

Centro de Enseñanza Técnica y Superior

Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



Diseño e Implementación de Máquina Semiautomatizada para el Ranurado de la Cejuela del Cuello de Guitarras Eléctricas.

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro Ingeniería e Innovación

Presenta:

Erick Gerardo Esparza Pérez

Director:

Dra. Dalia Holanda Chávez García
Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Ensenada, Baja California, México
2019

**Diseño e Implementación de Máquina Semiautomatizada para el
Ranurado de la Cejuela del Cuello de Guitarras Eléctricas.**
Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en
Ingeniería e Innovación

Presenta:

Erick Gerardo Esparza Pérez

y aprobada por el siguiente Comité

Dra. Dalia Holanda Chávez García
Directora de tesis

Dr. Carlos González Campos
Sinodal

Dr. Gerardo Hirata Salazar
Sinodal

Mtra. Amanda Georgina Nieto Sánchez
Coordinadora la Maestría en ingeniería e
innovación

Erik Gerardo Esparza © 2019

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor.

Resumen de la tesis que presenta Erick Gerardo Esparza Pérez como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ingeniería e innovación.

Diseño e Implementación de Máquina Semiautomatizada para el Ranurado de la Cejuela del Cuello de Guitarras Eléctricas.

Resumen aprobado por:

**Dra. Dalia Holanda Chávez
García
Directora de tesis**

En este proyecto de tesis dejamos plasmada la investigación e implementación de una máquina semiautomatizada para el ranurado de cejuela del cuello de guitarras eléctricas, ya que los procesos en general siguen siendo manuales y se pretendía mejorar la operación manufactura. Se contaba con una máquina semiautomatizada que se compró con objetivo de cambiar la operación manual de hacer 6 ranuras sobre la cejuela del cuello con limas tradicionales en las líneas de ensamble final de guitarras; a modo automatizado con ayuda de una máquina de fresado.

Con la semiautomatización del proceso se hicieron rediseños y adaptaciones, como resultado de los cambios, se vió mejorado en un 37% el índice de capacidad del proceso, ya que uno de los objetivos de la empresa era reducir los defectos, por ello en esta investigación validamos siete variables que afectan el proceso se ranurado de cejuela en la maquina semiautomatizada, estas variables las validamos y comprobamos por medio de una herramienta estadística de pruebas de hipótesis.

Con la implementación de esta máquina también se logró reducir el defecto de problemas en el ranurado en cejuela en un 88%, todo fue debido a los nuevos diseños mecánicos realizados sobre la máquina, fabricados e instalados en la base de sujeción del cuello. Además, se sugirieron cambios al flujo de operaciones previo al ranurado.

Palabras clave: Ranurado, cejuela, limas, cambiar, operación manual, índice de capacidad de proceso, reducir defectos, semiautomatizada, máquina de fresado.

Abstract of the thesis presented Erick Gerardo Esparza Pérez as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Engineering Sciences with orientation in Engineering and Innovation Specialization in Design and Manufacturing Systems

Design and Implementation of Semi-Automated Machine for Grooving the Nut of the Electric Guitar Neck.

Abstract approved by:

**Dra. Dalia Holanda Chávez
García
Thesis director**

In this thesis we realized the investigation and implementation of a semi-automated machine for grooving the nut of the electric guitar's neck. The machine was purchased with the objective of changing the manual operation by changing 6 slots on the nut of the neck with precision files in the final guitar assembly lines, with an automated mode with the help of a milling machine. The machine was redesigned and adapted to the operation flow in order to reduce defects and capability.

The semi-automatization process was improved. The capability was incremented by 37%, since one of the objectives of the company is to reduce the defects, so in this investigation we validate seven variables that affect the process of grooving the nut in the semi-automated machine, these variables are validated and checked by means of a statistical tool for hypothesis testing.

Also, with the implementation of this machine, the defects in the slit in the nut were reduced by 88%. All these improvements were done by the changes of the mechanical design manufactured and installed in the base of subjection of the neck of the machine. In addition, we suggested changes to the process flow of previous operations to grooving to improve the system.

Keywords: Grooved, nut, files, change, manual operation, process capability, reduce defects, semi-automated, milling machine.

Dedicatoria

A mis padres e hijos, y en especial a mi querida esposa y compadres.

Agradecimientos

A Instrumentos Musicales Fender por el apoyo en mis estudios de maestría y crecimiento profesional, por dejarme pertenecer por 15 años en la empresa.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo económico para realizar mis estudios.

A CETYS Universidad, Campus Ensenada, por su personal administrativo y en especial a los docentes por compartir sus conocimientos en estos dos años.

Agradezco por sus apoyos incondicionales como guía de tesis a la Dra. Dalia Holanda Chávez García y a la Mtra. Amanda Georgina Nieto Sánchez, las estimo por los esfuerzos que hacen crecer profesionalmente sin descuidar su familia.

Y como no agradezco a mis amigos de maestría donde estuvimos ayudándonos a estudiar, haciendo tareas y trabajos finales con el fin de sacar esta maestría adelante.

Tabla de contenido

	Página
Resumen español	ii
Resumen inglés	iii
Dedicatorias	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	vi
Lista de tablas	vii
Capítulo 1. Introducción	
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Justificación	4
1.4 Hipótesis.....	5
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivo general	6
1.5.2 Objetivos específico.....	6
1.6 Preguntas de Investigación.....	6
1.7 Capacidad de Proceso Actual.....	7
Capítulo 2. Marco Teórico	
2.1 Diseño y Aspectos para Un Desarrollo Mecánico.....	8
2.2 Máquina-Herramienta.....	9
2.2.1 Fresado y Técnicas.....	9
2.2.2 Ranura y Tipos de Ranura.....	10
2.3 Materia Prima del Hueso – Micarta.....	10
2.4 Afinado de Un Instrumento Musical de Cuerdas.....	11
2.4.1 Variables Que Afectan el Ranurado.....	11
2.4.2 Curvatura del Cuello.....	12
2.4.3 Alturas de las Cuerdas – Altura del Puente.....	14
2.5 Máquina de Afinado Automatizada <i>Plek</i>	14
2.6 Procesos de Manufactura.....	16
2.6.1 Diagramas de Flujo.....	17
2.6.2 Distribución de Área de Trabajo, Layout.....	17
2.6.3 Producción en Masa.....	17
2.7 Estadística y Pensamiento Estadístico.....	18
2.7.1 Variabilidad.....	18
2.7.2 Índice de Capacidad, CPK.....	20
Capítulo 3. Metodología	
3.1 Diseño Mecánico.....	21
3.1.1 Elementos por Diseñar.....	21
3.1.2 Diseño Modelado por Computadora.....	22
3.1.3 Distribución del Área de Trabajo	22
3.2 Calidad en Masa.....	22
3.3 Estadística Inferencial.....	23

3.3.1	Variables Criticas.....	24
3.3.2	Análisis Descriptivo.....	25
3.3.4	Instrumento de Medición, R&R Gauge.....	25
3.3.4	CP.....	26
Capítulo 4. Resultados y Discusión		
4.1	Variables Criticas.....	27
4.1.1	Validación de Variables Criticas.....	28
4.1.1.1	Cuello Torcido.....	28
4.1.1.2	Cuello Cóncavo, Convexo.....	29
4.1.1.3	Gauge R&R.....	31
4.1.2	Causas Adicionales que Provocan Variabilidad en la Profundidad.....	32
4.1.2.1	Barniz Sobre el Traste de Referencia.....	32
4.1.2.2	Soporte de Cuello.....	35
4.1.2.3	Referencia Cero de Trabajo en Traste #1.....	41
4.1.3	Comprobación de Mejoras Implementadas.....	44
Capítulo 5. Conclusiones		
5.1	Conclusiones generales.....	48
Lista de referencias bibliográficas.....		50
Anexos o Apéndices.....		52

Lista de figuras

Figura		Página
1	Capacidad de proceso, Cp de 0.55, actual	7
2	Carta de Control, profundidad de ranura.....	23
3	Diagrama Causa Efecto, validación en la profundidad de las ranuras.....	27
4	Resultado de prueba de hipótesis, cuello torcido es causante de tener mayor rango de variación.....	29
5	Resultado de pruebas de medias entre grupo de cuellos cóncavos recto y convexo.....	30
6	Resultado de gauge R&R.....	31
7	Diagrama de flujo actual.....	33
8	Diagrama de flujo propuesto.....	34
9	Fotografía de frente de maquina semiautomatizada donde se aprecia el soporte de carrera fija en el sistema de sujeción del cuello	35
10	Fotografía aumentada del soporte de carrera en el traste # 2.....	36
11	Fotografía de frente de maquina semiautomatizada donde se aprecia un mecanismo de palanca asistida por un pistón neumático.....	37
12	Ensamblaje del diseño modelado por computadora del soporte instalado	38
13	Fotografía donde se aprecia el sensor de final de carrera montado en la base articulada	39
14	Prueba de hipótesis, activar el soporte beneficia a tener menor variación en el ranurado.....	40
15	Muestra de instrumento de medición de profundidad de ranuras.....	41
16	Área de trabajo en la maquina semiautomatizada donde se ranura el hueso, cero de trabajo en traste 2.....	42
17	Área de trabajo en la maquina semiautomatizada donde se ranura el hueso, cero de trabajo en traste 1	43

18	Soporte diseñado en sus 4 vistas.....	44
19	Diagrama de cajas en donde se muestran en pares las 6 ranuras echas a 20 cuellos.....	45
20	Grafica de capacidad de proceso del ranurado de hueso en maquina semiautomatizada, donde refleja un índice de 0.92 de Cp.....	46
21	Fotografía donde ilustra un sistema de lectura lineal digital, incorporado a la maquina semiautomatizada	47

Capítulo 1. Introducción

Para la industria de la fabricación de guitarras el tiempo no ha transcurrido. Desde el origen de la guitarra clásica con los españoles en el siglo XX, los métodos de afinado y ensamblaje final siguen siendo similares. A pesar de la llegada de la industrialización y automatización, la mayoría de los constructores de guitarras, mejor conocidos como *Lauderos* o *Luthier*, todavía conservan procesos manuales con herramientas tradicionales como limas para hacer el ranurado en la cejuela de los cuellos de las guitarras.

La técnica de construcción es antigua. La literatura encontrada sobre el ranurado de la cejuela es limitada y los lineamientos documentados para su construcción datan de más de 100 años. La fabricación en serie para el mundo se remonta a hace aproximadamente 70 años y se mantiene respetando los diseños de guitarras acústicas clásicas. Sin embargo, la terminología es la misma para otros tipos de guitarras como las eléctricas o bajos eléctricos que se construyen en la actualidad.

En el caso investigación de interés, el ranurado de la cejuela nos indica que se sigue haciendo de manera manual, por ello se busca rediseñar una máquina semiautomatizada que beneficie a la fabricación y ensamblaje final de instrumentos musicales de cuerdas.

Es sabido que los mejores fabricantes son los que están en contacto con el mercado, con una mente abierta y con experiencia. Mientras que replicar las grandes guitarras del pasado es un callejón evolutivo sin salida, tratar de hacer las grandes guitarras del futuro desconociendo lo que les precedió es también inútil. (Brune, M.E., 2005).

1.1 Antecedentes

El reconocido lutier mexicano José María Gil Chueca, en su libro “Construcción de la guitarra en 100 pasos”, nos explica el modelado de la cejuela, su ranurado y colocación en la guitarra. Algo peculiar es el material con el que es hecho, siendo de hueso de vaca. Además, define las herramientas comunes y tradicionales para hacer el ranurado, la forma inclinada que debe hacerse y las distancias donde serán alojadas las cuerdas. (Chueca, 1983).

Respecto a la medición y altura de cuerdas en el hueso, Juan Carlos Ayala profesor de música, guitarrista y laudista, dicta en un artículo cuales la manera correcta de medir la altura de cuerdas, entre los trastes y la parte inferior de las cuerdas, así como los límites máximos y mínimos. También da a conocer el utensilio adecuado para su mención; un set de laminillas graduadas mejor conocidas como calibradores Gauges. Además, menciona el método para ser ajustada la profundidad del canal en caso de ser necesario y obtener el espacio correcto. (Ayala, 2011).

José Ángel Chacón Tenllado, maestro en la escuela de Lutheria Malagueña, en España, elaboró un manual didáctico, La Guitarra En La Lutheria, donde muestra paso a paso como confeccionar una guitarra acústica, en su capítulo de construcción del diapasón hace referencia a la dimensión correcta que debe tener el hueso y sus ranuras al realizarlas de manera manual. (Chacón, 2012).

Por otra parte, el doctor Richard Mark French, encargado del departamento de ingeniería mecánica y tecnología de la Universidad de Purdue en Indiana, Estados Unidos; en uno de sus libros “*Engineering the Guitar*”, explica las teorías de fabricación de guitarras por medio de la ingeniería, elaborando cálculos y comprobando científicamente los métodos de torsión del cuello. French calcula la deflexión que actúa en el cuello de una guitarra ejercida por la tensión de las cuerdas, definiendo las fórmulas matemáticas parara conocer su curvatura final, entre el hueso ranurado y el puente para cualquier cuello de guitarra. (French R. M., 2009).

En su segundo libro, "*Technology of the Guitar*", French realiza una entrevista a un famoso constructor de la actualidad de guitarras Bob Taylor, presidente de Taylor Guitar, donde analizan la estructura interna y mecánica básica de las guitarras acústicas clásicas, los tipos y modelos de guitarras a través de la historia hasta la actualidad. Es de resaltarse que en estos dos libros se destaca el ranurado del hueso de una manera manual en la elaboración de guitarras. (French R. M., 2012).

La calidad de los instrumentos musicales producidos en masa es distinta de los instrumentos fabricados para músicos profesionales; estos últimos son fabricados de una manera dedicada y única. Dado que el propósito de la producción en masa es su distribución general, estandarizada en todo el mundo, la intención es que instrumentos para principiantes sean de buena calidad a bajo costo, para lograr esto es importante la adopción de procesos de producción automatizados por los fabricantes.

La mayoría de los principales fabricantes de guitarras están utilizando maquinaria para acelerar el proceso de producción y aumentar en gran medida la precisión de los componentes resultantes.

El ranurado de la cejuela en los cuellos de las guitarras se continúa realizando de manera manual a pesar de la producción en masa, y dado que el volumen de producción continúa creciendo, se requiere rediseñar el proceso de ranurado para minimizar costos de reparación y continuar con la mejora de la calidad.

1.2 Planteamiento del Problema

El presente proyecto tiene el propósito de aumentar la calidad en el afinado de instrumentos musicales de cuerdas, se cuentan con diez variables significativas que interactúan para poder obtener un afinado correcto, en este proyecto solo atenderemos la variable de profundidad de ranura en la cejuela o mejor conocido como ranurado de hueso.

