

**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 de plantilla de alimentación y alineación para maquinado de cavidades.**

Tesis

Para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias de la Ingeniería e Innovación.

Presenta:

**Aldo Mata Martínez**

Directora:

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

Ensenada, Baja California, México  
**2019**

---

Tesis defendida por  
**Aldo Mata Martinez**

y aprobada por el siguiente Comité

---

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

Miembros del comité

---

XXXXXXXX

---

XXXXXXXXXX

---

**MC Amanda Georgina Nieto Sánchez**  
Coordinador del Posgrado

---

**Dra. Dalia Holanda Chávez García**  
Directora de Escuela de Ingeniería

**Aldo Mata Martinez ©2019**

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

## Resumen

Resumen de la tesis que presenta **Aldo Mata Martinez** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ingeniería e innovación con especialidad en diseño y sistemas de manufactura.

### **Diseño de plantilla de alimentación y alineación para maquinado de cavidades.**

Resumen aprobado por:

**Dra. Dalia Holanda Chávez García**

En la búsqueda constante de mejorar la capacidad de los procesos debido a la competitividad generada por el desarrollo global, motiva a las empresas a que persigan constantemente a través de la innovación del capital humano la mejora continua de sus procesos, con el propósito manufacturar productos de alta calidad, reducir costos de manufactura aumentando la productividad y prestigio de la marca Fender.

En esta investigación se diseñó una plantilla de alineación y alimentación para el maquinado de las cavidades de un cuerpo utilizado en un instrumento musical, así como el diseño de la estructura de los programas para el centro de maquinado, considerando el cero de trabajo en la cara superior del cuerpo, esto con el fin de reducir la variabilidad en el maquinado.

Para el diseño se basó en la metodología *Design thinking* que consiste en empatizar, idear, probar y validar. debido a que para Instrumentos musicales Fender la prioridad es la seguridad de sus colaboradores, como el proceso comienza con una comprensión de las necesidades de los usuarios implicados en la solución que estamos desarrollando y también de su entorno.

Se obtuvo un mecanismo amigable con el usuario, que cumple con la especificación de tolerancia de 0.005". sin incurrir en el tiempo de ciclo de las unidades. Como resultado

adicional la estandarización del código del programa de maquinado de los instrumentos musicales.

**Palabras clave:** Plantilla, diseño mecánico, usuario, Materiales, maquinado, Ciclos.

## **Abstract**

Abstract of the thesis presented **by Aldo Mata Martinez** as a partial requirement to obtain the Master of Engineering & Innovation degree in Design & Manufacturing Systems.

### **Feeding and alignment template design for cavity machining.**

Abstract approved by:

---

**Dra. Dalia Holanda Chávez García**

In the constant search to improve the capacity of the processes due to the competitiveness generated by global development, it motivates companies to constantly pursue through the innovation of human capital the continuous improvement of their processes, with the purpose of manufacturing products of High quality, reduce manufacturing costs by increasing the productivity and prestige of the Fender brand.

In this investigation I designed an alignment and feeding template for the machining of the cavities of a body used in a musical instrument, as well as the design of the structure of the programs for the machining center, considering the zero of work on the upper face of the body, this in order to reduce the variability in the machining.

For the design it was based on the Design thinking methodology because for Fender Musical Instruments the priority is the safety of its employees, as the process begins with an understanding of the needs of the users involved in the solution we are developing and of their environment.

A user-friendly mechanism was obtained, which complies with the tolerance specification of 0.005". without incurring the cycle time of the units. As a result

additional standardization of the code of the program of machining of musical instruments.

**Keywords:** Template, mechanical design, user, Materials, machining, Cycles.

## **Dedicatoria**

Mi tesis la dedico a hija, por ser mi motor, mi constante fuente de inspiración en los momentos más difíciles, ella fue la luz que me guió aun lugar donde encuentro paz, por ser la fuerza que me mantiene de pie, ella es la esperanza de mi alma, en el momento que la mire, me robo el corazón.

A mis hermanos, por siempre estar cuando los he necesitado, por estar a mi lado y apoyarme.

A mis compañeros de vida, con los cuales compartir experiencias, con los que me queje y exprese mis frustraciones, tristezas y sobre todo alegrías.

## **Agradecimientos**

A mi hija, que, con su amor incondicional y su forma de mirarme, como su super héroe, me motiva ser mejor persona y tratar de heredarle un mundo mejor. Tratando de que nunca pierda la sonrisa y la admiración al hablar de mí.

A mi familia, porque sé que, aunque estemos lejos todos los días me tienen en sus pensamientos.

A la empresa Fender, por permitirme cursar este programa, compañeros por su apoyo en este tiempo.

A CONACYT, ya que gracias al programa de Beca Industria tuve la oportunidad de cursar un posgrado sin dejar de trabajar.

A mi Asesora de maestría Dra. Dalia Holanda Chávez, con su disciplina, entrega y pasión por su trabajo, me motivo a continuar. fueron la fuerza que me ayudo a levantarme y seguir caminado hacia mi meta.

a mi coordinadora M.C. Amanda Nieto, por que sus palabras de aliento, comprensión y sonrisa fueron vitales para dar el ultimo esfuerzo.



