

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO



TESIS

“IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA DMAIC, PARA REDUCCIÓN DE
DEFECTOS EN UN PROCESO DE MANUFACTURA”

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el
grado de

INGENIERO INDUSTRIAL

presenta:

JESICA ISEL REYES GRANADOS

Director de tesis:

DR. DIEGO ALFREDO TLAPA MENDOZA

Ensenada, Baja California

Diciembre de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

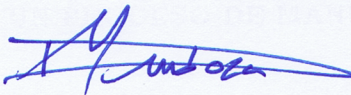
“IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA DMAIC, PARA REDUCCIÓN DE DEFECTOS EN UN PROCESO DE MANUFACTURA”

TESIS

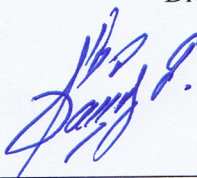
Para obtener el grado de INGENIERO INDUSTRIAL que presenta:

JESICA ISEL REYES GRANADOS

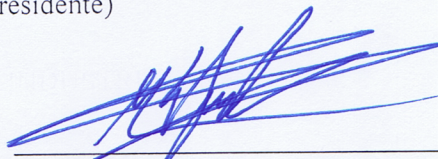
Aprobada por el siguiente comité:



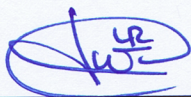
Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza
Director de tesis (Presidente)



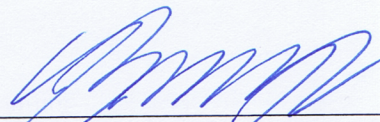
M.C. José Luis Javier Sánchez González
Miembro del comité (Vocal)



Dr. Efraín Ruiz y Ruiz
Miembro del comité (Vocal)



Dr. Jorge Limón Romero
Miembro del comité (Vocal)



Dra. Yolanda Angélica Baez López
Miembro del comité (Secretario)

Ensenada Baja California, México. Diciembre de 2015.

I. DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

A mis padres, por sembrar en mí valores que me seguirán toda mi vida profesional y personal, por sus palabras de motivación, por su cariño y por todo su apoyo brindado a través del tiempo.

A mis amigos, quienes han estado conmigo en cada momento, brindándome su apoyo y cariño, además de sus consejos en el ámbito profesional y personal.

Especialmente a mis maestros, quienes día con día dedicaron su tiempo a compartir su conocimiento, enseñanzas y experiencias, además de su gran paciencia y apoyo en todo momento en que fue necesario.

II.	CONTENIDO	
III.	Resumen.....	1
IV.	Introducción.....	2
V.	Materiales y métodos.....	10
VI.	Resultados.....	12
VII.	Discusión.....	30
VIII.	Conclusiones.....	31
IX.	Referencias.....	32

III. RESUMEN

El presente proyecto utiliza la metodología DMAMC (DMAIC por sus siglas en inglés), que surge de las actividades Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, para identificar la principal fuente de variación en la dimensión de la zona del “butt” de los cuellos, se desglosa cada una de las etapas de la metodología siguiendo una secuencia. Debido a que más del 50% de la producción de cuellos se encuentra fuera de especificaciones. El fin de la realización del proyecto es la disminución de defectos evitando el proceso de re-trabajo y posteriormente proponer oportunidades de mejora y de control. Siendo distintos procesos los que contribuyen a la variación de la dimensión, se demostró que el proceso de lijado es el que contribuye en mayor medida.

IV. INTRODUCCIÓN

Instrumentos Musicales Fender S.A de C.V. es una empresa dedicada a la fabricación de instrumentos musicales desde 1946, dentro de sus instrumentos más destacados se encuentran las guitarras Telecaster y Stratocaster, bajos Precision Bass y Jazz Bass, además de amplificadores y equipos relacionados.

La elaboración de la guitarra consta del ensamble de 3 partes principales las cuales se pueden apreciar en la Figura 1, que son 1. Cuerpo, 2. Cuello y 3. Componentes electrónicos.



Figura 1. Guitarra American Standard Blackout Stratocaster

De igual manera, en el cuello se pueden identificar distintas partes, siendo 3 las principales. En la Figura 2 se muestran dichas partes, 1. Butt, 2. Mástil y 3. Clavijero.

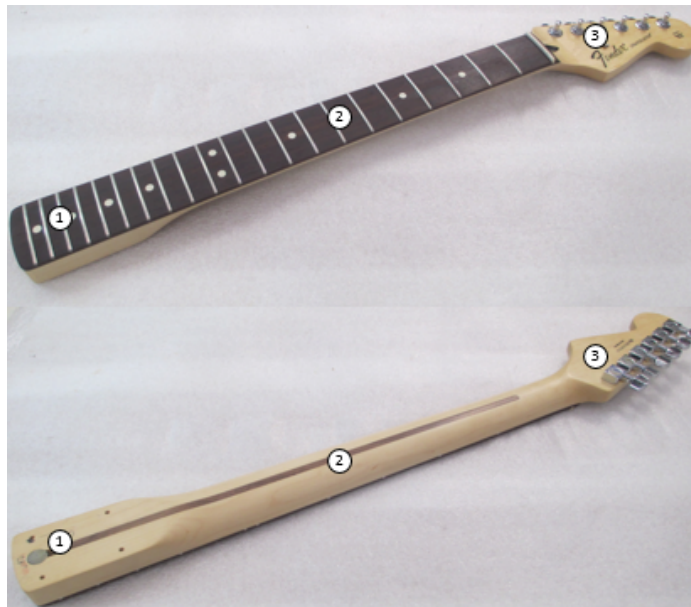


Figura 2. Cuello Rosewood Standard Stratocaster

Debido a que el proceso de cuellos no se encuentra controlado, presenta mucha variación produciendo cuellos que se encuentran fuera de especificaciones y por lo tanto no pueden seguir su proceso hasta llegar el cliente.

MARCO TEÓRICO

Existen distintas definiciones de calidad, sin embargo podríamos decir que la calidad es alcanzar la satisfacción del cliente ofreciendo un producto o servicio que se encuentre dentro de las especificaciones y cumpla las necesidades para las que fue elaborado. Una definición clásica y concreta de lo que es la calidad es “*Cumplimiento de las especificaciones para lograr la adecuación al uso*” (Escalante, 2006).

Para mejorar y controlar la calidad de los productos se utilizarán las bases de la metodología Seis Sigma (SS) que “es una forma más inteligente de dirigir un negocio o un departamento” (Pande & Holpp, 2002), siendo de los principales objetivos la reducción de defectos y el mejoramiento de la satisfacción del cliente. En la presente década se ha incrementado en México el número de empresas que emplean seis sigma, principalmente grandes trasnacionales de bienes (Primitivo, 2002), sin embargo la metodología comienza a ser aplicada en otros sectores y puede ser aplicada inclusive en pequeñas y medianas empresas.

En el presente proyecto se utilizará el proceso de DMAMC (DMAIC), siendo sus siglas las iniciales de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, para la solución de la problemática en el área de cuellos ya que esta metodología consiste básicamente en identificar y cuantificar las variaciones en los procesos para posteriormente eliminarlas y controlar el proceso. Referente a la definición de seis sigma (SS), Harry y Schroeder (1999), quienes son considerados como principales desarrolladores de la metodología, la definen como un proceso que permite a las compañías mejorar drásticamente las utilidades mediante el diseño y monitoreo diario de las actividades de la empresa, en formas que minimizan el desperdicio y recursos mientras incrementa la satisfacción del cliente. Esta definición es puntual al destacar el beneficio económico y no el de la calidad del producto, ya que esto se considera implícito al reducir desperdicios, se está logrando

mayor utilidad. Una definición similar menciona que SS es la manera inteligente de administrar un negocio o departamento, ya que pone al cliente en primera línea al usar hechos y datos para obtener mejores soluciones (Pande et al. 2002). Para Pyzdek (2003), es una rigurosa, enfocada y altamente efectiva implementación de principios y técnicas probadas de calidad, que busca en las empresas un rendimiento prácticamente sin errores; aquí el autor se enfoca en la parte técnica y no en aspectos financieros de la empresa. Respecto a las fases de SS en la Figura 3 se encuentra el desglose de cada una de las siglas de dicha metodología.



Figura 3. Proceso DMAMC

Definir (Define): Esta fase implica identificar las partes claves del proceso, para posteriormente definir aquel problema que afecta en mayor medida la calidad del producto y por lo tanto la satisfacción del cliente. Teniendo identificado el proceso a mejorar se describe la importancia de la solución del problema, los objetivos y los medibles que se mejorarán.