Sobre el ranurado del hueso van montadas las cuerdas del instrumento, estas cuerdas deben estar colocadas con una dimensión y simetría axial específica y definida por el diapasón del cuello del instrumento, al no ranurar con la profundidad y separación adecuada este genera el defecto de variación de altura de cuerdas, dando como resultado final una incomodidad al ser tocado por los dedos del músico.

Se pretende rediseñar una máquina semiautomatizada que se tiene en operación, esta máquina tiene un desempeño pobre, no cumpliendo con las especificaciones de capacidad y siendo este un factor decisivo de rechazo del instrumento en general, vamos a diseñar, fabricar y probar aditamentos que sujeten el cuello, para poder ser ranurado el hueso con precisión.

1.3 Justificación

Actualmente el ranurado del hueso es hecho de manera manual por colaboradores capacitados con un entrenamiento de 40 horas en las células de producción de ensamble final de guitarras eléctricas, aun así, con la inversión de capacitación los datos de calidad reflejan una variabilidad en el proceso elevada y no controlando la profundidad de las ranuras del hueso, el costo de reparación por instrumento debido a estos cuatro defectos es en promedio de \$12,000 dólares anuales.

Majorar la calidad en una empresa manufacturera de guitarras es primordial por ello se analizaron los datos obtenidos en la base de datos del sistema de calidad, los rechazos atribuidos de clientes internos, aparece dentro de los 5 primeros defectos la

deficiencia en el ranurado de hueso, con el 13% en base a la producción anual del 2017, los defectos atribuidos a esta operación son cuatro: cuerdas mal centradas, trasteo, cuerdas altas, separación no equidistante de las ranuras.

Si logramos identificar las variables que originan estos defectos y se logran controlar con la integración de una máquina semiautomatizada en las líneas de producción podremos reducir los defectos y aumentar la calidad. Actualmente en el mundo hay una compañía que fabrica y vende una máquina automatizada para el escaneado del cuello y ranurado del hueso, Plek A + D Guitar Technology, su proceso es sorprendente en cuanto a sus resultados de afinado de instrumentos musicales de guitarras eléctricas. Como su mayor ventaja es la versatilidad en poder alojar todo tipo de modelos de instrumentos y como desventaja son los 4.5 minutos que tarda en hacer solo la operación de ranurado de hueso aunado de su elevado costo, esto nos aleja de nuestro enfoque, requerimos rediseñar una máquina semiautomatizada que soporte alto volumen de producción y poca mezcla (Gerd A., 2008).

1.4 Hipótesis

Una máquina semiautomatizada aumenta el índice de capacidad de proceso (C_p) de 0.55 a 1.00 en la profundidad de ranurado del hueso al ser rediseñada, para cuellos de guitarras eléctricas.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Rediseñar una máquina semiautomatizada para hacer el ranurado en el hueso de una manera repetible y con profundidad a $0.028" \pm 0.005"$, reduciendo el defecto de problemas en el hueso en guitarras eléctricas en un 50% en el área de ensamble final.

1.5.2 Objetivo Especifico

- 1) Estudiar las variables directas e indirectas que definen la profundidad de las ranuras del hueso por medio de la metodología de diseño de experimentos.
- 2) Validar las variables: Cuello torcido, Cuello cóncavo, Cuello convexo, mediante la herramienta estadística de pruebas de hipótesis.
- 3) Implementar un mecanismo neumático que sujete el cuello que contemple las variables críticas.
- 4) Proponer un cambio en la distribución del área de trabajo para el proceso de ranurado del hueso en cuellos de guitarra eléctrica si alguna de las variables críticas resulta significativa.

1.6 Preguntas de Investigación

¿Qué variables influyen para definir la profundidad en cada ranura que se requiere en el hueso del diapasón de una guitarra eléctrica?

¿Es posible diseñar una herramienta para sujetar los cuellos en la máquina semiautomatizada para hacer ranuras con una profundidad bajo especificación y con una tolerancia de 10 milésimas de pulgada, en donde conserve la simetría axial en el hueso del cuello del instrumento musical?

¿Se puede mejorar la capacidad del proceso, con un rediseño en el sistema de sujeción de máquina semiautomatizada?

¿Tendremos una mejora significativa en alguna variable si elaboráramos una distribución en el área de trabajo, *Layout*, invirtiendo la secuencia de operaciones actuales de ranurado del hueso en la máquina semiautomatizada?

1.7 Capacidad de Proceso Actual

Estudio echo con 30 datos de profundidad de ranuras echas en huesos de cuellos de guitarras eléctricas, para conocer y tomar como línea base de partida para esta investigación. El CP actual es de 0.55 como se aprecia en la figura 1 y se pretende aumentarlo a 1.0 con el rediseño de una maquina semiautomatizada.

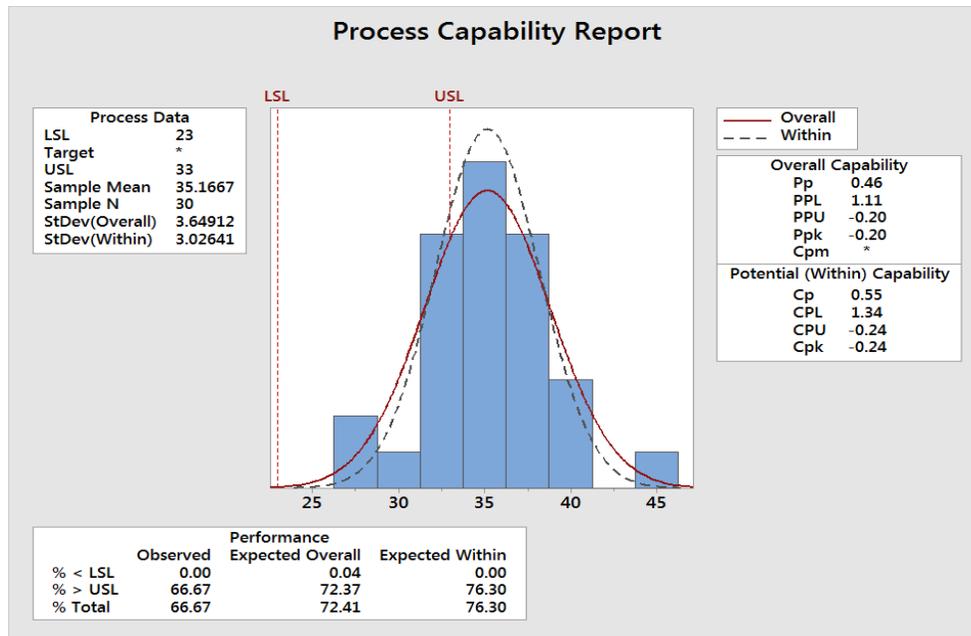


Figura 1. Capacidad de proceso, Cp de 0.55, actual del proceso de profundidad de ranuras en la empresa manufacturera de guitarras.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 Diseño y Aspectos para un Desarrollo Mecánico

Hoy en día el diseño y desarrollo de nuevos productos o la modificación de los existentes se ha convertido en un elemento clave y fundamental para la mejora de la capacidad de innovación y competitividad de las empresas industriales. Cada vez más el “diseño” de los productos es el único elemento que diferencia a un producto innovador de otro que no lo es, actualmente resulta necesario ofrecer productos de mayor valor añadido, es prácticamente imprescindible adquirir, desarrollar y aplicar eficazmente tecnologías de apoyo para lograrlo. (Brunet P., 1986).

La reducción de costos y aumento de la calidad en la fabricación y el ensamblaje de equipos y productos industriales es uno de los objetivos principales en las tendencias actuales de diseño y optimización industrial. Las etapas para lograr el diseño de una máquina son: la generación de las primeras ideas, diseño conceptual, diseño detallado, análisis, elaboración de planos y documentación técnica, fabricación, puesta en servicio y mantenimiento. En ingeniería el diseño mecánico es el proceso de dar forma, dimensiones, materiales, tecnología de fabricación y funcionamiento de una máquina para que cumpla unas determinadas funciones o necesidades (Bonilla A., 2003).

Para elaborar un diseño mecánico se requieren tener en cuenta cinco aspectos:

1. Elaboración y clasificación de las especificaciones.
2. Las propuestas iniciales para la solución del problema del diseño se evalúan según las exigencias técnicas aplicables.
3. La preparación del esquema del diseño, las especificaciones deben ser evaluadas según los principios ergonómicos del diseño anteriormente expuestos.
4. Puesta en práctica, se realizan ensayos previos para detectar posibles errores de diseño y permitir realizar mejoras.
5. Preparación del proyecto detallado, la solución del diseño elegida se desarrollará en profundidad presentado soluciones detalladas.

2.2 Máquina-Herramienta

La máquina-herramienta es un tipo de máquina que se utiliza para dar forma a piezas sólidas, de metales sólidos de densidad elevada. El moldeado de la pieza se realiza por la eliminación de una parte del material, que se puede realizar por arranque de viruta. Las más comunes son: fresadora, torno.

2.2.1 Fresado y Técnica.

El fresado es una técnica de mecanizado que consiste en realizar operaciones de corte sobre una pieza gracias a una herramienta de corte con diferentes afilados que realiza un movimiento rotativo sobre la misma. La máquina-herramienta encargada de realizar el fresado, transmitiendo el movimiento de giro a la herramienta, y fijando tanto esta como la pieza a mecanizar en las posiciones adecuadas para conseguir el resultado deseado es la fresadora. (Groover., 1997) La fresa es una herramienta de corte que se utiliza para el fresado.

Existen una amplia diversidad de técnicas de fresado de superficies, entre las cuales se destacan las siguientes:

- Las técnicas de mecanizado siempre implican una operación de arranque de viruta, bien por corte, bien por abrasivos.
- Con el mecanizado se pueden modificar tanto formas como dimensiones y/o grado de acabado de superficies de las piezas.
- Las máquinas de control numérico, CNC por sus siglas, se están implementando cada vez más en la industria de la fabricación, por su rapidez y facilidad para el mecanizado, y la posibilidad de realizar varias operaciones diferentes a la misma pieza, además, proporcionan una gran precisión y repetitividad.
- Cada tipo de máquina-herramienta realiza un movimiento propio que la diferencia del resto. Algunas desplazan la herramienta hacia la pieza inmóvil o girando sobre su eje, en otras se desplaza tanto la pieza como la herramienta, pero todas tienen en común un husillo, porta herramienta o porta fresa, donde se coloca la herramienta de corte adecuada según la operación que desee realizar.

2.2.2 Ranurado y Tipos de Ranura

Una ranura es un canal hecho a lo largo de una pieza para que ensamble con otras piezas. Se denomina hembra a la pieza en la que se realiza este canal largo y estrecho, existen tres tipos de ranurara, a continuación, su descripción:

- Ranurado recto. Para el fresado de ranuras rectas se utilizan generalmente fresas cilíndricas con la anchura de la ranura, las fresas cilíndricas se caracterizan por tener tres aristas de corte: la frontal y las dos laterales. Al montaje de varias fresas cilíndricas se le denomina tren de fresas o fresas compuestas, a menudo se montan varias fresas en el eje porta fresas permitiendo aumentar la productividad de mecanizado.
- Ranurado de forma. Se utilizan fresas de la forma adecuada a la ranura, que puede ser en forma de T, de cola de milano o con radio.
- Ranurado de chaveteros. Se utilizan fresas cilíndricas con mango, conocidas en el argot como bailarinas, con las que se puede avanzar el corte tanto en dirección perpendicular a su eje como paralela a este. (Rivera M., 2010).

2.3 Materia Prima del Hueso - Micarta

Micarta es el material con el que es fabricado la cejuela, mejor conocido como hueso, en realidad es un material termoestable fenólico, es un material duro y denso, está fabricado a partir de papel y lonas de distintos tejidos, colocadas en capas e impregnadas de resinas, comprimidas a altas presiones. Es un material ligero, duro, muy resistente a la corrosión e impactos, invariable frente a los cambios de temperatura y humedad. (Robert S.R. 2005)

Es un material fácil maquinar, según la textura que presenta distinguimos tres tipos de micarta:

- La micarta de papel, o “paper micarta” en inglés, presenta una textura homogénea a la vista, sin ningún tipo de grano. Similar, al cuerno de búfalo o al marfil según el color. Los colores más comunes en este tipo son micarta blanca y micarta negra. Se puede hacer grabados en ella, de alta calidad. Buen acabado pulido o satinado.
- La micarta de lona, o “canvas micarta”, presenta una textura rugosa al tacto, y con forma de cuadrículas a la vista, no muestra estratos o capas. Buen acabado pulido o satinado. Los colores más comunes, son micarta negra, y micarta verde oliva.
- La micarta de lino, o “linen micarta”, presenta una textura rugosa al tacto, con forma de cuadrículas muy pequeñas, dando sensación de puntos, con una estructura estratificada dando capas de fuertes contrastes bien diferenciados. Buen acabado pulido o satinado. El color más clásico es la micarta de lino negra, aunque también la encontramos en rojo, verde, mostaza y algunos más. (Robert S.R., 2005).

2.4 Afinado de un Instrumento Musical de Cuerdas

La técnica de afinar el cuello de una guitarra requiere horas de trabajo manual por parte de un experto en lutier donde se le invierte tiempo en corregir la curvatura del cuello, dar una altura de cuerdas adecuada y trabajar en trastes del diapasón, a continuación, se describen a detalle las variables y técnicas para el afinado de una guitarra.

2.4.1 Variables que Afectan el Ranurado

Las variables que afectan el ranurado en el hueso son: la torcedura del cuello, ocasionado por las betas en la madera y la mala instalación de los trastes en el diapasón de la guitarra. Éste último se divide en 2 tipos: trastes hundidos y trastes altos, los cuales contribuyen en la calidad de la profundidad en la ranura en el hueso.

La torcedura del cuello se define por la no planicidad a lo largo del diapasón del cuello, esta es ocasionada por el clima en el medio ambiente que influye sobre la madera expuesta, ya que existen tensiones axiales a lo largo del cuello, proporcionadas por las N betas en la madera y poros que acumulan agua, otra causa que origina la no planicidad es por colocar fuerza sobre los extremos del cuello, un ejemplo es tener un cuello sobre una superficie irregular provocando torcedura o curvatura al adoptar la forma donde es soportado.

Un traste es un elemento elevado en el diapasón del cuello de la guitarra, los trastes son finas tiras de metal hechos a partir de cable de aleación de níquel y acero, estas tiras son incrustadas y se extienden a lo largo del diapasón de guitarras, marcando las subdivisiones correspondientes a la escala cromática, cuando se pulsa una cuerda presionando sobre el traste, este sirve para producir una división en la longitud de la cuerda, cambiando la frecuencia de vibración de los armónicos de esta, o sea, cambiando la nota que da la cuerda.