# Índice

Resumen .....	4
Capítulo 1: Antecedentes.....	10
1.1 Introducción.....	10
1.2 Antecedentes.....	11
1.3 Planteamiento del problema .....	12
1.4 Preguntas de investigación: .....	13
1.5 Objetivo General.....	13
1.6 Objetivos Específicos .....	13
1.7 Hipótesis .....	13
1.8 Justificación .....	13
Capítulo 2: Marco teórico.....	15
2.1 Características de la madera Alder .....	15
2.2 Cuerpos: Guitarra, bajo y telecaster .....	17
2.3 Diseño asistido por computadora .....	18
2.4 Neumática.....	21
2.4.1 Características de los fluidos: Aire.....	22
2.5 Análisis de esfuerzos .....	23
2.6 Tecnología de materiales CES.....	24
2.7 Diseño robusto.....	25
2.8 Análisis ergonómico.....	26
2.9 Metodología: Design thinking.....	26
Capítulo 3: Metodología.....	30
3.1 Planeación.....	30
3.2 Empatía.....	30
3.3 Definir.....	31
3.4 Generar ideas .....	31
3.5 Prototipado .....	31
3.6 Evaluar.....	32
3.7 Planeación.....	33
3.8 Empatía.....	34
3.9 Definición del diseño:.....	35
3.10 Idear .....	35
3.11 Prototipo .....	36
Capítulo 4. Evaluación y análisis resultados. ....	38

4.1 Diseño final del mecanismo de alineación y alimentación.....	38
4.2 Análisis de elemento finito.....	40
4.3 Análisis de Suzanne Rodgers .....	43
4.4 Análisis de capacidad .....	44
4.5 Prueba de Hipótesis .....	45
4.6 Análisis de tendencia de defectos.....	46
4.7 Evaluación de la estructura de los programas de corte.....	47
Capítulo 5. Conclusiones.....	49
Referencias bibliográficas .....	51

## Lista de figuras

<b>FIGURA 1:</b> DIAGRAMA DE PARETO DEFECTOS, CRÓNICOS INSTRUMENTOS MUSICALES FENDER 2018	14
<b>FIGURA 2:</b> CARACTERÍSTICAS DE ÁRBOL DE ALDER, (CASTILLO 2018)	16
<b>FIGURA 6:</b> PROCESO DEL DISEÑO (R.G, 2008)	19
<b>FIGURA 7:</b> ESQUEMA GENERAL DE UN SISTEMA CAD (TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS DE MANUFACTURA,2009)	21
<b>FIGURA 8:</b> SISTEMA NEUMÁTICO, CREUS, S. A. (2007). NEUMÁTICA E HIDRÁULICA, 2009. 24	23
<b>FIGURA 9:</b> NIVELES EN EL SOFTWARE CES EDUPACK ( <a href="https://grantadesign.com/es/education/ces-edupack/">HTTPS://GRANTADESIGN.COM/ES/EDUCATION/CES-EDUPACK/</a> HTM 01 MARZO 2019)	25
<b>FIGURA 10:</b> MODELO DE NECESIDADES (R.G, 2008)	27
<b>FIGURA 11:</b> ETAPAS DE METODOLOGÍA (R.G, 2008)	28
<b>FIGURA 12:</b> METODOLOGÍA USADA EN EL PROYECTO. ELABORACIÓN PROPIA	33
<b>FIGURA 13:</b> DIAGRAMA DE GANTT. ELABORACIÓN PROPIA	34
<b>FIGURA 14:</b> MODELO DE KANO DEL MECANISMO. ELABORACIÓN PROPIA	34
<b>FIGURA 15:</b> QDF PARA EL DISEÑO DEL MECANISMO DE MONTAJE. ELABORACIÓN PROPIA	35
<b>FIGURA 16:</b> RESULTADOS DE WORKSHOP. ELABORACIÓN PROPIA	36
<b>FIGURA 17:</b> TABLA DE PROPIEDADES MECÁNICAS ALUMINIO 6061. CES EDUPACK.	37
<b>FIGURA 18:</b> PROTOTIPO DE MECANISMO. ELABORACIÓN PROPIA	38
<b>FIGURA 19:</b> VISTA SUPERIOR MODELO 3D DE MECANISMO. ELABORACIÓN PROPIA.	39
<b>FIGURA 20:</b> VISTA SUPERIOR MODELO 3D DE MECANISMO. ELABORACIÓN PROPIA.	40
<b>FIGURA 21:</b> MODELADO DE LA MALLA GRUESA. SOLIDWORKS 2019	40
<b>FIGURA 22:</b> ELECCIÓN DE ALUMINIO 6061. SOLIDWORKS 2019	41
<b>FIGURA 23:</b> ELEMENTOS DE CONTACTO DE LA ESTRUCTURA, SOLIDWORKS 2019	41
<b>FIGURA 24:</b> FUERZA DE 1217 <sub>N</sub> EJERCIDA A LA TAPA DE LA ESTRUCTURA. SOLIDWORKS 2019	42
<b>FIGURA 25:</b> FUERZA EJERCIDA EN EL PIN DE SUJECIÓN DE LA ESTRUCTURA. SOLIDWORKS 2019	42
<b>FIGURA 26:</b> RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE ELEMENTO FINITO: SOLIDWORKS 2019	43
CON EL USO DEL MECANISMO SE OBTUVIERON LOS SIGUIENTES RESULTADOS (VER FIGURA <b>28</b> ). LA OPERACIÓN TENÍA UNA PONDERACIÓN DE 332 A 93. ESTO SIGNIFICA QUE REDUCE EL RIESGO DE UN ACCIDENTE DE NEGRO “MUY ALTO” A VERDE “BAJO”.	44
<b>FIGURA 29:</b> GRAFICA DE CPK DE PROCESO DE MAQUINADO DE CAVIDAD NP. ELABORACIÓN PROPIA	45
<b>FIGURA 30:</b> MEDICIONES DEL ANCHO DEL BUTT DEL MODELO STRATOCASTER, ELABORACIÓN PROPIA.	46
<b>FIGURA 31:</b> GRAFICA DE TENDENCIA DE PORCENTAJE DE RECHAZO DE UNIDADES POR DEFECTO EN EL NP. ELABORACIÓN PROPIA	47
<b>FIGURA 32:</b> ESTRUCTURA DE PROGRAMA MADRE DE MODELO STRAT2018. ELABORACIÓN PROPIA	48