En esta fase, el diagrama de Flujo de Procesos es una herramienta de planificación y análisis utilizada para:

- Definir y analizar procesos de manufactura, ensamblado o servicios.
- Construir una imagen del proceso etapa por etapa para su análisis, discusión o con propósitos de comunicación.
- Definir, estandarizar o encontrar áreas de un proceso susceptibles de ser mejoradas. (Chang y Niedzwiecki, 1993)

Medir (Measure): Entre las principales actividades que se realizan en esta etapa están el desglose del proceso con sus variables de entrada y salida, análisis del sistema de medición a utilizar durante el proyecto, y conocer la situación actual del proceso. Comúnmente se determinan diferentes índices sobre el proceso o producto. *Los índices de capacidad*, conllevan evaluar la habilidad o capacidad de un proceso, y consiste en conocer la amplitud de la variación natural de este para una característica de calidad dada, lo cual permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (Gutiérrez y de la Vara, 2013)

El rendimiento de un proceso (*Yield*), se obtiene dividiendo el número de piezas que ingresan entre el número de piezas que son producidas de acuerdo con las especificaciones (Escalante, 2006). Por su parte, el coeficiente de correlación, es la cantidad de similitud en dirección y grado, en variaciones de parejas correspondientes en observaciones de dos variables (Mode, 1990).

Para tener la certeza de que el sistema de medición utilizado para el experimento es el adecuado se utiliza un método de evaluación para el cual primeramente se definirá el concepto de Repetibilidad y Reproducibilidad.

La *repetibilidad* (precisión) es la variación en las mediciones hechas por un solo operador en la misma pieza y con el mismo instrumento de medición. Se define como la variación alrededor de la media. Por otra parte, la *reproducibilidad* es la variación entre las medias de las mediciones hechas por varios operarios con las mismas piezas y con el mismo instrumento de medición.

Para la *evaluación de la repetibilidad y la reproducibilidad (GR&R)* existen dos métodos, el primero utiliza medias y rangos o método largo; mientras que el segundo emplea el análisis de varianza (ANOVA), el cual además analiza la variación que aporta la interacción parte a parte..

Con la evaluación de la repetibilidad y la reproducibilidad se puede determinar:

1. Si la repetibilidad es grande comparada con la reproducibilidad, las razones posibles son:
 - a) El calibrador necesita mantenimiento.
 - b) El calibrador debería ser rediseñado para ser más rígido.
 - c) Mejorar la sujeción o localización de la pieza.

- d) Existe mucha variación entre las piezas.
- 2. Si la reproducibilidad es mayor comparada con la repetibilidad, las causas posibles son:
 - a) El operario necesita entrenamiento en el uso del calibrador.
 - b) Las calibraciones en la escala del instrumento no están claras.
 - c) Tal vez sea necesario usar algún dispositivo de fijación del calibrador para que el operario lo pueda usar con facilidad. (Escalante, 2005)

Analizar (Analyze): En esta fase se busca identificar la relación mediante análisis estadísticos entre las variables de entrada y la variable de salida para llegar a definir las variables que realmente impactan en el estudio.

El mapeo de procesos es una metodología que permite orientar y redefinir los principales elementos del proceso para la reinención del mismo de acuerdo a lo que el cliente considera de valor. Conocer el mapa del proceso permite planear e identificar los elementos de entrada y salida para mejorar su diseño y operación entre los aspectos más importantes, con el objeto de establecer las estrategias necesarias para resolver las necesidades de nuestros clientes (Miranda, 2006).

La matriz de causa y efecto por su parte, es una herramienta que puede ayudar con la priorización de importancia de las variables de entrada del proceso (Breyfogle, 2003).

Diagrama de Pareto es un histograma de conformidad con el orden de frecuencia de ocurrencia, e indica cuantos resultados son causados por ciertos tipos o categorías de razones (Xiyun y Wu, 2014).

El diseño de experimentos es un método estadístico estructurado y organizado para planear experimentos y analizar la información obtenida. (Song *et al.*, 2015).

Las etapas en el diseño de experimentos incluyen:

1. Planeación y realización.
 - 1) Entender y delimitar el problema u objeto de estudio.
 - 2) Elegir la(s) variable(s) de respuesta que será medida en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.
 - 3) Determinar cuales factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta.

- 4) Seleccionar los niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.
 - 5) Planear y organizar el trabajo experimental.
 - 6) Realizar el experimento.
2. Análisis de los resultados obtenidos.
 3. Interpretación.
 4. Control y conclusiones finales. (Gutiérrez y de la Vara, 2008)

Mejorar (Improve): En esta etapa se diseñan las posibles soluciones para atacar el problema desde su causa raíz, para posteriormente llegar a la implementación de la mejor solución que llevará al alcance de los objetivos planteados.

Controlar (Control): Se establecen y diseñan los controles, mecanismos o sistemas mediante los cuales se tendrá la seguridad que las mejoras implementadas permanecerán durante su ejecución. Conocer si los objetivos planteados al inicio fueron alcanzados.

A pesar de la popularidad de SS y la metodología DMAIC, no hay un único grupo de herramientas a utilizar, por ejemplo en un estudio realizado por Bañuelas *et al.*, (2009) en China, se les pidió a algunas empresas identificar las herramientas y técnicas que utilizan, de las que destacan: *diagrama Pareto, AMEF, diagrama causa y efecto, mapeo de la cadena de valor (VSM), gráficos de control, 5's, DOE, poke-yoke, pruebas de hipótesis, MSA, análisis de regresión y correlación*. Por su parte Mahanti y Antony (2009), indican que las herramientas más utilizadas en seis sigma son: *SPC; gráficos de control, diagrama de pescado, regresión, mapeo de proceso, QFD, AMEF y análisis de capacidad de proceso*.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La parte del cuello denominada “butt” ha presentado variación en su dimensión afectando principalmente al cliente interno ensamble final. Dicho problema genera que el ensamble cuerpo-cuello cuente con una abertura que sobrepasa los límites de las especificaciones ocasionando un problema de calidad.

OBJETIVO GENERAL

Identificar la principal fuente de variación de la dimensión del “butt” que provoca aberturas en el ensamble cuerpo-cuello.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Conocer la situación inicial del proceso de elaboración de cuello.
2. Identificar el sub-proceso que contribuye en mayor medida a la variación de la dimensión.
3. Proponer mejoras y mecanismos de control del proceso.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Con respecto a la problemática abordada, las siguientes son preguntas que orientan la investigación.

¿El instrumento y método de medición será la principal fuente de variación de la dimensión del “butt”, generando que los cuellos se encuentren fuera de especificaciones?

¿Cuál de los procesos en la fabricación del cuello será el principal contribuyente a la variación de la dimensión del “butt”?

¿Existe una interacción entre el tipo de lija utilizada y el desbaste de madera en el cuello?

HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Del presente estudio se deriva las siguientes hipótesis asociadas al objetivo general:

H1. Se cree que el instrumento de medición utilizado en las líneas de producción podría influir significativamente en la medición del “butt” generando que los cuellos se encuentren con variación fuera de las especificaciones.

H2. Se especula que la parte del proceso que genera mayor variación en la dimensión del “butt” es el área de pintado, sin embargo se cuentan con 4 áreas potenciales a influir, lijadora 90, lijado, pintura y pulido.

H3. Actualmente se utilizan 2 tipos de lija, sin embargo debido a que una es más abrasiva, se considera que existe una interacción entre el desbaste en el “butt” y el tipo de lija utilizada.

JUSTIFICACIÓN

En promedio el 54% de la producción presenta variación en la dimensión del “butt”, es decir, se cuenta actualmente con un Yield del 46%, provocando que los cuellos que no se encuentran dentro de especificaciones deban re-trabajarse.

ALCANCE

Conocer las principales fuentes de variación para proponer puntos de mejora que contribuyan a la disminución de defectos, logrando que la cantidad de re-trabajos disminuya en el área de cuellos.

LIMITACIONES

Las principales restricciones son las siguientes:

1. Falta de recursos para la realización de pruebas.
2. Disponibilidad de las líneas de producción.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Mediante la metodología DMAMC se busca mejorar el proceso de la fabricación del “butt”. En la Tabla 1 se muestran las actividades realizadas en cada una de las etapas.

Tabla 1. Actividades por etapa de metodología DMAMC.