La cejuela o hueso, es un traste 0 o traste inicial. De esta forma el tono es uniforme ya que las cuerdas siempre se apoyan en un traste del mismo material, ya sea en notas pulsadas o en cuerdas al aire.

Al vibrar una cuerda y se encuentra un traste alto, esta toca en el traste por debajo de él, que ha sido pulsada y obtenemos una cualidad muy engorrosa de las guitarras: el trasteo o *Sting buzz*, siendo un ruido extraño que acompaña la nota.

En el caso opuesto donde un traste se encuentra hundido sobre los demás, ocasiona un mayor esfuerzo el pulsar la cuerda para encontrar la nota deseada, estos 2 defectos son causa de no aceptación por el músico. (Granludo, 2018)

2.4.2 Curvatura del Cuello

La curvatura del cuello generalmente no debería ser recta en todo su largo cuando miramos de perfil el mástil, debería ser recta en los primeros trastes, pero

cogiendo la curvatura por la zona central y recto de nuevo hacia los trastes más lejanos. Para ajustar esta curvatura los cuellos de las guitarras actuales llevan en su interior una barra metálica, llamada varilla o alma, o *trussrod* en inglés, e inventada en 1908 pero patentado por un empleado de Gibson, Thaddeus McHugh, en 1921.

Para evaluar si tenemos una buena curvatura colocamos un capo en el primer traste para que la altura del hueso no nos influya al calcular. Pisamos la 6ª cuerda (la más gruesa) en el último traste de la guitarra. Con la cuerda pisada en este último traste, medimos la distancia de la cuerda al metal del 7º traste.

La distancia debe ser de 10 milésimas de pulgadas. Ahora bien, si el traste está demasiado cerca de la 6ª cuerda que mantenemos pisada, la curvatura es demasiado convexa así que tendremos que aflojar el *trussrod* girándolo en contra del sentido de las agujas del reloj. Si la distancia es mayor a las .010 pulgadas, entonces la curvatura es demasiado cóncava y lo que tenemos que hacer es apretar el *trussrod* girándolo en el sentido de las agujas del reloj.

Al *trussrod* se accede una de dos; desde la pala del mástil con una llave llave hexagonal, desde el otro extremo del mástil, quitando el guarda-púas y la pastilla del mástil. Allí veremos que la cabeza del *trussrod* presenta unas ranuras donde podemos encajar un destornillador.

Al *trussrod* conviene darle giros muy cortos, cuartos de giro y comprobar cómo va evolucionando el ajuste, pero teniendo que los ajustes van a tardar en asentarse, sobre todo en los casos en los que el mástil está fabricado con maderas muy duras, como puede ser el arce. Vamos girando el *trussrod* y comprobando la distancia de la 6ª cuerda con el 7º traste hasta que sea de 0.010 pulgadas. La afinación de la cuerda va a ir variando según giramos el *trussrod* así que para ser más exactos la re-afinamos.

Cuando creamos que tenemos el ajuste correcto, lo dejamos asentarse y esperamos dos o tres horas antes de volver comprobar, pero lo más probable es que este proceso nos lleve unos cuantos días ya que de un día para otro casi seguro que vamos a notar diferencias. (Carlos Asensio, 2018)

2.4.3 Altura de las Cuerdas – Altura del Puente

Una vez que tenemos una buena curvatura en el mástil, podemos ajustar la altura de las cuerdas, lo que en inglés se llama “*action*”. Sabemos que necesitamos ajustar la altura de las cuerdas en dos casos:

- Cuando notamos que están muy altas y nos es incómodo tocar.
- Cuando oímos un ruido metálico al pulsar una cuerda que se produce porque la cuerda está muy baja y choca con los trastes.

Y esto es un problema del hueso, el arreglo tendría que recaer en las manos experimentadas de un lutier, ya que se tiene que reemplazar el hueso y ranurar de nuevo para que repose cada cuerda y regular esta profundidad de forma individual, hay que tener en cuenta que deberemos imitar en cierta medida la forma curvada del radio del diapasón del cuello. Esto se puede hacer preparando una plantilla con radio que existe para ello.

Bajamos la altura de cada cuerda hasta el punto de que empiecen a trastear ligeramente y subimos un poco para arriba. Comprobamos si hay trasteos en todas las cuerdas pisando uno por uno todos los trastes. Si hay trasteo tendremos que subir la cuerda.

2.5 Máquina de Afinado Automatizado Plek

La maquinaria accionada por computadora mejor conocida como control número por computadora con sus siglas CNC, en las compañías de construcción de guitarras se está extendiendo cada vez más, reduciendo drásticamente el tiempo y el costo mejorando el ajuste y la precisión.

Aunque no están directamente relacionados con tecnología CNC, otra forma de herramientas asistidas por control numérico por computadora se encuentra en la máquina de configuración de guitarra PLEK. Inventado por un equipo de guitarristas e ingenieros alemanes, la máquina es capaz de determinar la configuración ideal para un

afinado de una guitarra al medir con precisión el diapasón, la acción, y ranurar el hueso de un instrumento; La máquina PLEK no solo puede proporcionar datos valiosos para proceder con una configuración manual, sino que también está equipada con una serie de herramientas para nivelar automáticamente trastes, ranurar el hueso y dar forma al mismo. Mientras que el costo de la máquina actualmente lo limita a un pequeño número, ubicadas (principalmente en Alemania), es bastante imaginable que una tecnología similar encuentre su camino al proceso de fabricación en las principales fábricas de instrumentos musicales. (Johnston R., 2003)

Esta máquina escanea y evalúa los trastes a lo largo del cuello. Luego compara el cuello con los valores óptimos almacenados y, utilizando herramientas robóticas de precisión, corta y alisa los trastes y ranura el hueso para lograr el mejor equilibrio entre la capacidad de juego y la altura mínima de la cuerda. El resultado es un diapasón con cada nota sonando clara y verdadera.

Las máquinas PLEK son fabricadas y vendidas por A + D Gitarrentechnologie de Berlín, Alemania. Las máquinas fueron desarrolladas por el músico y guitarrista Gerd Anke con su compañero Michael Dubach, quien llamó a su compañía PLEKTRON cuando se fundó en 1990. El objetivo del proceso PLEK creado es garantizar la mejor acción de cuerda posible para cada instrumento. En pocas palabras, una guitarra con afinación optimizada suena mejor. Las cuerdas no golpean los trastes durante la reproducción y se eliminan los problemas de entonación que puedan ocurrir debido a una acción de cuerda demasiado baja. Del mismo modo, las acciones que son demasiado altas también son cosa del pasado con PLEK.

Las primeras máquinas PLEK de Gibson se usaron inicialmente solo para la serie Vintage Original, pero la precisión de su ranurado de hueso y trastes las convirtió en un éxito inmediato. Son las mejores niveladoras de trastes. Gibson fabrica abrazaderas personalizadas para colocar las guitarras en las máquinas. La varilla de ajuste en el cuello de cada guitarra se ajusta antes de ser colocado en una máquina PLEK utilizando el módulo STS, un simulador de tensión de cuerda que complementa las máquinas PLEK. Luego, la guitarra ingresa al dispositivo PLEK y la máquina simula la tensión de la cuerda de nuevo mientras escanea los trastes. La computadora de la

máquina realiza una vista tridimensional de la superficie del diapasón, incluida la posición simulada y la altura de las cuerdas.

El operador de la máquina utiliza un menú virtual de trastes en una pantalla y así determina cuánto se debe cortar de cada traste y para establecer el radio del traste y la profundidad de ranurado en el hueso adecuada para el instrumento. El gráfico le permite al operador ver la altura de cada traste, cuán alto será cada traste después del procesamiento y el pre-PLEK donde podrían ocurrir trasteos en el diapasón debido a que los trastes son demasiado altos o bajos.

Cuando se determinan todos los parámetros para el procesamiento, los trastes y la tuerca se ajustan a esos parámetros. Las máquinas PLEK continúan simulando la tensión de la cuerda a medida que ajustan y liman los trastes y ranura el hueso, cada máquina tarda unos 10 minutos por guitarra. (Johnston R., 2003)

2.6 Procesos de Manufactura

Proceso es el conjunto de actividades relacionadas y ordenadas con las que se consigue un objetivo determinado, mientras que la manufactura es la simple conversión de materia prima a productos terminados.

El proceso de conversión requiere la aplicación de operaciones físicas y químicas para transformar las propiedades de los materiales y lograr la apariencia final. La combinación de máquinas, herramientas, energía, herramientas de corte, y mano de obra se aplican para transformar la naturaleza de las partes y ensamblarlas hasta obtener el producto final, en los procesos de manufactura se requiere: planear, integrar, organizar, dirigir y controlar. (Academia de Ingeniera de México, 2017)

Los elementos que componen un proceso de manufactura se explican a continuación.

2.6.1 Diagramas de Flujo

El diagrama de flujo es una representación gráfica que describe un proceso, sistema o algoritmo informático. Se usan ampliamente en numerosos campos para documentar, estudiar, planificar, mejorar y comunicar procesos que suelen ser complejos en diagramas claros y fáciles de comprender. Los diagramas de flujo emplean figuras geométricas para definir el tipo de paso, junto con flechas conectoras que establecen el flujo y la secuencia. Los diagramas de flujo a veces se denominan con nombres más especializados, como "diagrama de flujo de procesos", "mapa de procesos", "diagrama de flujo funcional". (Lucidchart, s.f. 2019).

2.6.2 Distribución del Área de Trabajo, *Layout*

La distribución de las áreas de trabajo es indispensable para integrar los elementos y espacios de trabajo y crear un ambiente favorable para el desempeño eficiente de las actividades, la distribución del espacio de trabajo se refiere a la disposición física de los puestos de trabajo, de sus componentes materiales y a la ubicación de las instalaciones para lograr una máxima eficiencia.

El objetivo es contribuir al incremento de la eficiencia de las actividades que realizan las unidades que conforman una organización donde se tienen normas establecidas para asegurar la salud de estos, la estrecha relación que existe entre las condiciones físicas que conforman el medio en que un directivo o un empleado desempeñan sus tareas, permite afirmar que para lograr un alto grado de eficiencia. (Humberto G. P., Román V. S. 2013)

2.6.3 Producción en Masa

La producción en masa se refiere a la fabricación de grandes volúmenes de un producto durante un periodo de tiempo relativamente largo. En general se habla de lotes de miles de piezas porque la demanda real, aunque varíe, es relativamente

estable y el fabricante aprovecha las economías que da la escala. (Academia de Ingeniera de México, 2017)

2.7 Estadística y Pensamiento Estadístico

El pensamiento estadístico es una filosofía de aprendizaje y acción, el pensamiento estadístico se basa en tres principios, cualquier trabajo ocurre en procesos interconectados, dentro de éstos existen variaciones y para poder tener éxito al aplicar este pensamiento hay que entender los procesos y reducir las variaciones. (Humberto G.P. 2013).

Dentro de los tres principios de este pensamiento se debe tomar en cuenta:

- I. El trabajo debe ser considerado como un proceso que puede ser estudiado y mejorado para así, tener mejores resultados. Los procesos no operan por sí mismos, están interconectados con el resto del sistema. Por eso, a veces resulta contraproducente aislar el proceso causando un efecto desastroso a todo el sistema.
- II. No dejar que las variaciones se vuelvan parte fundamental del sistema o del resultado, tratando de alcanzar un objetivo irreal.
- III. Las personas serán capaces de utilizar los métodos estadísticos si antes aplican el pensamiento estadístico para entender y reducir las variaciones que puedan presentarse.

2.7.1 Variabilidad

La variabilidad es parte de nuestra vida diaria, existen varias cosas que interactúan que cambian con el tiempo, por ejemplo: la temperatura ambiente varía de un día a otro. Esta variación que ocurre en nuestra vida también está presente en los procesos de las empresas.

Reducir la variación de los procesos es un objetivo clave del control estadístico, por lo tanto, es necesario entender las causas de la variación y por ello se parte de que en un proceso de fabricación industrial interactúan elementos como: los materiales, máquinas, medio ambiente, mano de obra, mediciones y método, a estos 6 elementos se les llama las 6M de la calidad, y son apresadas en un diagrama causa efecto, y determinan de manera global todo proceso.

En un proceso, cada "M" tiene y aportan su propia variación, por ejemplo, los materiales no son idénticos, ni toda la gente tiene las mismas habilidades ni el mismo entrenamiento, por ello será necesario conocer la variación que pueda existir en el proceso de ranurado de la cejuela que se ranure y las interacciones que puedan existan en cada una de las 6M, buscando reducirlas, pero, además es necesario monitorear de manera frecuente los procesos y mantenerlos controlados. (Humberto G.P. 2013).

2.7.2 Índice de Capacidad

El Cp (formula 1) es un índice de capacidad. Se utiliza para comprobar la calidad de un proceso, o maquinaria, admitiendo algunos límites en las especificaciones.

El Cp es el valor resultando de la diferencia entre el Límite de Especificación Inferior (LEI), y el Límite de Especificación Superior (LES), dividido por un 1 Sigma de las desviaciones. Es el índice utilizado para saber si el proceso se ajusta a las tolerancias, es decir, si la media natural del proceso se encuentra centrada o no con relación al valor nominal del mismo.

Se considera que el proceso está dentro de las especificaciones si el índice Cp \geq 1,33. valor que caracteriza la relación existente entre la media del proceso y su distancia al límite de especificación. Valores de CP por debajo de 1.33 arrojaran un resultado que no es ideal para el proceso. (T.M.Kbian & Donald W. Benbow 2016b).

Formula (1)

$$C_p = \frac{\text{Rango de Especificación}}{\text{Habilidad del Proceso}} = \frac{LES - LEI}{6S}$$

La fórmula 1 se utiliza para cálculo del índice de capacidad de un proceso, e donde las variables son:

- Cp: Índice de capacidad de proceso.
- LEI: Límite inferior.
- LES: Límite superior.
- S: Desviación estándar.

Capítulo 3. Metodología

En este capítulo se explicarán las técnicas utilizadas para el rediseño de la máquina semiautomatizada para ranurado del hueso en cuellos de guitarras, como fase inicial recolectaremos datos y utilizaremos estadística, una de las ramas de las matemáticas, donde con base a datos estadísticos mediremos el progreso, para garantizar repetibilidad y confiabilidad en la profundidad de las ranuras del hueso en el producto terminado.

3.1 Diseño Mecánico

El diseño mecánico en la rama de la ingeniería es la acción de dar figura, tamaños, elementos, tecnología de producción y colocar en marcha una máquina para que desempeñe determinadas funciones o requerimientos. Los que trabajan en el diseño mecánico deben conocer básicamente los fundamentos operativos de las máquinas y sus elementos para después desarrollar métodos mecánicos competentes para realizar tareas que posibiliten construir, acoplar y experimentar elementos de unidades que compensen determinadas necesidades de fabricación. (Lucero Zapata, 2018)

Para el rediseño a continuación explicaremos las 4 etapas de desarrollo del diseño mecánico.