# Capítulo 1: Antecedentes

## 1.1 Introducción

En el año de 1987 se abrió una nueva empresa en la ciudad de Ensenada Baja California, debido al favorable clima y la mano de obra de buena calidad a bajo costo, donde comenzó la fabricación de cuerdas para guitarras, estas cuerdas eran hechas de cable de acero enrollado, donde la materia prima era importada de Estados Unidos, una vez transformado este cable en cuerda se exportaba de nuevo al extranjero. En los siguientes años, viendo oportunidades de crecimiento, la fábrica se expandió con una línea de productos de amplificadores para guitarras, contruidos de madera de una especie de pino sólido. Con la experiencia obtenida sobre la industria de la transformación en la madera comenzaron a construir instrumentos musicales como guitarras y bajos de la más alta calidad, utilizando maderas sólidas de una sola pieza, esto generó a la fábrica la necesidad de contar con su propia área productiva de corte y selección de tablones de madera para formar el cuerpo del instrumento musical, esto desde el año 2011.

La madera es un magnífico material para su utilización en construcción, su uso, además de colaborar de manera sostenible, es muy versátil, pudiéndose realizar desde estructuras hasta elementos de decoración, en el caso de la empresa guitarrera, se utiliza este recurso para la producción de cuerpos de modelos como telecaster, guitarras y bajos. Los instrumentos musicales de guitarras eléctricas llevan componentes montados, para los cuales es necesario maquinarse cavidades con formas irregulares y de profundidades específicas. Actualmente las cavidades son maquinadas después del proceso de pintura, en un centro de maquinado (CNC) debido a que la aplicación de pintura en el cuerpo es manual, existe una variación normal del proceso en el grosor del cuerpo y como el cero de trabajo de los programas de maquinado es en la parte inferior del mismo, esta variación afecta la profundidad de las cavidades. La guitarra está conformada principalmente por cuerpo, cuello, cuerdas, componentes eléctricos y llaves. La problemática es que existe una variación de  $\pm 0.025$ " en la profundidad de las cavidades y en dimensiones críticas. Para resolver esta situación el equipo de ingeniería desarrolló un mecanismo para cambiar el cero de trabajo en la cara superior del cuerpo y de esta manera mejorar la calidad del corte de las cavidades.

## 1.2 Antecedentes

La primera guitarra eléctrica producida en serie fue la Fender *Broadcaster* (*Llamada más tarde Telecaster*), comercializada en 1950. Su fabricante era Leo Fender, propietario de la "Fender Electrical Instrument Company", por su nombre en inglés, dedicada a la fabricación de guitarras eléctricas y amplificadores. Debido al éxito obtenido en las ventas, en 1954 fabricó otro modelo, probablemente el más famoso de toda la historia de las guitarras eléctricas, la Stratocaster. (Giraldez, 2005)

Los cuerpos de las guitarras eléctricas se suelen construir en Alder. El cuello es de arce o palorrosa y va atornillado al cuerpo de la guitarra. Para incorporar los componentes eléctricos es necesario que el cuerpo de la guitarra tenga cavidades de ciertas profundidades las cuales son determinadas por el tamaño del componente.

El primer paso del proceso de fabricación es obtener el tablón con las dimensiones adecuadas para fabricar el cuerpo de la guitarra, normalmente es formado por dos tablones. Inicialmente debido a que el cuerpo del instrumento tiene una peculiar forma, el perímetro era marcado con un lápiz para seguir la línea trazada con una sierra cinta utilizando la habilidad y destreza del luthero. (Giraldez, 2005). El cortar una geometría con tal número de radios y diferencia de volumen requiere de mucha habilidad y destreza. Las imperfecciones del corte son corregidas en la operación de lijado de perímetro, cuernos y superficies del cuerpo musical, el tiempo de ciclo es relacionado con la calidad del corte.

Los componentes eléctricos es una situación para resolver en la operación de corte de cavidades. La pastilla, el puente, los controles y el Jack de salida necesitan ser instalados en diferentes geometrías, el router manual es una de las herramientas que fue utilizada para realizar esta operación con todos los problemas de calidad que una operación manual conlleva falta de profundidad, un porcentaje 25% de repetibilidad y el más importante para la industria un tiempo de ciclo elevado. Los colores y acabados en un instrumento musical juegan un papel crucial para competir en el mercado y ser del agrado de los clientes finales. El cuerpo y el cuello llevan procesos similares, aplicación de una capa de sellado, color y proceso de pulido.