ETAPA		ACTIVIDADES
1	Definir (Define)	• Muestreo para cuantificar los defectos: Mediante un muestreo de 96 cuellos se cuantifican los cuellos que se encuentran fuera de especificaciones para conocer el impacto del proyecto. • Descripción general del proceso: Mediante un diagrama se describen los procesos que constituyen el proceso general de la fabricación del cuello. • Definición del problema: Contando con información suficiente, se describe detalladamente el problema.
2	Medir (Measure)	• Análisis de capacidad al estado inicial del proceso: Utilizando el instrumento de medición propuesto se realiza un muestreo para realizar un estudio de capacidad. • Verificación de correlación entre los procesos: Contando con los datos recopilados se realiza un análisis de correlación.
3	Analizar (Analyze)	• Mapeo del proceso: Se realiza un mapeo de proceso identificando las variables de entrada y de salida del proceso de Lija. • Matriz de causa y efecto: Contando con la identificación de las variables se lleva a cabo la

		elaboración de la matriz de causa y efecto. • Diseño de experimentos: Se realiza un DOE con los factores seleccionados, tipo de lija, operador, estado de la lija.
4	Mejorar (Improve)	• Diseño de soluciones: Se buscan las posibles soluciones que contribuyan al mejoramiento del proceso. • Elección de la mejor solución: Se selecciona una de las soluciones, se realizarán pruebas a la solución seleccionada para confirmar que su implementación será efectiva.
5	Controlar (Control)	• Propuesta de mecanismos para el control del proceso: Se proponen distintos mecanismos para el control del proceso con el fin de mantener el proceso estabilizado.

VI. RESULTADOS

DEFINIR (DEFINE)

Para comprobar los rechazos de ensamble final y el gran impacto que estos defectos están ocasionando, se tomó una muestra de 96 cuellos del almacén que van hacia ensamble final. En la Figura 3, se observa los resultados de dicha muestra, teniendo un 54% de los cuellos fuera de especificación respecto a la dimensión del “butt” y sólo el 46% de los cuellos medidos se encuentran dentro de las especificaciones.

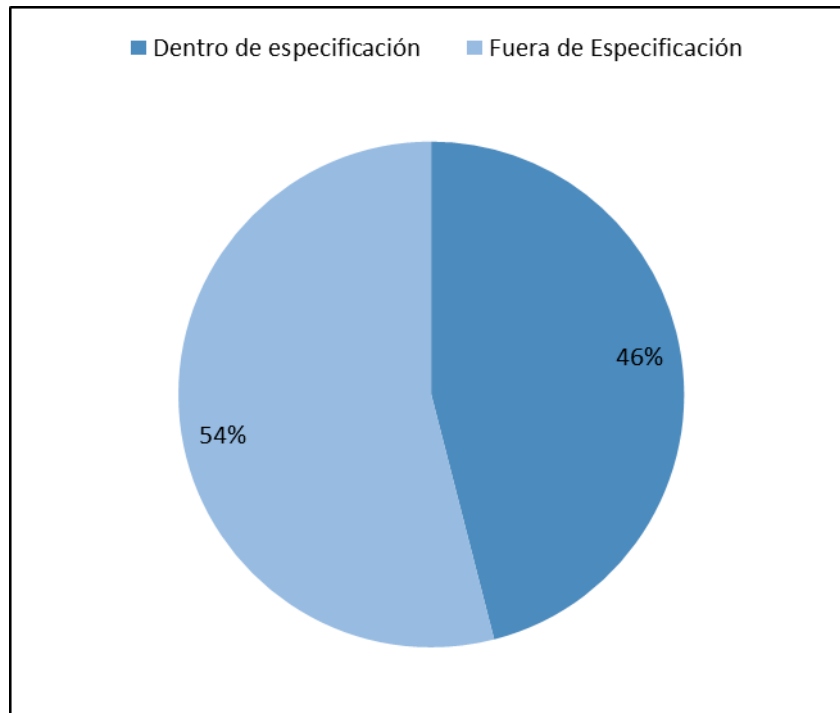


Figura 3. Gráfica medición de cuellos en almacén

Posteriormente, para realizar un análisis más a fondo, se elaboró un diagrama a gran escala del proceso de fabricación de cuellos, el cual se encuentra ilustrado en la Figura 4. Se comienza con la fábrica de spread (bloque de madera) en la cual se encuentran los bloques de madera que serán utilizados en la CNC. Al salir de la CNC el spread ya cuenta con la forma del cuello, sin embargo éste queda con marcas de los cortadores de la máquina. En el área de mills (aserrado) se realiza la colocación de los accesorios del cuello, como lo son los “side dots” pequeños tubos de plástico colocados en el contorno del cuello, “face dots” pequeños tubos de plásticos colocados en la cara frontal del

cuello, “frets” metales colocados en la cada frontal del cuello para separar los trastes, etc. Al llegar a la lijadora de 90, si lijan los costados del cuello, lo cual involucra disminución del grosor del “butt”. Posteriormente se realiza el lijado, que consiste en el acabado del cuello mediante rodillos y lijados manuales, esto con el fin de tener el correcto terminado para la aplicación de pintura.

A continuación se realiza la aplicación de pintura, se deja secar el cuello por 5 días y después llega a pulido en donde le dan el acabado final con el que se le entregará al cliente y le colocan los accesorios faltantes que son las llaves, guías, etc.

Al respecto, ensamble final es el área en la cual se detecta si el cuello se encuentra fuera de especificaciones, debido a que, a lo largo de la cadena del proceso de la fabricación del cuello no se cuentan con instrumentos de medición.

Si se detecta un cuello que no cuenta con las dimensiones necesarias, éste se regresa al proceso de lijado y vuelve a seguir su trayectoria hasta ensamble final; cabe mencionar que la parte de re-trabajo en la que nos estamos enfocando es exclusivamente el re-trabajo de la zona del “butt”.

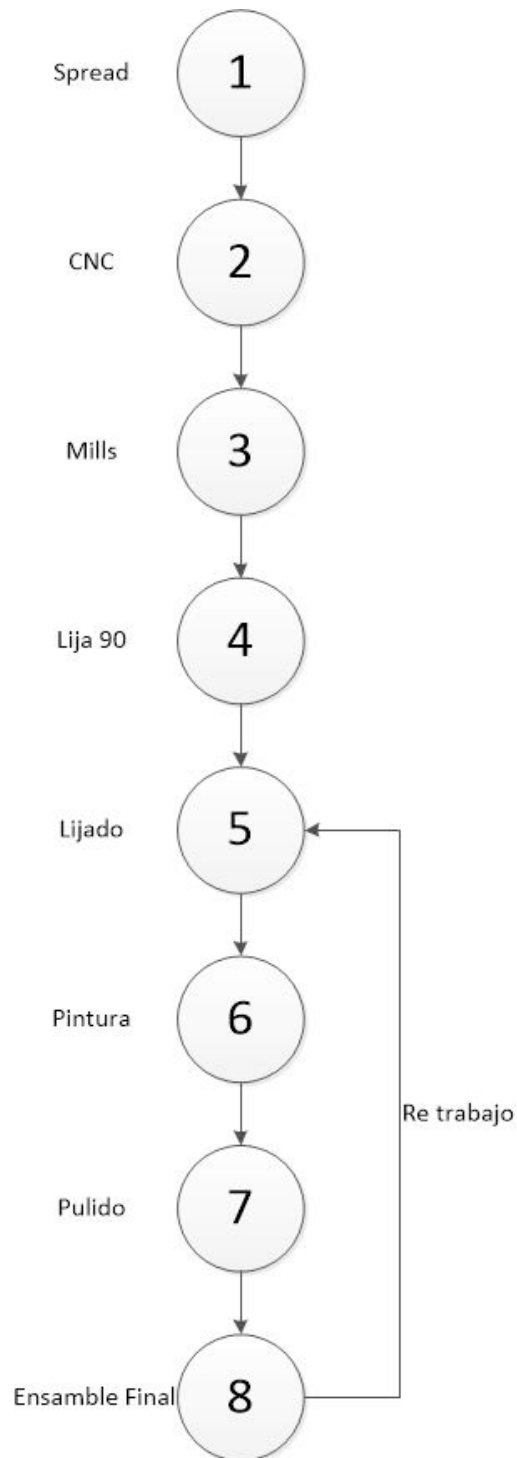


Figura 4. Diagrama del proceso de fabricación de cuellos.

Por esto, es que las principales partes del proceso en las que nos enfocaremos serán Lija 90, Lijado, Pintura y Pulido, ya que son estas las partes del proceso en las que se ve afectada la dimensión del “butt” la zona del cuello que se busca controlar.

MEDIR (MEASURE)

En la Tabla 2 se encuentran las especificaciones de salida que deben existir entre procesos, esto con el fin de conocer la cantidad de cuellos que encontramos fuera de especificaciones en cada etapa de la elaboración del cuello.

Tabla 2. Especificación de medida del “butt” por proceso en pulgadas.

PROCESO	ESPECIFICACIÓN DE SALIDA
CNC	2.195 ± 0.005
Lija 90	2.185 ± 0.005
Lijado	2.180 ± 0.005
Pintura	2.192 ± 0.005
Pulido	2.190 ± 0.005

Se realizaron estudios de capacidad en cada una de las partes del proceso para tener un panorama completo de la situación actual del área. En la Figura 5, se observa que el proceso de lija de 90 nos arroja un Cpk de 0.36 el cual al ser cercano a 0 nos indica que la media del proceso se encuentra cerca de un límite de especificación, en este caso el superior.