3.1.1 Elementos por Diseñar

Diseñaremos elementos mecánicos que logren minimizar la variabilidad, e instrumentos que pueda detectar previamente posibles errores en cuellos que estén fuera de tolerancia, fabricaremos gauges pasa no-pasa, anticipándonos a errores previos en el proceso de construcción de cuellos para no caer en retrabajos de ranurados del hueso.

3.1.2 Diseño Modelado por Computadora

Diseñemos herramientas mecánicas por medio de softwares asistidos por computadora, se van a diseñar piezas articuladas que sujeten y nivelen el cuello, tornillos de ajuste y topes que limiten la posición de los cuellos al colocarse en la máquina semiautomatizada. Los diseños modelados se mandarán a fabricar según especificaciones, estos diseños serán manipulados previamente ensamblados en el software para probar su funcionalidad.

3.1.3 Distribución del Área de Trabajo

Se considera que si es requerido por alguna variable crítica se modifique el flujo en el área de trabajo, intercambiando mesas de trabajo y maquinaria del proceso actual, se propondrá un dibujo modelado por computadora con la mejora que cumpla con requisitos de seguridad, acompañado de un diagrama de flujo actual contra la propuesta.

3.2 Calidad en Masa

Los procesos de fabricación en serie y continuo conformaron el sistema de producción en masa. El sistema de producción en masa se expandió desde la industria del automóvil a otros sectores industriales y se convirtió en la forma incuestionable de cómo debían ser conducidos los temas empresariales y comerciales en todo el mundo. El sistema de producción en masa logró incrementar los niveles de eficiencia y productividad, ya que utiliza una alta proporción de la maquinaria. (Cristina R., 2019).

Por ello buscamos que con una máquina automatizar el proceso de ranurado de huesos de los cuellos de guitarras, agilizando el proceso de ranurado y que absorba la variabilidad con sistemas mecánicos acoplados, e implantando un gráfico de control con datos capturados con la dimensión de la profundidad de la ranura en cada 10 ciclos,

(Figura 2), si se desvía el error por encima de la tolerancia mínima o máxima en más de 2 ciclos se debe detonar la acción de informar al supervisor del área.

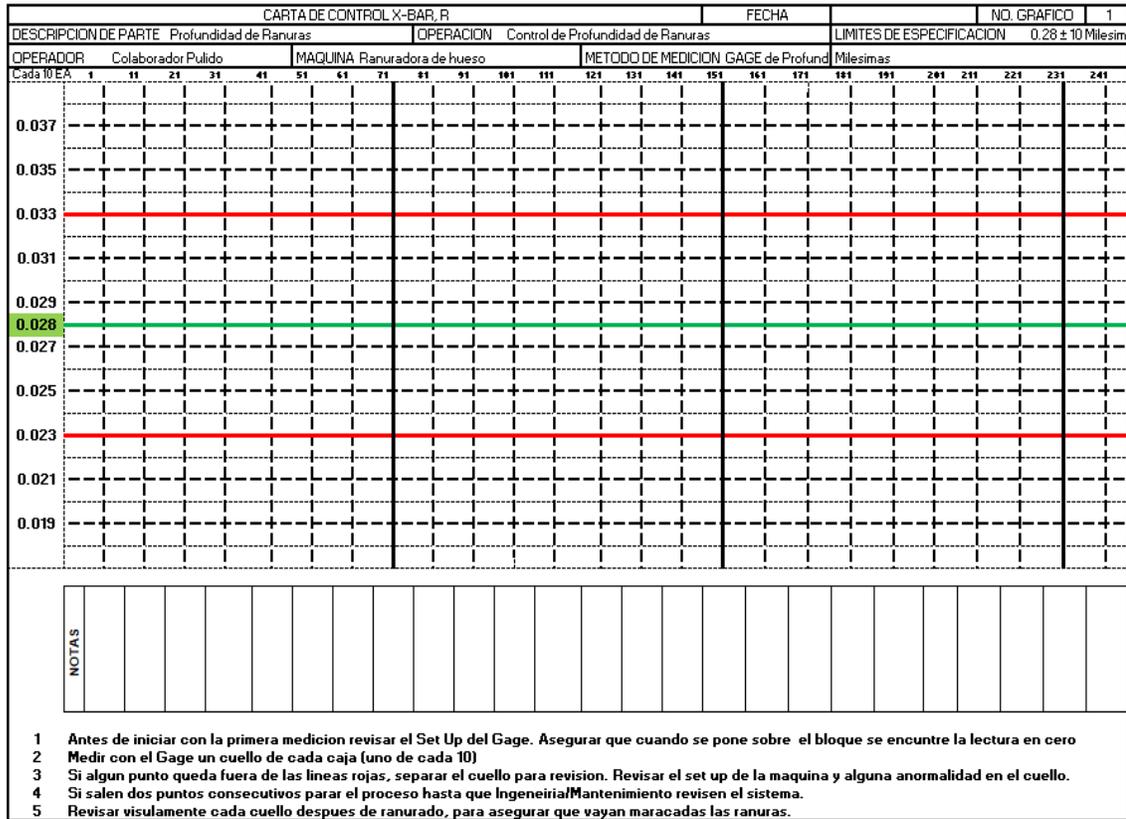


Figura 2. Carta de control, profundidad de ranuras.

3.3 Estadística Inferencial

En este proceso de la búsqueda del diseño que absorba la variabilidad en el ranurado de la cejuela utilizaremos una rama de la estadística conocida como estadística Inferencial donde las conclusiones que se tendrán estarán basadas sobre la población a partir de los datos de la muestra, 30 cuellos ranurados, donde fijaremos los intervalos de confianza para medidas de tendencia central.

Con el objetivo de reducir la variación actual en el ranurado vamos a analizar los datos, segregándolos en grupos por variables afectan la profundidad en el ranurado, obteniendo un porcentaje y colocándolo de mayor a menor en un gráfico de pastel, comenzaremos a medir la profundidad de la ranura a cuellos con el método actual

manual, se deben obtener como mínimo 30 datos para considerar un tamaño de muestra aceptable.

Se cuenta con una herramienta diseñada que brinda lecturas de la profundidad en cada ranura, esta herramienta cuenta con un indicador analógico graduado en milésimas de pulgadas que nos dará un valor numérico continuo, tomaremos lectura de las profundidades y los agruparemos y compararemos.

Rediseñaremos la máquina y el flujo de los procesos hasta logra reducir la variabilidad siempre midiendo, obteniendo datos y calculando el CPK, para evaluar si hay progreso con los diseños implementados.

3.3.1 Variables Críticas

Con las variables críticas ponderadas de mayor a menor influencia en el ranurado obtenidas en los resultados de las primeras muestras planteáramos pruebas de hipótesis, atacaremos por separado y de manera ordenada por medio de lluvia de ideas los errores en las operaciones manuales y máquina semiautomática que se tienen actualmente, buscaríamos reducir variables por medio de diseño y fabricación de componentes que se fijen a la máquina semiautomatizada y minimicen o absorban la variabilidad.

Se consideran como variables principales críticas las siguientes:

1. Cuello torcido.
2. Cuello cóncavo.
3. Cuello convexo.

Ranuraremos en la máquina semiautomatizada de manera ordenada y para cada variable 10 cuellos, de los cuales 5 cuellos presentaran la variable 1, cuello torcido, y los 5 restantes no, considerándolos como de control, bajo las mismas condiciones operación y ajuste, al finalizar la operación mediremos la profundidad de ranuras y

comparemos los datos mediante una graficas de cajas y ponderaremos cual y que cantidad es significativa.

3.3.2 Análisis Descriptivo

El análisis descriptivo es una representación gráfica de la información esta puede ser agrupada para su mejor comprensión visual, utilizaremos gráficos ya definidos que nos muestran desde 2 variables hasta 5 en un solo gráfico. Un ejemplo son los histogramas, grafica de cajas, gráfica de barras, adicional se diseñarán gráficas de control para ser llevados registros durante en un periodo de tiempo, de ahí la frase que corresponde a William Thomson Kelvin, físico y matemático británico (1824 – 1907) “Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre “. (Humberto G.P. 2013).

Los datos capturados en todos los análisis de variables, procesos actuales y mejoras los representaremos en gráficos para su mejor estudio y comprensión demostrando gráficamente como hay mejora al ir cerrando las variables con el rediseño de la máquina semiautomatizada.

3.3.3 Instrumento de Medición, R&R Gauge

Requeriremos un instrumento de medición efectivo y fácil de usar, para tomar datos de las ranuras echas en el huso de cada cuello, por ellos utilizaremos un sistema de evaluación de medición se efectúa a través de la Repetibilidad, Reproducibilidad (Gauge R&R). El instrumento diseñado se evaluará simultáneamente con la metodología R&R Gauge.

La Repetibilidad del Gauge es la variación en las mediciones obtenidas por un usuario único utilizando el mismo Gauge para medir características idénticas en las mismas partes, mientras que la Reproducibilidad del Gauge es la variación en el promedio de las mediciones hechas por diferentes usuarios usando el mismo Gauge cuando miden características idénticas en las mismas partes. (Humberto G.P. 2013)

Tendremos que evaluar por lo menos a 3 colaboradores de los cuales uno, el mejor calificado según la metodología, apoyara para el tomado dato de las ranuras para comparar la capacidad de los procesos.

3.3.4 CP

La calidad del proceso actual de ranurado manual es de un valor de Cp de 0.55 (figura 1) y el objetivo de nuestra investigación es alcanzar al menos un valor de 1.00 de Cp con la máquina semiautomatizada rediseñada.

Para validarlo tomaremos 30 lecturas de la profundidad de ranura en una corrida controlada con 5 cuellos, a partir de los datos obtenidos calcularemos la capacidad de proceso con la fórmula 1.

Los límites que declararemos de especificación mínima son de 23 milésimas y máximo 33 milésimas, con 3 desviaciones estándar.

Capítulo 4. Resultados y Discusión

4.1 Variables Críticas

Analizando visualmente y teniendo empatía con los colaboradores en el método manual de ranurado y de la máquina semiautomatizada, plasmamos las observaciones y comentarios en un diagrama causa efecto (Figura 3), clasificándolos en 6 aspectos: medición, material, mano de obra, medioambiente, método y máquina, las variables críticas que definimos en las preguntas de investigación aparecieron junto con otros 5 hallazgos adicionales.

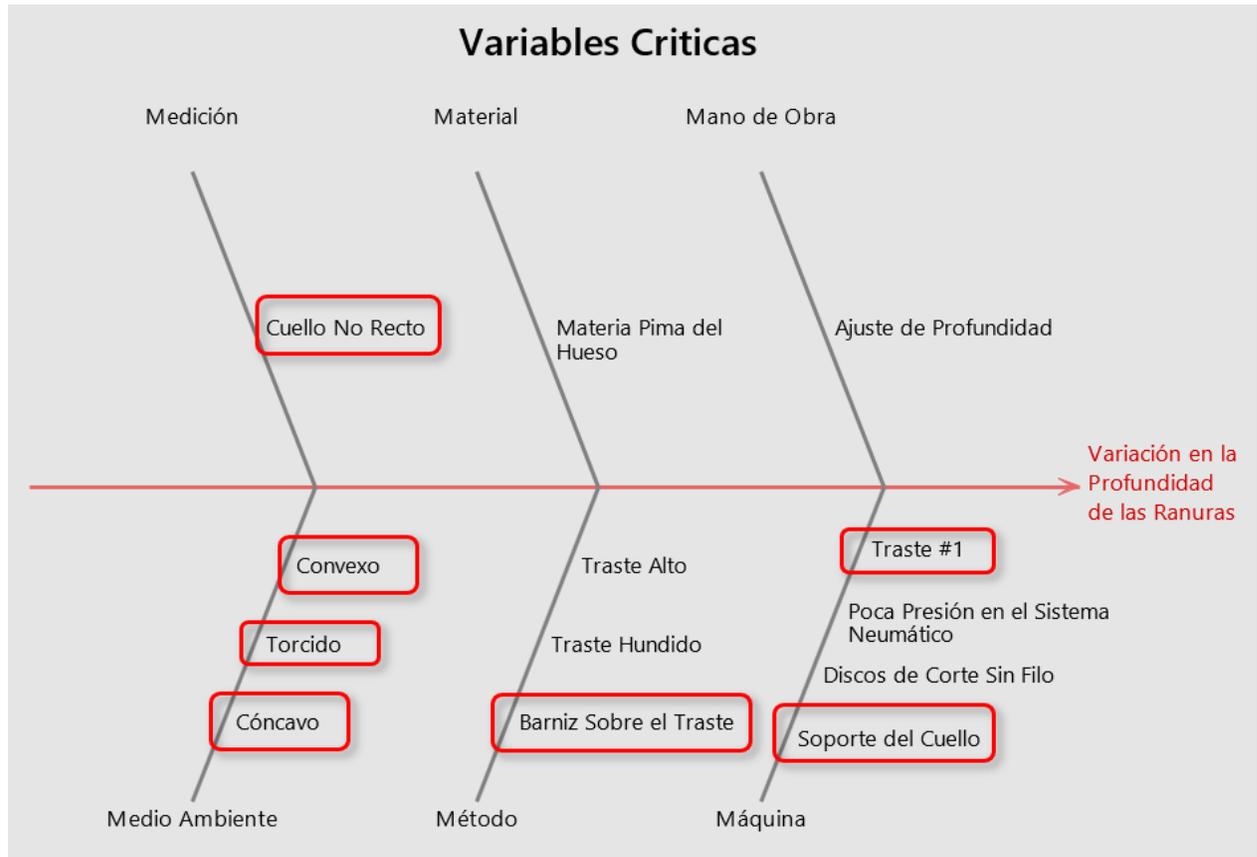


Figura 3. Diagrama causa efecto, variación en la profundidad de las ranuras, en el diagrama observamos 13 causas potenciales que provocan variación en la profundidad de la ranura, están subdivididas en 6 grupos, medición, material, mano de obra, medio ambiente, método y maquinaria. En esta investigación solo evaluaremos

Variables críticas definidas:

1. Cuello torcido.
2. Cuello cóncavo.
3. Cuello convexo.

Causas adicionales que pueden provocar una variabilidad en la profundidad de las ranuras encontradas durante la investigación:

1. Cuello no recto al ser procesado.
2. Barniz sobre el traste de referencia.
3. Soporte de cuello no eficiente.
4. No referencia de cero de trabajo en traste #1.

4.1.1 Validación de Variables Críticas

4.1.1.1 Cuello Torcido

Por medio de pruebas de hipótesis validamos si un cuello torcido es causante de tener mayor rango de variación comparando las medias de 2 grupos de cuellos. Con una muestra de 45 cuellos, divididos en 16 cuellos rectos versus 29 cuellos torcidos, previamente válidos, se ranuraron y medio la profundidad de las ranuras.