Para el proceso de maquinado de cavidades de producción masiva fueron incorporadas la tecnología de control numérico, fue la primera aplicación del auxilio de manufactura computarizada (CAM), la aplicación de tecnología de proceso de información a la

tecnología de automatización industrial. La maquina herramienta de control numérico original fue desarrollada por contrato de la fuerza aérea por el Instituto de Tecnología de Massachussets (*MIT*) en el laboratorio de servomecanismos militar para producir frecuentes y muy complejas partes modificadas en base a emergencias.

Normalmente para poder maquinar alguna pieza en la maquina herramienta de control numérico los mecanismos de sujeción son cruciales para asegura la calidad del maquinado. El diseño, simulación de esfuerzos y desplazamientos utilizando Solidworks demuestra que podía soportar tensiones, compresiones y resistencias de rendimiento del material utilizado para la fabricación. (Olayinka Olabanji, 2016)

### **1.3 Planteamiento del problema**

Los cuerpos de instrumentos musicales de guitarras eléctricas llevan componentes montados para los cuales es necesario maquinar cavidades con formas irregulares y profundidades específicas. Actualmente el mecanismo de sujeción del cuerpo a la bancada la fresadora de control numérico (*CNC Center numerical control*, por su significado en inglés) es por medio de vacío, considerando el cero de trabajo en la cara inferior del cuerpo, el cero de trabajo es el origen de la pieza a maquinar.

Una guitarra eléctrica está conformada principalmente por el cuerpo, cuello, cuerdas, componentes eléctricos y llaves. El cuerpo y el cuello se unen mediante una cavidad *Neck Pocket (NP. caja de cuello por su significado en español)*. Existe una dimensión crítica, que es el ancho de la cavidad ( $2.21" \pm 0.015"$ ) debido a que dicha cavidad es cortada al inicio del proceso por una *CNC* antes de ser pintada. Esta pintura se acumula en la cavidad y es necesario remover el exceso de pintura para asegurar el ensamble. La operación de limpieza es realizada con un enrutador manual, por lo tanto, existe variación en esta dimensión crítica, provocando rechazos por hueco mayor a  $0.015"$  entre el cuerpo y cuello.

La problemática es que existe variación de  $\pm 0.025"$  en las profundidades de las cavidades maquinadas y en las dimensiones críticas, el método y mecanismo actual no cumplen con las especificaciones, representan un riesgo para la seguridad del operador.

Lo que nos lleva a plantear las siguientes preguntas de investigación

## 1.4 Preguntas de investigación:

¿Si se reajusta el cero de trabajo del programa de la *CNC*, que usualmente es en la parte inferior, a la parte superior, se podrá garantizar la profundidad deseada de las cavidades en el cuerpo de la guitarra?

¿Si la plantilla utilizada para colocar el cuerpo de la guitarra es ahora semiautomatizada, garantiza una correcta realización de la cavidad en el cuerpo con la *CNC*?

## 1.5 Objetivo General

- ❖ Diseñar y fabricar un mecanismo que mantenga la integridad del operador cumpliendo con las especificaciones de maquinado de cavidades en cuerpos de madera, utilizados en guitarras eléctricas fabricados en instrumentos musicales Fender.

## 1.6 Objetivos Específicos

- ❖ Reducir la variación de  $0.025''$  a  $0.005''$  en el maquinado de las cavidades.
- ❖ Mantener el métrico de accidentes del proceso en  $0\%$ .
- ❖ Mantener en 7 minutos el tiempo de ciclo de la operación.
- ❖ Reducir el riesgo de atrapamiento del operador al introducir el cuerpo en el mecanismo.

## 1.7 Hipótesis

H1: Cambiar el cero de trabajo de los programas de *CNC* a la cara superior de los cuerpos reduce la variabilidad en el maquinado de las cavidades.

## 1.8 Justificación

Una guitarra eléctrica está conformada principalmente por el cuerpo, cuello, cuerdas, componentes eléctricos y llaves. El cuerpo y el cuello se unen mediante una cavidad *Neck Pocket*. Existe una dimensión crítica, que es el ancho de la cavidad ( $2.21'' \pm 0.015''$ ) debido a que dicha cavidad es cortada al inicio del proceso por una *CNC* antes de ser pintada. Esta pintura se acumula en el área y es necesario remover el exceso de pintura para asegurar el ensamble. En el gráfico de la que se presenta en la Figura 1 se muestra el porcentaje (1.1%) de recurrencia del problema en el *Neck Pocket*.