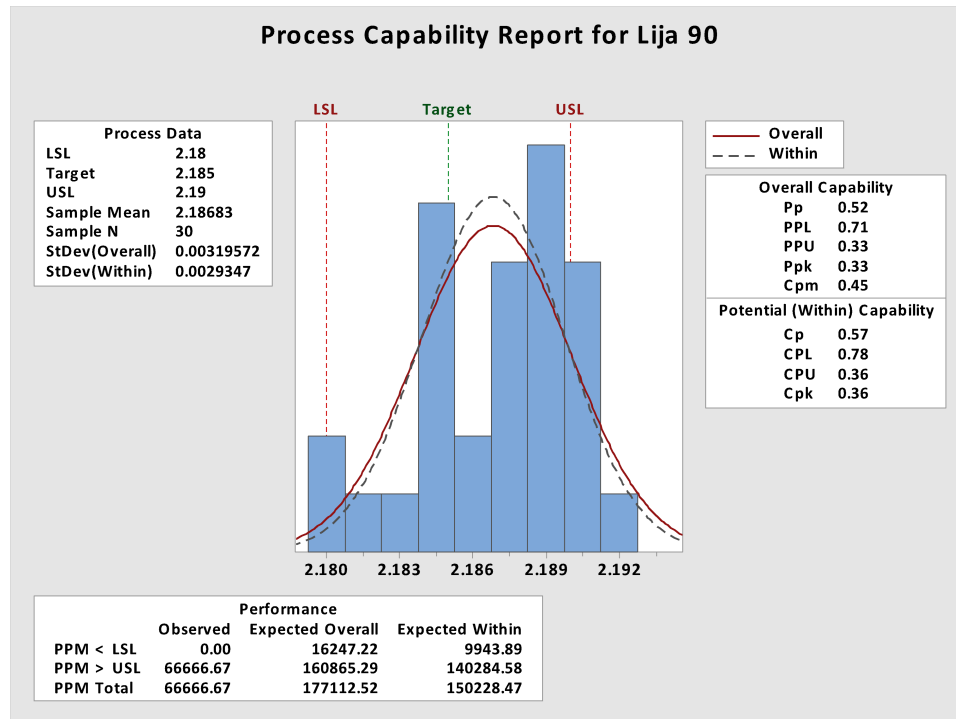


Figura 5. Análisis de capacidad de Lija 90.

Con la Figura 6, podemos observar que para el proceso de lijado la media actual se encuentra fuera de especificaciones generando que nuestro Cpk sea de -0.13.

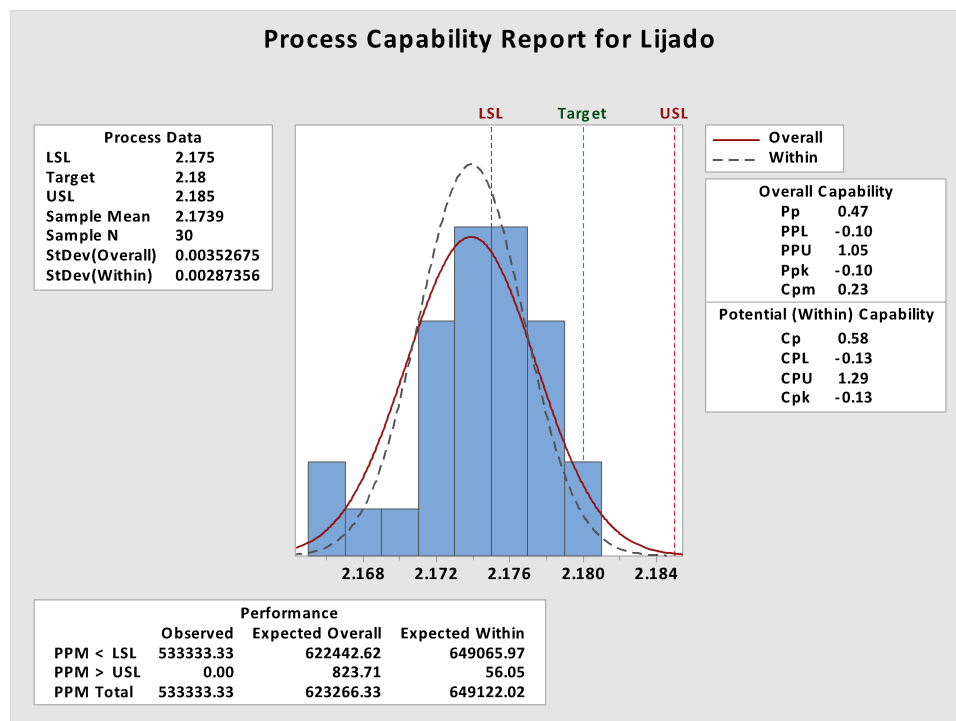


Figura 6. Análisis de capacidad de Lijado.

En la Figura 7, observamos que el proceso de pintura se encuentra descentrado con respecto a los límites de especificación con una media actual por fuera de los límites generando un Cpk de -0.76, sin embargo el ajuste de los datos se encuentra mejor que en los demás procesos.

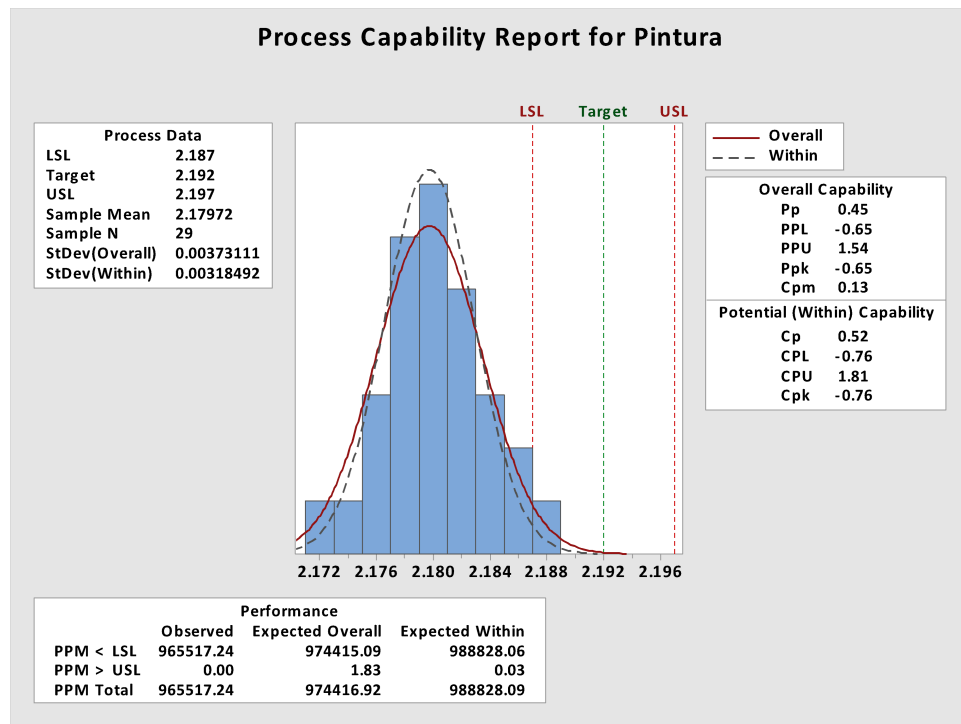


Figura 7. Análisis de capacidad de Pintura.

La Figura 8 muestra el estado del proceso de pulido, donde se observa que la media se encuentra fuera de los límites de especificación, por ello contamos con un Cpk de -0.31, sin embargo la mayoría de los datos se encuentran concentrados.