Obtuvimos que las medias de los cuellos torcidos son igual a los cuellos rectos (Figura 4), con un 95% de confianza en la muestra, por ellos concluimos que un cuello torcido le es indiferente a la maquina semiautomatizada al ser procesado a este nivel.

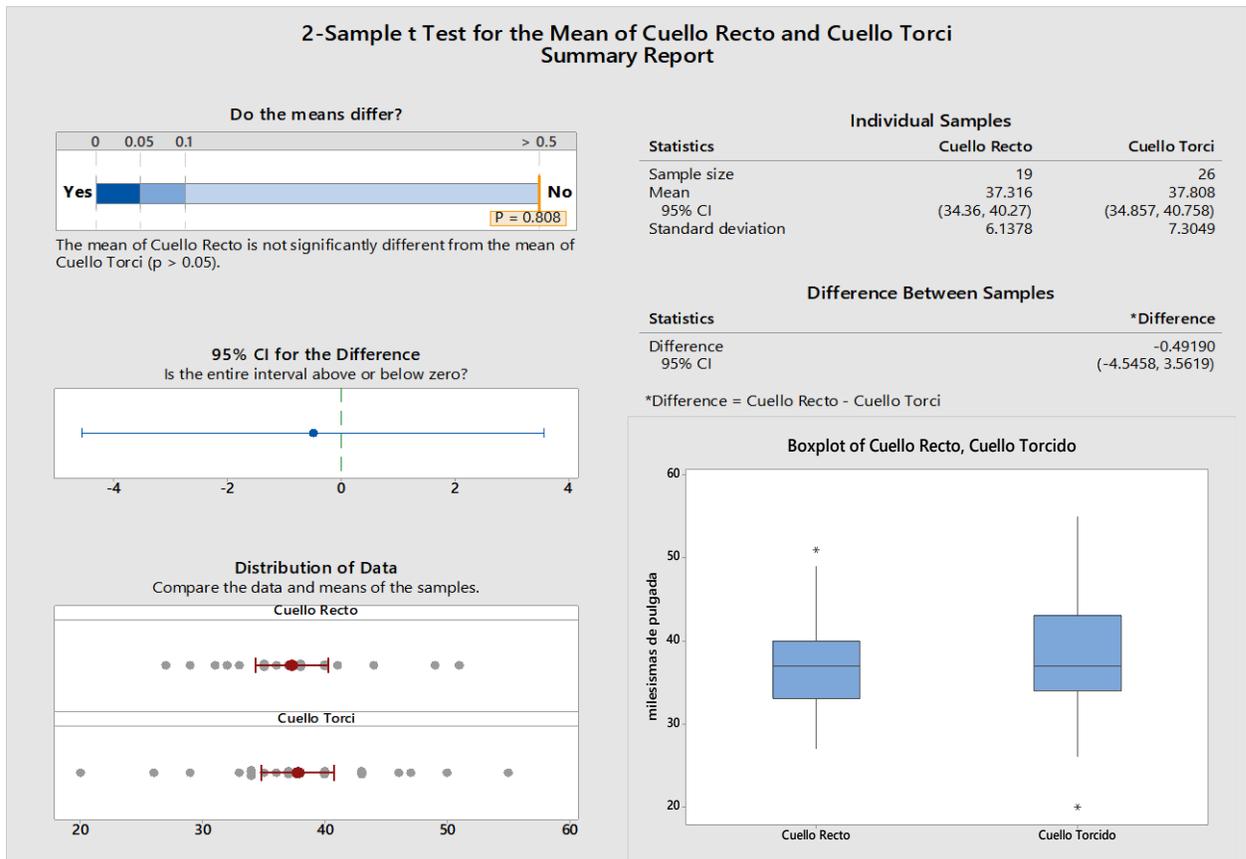


Figura 4. Resultado de prueba de hipótesis, cuello torcido es causante de tener mayor rango de variación comparando con cuellos rectos, en la sección de gráfico de cajas, *boxplot*, podemos observar los 2 grupos de cuellos, con una media de 37.316 el grupo de cuellos rectos, y con una media de 37.808 del grupo de cuellos torcidos, obteniendo solo una diferencia de 0.491 milésimas de pulgada, mientras que, en la sección de distribución de los datos, *Distribution of Data*, si encontramos más dispersión de los datos en los cuellos torcidos.

4.1.1.2 Cuello Cóncavo, Convexo

Prueba de hipótesis, cuello cóncavo es significativamente distinto a un cuello convexo respecto a la profundidad de la ranura al ser procesado en la maquina semiautomatizada.

Para este suceso colocaremos un grupo adicional de cuellos que representen un grupo de control, cuellos rectos, ranuramos 30 cuellos divididos en 3 grupos, 10 cuellos cóncavos, 10 rectos y 10 convexos.

Los resultados en análisis de varianza de más de dos poblaciones, comparando las medias, nos indica que son distintos los 3 grupos (Figura 5).

Los cuellos cóncavos presentan una profundidad mayor, entre 30 y 45 milésimas de profundidad, mientras que los convexos una profundidad menor de 5 a 25 milésimas, mientras que los cuellos rectos se encuentran al centro.

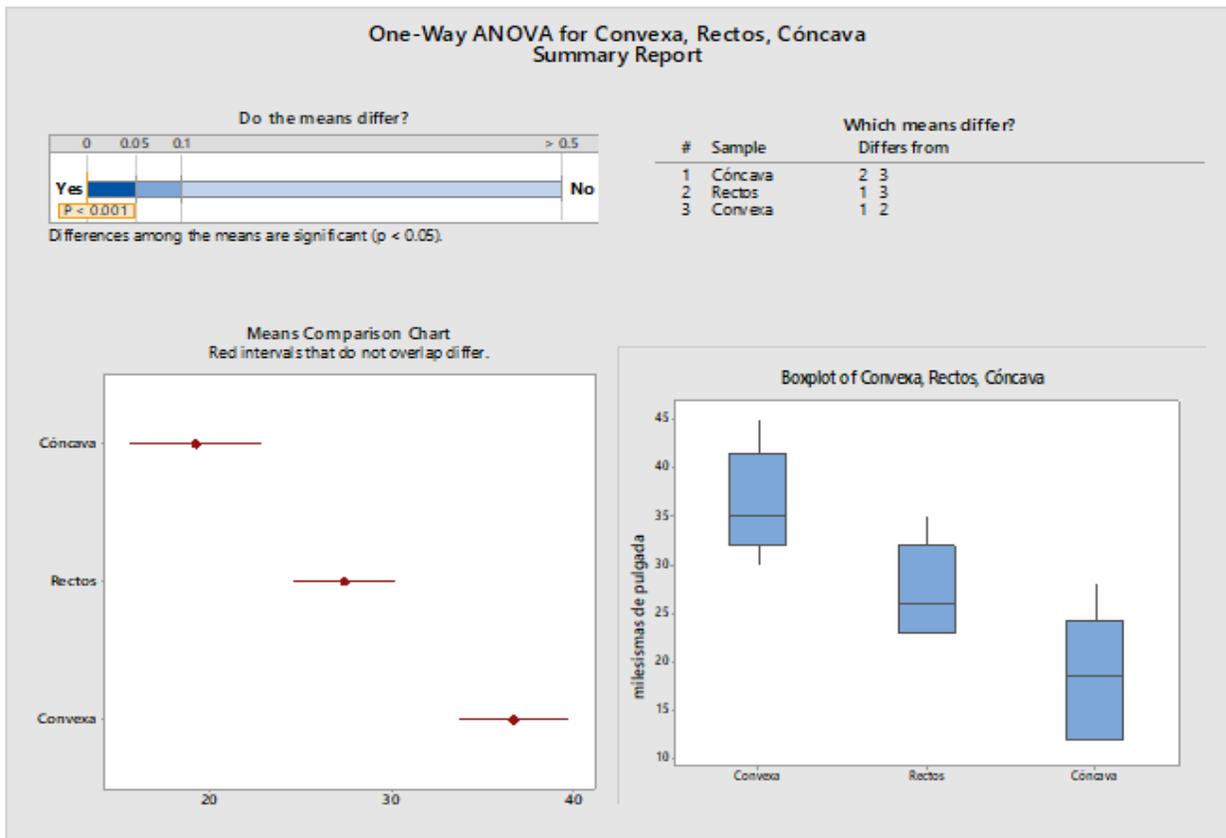


Figura 5. Resultado de prueba de medias, con los 3 grupos de cuellos en la sección de grafico de cajas, *Boxplot*, cóncavo, recto y convexo, y en la sección de comparación de medias los rangos, en milésimas de pulgada representados, observamos que son distintos los 3 grupos.

Con este resultado, donde el grupo de cuellos rectos esta entre 23 y 35 milésimas de pulgada, y observando la distribución de los datos en la figura 5, donde hay menor dispersión de los datos en los cuellos rectos, concluimos que es recomendable colocar los cuellos rectos antes de entrar a la máquina para ser ranurados.

4.1.1.3 Gauge R&R

Cabe mencionar que todas las lecturas de profundidad de ranura para las pruebas de hipótesis, por medio de comprobaciones de medias, fueron tomadas con el mismo indicador de lecturas de profundidad, al cual se le aplicó un estudio Gage R&R, el cual es un sistema de evaluación de medición se efectúa a través de la Repetibilidad, Reproducibilidad.

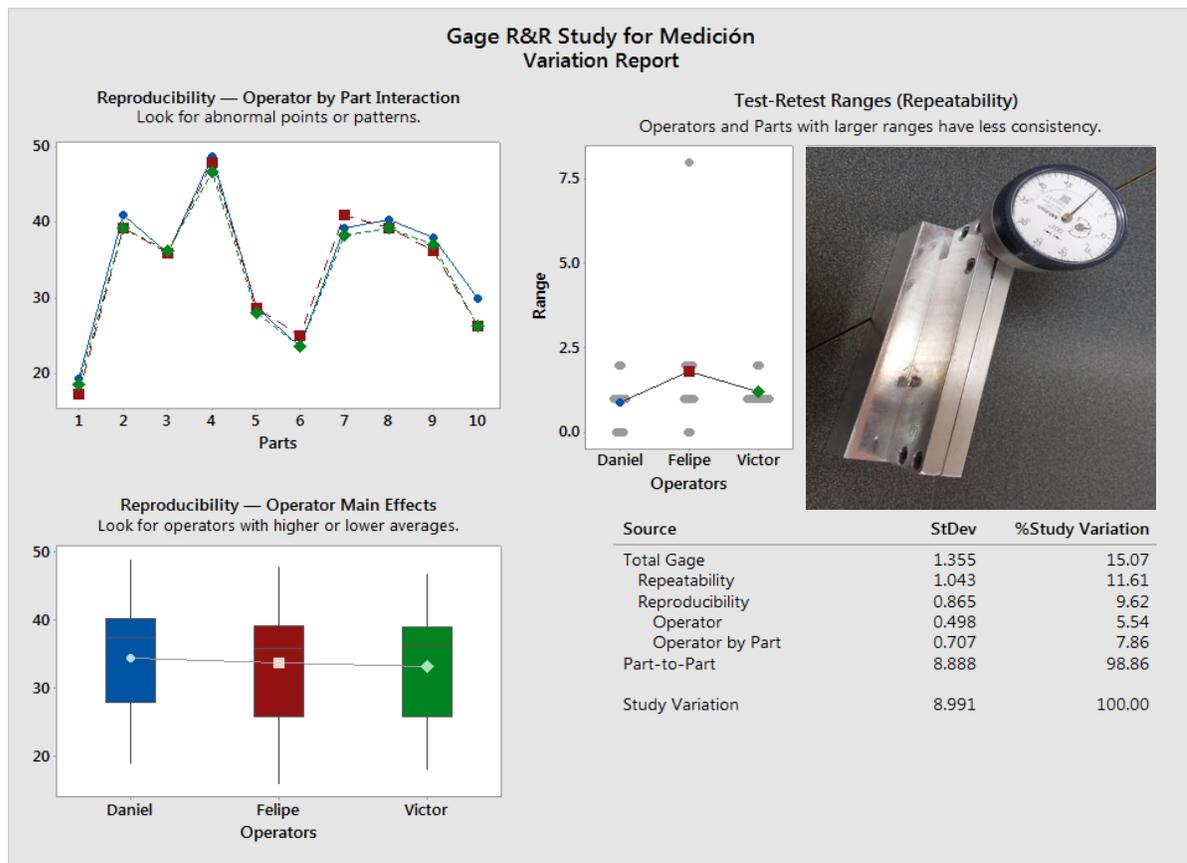


Figura 6. Resultado de gauge R&R, en la parte superior derecha una fotografía de instrumento de medición de profundidad de ranuras, con un indicador de caratula graduado en milésimas de pulgada. Estudio de repetibilidad con un 11.61% y de reproducibilidad de 9.62%, 10 lecturas y 3 colaboradores validados.

Bajo este tipo de estudio de 0 a 10% de variación es un buen equipo de medición, tanto le instrumento como el colaborador al hacer tomas de lecturas, del 11 a 30% se considera aceptable, en este estudio (figura 6) nos arroja 15.07% concluyendo que es los datos obtenidos son confiables para nuestra investigación.

4.1.2 Causas Adicionales que Provocan Variabilidad en la Profundidad

Como observamos en el diagrama causa efecto, encontramos que tenemos más de 3 causas que pueden afectar el resultado, estas las atacamos con cambios en el flujo del proceso y mecanismos de sujeción nuevos, con el objetivo de elevar el CPK del cuello ranurado.

4.1.2.1 Barniz Sobre el Traste de Referencia

En el flujo actual (Figura 7) de fabricación de cuellos, la máquina semiautomatizada está ubicada al finalizar el proceso de aplicación de barniz y al inicio del proceso de pulido de cuellos, por esta razón los cuellos presentan barniz sobre los trastes al inicio del proceso de ranurado de hueso.

Es conocido en antecedentes que la cantidad de barniz sobre los trastes no está controlada y brindara inconsistencia en el grosor, afectándonos en nuestros objetivos de investigación.

Las observaciones hechas por los colaboradores de la máquina semiautomatizada, más los resultados de las pruebas de hipótesis concluidas previamente, nos orientan a que teníamos que cambiar la secuencia de operaciones del proceso.