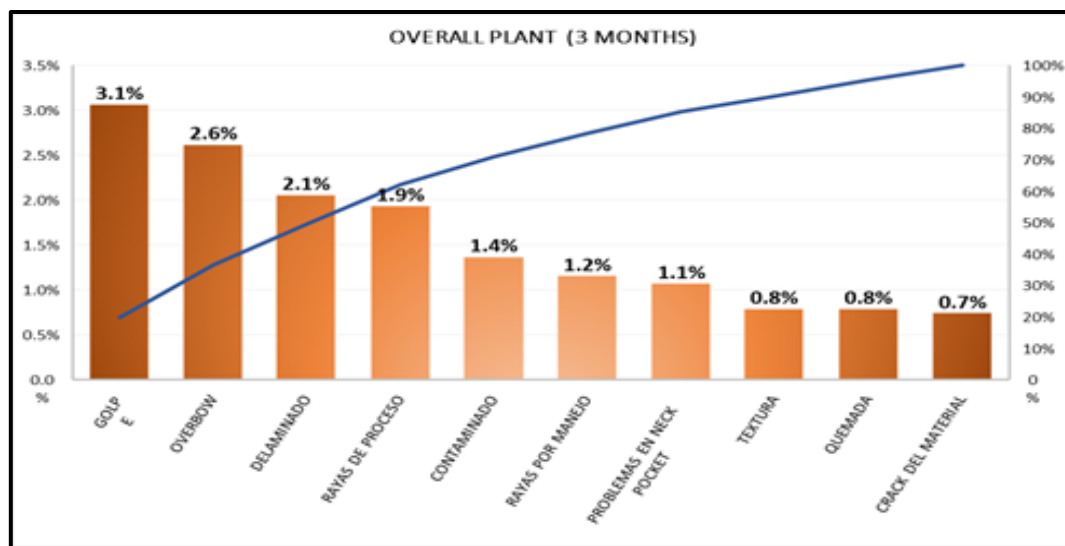


Figura 1: Diagrama de Pareto defectos, crónicos Instrumentos musicales Fender 2018

La operación de limpieza es realizada con un enrutador manual, por lo tanto, existe variación en esta dimensión crítica, provocando rechazos por hueco mayor a  $0.015''$  entre el cuerpo y cuello.

Con el mecanismo actual, existen problemas ergonómicos y debido a que la primera prioridad de la organización es la seguridad de los trabajadores, el diseño de un mecanismo seguro, que garantice la repetibilidad y mejore la calidad sin afectar el tiempo de ciclo es primordial.



## **Capítulo 2: Marco teórico**

### **2.1 Características de la madera Alder**

La madera Alder también conocida como Alder rojo o aliso americano, *tiene el nombre científico de Alnus Rubra*. Las guitarras fabricadas en instrumentos musicales Fender están construidas con madera tipo Alder, las consideraciones de los árboles Alder que son utilizados para extraer la madera al ser talados y aprovechar al máximo su tronco son dos: la altura del árbol y el diámetro de su tronco. Las dimensiones típicas promedio son de 70 a 120 pies de altura y entre 0.83 y 2.83 pies de diámetro en la base del tronco. Su óptimo aprovechamiento con respecto al volumen en pies cúbicos de madera obtenidos se logra entre los 17 y 27 años del árbol.

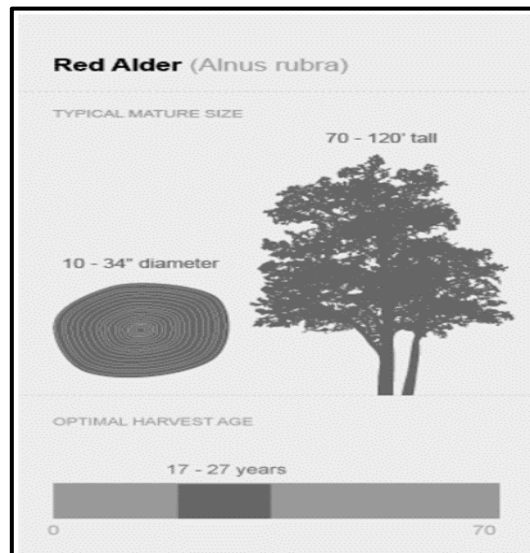


Figura 2: Características de árbol de Alder, (Castillo 2018)

El Alder es una de las pocas especies de árboles de madera dura que se puede cultivar para producir madera de calidad en un tiempo relativamente corto que va de los 17 años en adelante, pero rara vez mayor de 60 años, y generalmente decadente a los 40 años.

La especie se produce a elevaciones de hasta 3.000 pies y por lo general debajo de 1,500 pies, algo que principalmente restringe su rango de crecimiento es la baja precipitación y bajas temperaturas de invierno. En la figura 2 son mostradas algunas características de los árboles de Alder.

El Alder es una madera dura "pionera" intolerante que requiere luz solar plena, así como humedad para su regeneración y buen crecimiento. Se obtiene una producción de siembra prolífica de semillas viables que comienza a la edad de 3 a 4 años, los rodales jóvenes pueden producir hasta 5 millones de semillas por acre.

En términos generales, su tronco es lo suficientemente maduro como para ser cosechado cuando el árbol llega en promedio a 0.66 pies de diámetro y 32 pies de altura (no ramas, solo tronco), suponiendo un crecimiento promedio de 1 pulgada de diámetro por 10 pies de altura, esto equivale a un diámetro del tronco promedio a la altura del pecho (*Dbh*) de aproximadamente 1 pie.

Para maximizar el rendimiento de la madera a largo plazo, se tiene que cosechar los árboles cuando la media anual el cremento (*MAC*) y el cremento Anual Periódico (*PAC*) se reúnen, llamado biomasa del árbol (madera); esto se conoce como la edad el biológica

de rotación. El Crecimiento Anual Medio se refiere al crecimiento promedio por año que un árbol o tronco exhibe a una edad específica. Por ejemplo, un árbol de 50 años con un diámetro a la altura del pecho del ser humano en el tronco de 30 pulgadas tiene un MAC de .6 pulgadas / año. El Incremento anual periódico es simplemente el crecimiento de un año específico.

Para el patrón de crecimiento de Alder típico, MAC, comienza de pequeña edad, aumenta a un valor máximo conforme el árbol madura, luego declina lentamente por el resto de la altura del árbol. Carlos Alfonso Devia Castillo, C. A. D. C. (1997, 22 septiembre). (Castillo, 2018)

## 2.2 Cuerpos: Guitarra, bajo y telecaster

El proceso de producción de cuerpos inicia con el corte de 3 barrotes, los cuales dependiendo de calidad, color y tipo de beta son seleccionados para ser unidos y formar un tablón de x medida. Los tabloncillos pueden ser observados en la figura 3.