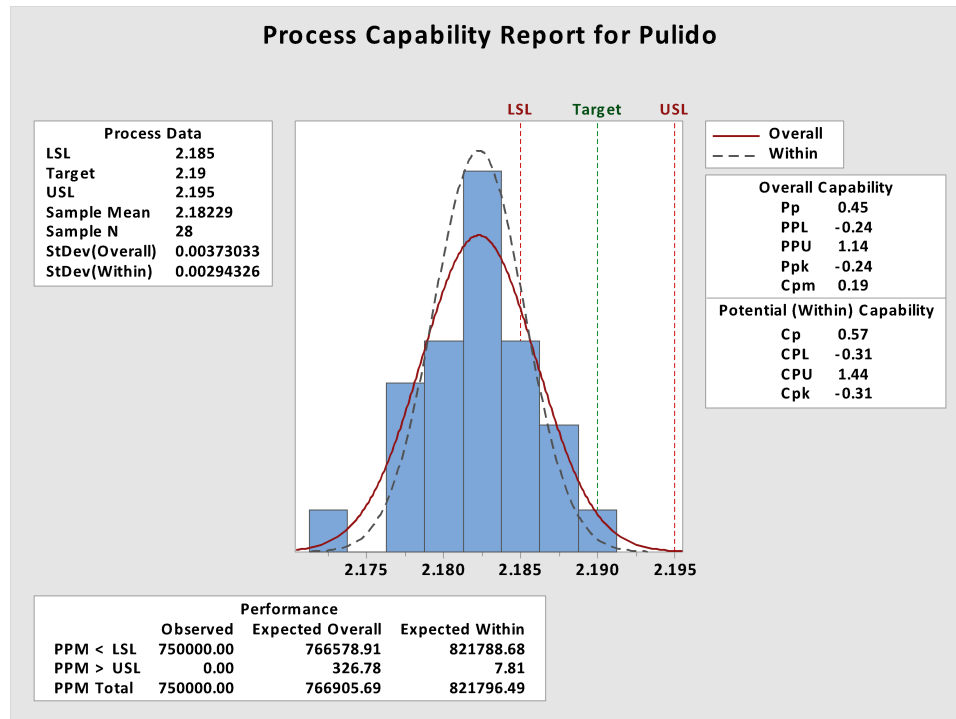


Figura 8. Análisis de capacidad de Pulido.

Con los datos obtenidos para los análisis de capacidad, se realizaron análisis de regresión para conocer la influencia que tiene la medida a la que entra el cuello con la medida que éste sale de cada proceso. Podemos observar en la Figura 9 que existe gran dispersión entre los datos, es decir, independientemente de la medida en la que entre el “butt”, éste saldrá del proceso de lija totalmente distinto. Con un modelo de 20.7% de explicación, no es posible predecir la dimensión de salida del “butt”.

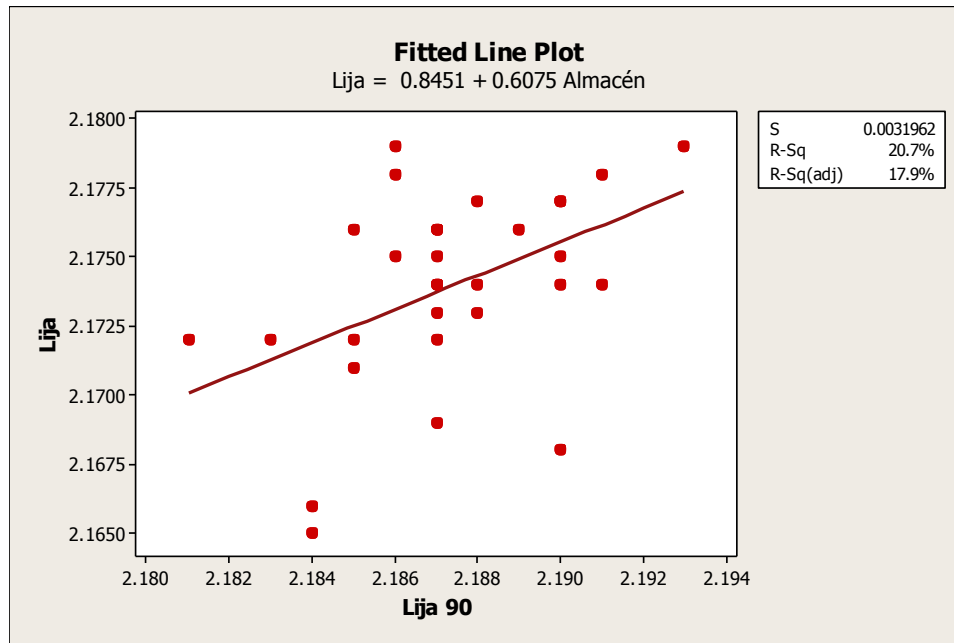


Figura 9. Análisis de regresión entre lija de 90 y lijado.

Al analizar la salida de lija y la salida de pintura, podemos observar en la Figura 10, que es muy parecido al caso anterior, donde algo sucede dentro del proceso que independientemente de cómo entre la medida del “butt” saldrá distinto, podríamos decir que en el proceso de pintura no es constante la cantidad de capas que se aplica a los cuellos.

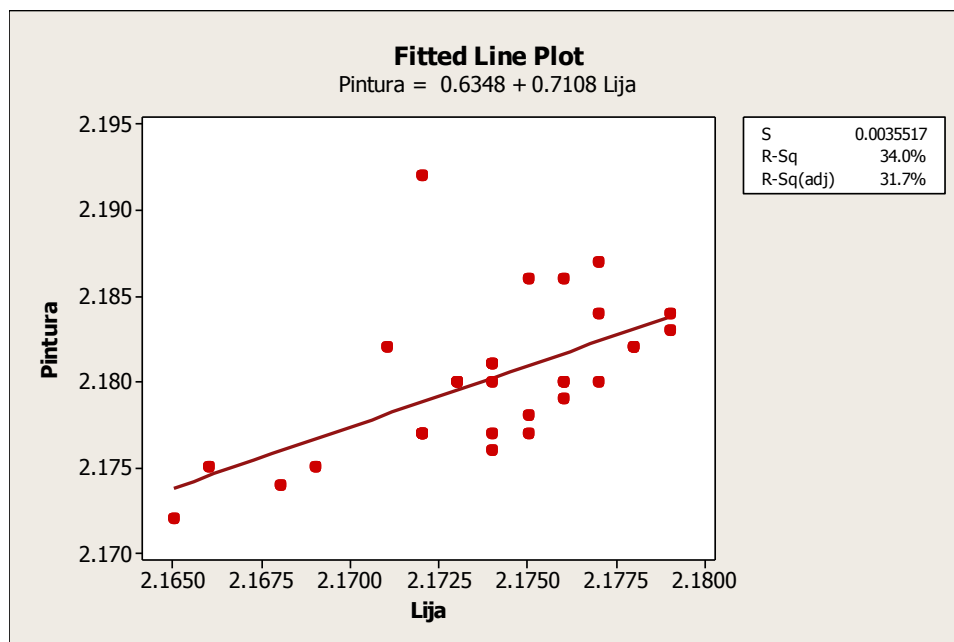


Figura 10. Análisis de regresión entre Lijado y Pintura.

En la Figura 11 podemos observar que en promedio el material que se retira en pulido es constante, por ello en nuestra gráfica la mayoría de los datos se encuentran cercanos a la línea de regresión.

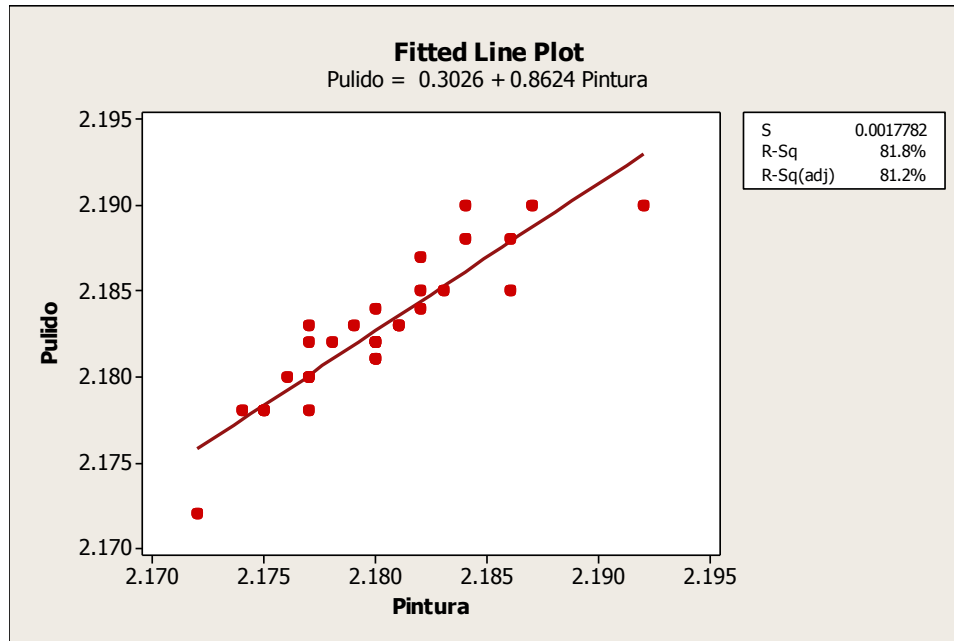


Figura 11. Análisis de regresión entre Pintura y Pulido.

ANALIZAR (ANALYZE)

Debido a los datos expuestos anteriormente, el enfoque para la solución del problema será el proceso de lijado, ya que éste presenta mayor variación siendo imposible predecir la medida en la que saldrá el “butt” conforme a la medida que entra al proceso.

