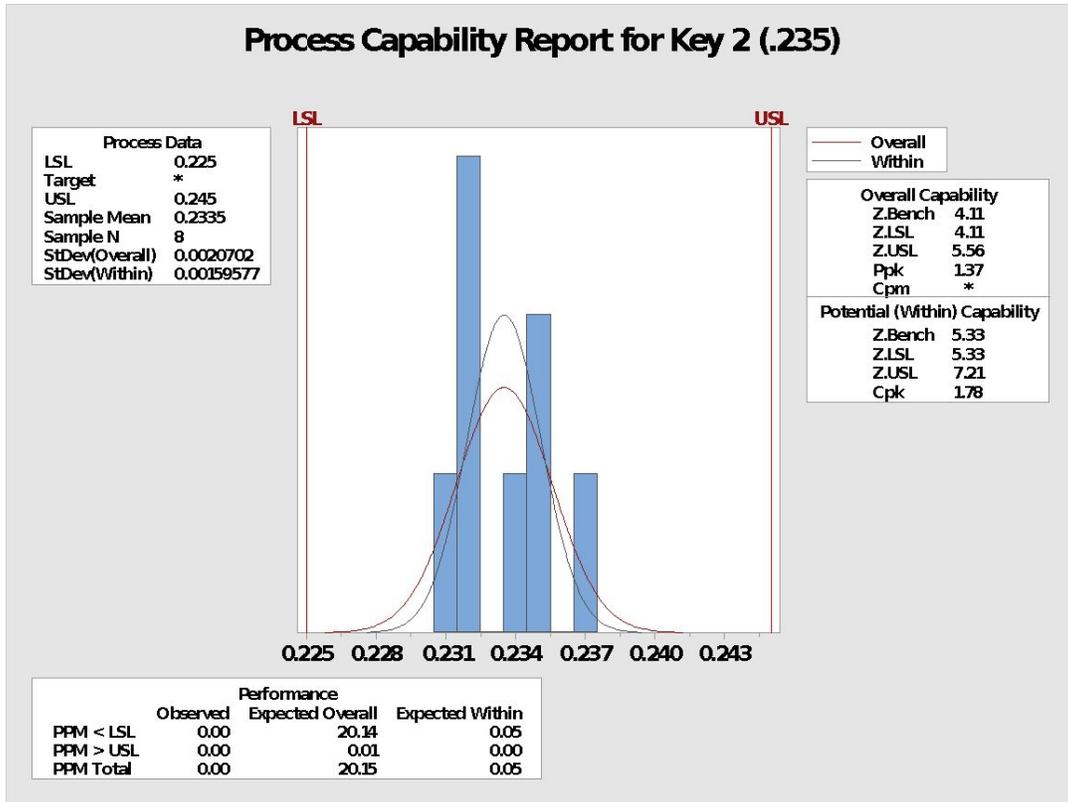


Figure 19 Reporte de capacidad del proceso de inserción a .235", nivel sigma. Elaboración propia.

Figura 4.9 Reporte de capacidad del proceso de inserción a .235", nivel sigma.
Elaboración propia.

Discusión, Conclusión y Recomendación

Con el re-diseño de las herramientas y el proceso de inserción de pines, pudo aceptar la hipótesis realizada, debido a que las acciones tomadas hicieron que el proceso de manufactura fuera lo suficientemente robusto como para poder tener un nivel sigma superior a 4σ el cual representa un índice de aceptación de 99.38%.

Las ventajas de usar las herramientas estadísticas de calidad hicieron que se encontrara de manera correcta los problemas que estaban afectando al proceso, así como un método correcto para poder realizar la comparación de resultados para poder determinar si hubo o no una mejora con la implementación del nuevo proceso.

Además con este proceso de ajuste por expansión el cual se logra al sumergir los pines para que se contraigan y su diámetro disminuya, no afecta en lo absoluto el resultado final ya que este regresa a su estado natural una vez que llega a la temperatura ambiente.

Como recomendación este proceso será implementado en tres ensambles más que se encuentran en el área de manufactura que pertenecen a la celda de Gulfstream que al igual que este ensamble tiene problemas; en menor magnitud, pero lo cual ayudaría a mejorar de manera considerable el proceso y eliminar desperdicios que harán que la manufactura no desperdicie tiempo y materiales.



Figure 20 Producto final. Elaboración propia.

Figura 4.9 Producto final. Elaboración propia.

Referencias

American Society of Quality (2001). Plan-Do-Check-Act cycle [Figura]. Recuperado de: <https://asq.org/quality-resources/pdca-cycle>

American National Standard Institute (2009). Preferred limits and fits for cylindrical parts. ANSI B4.1.

Balaji, S., & Murugaiyan, M. S. (2012). Waterfall vs. V-Model vs. Agile: A comparative study on SDLC. *International Journal of Information Technology and Business Management*, 2(1), 26-30.

Brown, C. Too tight or perfect fit? When to use press fits in your assemblies.

Recuperado de:

<https://www.fictiv.com/hwg/design/too-tight-or-perfect-fit-when-to-use-press-fits-in-your-assemblies>

Engineering Clicks (2016). A basic guide to tooling design. Recuperado de:

<https://www.engineeringclicks.com/tooling-design-basics/>

[Fotografía de Ed g2s]. (2005). Type A USB Connector. Recuperado de:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Type_A_USB_connector.jpg

Groover, M. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. Estados Unidos: Wiley

International Council on System Engineering (2007). *Systems Engineering Handbook: A guide for systems life cycle process and activities*. INCOSE-TP-2003-002-3.1

Kishimoto, K., Medina, G., Sotelo, F., Raymundo, C. (2020). *Application of Lean Manufacturing Techniques to Increase On-Time Deliveries: Case Study of a Metalworking Company with a Make-to-Order Environment in Peru*. Recuperado de: https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/978-3-030-25629-6_148

Liker, Jeffrey K. (2004). *The Toyota Way*. Estados Unidos: McGraw-Hill

Inserción de pines en orificios con interferencia mecánica, mediante proceso criogénico manteniendo co-linealidad entre las piezas

National Aerospace Standard (2000). Pin, Straight, Headless, Dowel, .0002 over nominal size. *NASM16555*.

Pyzdek, T. & Keller, P. (2010). *The Six Sigma Handbook*. Estados Unidos: McGraw-Hill

Singpurwalla, N.D., Box, G., Cox, D.R. *et al.* The stochastic control of process capability indices. *Test* 7, 1–74 (1998). <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/BF02565102>

Skhmot, N. (2017). The 8 Wastes of Lean. Recuperado de:

<https://theleanway.net/The-8-Wastes-of-Lean>

SLS (4 de Abril de 2017). Understanding shaft and housing alignment and fits (to prevent bearing failure). Recuperado de:

<http://blog.slsbearings.com.sg/understand-shaft-alignment-and-fit-to-prevent-bearing-failure>

Sprovieri, J. (2005, 8 de Febrero). Best practices for press-fit assembly. *Assembly Magazine*. Recuperado de: <https://www.assemblymag.com/>

Trinchet, Carlos y Trinchet, Rafael. (2007). La definición del problema: el paso primero y fundamental del proceso de investigación científica. Recuperado de:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352007000800009

Yan J., Cheng H., Wang X. (2014) Study of Trade Credit Strategies and Conditions in Supply Chain Based on Perfectly Competitive Suppliers. In: Xu J., Cruz-Machado V., Lev B., Nickel S. (eds) Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 280. Springer, Berlin, Heidelberg