Figura 3. Tabloncillos de madera Alder para fabricar el cuerpo de una guitarra (Proceso Instrumentos musicales Fender)

Una vez que tenemos la materia prima del cuerpo, dependiendo de la calidad, es seleccionado para el tipo instrumento musical y color que será fabricado. Debido a que las formas de todos los instrumentos musicales son geoméricamente complejas, es utilizada una máquina de control numérico para maquinarse las cavidades y el contorno de este. Ver figura 4.



Figura 4 Cuerpo de instrumento musical a nivel Mills (proceso Instrumentos musicales Fender)

El cuerpo del instrumento musical es lijado para dar el acabado en el contorno y limar los filos del corte de CNC. El último paso del proceso de sellado de cuerpos es la aplicación de gel ultravioleta (*UV*). El cual consiste en aplicar capas del gel para cubrir las imperfecciones de la madera. Es una operación manual, por lo tanto, tienen muchas variables las cuales actualmente no podemos medir o controlar, el gel ultravioleta es aplicado con una espátula de plástico, y con un trapo. Al cubrir la superficie del cuerpo de la guitarra, la siguiente operación es solidificar el gel ultravioleta (*UV*) este es realizado en una máquina de rayos ultravioleta la cual ayuda a solidificar dicho material. Esto requiere un tiempo de 30 segundos aproximadamente. Al concluir este proceso las unidades son inspeccionadas y enviadas al siguiente proceso. *Ver figura 5.*



Figura 5 Aplicación de gel ultravioleta (Proceso instrumentos Musicales Fender)

## 2.3 Diseño asistido por computadora

El uso del diseño asistido por computadora en la ingeniería tiene una amplia gama de aplicaciones como son: diagramas de varios tipos, eléctricos, neumáticos, hidráulicos,

gráficos estadísticos, representación de piezas para el diseño y fabricación, representación tridimensional de modelos dinámicos, análisis de elemento finito y aplicaciones de realidad virtual.

En ingeniería, el diseño es el proceso de producir ideas para el desarrollo de la solución de un problema, para lograrlo se requiere aplicar los conocimientos, recursos y herramientas existentes. En la Figura 6 se muestra un diagrama basado en el proceso de diseño.

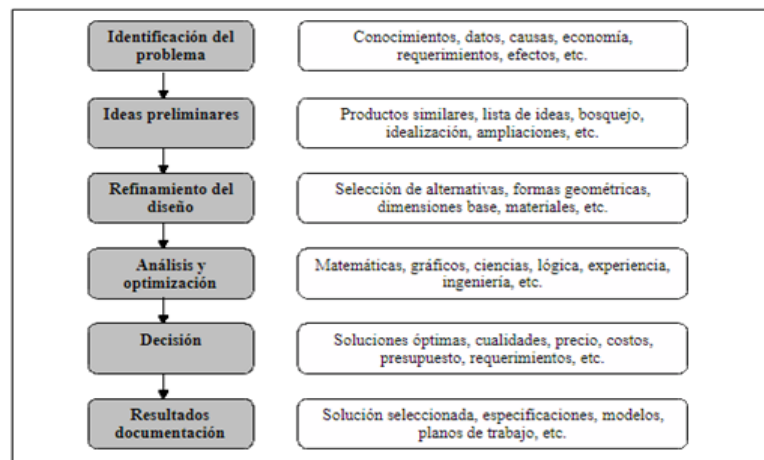


Figura 6: Proceso del diseño (R.G, 2008)

Es posible dividir el diseño en dos grandes áreas: diseño de productos y diseño de procesos. A lo largo del diseño de alguno de los anteriores, el equipo dedicado a realizarlo debe emplear principios de ingeniería y llevarlo a cabo en base a las restricciones tanto de presupuesto, legales, funcionalidad, etc., además de solicitar los requerimientos del cliente, materiales, capital humano, entre otros.

Los modelos tridimensionales que se crean con el diseño asistido por computadora son:

- ✓ **Wireframe:** (esquema de página, por su significado en español) se representa con vértices y aristas.
- ✓ **De superficie:** visualización de superficies utilizando control numérico.
- ✓ **Sólidos:** se emplea análisis de ingeniería, se atribuyen propiedades y se utilizan para el análisis de elemento finito.

Cuando se obtiene el modelo, debe representar la realidad de la mejor manera para que después se puedan aplicar métodos matemáticos y de esta manera obtener resultados

numéricos útiles para su análisis. El diseñador debe tener la habilidad para determinar si el modelo diseñado cumple con el criterio, además de ser capaz de leer el dibujo, comprenderlo (forma, tamaño, entre otros) para su fabricación. El sistema *CAD* (*Computer aided design, por sus siglas en ingles*), es un sistema informático que automatiza el proceso de diseño de algún tipo de ente, es una herramienta que lleva de la generación de un boceto a la creación y simulación del modelo.

Estructura de un sistema *CAD*.

El diseño es un proceso iterativo de definición de un ente, por tanto, el desarrollo de un sistema *CAD* se debe basar en el establecimiento de un ciclo de edición soportado por técnicas de representación del modelo, de edición y de visualización. A un nivel más concreto, un sistema *CAD* debe realizar las siguientes funciones (Bruno, 1986).