En la Figura 12, se presenta el mapeo del proceso de lija con todas sus variables de entrada, proceso y variables de salida.

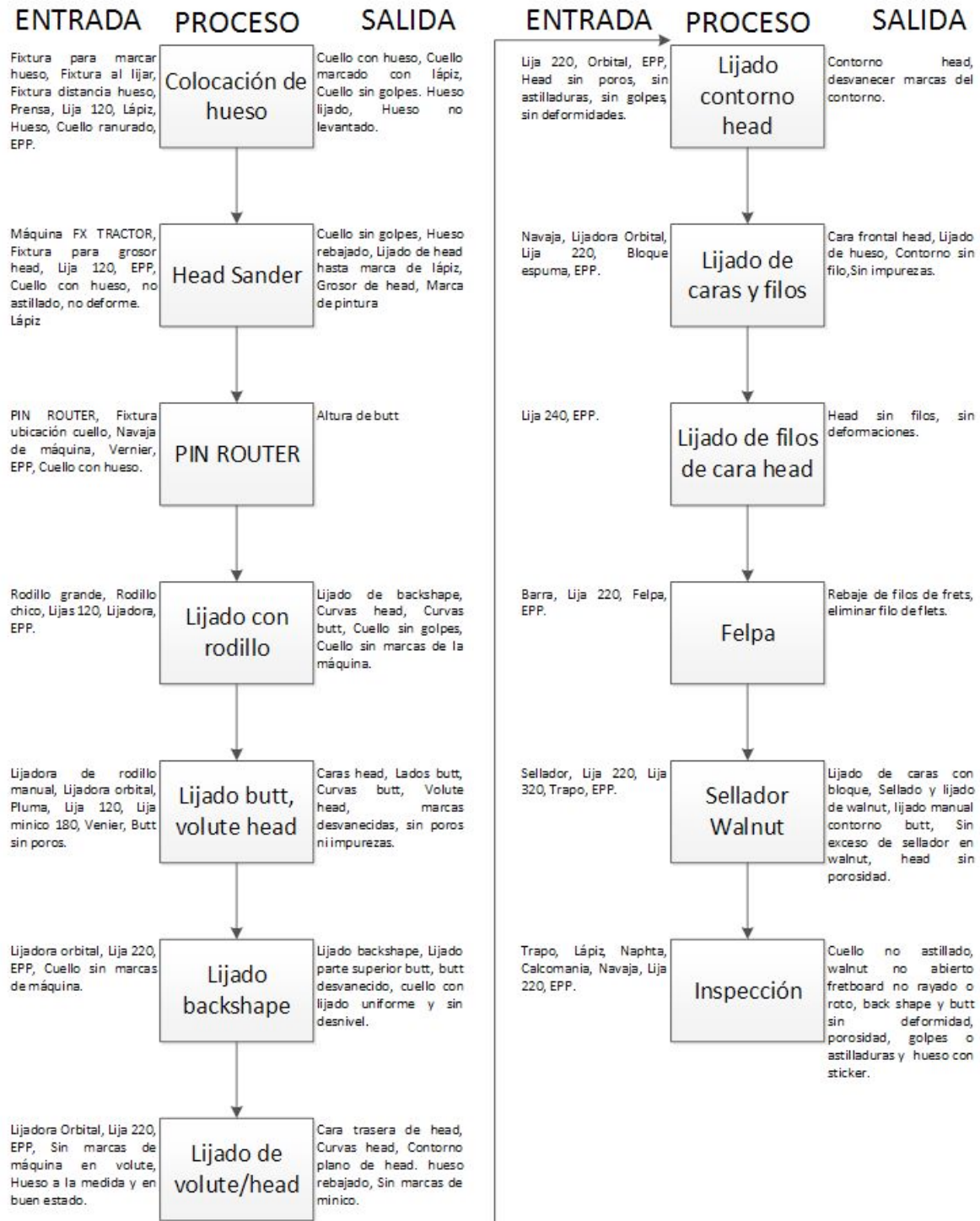


Figura 12. Mapeo del proceso de lijado.

Siendo la dimensión del “butt” nuestra variable a controlar, los pasos del proceso de lijado en los que se encuentra involucrada esta variable son lijado de “butt” y sellado de

walnut (tira de madera colocada en la parte trasera del cuello). Por ello, con los datos del mapeo de proceso de lijado se elaboró una matriz de causa y efecto mediante una junta con el ingeniero del área, una facilitadora y un operador. Esto con el fin de que las personas que se encuentran involucradas en el proceso, apoyen en la elaboración de la matriz mediante una lluvia de ideas. En la Tabla 3, se muestra la matriz de causa y efecto con todas las variables posibles, además de su ponderación otorgada.

Tabla 3. Matriz de Causa y Efecto para Lijado.

Nivel de Importancia para el Cliente			10	10	10	10	10	10	10	10	10	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	Proceso	Variable de entrada	Marcas desvanecidas	Sin poros	Sin impurezas	Sin deformidad	Sin golpes	Walnut sellado	Sin exceso de sellador	Dimensión butt	Sin exceso de resane	Total
1	Lijado de butt	Minico 180	2	5	5	5	0	0	0	0	0	170
2	Lijado de butt	Lija 120	5	5	5	5	5	0	0	5	2	320
3	Lijado de butt	Vernier	0	0	0	0	0	0	0	5	0	50
4	Lijado de butt	EPP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Lijado de butt	Pluma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Lijado de butt	Estado de lija	5	5	5	0	0	0	0	5	0	200
7	Sellado de walnut	Lija 220	5	2	5	2	5	5	5	5	0	340
8	Sellado de walnut	Lija 320	5	1	5	2	5	0	0	0	0	180
9	Sellado de walnut	Sellador	0	0	0	0	0	5	5	0	0	100
10	Sellado de walnut	Trapo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total			220	180	250	140	150	100	100	200	20	

En base a los resultados obtenidos en la matriz de causa y efecto se realizó un diagrama de Pareto para identificar las principales variables de entrada que se cree pueden

contribuir a la variación de la dimensión del “butt”. La Figura 13 muestra el diagrama de Pareto logrando identificar las 3 posibles variables de entrada la lija 220, lija 120 y el estado de la lija.

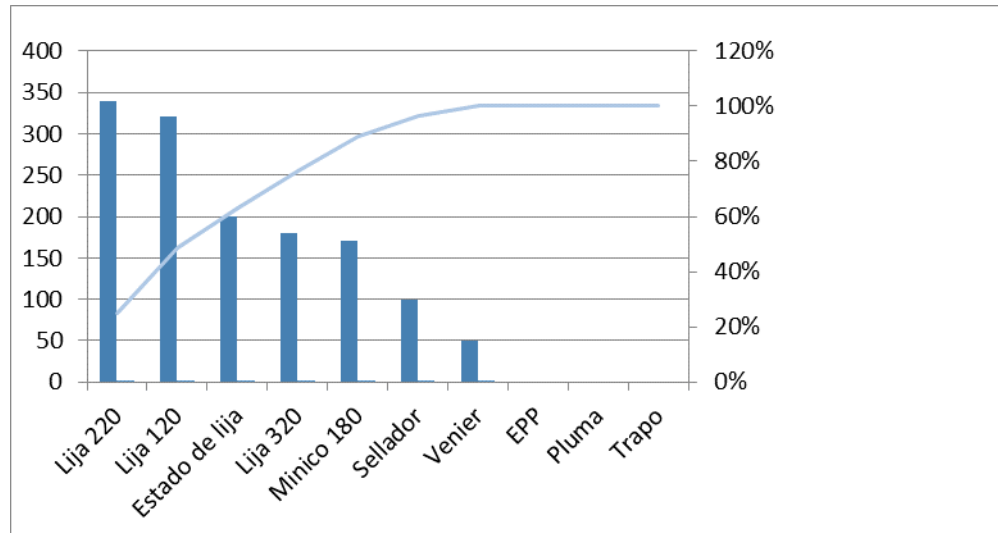


Figura 13. Diagrama de Pareto de Lijado.

Teniendo los factores identificados se corrió un diseño de experimentos de 3 factores a 2 niveles. En la Tabla 4 se muestran los factores seleccionados con sus respectivos niveles. En el caso del tipo de lija se corrió con dos tipos de lija, la 120 como nivel bajo y la 220 como nivel alto. Para el Estado de la lija el nivel bajo=1 significa que la lija se encuentra nueva, y para el nivel alto=3 significa que la lija fue utilizada en 2 cuellos antes del experimento. Se agregó el factor operador debido a que son dos operadores los que interactúan con la dimensión del “butt” en el proceso de lijado.

Tabla 4. Factores para el Diseño de Experimentos.