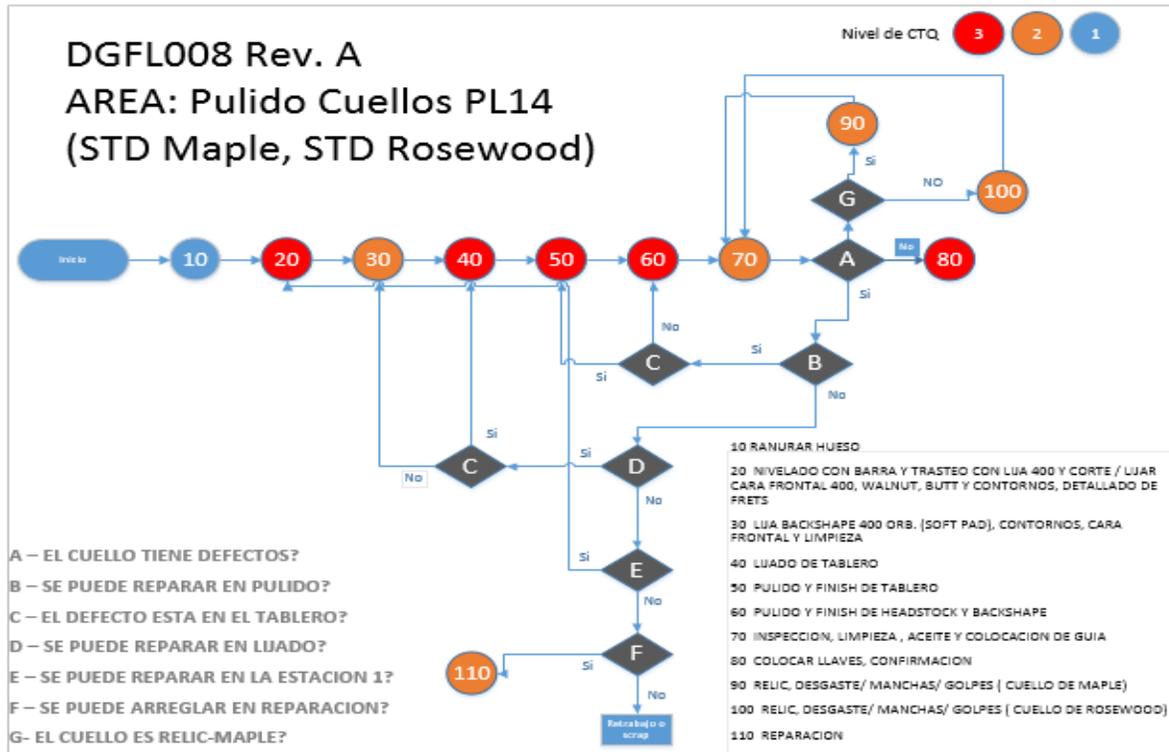


Figura 7. Diagrama de flujo actual del área pulido, donde se encuentra la operación #10, Ranurar Hueso, al inicio de proceso.

En base a los resultados, es indispensable que el cuello este recto por ello proponemos un cambio en el flujo (Figura 8) donde primero se retire el barniz de los trastes, se nivele y deje recto el cuello para al finalizar de pulirse se ranure el hueso, con el objetivó de eliminar impurezas que interfieran con el área de contacto que se utiliza como referencia cero para hacer el ranurado.

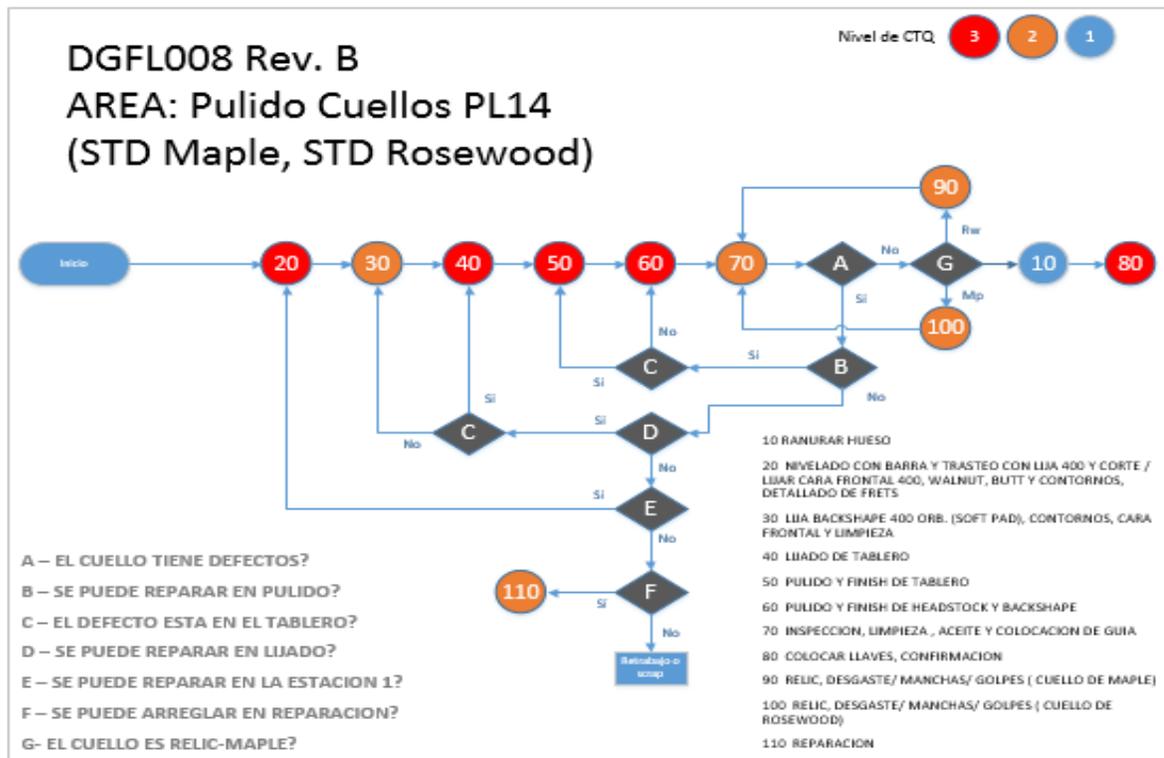


Figura 8. Diagrama de flujo propuesto para el área de pulido, donde se encuentra la operación #10, Ranurar de Hueso al finalizar de detallar los trastes y dejar el cuello recto.

4.1.2.2 Soporte de Cuello

En el caso del soporte del cuello requerimos diseñar un soporte que no esté limitado a una carrera definida o fija como lo es el actual que viene de fábrica en la máquina (Figura 9).

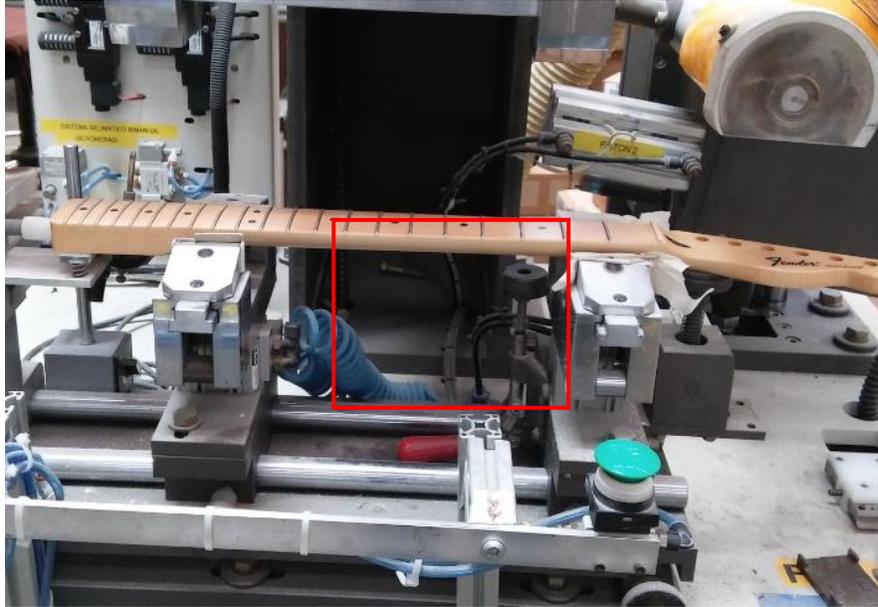


Figura 9. Fotografía muestra la maquina semiautomatizada donde se aprecia el soporte de carrera fija en el sistema de sujeción del cuello.

En la figura 10 se muestra el soporte del cuello que atrapa contra el sistema cero de referencia ubicado en el traste # 2, y lo mantiene fijo mientras es ranurado el hueso con el sistema de fresado.



Figura 10. Fotografía aumentada del soporte de carrera fija en el traste # 2.

La razón que observamos es que contamos con distintos grosores de cuellos y un soporte fijo limita a un solo tipo de grosor de cuello, en el caso de un cuello con mayor grosor aumenta el cero de referencia, mientras que para un cuello delgado lo deja bajo del cero referencia, provocando un rango de 40 milésimas de pulgada de variación.

Se propuso un diseño robusto con un mecanismo de palanca asistida por un pistón neumático que absorbiera los distintos tipos de grosor de cuellos (Figura 11).

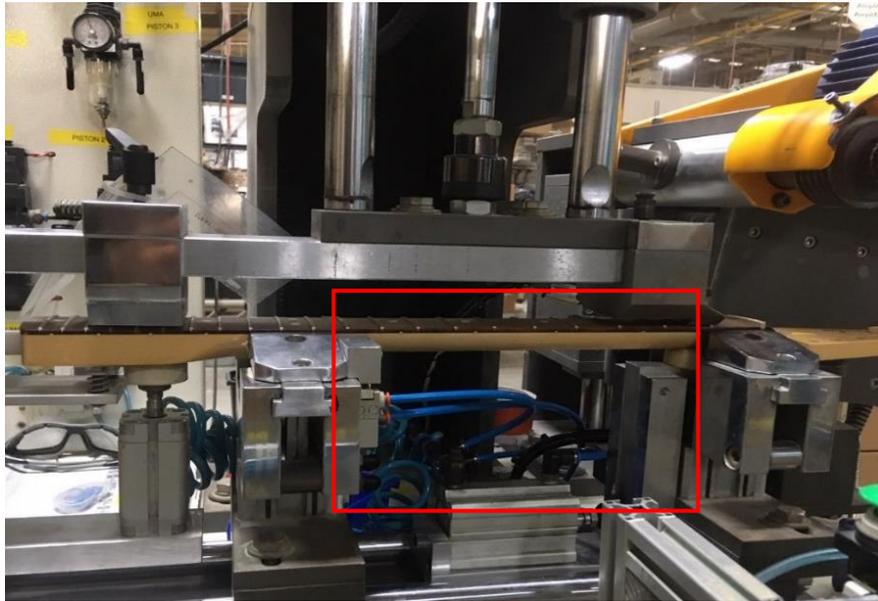


Figura 11. Fotografía de frente a la maquina semiautomatizada donde se aprecia un mecanismo de palanca asistida por un pistón neumático.

El diseño fue modelado por computadora (figura 12) en base a las limitaciones de espacio de la máquina y con el objetivo que tuviera una carrera mínima de 40 milésimas de pulgada.

Se diseñaron 2 piezas, la base del pistón y la palanca, la fabricación de las piezas fue hecha en material Aluminio 6061, bajo dimensiones especificadas en planos elaborados en base el diseño.

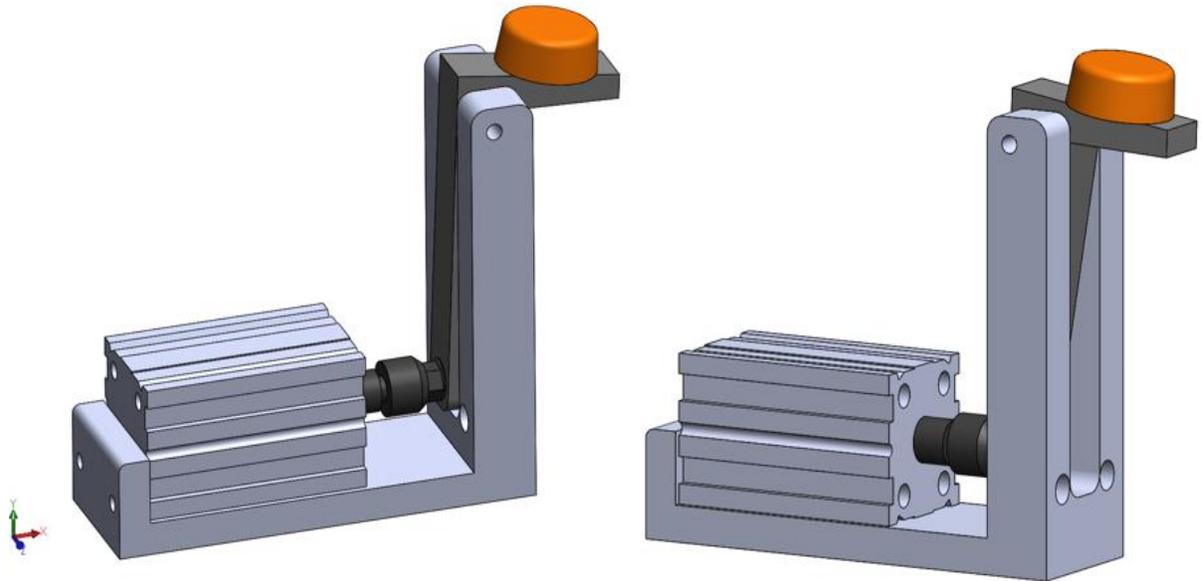


Figura 12. Ensamblaje del diseño modelado por computadora del soporte instalado para absorber la variación de grosor de cuello provocada por modelos variados de cuellos, se observa el pistón montado sobre su base y el sistema de palanca, junto a un cojinete en la superficie que ayuda a no maltratar el cuello al ser presionado.

El pistón fue adquirido bajo catalogo para una presión de 80 libras y una carrera de 0.750 milésimas de pulgada y fue instalado al mismo sistema neumático que cuenta la máquina, la activación es automática al colocar el cuello en la base articulada de la máquina, por medio de un sensor de final de carrera neumático (figura 13), con esto aseguramos que siempre se active cuando se coloque un cuello.