- Definición iterativa del objeto
- Visualización múltiple
- Cálculo de propiedades
- Modificación del modelo
- Generación de planos y documentación
- Conexión con *CAM*

Es difícil establecer un modelo universal de sistema de diseño. No obstante, a nivel general, y en base a las funciones a desempeñar, se puede establecer que todos los sistemas de diseño poseen al menos los siguientes componentes:

- a) **Modelo.** Es la representación computacional del ente que se está diseñando. Debe contener toda la información necesaria para describir el ente, tanto a nivel geométrico como de características. Es el elemento central del sistema, el resto de los componentes trabajan sobre él. Por tanto, determinará las propiedades y limitaciones del sistema *CAD*.
- b) **Subsistema de edición.** Permite la creación y edición del modelo, bien a nivel geométrico o bien especificando propiedades abstractas del sistema. En cualquier caso, la edición debe ser interactiva, para facilitar la exploración de posibilidades.

- c) **Subsistema de visualización.** Se encarga de generar imágenes del modelo. Normalmente interesa poder realizar distintas representaciones del modelo, bien por que exista más de un modo de representar gráficamente el ente que se está diseñando, o bien para permitir visualizaciones rápidas durante la edición, junto con imágenes más elaboradas para evaluar el diseño.
- d) **Subsistema de cálculo.** Permite el cálculo de propiedades del modelo y la realización de simulaciones.
- e) **Subsistema de documentación.** Se encarga de la generación de la documentación del modelo. (Lazo, 2006)

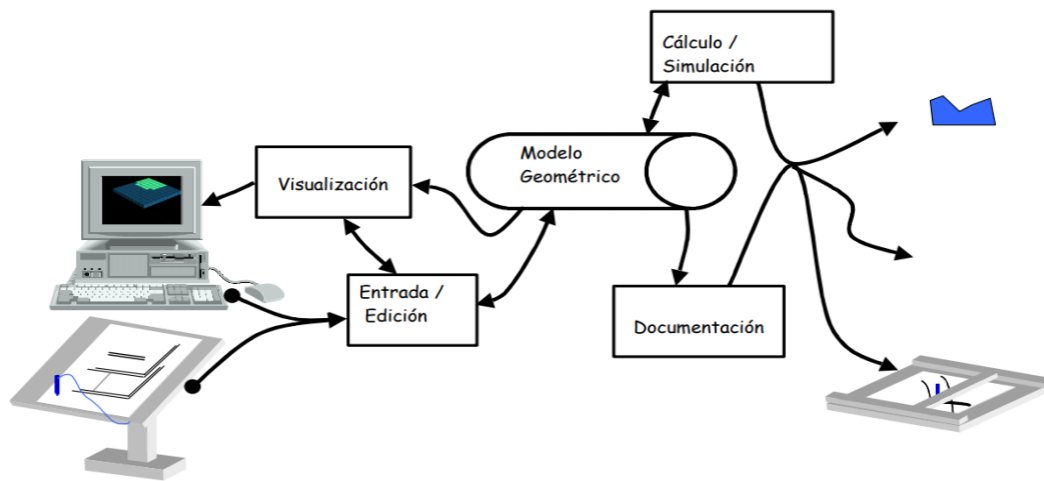


Figura 7: Esquema general de un sistema CAD (Tecnologías y sistemas de manufactura,2009)

## 2.4 Neumática

“Neumática” hace referencia al estudio del movimiento del aire, por ello, se inició el uso del viento para la navegación y en los molinos para moler grano además de bombear agua. En el año de 1950 empieza a desarrollarse ampliamente la neumática en la industria en paralelo al desarrollo de los sensores (Tecnologías y sistemas de manufactura,2009).

Los sistemas de aire comprimido brindan movimiento controlado empleando cilindros y motores neumáticos, teniendo aplicación en herramientas, válvulas de control, martillos neumáticos, pistolas para pintar, motores neumáticos, sistemas de empaquetado, elevadores, herramientas de impacto, prensas neumáticas, robots industriales, frenos neumáticos, etc.

Algunas de las ventajas que se obtienen al utilizar la neumática son:

- ✓ Bajo costo de sus componentes
- ✓ Facilidad de diseño e implementación
- ✓ Factor de seguridad
- ✓ Fácil conversión al movimiento giratorio como lineal
- ✓ Posibilidad de transmitir energía a grandes distancias

Las desventajas se pueden encontrar:

- Imposibilidad de obtener velocidades estables debido a la compresión del aire
- Altos costos de la energía neumática
- Posibles fugas que reducen el rendimiento.

La neumática necesita una estación en la cual se genere y prepare el aire comprimido. Dicha estación está conformada por un compresor de aire, un depósito, un sistema de preparación del aire (filtro, lubricador y regulador de presión), una red de tuberías para llevar al utilizador y un conjunto de preparación del aire para cada dispositivo neumático individual (ver Figura 8).

### **2.4.1 Características de los fluidos: Aire**

El aire comprimido que se emplea en la industria procede del exterior. Se comprime hasta una presión de unos 6 bares, con respecto a la presión atmosférica, y se denomina presión relativa. El aire va a contener polvo, óxidos, azufre que hay que eliminar previamente.