Factor	Nivel	
	Bajo	Alto
Tipo de lija	120	220
Estado de lija	1	3
Operador	1	2

Los datos recolectados para la elaboración del DOE se encuentran en la Tabla 5, siendo nuestra variable de respuesta el desbaste. Como instrumento de medición se utilizó uno elaborado por la empresa denominado “buttómetro” el cual cuenta con la forma del “butt” y consiste en deslizar de manera horizontal el cuello para obtener su dimensión. Para conocer el desbaste que se generaba en cada experimento, se tomó la medida antes de que se realizará el experimento y la medida posterior al proceso de lijado.

Tabla 5. Datos recolectados para el DOE.

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	TIPO DE LIJA	ESTADO DE LIJA	OPERADOR	DESBASTE PULGADAS
8	1	1	1	220	3	2	0.002
20	2	1	1	220	3	1	0.002
5	3	1	1	120	1	2	0.008
14	4	1	1	220	1	2	0
9	5	1	1	120	1	1	0.011
23	6	1	1	120	3	2	0.005
7	7	1	1	120	3	2	0.005
2	8	1	1	220	1	1	0.007
4	9	1	1	220	3	1	0.003
13	10	1	1	120	1	2	0.018
11	11	1	1	120	3	1	0.009
3	12	1	1	120	3	1	0.011
19	13	1	1	120	3	1	0.007
18	14	1	1	220	1	1	0.001
15	15	1	1	120	3	2	0.008
12	16	1	1	220	3	1	0.009
10	17	1	1	220	1	1	0.005
24	18	1	1	220	3	2	0
17	19	1	1	120	1	1	0.009
21	20	1	1	120	1	2	0.011

6	21	1	1	220	1	2	0.006
22	22	1	1	220	1	2	0.002
1	23	1	1	120	1	1	0.016
16	24	1	1	220	3	2	0

La Figura 14 muestra el efecto de los factores a sus distintos niveles, se puede observar que la mayor variación entre un nivel y otro se encuentra en el factor Lija, siendo éste significativamente diferente en cada nivel. A nivel bajo con una media de 0.0098” y a nivel alto de 0.003”.

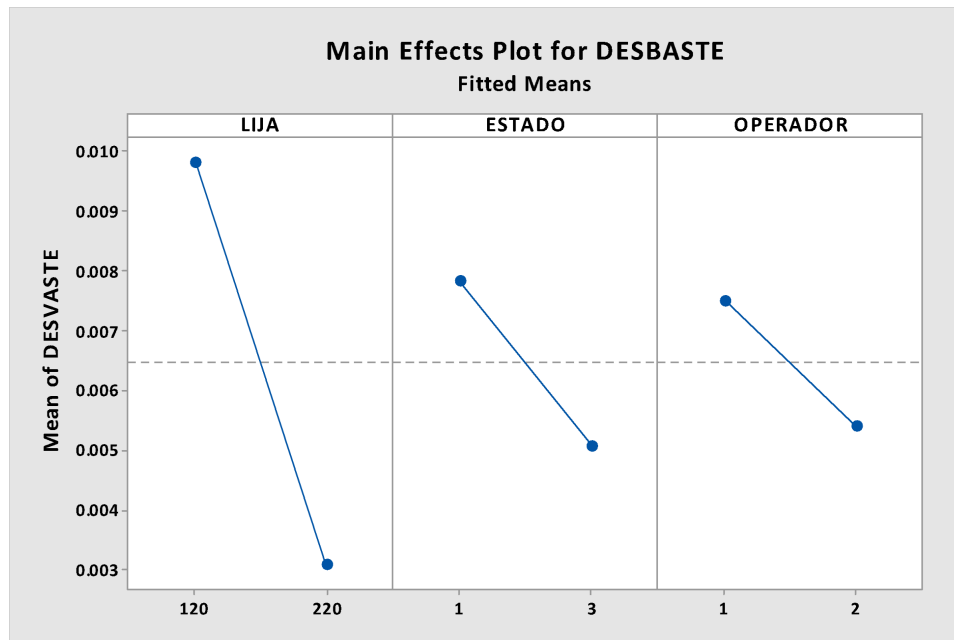


Figura 14. Gráfica de efectos principales.

En base a la gráfica de interacciones, Figura 15, podemos concluir que no existe interacción entre los distintos factores a analizar.

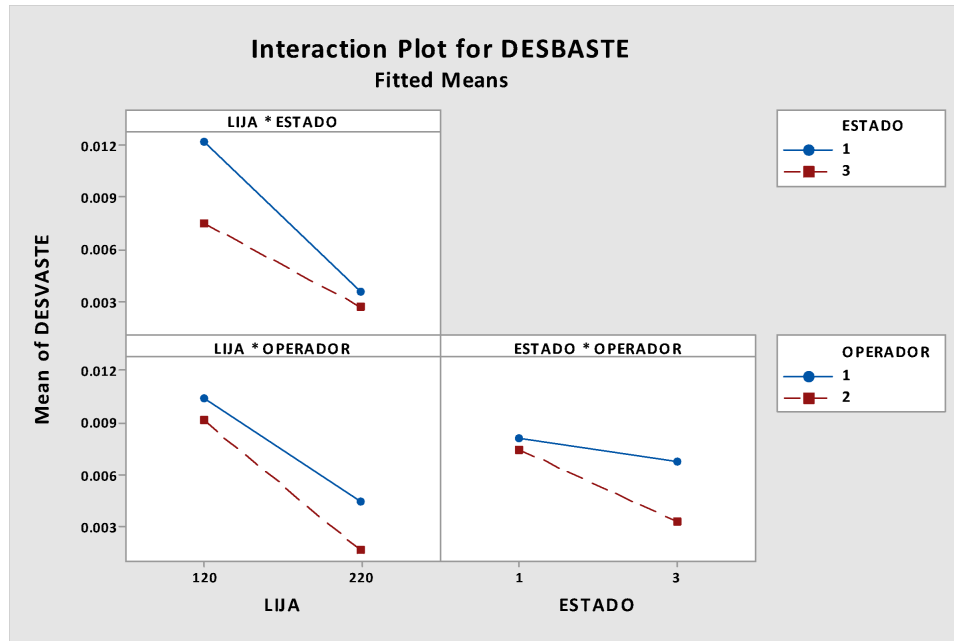


Figura 15. Gráfica de interacción.

En la Tabla 6 se observa el Análisis de Varianza de factores significativos, con un nivel de significancia de 0.05 podemos observar que el factor lija arroja un p-value de 0.000 por lo que es considerado estadísticamente significativo; el estado de la lija arroja un p-value de 0.000 siendo estadísticamente significativo; y siendo el factor operador estadísticamente no significativo ya que arroja un p-value de 0.128.

Por otra parte al analizar el resultado de las interacciones dela Tabla 6, arrojando cada una de ellas un p-value por encima de 0.05, son consideradas estadísticamente no significativas.

Tabla 6. ANOVA (Análisis de Varianza de factores significativos.

Source	DF	Adj. SS	Adj. MS	F-Value	p-Value
Model	7	0.000383	0.000055	5.42	0.002
Linear	3	0.000345	0.000115	11.40	0.000
LIJA	1	0.000273	0.000273	27.11	0.000
ESTADO	1	0.000045	0.000045	4.50	0.050
OPERADOR	1	0.000026	0.000026	2.58	0.128
2-Way Interactions	3	0.000037	0.000012	1.24	0.329
LIJA*ESTADO	1	0.000022	0.000022	2.90	0.159
LIJA*OPERADOR	1	0.000003	0.000003	0.33	0.571

ESTADO*OPERADOR	1	0.000012	0.000012	1.19	0.291
3-Way Interactions	1	0.000000	0.000000	0.04	0.850
LIJA*ESTADO*OPERADOR	1	0.000000	0.000000	0.04	0.850
Error	16	0.000161	0.000010		
Total	23	0.000544			

MEJORAR (IMPROVE)

Conociendo que el tipo de lija impactaba en el desbaste de madera del “butt”, se pidieron muestras al proveedor de grano de 150 y 180, con el fin de reemplazar la lija 120.

Primeramente se corrió un lote de 30 cuellos utilizando la lija 180, se identificó cada uno de los cuellos porque de igual manera nuestra información a obtener sería el desbaste. Esta corrida nos arrojó que en promedio se desbastan 12 milésimas de pulgada con esta lija. Posterior a esto, se corrió un lote de 20 cuellos utilizando lija 150, esto debido a que los recursos no fueron suficientes para utilizar 30 cuellos. En promedio el desbaste con esta lija fue de 6 milésimas de pulgada.

En la Figura 16, lo expuesto anteriormente se muestra gráficamente haciendo la comparación de la lija 120 que es la actual, con las propuestas lija 150 y lija 180.