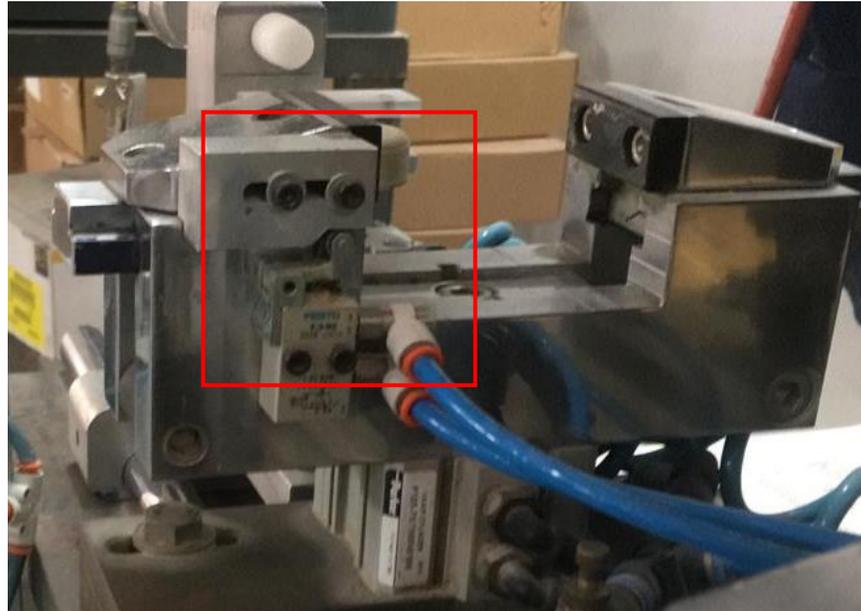


Figura 13. Fotografía donde se aprecia el sensor de final de carrera montado en la base articulada que sujeta el cuello para ser ranurado.

Para validar el sistema instalado ranuramos 10 cuellos con el soporte activado y 10 cuellos sin soporte, la prueba de hipótesis nos indica que si hay diferencia significativa (Figura 14).

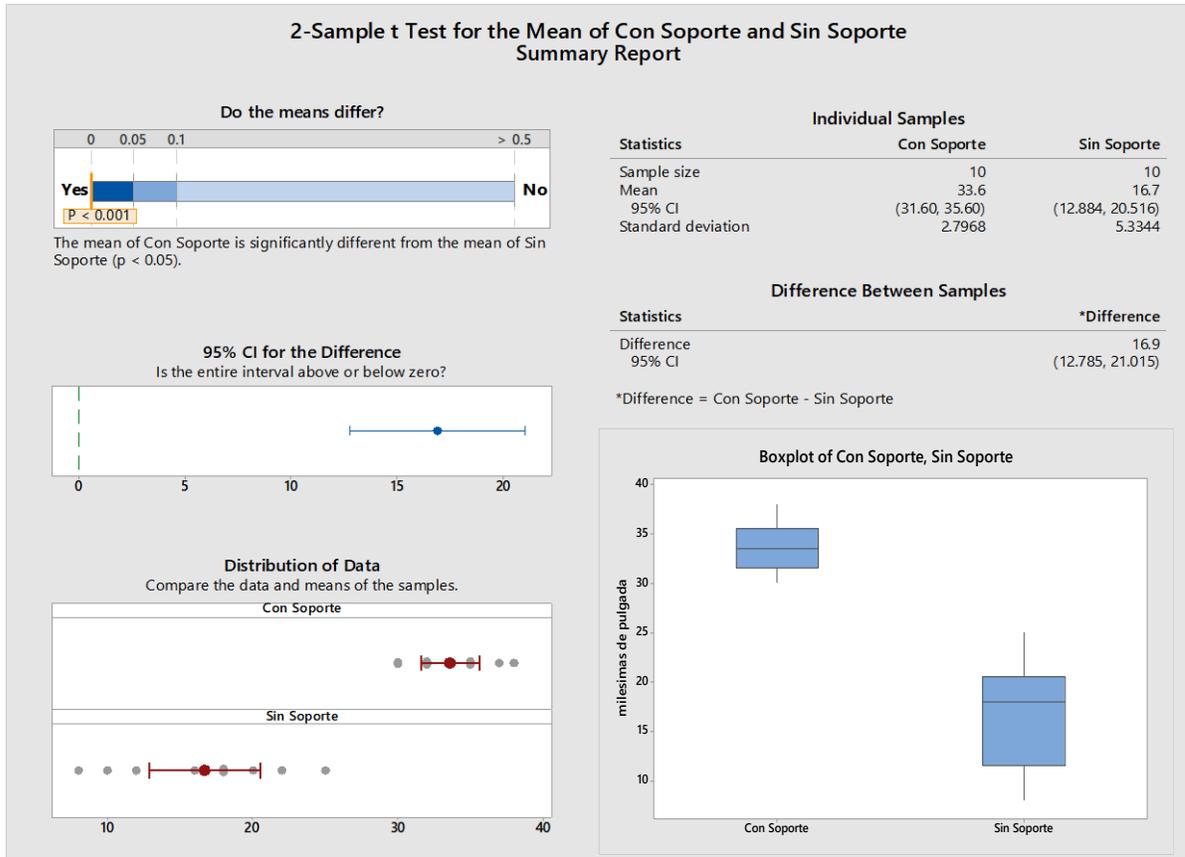


Figura 14. Prueba de hipótesis, activar el soporte beneficia a tener menor variación en el ranurado, en los gráficos de caja vemos como con el soporte activado minimizamos la variación del ranurado, mientras que sin soporte se observa una mayor variación, la prueba con un 95% de confiabilidad nos indica que si hay diferencia de medias en un 16.9 milésimas de pulgada.

En la figura 14, en la parte inferior izquierda nos da la distribución de las profundidades de las ranuras echas con el soporte activado, se puede observar que hay menor variabilidad en los datos, por ello concluimos que el sistema instalado es eficiente y ayuda al objetivo de la investigación.

4.1.2.3 Referencia Cero de Trabajo en Traste # 1

El eje de referencia o cero de trabajo para cualquier fresado es fundamental, es la referencia absoluta para iniciar el trabajo, en este caso el de ranurar. Tanto la herramienta de medición como la maquina semiautomatizada de ranurado proponemos tener el mismo cero de trabajo, para tener congruencia en los resultados.

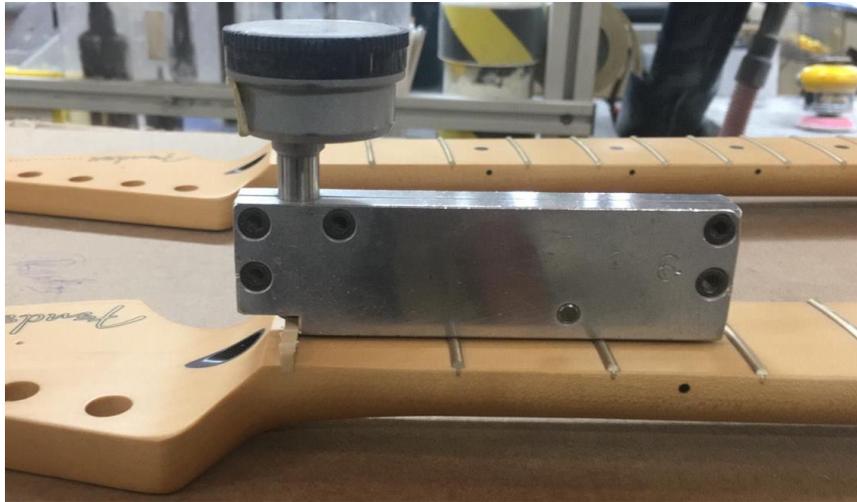


Figura 15. En la Fotografía se muestra el instrumento de medición de profundidad de ranuras montado sobre un cuello sobre los trastes #1 y #2.

En las observaciones el cero de trabajo de la maquina estaba en el traste # 2 del cuello, siendo su cero de trabajo para hacer las ranuras (figura 10), mientras que el instrumento de medición (figura 15) y en el proceso de afinado de la guitarra se toma como referencia el traste # 1, por lo tanto, decidimos modificar el sistema de referencia de la maquina al traste # 1 de los cuellos, con el objetivo de tener similitud en los sistemas tanto de ranurado como de medición, buscando mejorar la variabilidad.

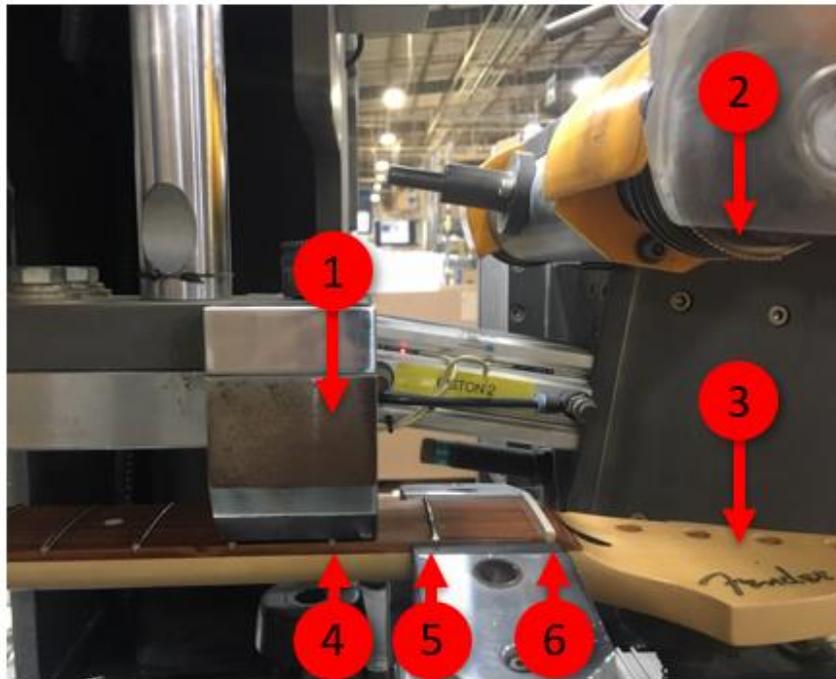


Figura 16. En la Fotografía se muestra área de trabajo en la maquina semiautomatizada donde se ranura el hueso, describimos con el número 1 la base que funciona como cero de trabajo, en el numero 2 el sistema de discos para hacer el ranurado, en el numero 3 el cuello, numero 4 el traste # 2, en el numero 5 el traste # 1 y por último en el numero 6 el hueso a ranurar el traste número 2.

Se diseño en base al sistema actual (figura 16), con una extensión de la misma pieza que toma de referencia el traste # 1, en la figura 17 se aprecia el sistema modificado como sus componentes.

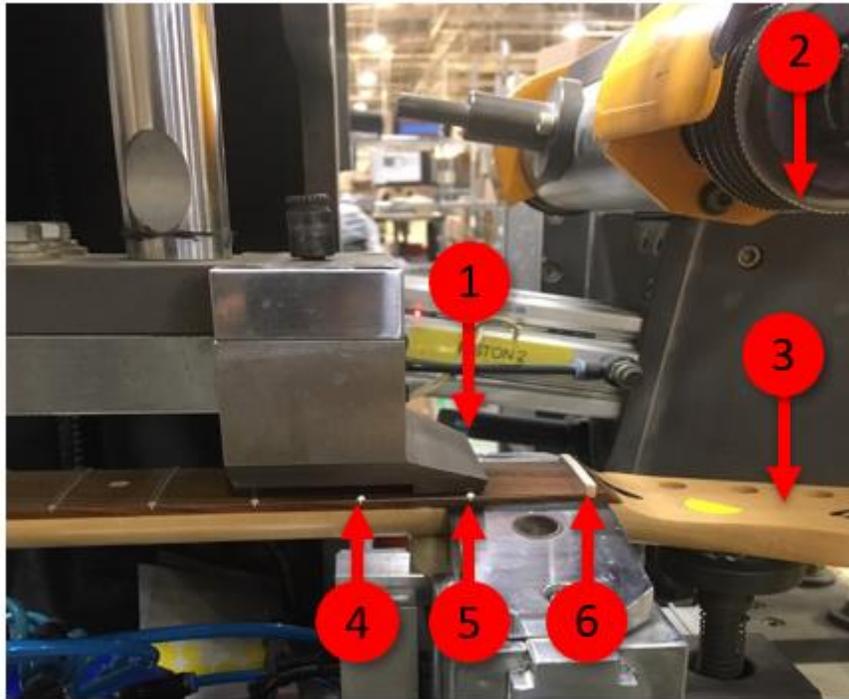


Figura 17. En la Fotografía se muestra área de trabajo en la maquina semiautomatizada donde se ranura el hueso, describimos con el número 1 la base modificada que funciona como cero de trabajo, en el numero 2 el sistema de discos para hacer el ranurado, en el numero 3 el cuello, numero 4 el traste # 2, en el numero 5 el traste # 1 y por último en el numero 6 el hueso a ranurar el traste número 2.

En la Figura 18 se muestra el diseño modelado por computadora y fabricado en acero bajo las mismas dimensiones del sistema actual, más la sección extendida.

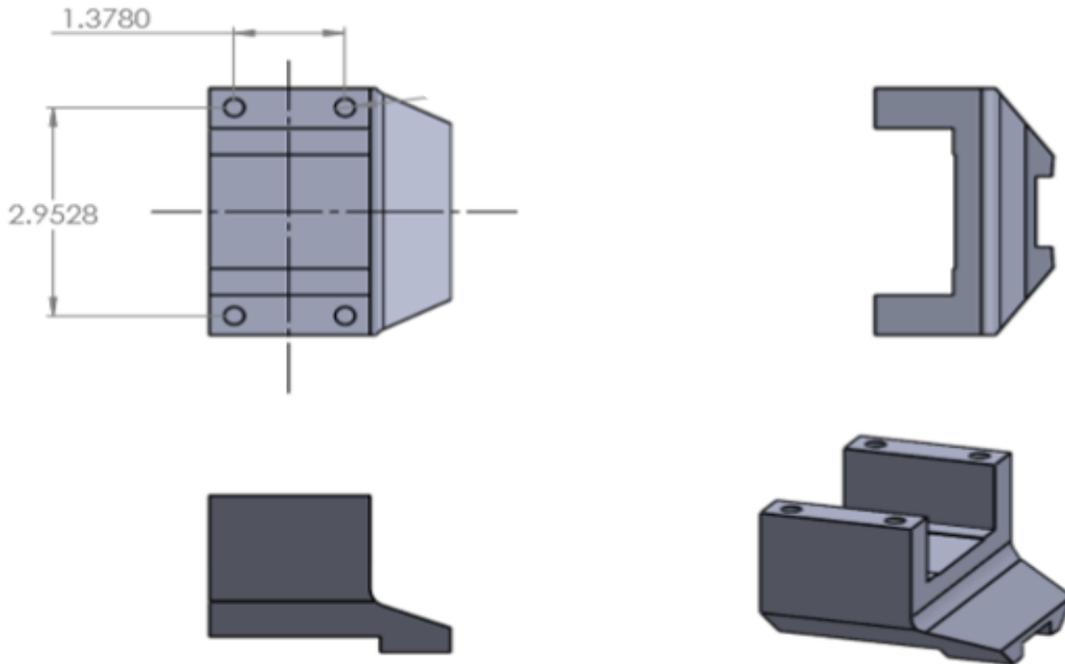


Figura 18. Soporte diseñado en sus 4 vistas, donde se busca tener referencia del cero de trabajo en el traste # 1.