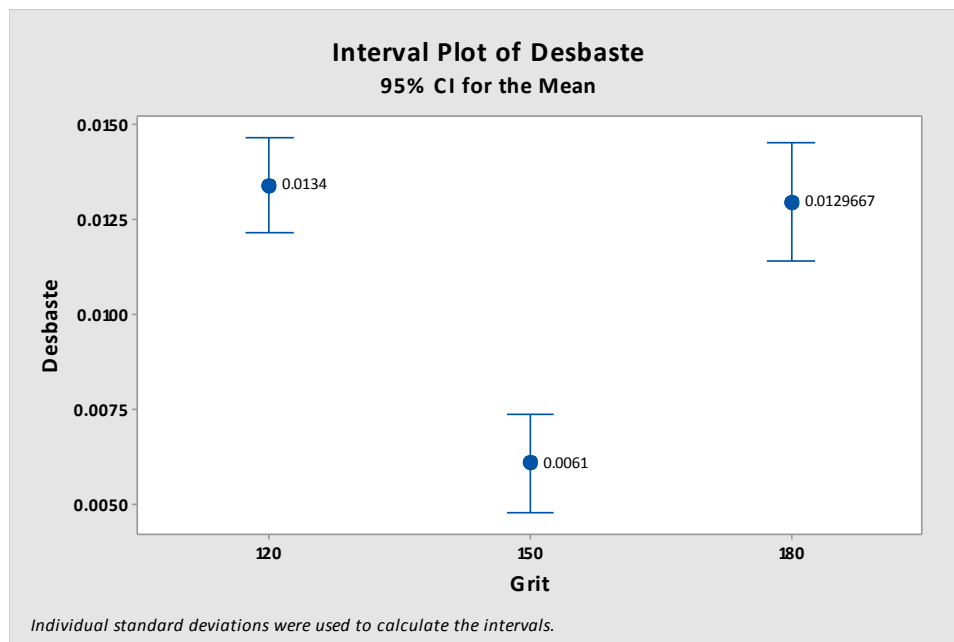


Figura 16. Gráfica de tipos de lija.

Debido a que al realizar el análisis de la situación inicial de los procesos, la diferencia entre la media y el valor objetivo en el proceso de Lijado era de 0.006", una opción sería colocar una lija que en promedio desbaste 6 milésimas menos que la lija 120 que desbasta 13 milésimas de pulgada para acercarnos al valor nominal, es decir, una lija que desbaste 7 milésimas de pulgada en promedio nos hará llegar al valor objetivo que es 2.180".

Al respecto, la lija que mejor se acerca a esta medida es la lija 150, desbastando 6 milésimas de pulgada en promedio, por lo que podría esperarse que al colocar dicha lija nuestro proceso se centre con respecto al valor nominal.

CONTROLAR (CONTROL)

Actualmente, el área no cuenta con un instrumento de medición entre los procesos, por ello es, que si un defecto de dimensión ocurriese, éste sería detectado hasta realizar el ensamble cuello-cuerpo. Al respecto, podría utilizarse un vernier al final de cada proceso para verificar que los cuellos están saliendo a la medida adecuada y en caso de no ser así el proceso de re-trabajo sería menor al que ocurre actualmente, sin embargo la empresa no considera ésta una opción.

Anteriormente se realizó una fixtura la cual hasta el momento no se ha elaborado de forma física, la Figura 17 muestra dicha fixtura.

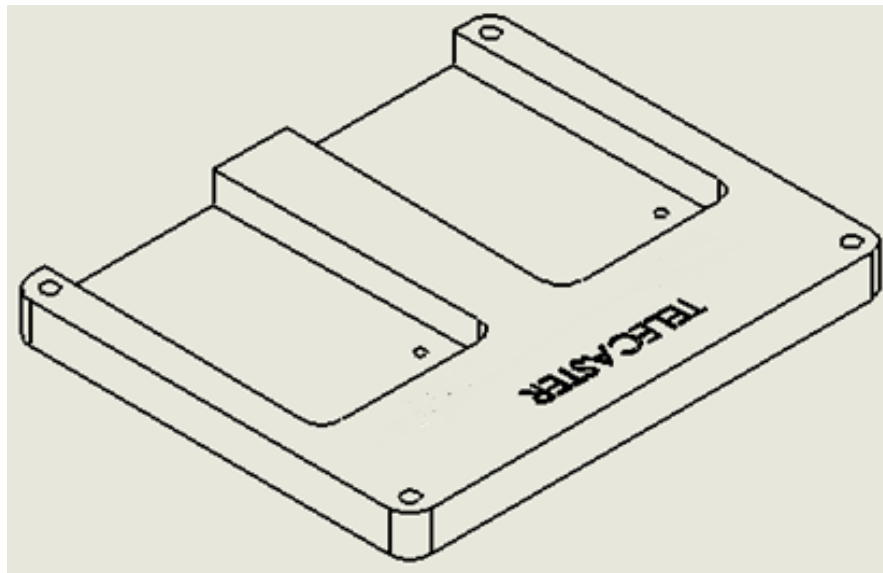


Figura 17. Fixtura para guitarra en el proceso de Lijado.

Consiste básicamente en generar una fixtura para cada proceso, la cual de un lado cuenta con la dimensión máxima que debe tener el “butt” y del otro lado la dimensión mínima de éste. Así, al deslizar el cuello en la dimensión máxima este debía entrar corroborando que el “butt” se encuentra dentro de la especificación superior, y al deslizarlo en la fixtura con la dimensión mínima este no debía entrar, comprobando que se encuentra de igual manera dentro del límite de especificación inferior.

VII. DISCUSIÓN

Se tomó una muestra de 30 cuellos a los cuales solamente se les realizó el proceso de lijado con la lija 220, dicha prueba arrojó datos con menor variación y se acercaba de mejor manera al valor nominal, además no afectó de manera alguna los demás procesos generando cuellos dentro de especificación y con la calidad requerida. Sin embargo, por cuestiones de la empresa, la opción de retirar la lija 120 no ha sido validado.

Por otra parte, aunque la empresa no considere una opción el medir en distintas partes del proceso, esto les ayudaría en gran medida a identificar sus oportunidades de mejora, los procesos en los que el cuello se sale de especificaciones, y a su vez la disminución de defectos por cuestiones de dimensión.

Además, una de las limitantes del presente proyecto, es el hecho de que no cuentan con datos históricos sobre los defectos encontrados y la cantidad de ocurrencias de estos, por lo que se debería tomar a consideración el llevar el control de información para posteriores proyectos.

VIII. CONCLUSIONES

Mediante la realización del presente proyecto, fue posible identificar que el proceso que presenta mayor variación para la dimensión del “butt” es el de lijado y que el factor principal es el tipo de lija que se utiliza, por tal motivo se propuso el cambio de lija por una menos abrasiva. Sin embargo, por cuestiones de disponibilidad de la línea de lijado las pruebas realizadas no se llevaron a cabo en tiempo, generando un retraso. Por ello es que no se logró la comprobación de los resultados esperados con el cambio de lija a 150, y solo fue posible llegar a proponer el cambio de lija y los mecanismos de medición del proceso. En este proyecto se seguirá realizando estudios con el cambio de lija, y su continuación será conocer los factores principales de variación en el proceso de pintado.

IX. REFERENCIAS

- Breyfogle, F. (2003). *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*. John Wiley & Sons.
- Chang, R., & Niedzwiecki, M. (1993). *Las herramientas para la mejora continua de la calidad*. Ediciones Granica.
- Escalante Vázquez, E. (2006). *Análisis y mejoramiento de la calidad*. Editorial Limusa.
- Escalante, E. (2005). *Seis-Sigma Metodología y Técnicas*. Editorial Limusa.
- Gutiérrez, H., & de la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill Interamericana.
- Gutiérrez, H., & de la Vara, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. McGraw Hill.
- Miranda, N. (2006). *Seis Sigma: Guía para principiantes*. Panorama Editorial.
- Mode, E. (1990). *Elementos de probabilidad y estadística*. Editorial Reverté.
- Pande, P., & Holpp, L. (2002). *¿Qué es Seis Sigma?* McGraw-Hill.
- Primitivo, R. A. (2002). Manufactura Delgada y Seis Sigma en empresas Mexicanas: Experiencias y Reflexiones. *Revista de Contaduría y Administración*, 51-69.
- Song, Y.-H., Sun, X.-W., Jiang, B., Liu, J.-E., & Su, X.-H. (2015). Purification optimization for a recombinant single-chain variable fragment against type 1 insulin-like growth factor receptor (IGF-1R) by using design of experiment (DoE). *ELSEVIER*, 7.
- Xiyun, Y., & Wu, X. (2014). Study on The Effects of Tilted Angle for Power. *IEEE*, 4.