4.1.3 Comprobación de Mejoras Implementadas

Ya con las variables validadas y las mejoras implementadas en la manera de sujetar el cuello en la máquina semiautomatizada, procesamos 2 grupos de cuellos, 10 cuellos con las mejoras y 10 sin las mejoras, donde comparamos la profundidad de las ranuras.

Las condiciones para hacer la comparación fue preparar los cuellos denominados: Con Mejora, con los trastes limpios, sin barniz, que estén rectos y que se tome como cero de trabajo el traste #1 en la máquina.

Mientras que los denominados: Sin Mejora, estén bajo con barniz sobre los trastes, que estén no rectos, pudiendo estar cóncavos o convexos, y el cero de trabajo

en el traste #2, de esta manera representamos las condiciones de trabajo iniciales cuando empezamos con la investigación.

Por otra parte, para procesar los 2 grupos, tiene que ser el mismo operador, el mismo modelo de cuello, y mismas condiciones de uso de operación de la máquina.

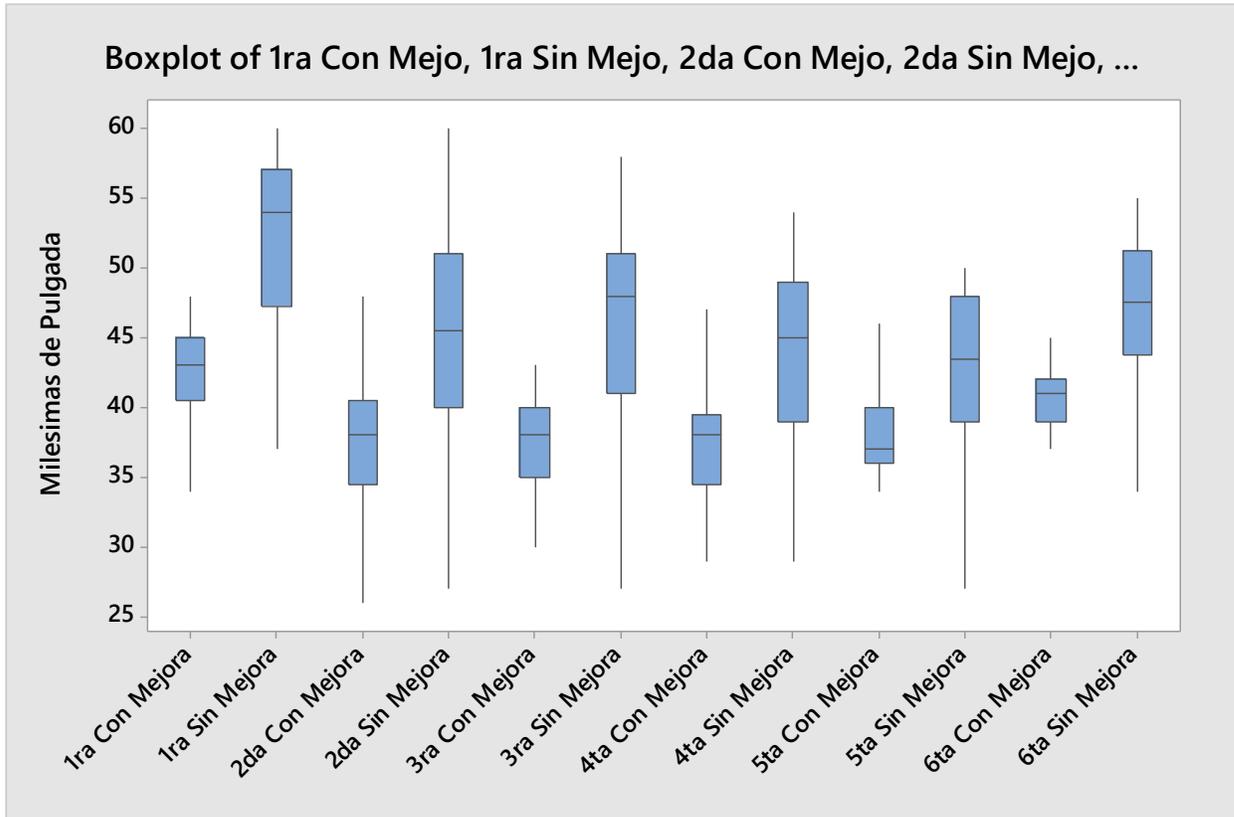


Figura 19. Diagrama de cajas en donde se muestran en pares las 6 ranuras echas a 20 cuellos, 2 grupos, ordenadas de izquierda a derecha desde la 1er ranura hasta la 6ta ranura, en ejemplo la primer ranura con variación de 34 a 48 milésimas con las mejoras implementadas, mientras que la primer ranura sin mejora con una variación de 36 a 60 milesias de pulgada. Y así con el resto de las ranuras.

Concluimos con esta grafica de cajas (figura 19) que la media de los datos para las ranuras hechas con las mejoras implementadas se reduce significativamente.

Por ultimo y respecto a la hipótesis planteada en esta investigación concluimos que no se cumple, solo se pudo obtener un 37% de mejora en base a lo planteado, con un 0.92 de índice de capacidad con las mejoras implementadas como se muestra en la figura 20.

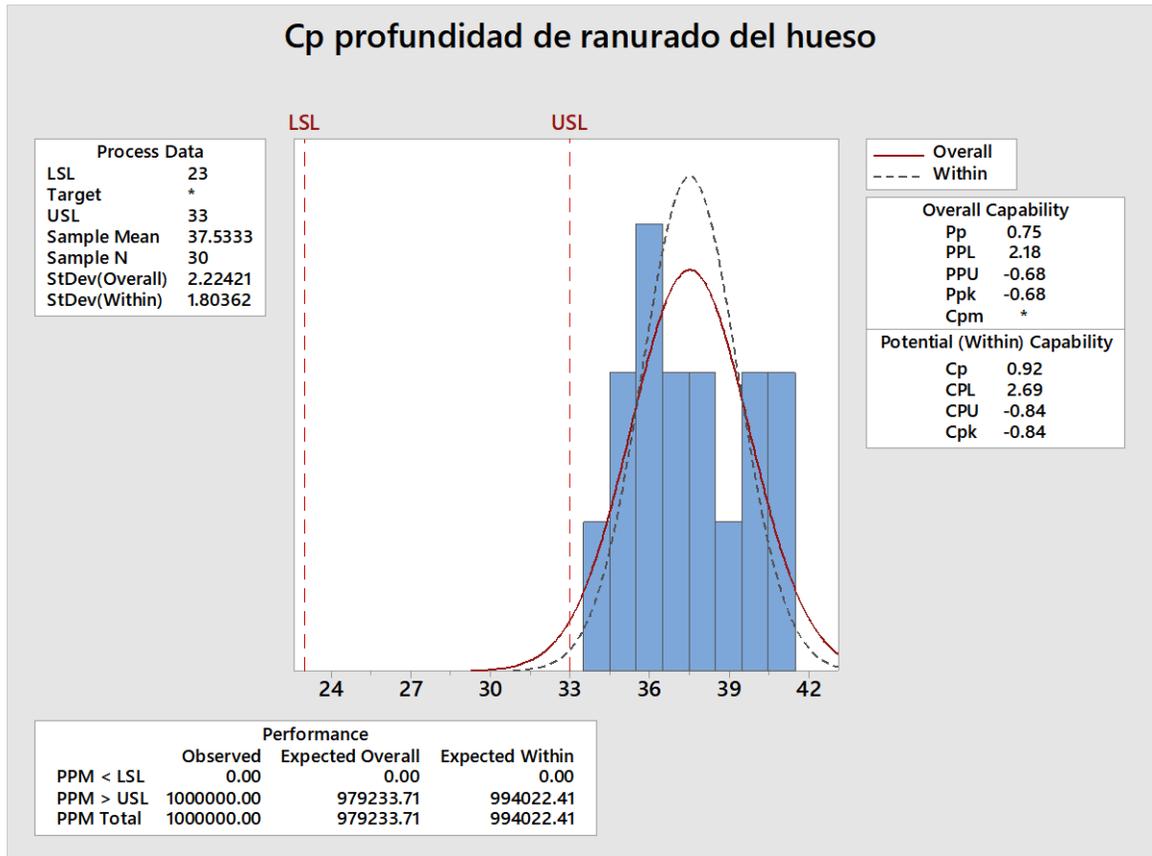


Figura 20. Grafica de capacidad de proceso del ranurado de hueso en maquina semiautomatizada, donde refleja un índice de 0.92 de Cp, con una media de 37.53, de una muestra de 30 datos.

En base a la variación persistente se agregó un sistema de lectura lineal digital a la máquina (Figura 21) para ayudar visualmente a la operación de hacer el ajuste del cero de trabajo, pero esto no mejoro el C_p , solo ayudó a tener control con los cambios de modelos o discos que pierden filo, ajustando la profundidad del ranurado cuando se sale de control, pero es solo reactivo no predictivo.



Figura 21. Fotografía donde ilustra un sistema de lectura lineal digital, incorporado a la maquina semiautomatizada.

Capítulo 5. Conclusiones

En base a los resultados en la comprobación de las mejoras implementadas concluimos las variables propuestas en esta investigación si influyen en la profundidad de las ranuras, y es posible reducir la variación si se procesan los cuellos bajo las siguientes dos consideraciones previas a ser ranurados:

1. Cuellos rectos.
2. Sin barniz en los trastes.

Los procesos de enderezar los cuellos para dejarlos rectos y eliminar el barniz en los trastes ya se consideran parte de la operación en el área de pulido de cuellos, pero en procesos posteriores al ranurado, por ello se sugiere realizar un cambio en el flujo actual donde estos procesos estén previos al el ranurado de hueso.

Con respecto al objetivo de la investigación, fue posible rediseñar la máquina para minimizar la variación en la profundidad, reduciendo a un 1.5% los defectos atribuidos a esta operación en este año, 2019, al inicio de esta investigación declaramos que, en el año 2017, teníamos el 13% de defectos atribuidos al ranurado de hueso, finalizando con una mejora del 88%.

La capacidad del proceso (C_p) en la maquina semiautomatizada mejoro de 0.55 a 0.92 de índice de capacidad, no siendo satisfactoria la hipótesis, solo mejorando un 37% de índice de capacidad con las mejoras implementadas sugeridas.

Se recomienda llenar un grafico de control durante un periodo de 3 meses, donde se registre cada 10 ciclos la profundidad del ranurado, para continuar llevando registro de la repetibilidad de los sistemas implementados, se anexa un gráfico ya diseñado con los limites inferiores y superiores, (Figura 2), en este grafico esta anexado una lista de acciones que se tiene que seguir en caso de salirse de control más de 2 ciclos.

Analizando los datos y los gráficos de cajas observamos que existe variación entre ranuras, una posible causa que nunca se comprobó es si el filo y las posiciones de los discos de corte influyen, en el caso de los discos tienden a perder filo con su uso o mejor conocido con los ciclos de corte, y esto puede reflejarse en que aumente el esfuerzo en la zona de corte provocando deformaciones.

La otra causa son las posiciones de los discos en el sistema de fresado de la máquina, recordemos que las ranuras deben de conservar una curvatura axial respecto al diapasón, puede existir la razón de que las dimensiones de los discos ya sea por desgaste no estén permitiendo reducir hasta el momento la variabilidad para llegar a más de 1.00 en el índice de capacidad.

Lista de referencias bibliográficas

- Academia de Ingeniera de México. (2017, noviembre). Ingeniería de Manufactura en el siglo XXI. Recuperado 12 mayo, 2019, de http://www.ai.org.mx/sites/default/files/ingenieria_de_manufactura.pdf
- Brune, M.E. (2005). Classic Instruments: James Ashborn, Innovative Entrepreneur. Vintage Guitar, April.
- Cascade Hardwood Grupo. (2018). Alder Wood. Recuperado 31 agosto, 2018, de <http://www.cascadehardwood.com/our-resources>
- Ecoesmas. (s.f.-b). Diario de la Construcción. Recuperado 4 septiembre, 2018, de <https://www.diariodelaconstruccion.cl/es-la-madera-realmente-un-material-sustentable/>
- French, R. M. (2009). Engieneering the Guitar. Indiana, Estados Unidos.
- French, R. M. (2012). Tecnology of the Guitar. Indiana, Estado Unidos.
- GIL BERCERO, J., BARROSO HERRERO, S., & CAMACHO LÓPEZ, A. (2010). Introducción al conocimiento de los materiales y a sus aplicaciones. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=2b558cn2jscC&pg=PA24&dq=densidad+de+los+materiales&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwir8cS6zIrfAhXKhFQKHfrfBYMQ6AEIUjAH#v=onepage&q=densidad%20de%20los%20materiales&f=false>
- Granludo, G. (2018, 7 octubre). Los trastes de la guitarra [GuitarPedia]. Recuperado 5 junio, 2019, de <https://aprendizdeluthier.com/los-trastes-de-la-guitarra-guitarpedia/>
- Groover, M. I. K. E. L. L. P. (1997). Fundamentos de Manufactura Moderna. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=tcV0l37tUr0C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Guitarraviva, G. V. (2018, 16 abril). El Alma de la Guitarra: Ajuste del mástil - guitarraviva. Recuperado 10 junio, 2019, de <https://www.guitarraviva.com/tutoriales/ajuste-del-alma-guitarra-mastil/>

Humberto G.P. (2013). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma, México D.F.

Humberto Gutiérrez Pulido, H. G. P., & Román de la Vara Salazar, R. V. S. (2013). Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma. México, México: Pearson.

José C.T. (2012). La Guitarra En La Lutheria. Malagueña, España.

José G.C. (1983). Construcción de la guitarra en 100 pasos, CD México.

Juan C.A. (2011). Medición de Altura en la Cejuela, Málaga, España.

Lucero Zapata, L. Z. (2018, 1 noviembre). Diseño mecánico (Ing. Mecánica). Recuperado 11 junio, 2019, de <https://www.definicion.xyz/2018/06/disenio-mecanico-ing-mecanica.html>

Lucidchart. (s.f.). What is a Flowchart. Recuperado 30 mayo, 2019, de <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-flujo>.

Produccion en masa - Cristian Reyes - Administración de Operaciones 1, C. R. (s.f.). Produccion en masa - Cristian Reyes - Administración de Operaciones 1. Recuperado 11 junio, 2019, de <https://sites.google.com/site/ittreyescristiano1/produccion-en-masa>

T.M.Kbian, T. M. K., & Donald W. Benbow, D. W. B. (2016b). The Certified Six Sigma Black Belt Handbook. Estados Unidos: ASQ Quality Press.

Anexos

Anexos ubicados por confidencialidad en un servidor de la empresa manufacturera de guitarras eléctricas, en el folder dedicado al departamento de ingeniería, en la siguiente liga:

\\FMICEFS\INGENIERIA\INGENIERIA DE PROCESOS\INGENIERIA
DESARROLLO\9 ED\HUESITO RANURADO EN ED9