Presión absoluta= presión atmosférica + presión relativa (1)

La unidad de presión en el sistema internacional es el Pascal (P)

$$1 \text{ P} = 1 \text{ N/m}^2$$

#### 2.3.1 Elementos básicos de un sistema neumático

*Elementos activos:* son aquellos que comunican energía al fluido. La energía externa que se comunica al elemento activo es principalmente eléctrica o térmica.



*Compresores:* son maquinas destinadas a elevar la presión del aire que aspiran de la atmosfera. Se deben instalar en un lugar fresco y exento de polvo. En el funcionamiento de un compresor aparecen implicadas dos magnitudes:

- La presión que se comunica el aire
- El caudal que es capaz de proporcionar. El caudal es el volumen del fluido que pasa por una sección en la unidad de tiempo.

Existen dos tipos de compresores: volumétricos y dinámicos

*Refrigerador:* cuando el aire comprimido alcanza una temperatura bastante alta, es necesario refrigerarlo hasta una temperatura ambiente, a la vez que se extrae el agua que contiene el aire.

*Elementos activos:* son elementos que consumen energía, la administran o controlan.

Acumulador: deposito que se coloca después del refrigerador, su objetivo es acumular el aire comprimido para suminístralo en los momentos de mayor consumo. (Creus, 2007)

El mecanismo tendrá integrado válvulas de doble acción y cilindros de carrera simple por lo tanto es primordial conocer y entender los conceptos básicos de Neumática.

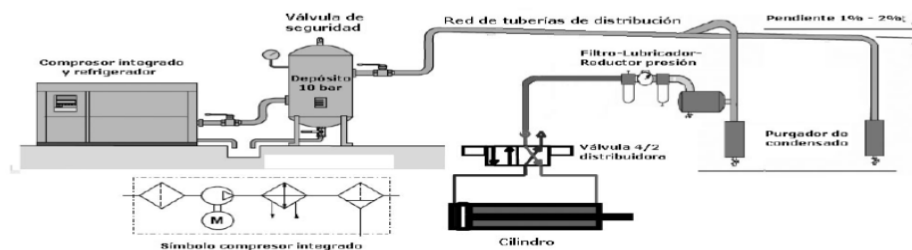


Figura 8: Sistema neumático, Creus, S. A. (2007). Neumática e hidráulica, 2009.

## 2.5 Análisis de esfuerzos

La supervivencia de una gran parte de los productos depende directamente de la forma en que el diseñador ajusta el esfuerzo inducido por la carga para que sea menor que la resistencia en un punto de interés. En pocas palabras, el diseño final debe permitir que la resistencia sea mayor que el esfuerzo por un margen considerable, para que, a pesar de las incertidumbres, las fallas no sean frecuentes.

Para obtener la “resistencia en la geometría y condición de uso” se debe enfocar en la comparación esfuerzo-resistencia en un punto crítico (controlada). La resistencia es la magnitud de esfuerzos en los que pasa un punto relevante, por ejemplo, el límite de proporcionalidad, fractura, fluencia, etc.

La resistencia es una propiedad de un material o de un elemento mecánico. Esta depende de la elección, tratamiento y procesamiento del material. Siempre es importante tener presente que “la resistencia es una propiedad inherente de una parte debido al empleo de un material y de un proceso particular”.

Existe una gran variedad de proceso de trabajo en metales y tratamientos térmicos, por ejemplo, el forjado, laminado, formado en frío, entre otros, los cuáles provocan variaciones en la resistencia de punto a punto en toda la parte. Es sumamente relevante recordar que un valor de la resistencia dado para una parte se aplica solamente a un punto en particular o en su defecto, a un conjunto de puntos en dicha parte.

El esfuerzo es una propiedad de estado en un punto específico dentro de un cuerpo, ésta es una función de la carga, geometría, temperatura y proceso de manufactura. (R.G, 2008)

Para diseñar un mecanismo deben ser conocidos los esfuerzos mecánicos a los que serán sometidos, para elegir los modos de montaje, materiales de construcción y grados de libertad.

## **2.6 Tecnología de materiales CES**

*CES EduPack* es una base de datos integral de información sobre materiales y procesos. Es un software de materiales, herramientas además de contener otros recursos didácticos que proporcionar mayor apoyo para el aprendizaje.

Esta herramienta digital se divide en tres niveles, de manera que los estudiantes accedan en un nivel adecuado para cada uno a medida que avanza su aprendizaje. El software se diseñó para apoyar en la enseñanza de niveles preuniversitarios hasta posgrado.

Trasfiere conocimiento, incluida la selección sistemática de materiales, acceso rápido a datos de materiales fiables de materiales, recursos de sostenibilidad y fabricación aditiva. Permite presentar alternativas innovadoras en la selección de materiales.

	<b>Alcance</b>	<b>Contenido</b>
<b>Nivel 1</b>	Alrededor de 70 materiales los más utilizados de las clases de los metales, los polímeros, compuestos, espumas y los materiales natural. Alrededor de 70 procesos los más utilizados.	Una descripción, una imagen del material en un producto familiar, usos típicos, y datos limitados para las propiedades mecánicas, termales, y eléctricas, usando graduaciones en su caso.
<b>Nivel 2</b>	Alrededor de 100 materiales los más utilizados. Alrededor de 110 procesos más común.	Todo el contenido del nivel 1, complementado con datos numéricos más extensos, pautas de diseño, propiedades ecológicas, y notas técnicas.
<b>Nivel 3</b>	El corazón de la base de datos contiene más de 3,000 materiales, incluyendo éstos del Nivel 1 y 2. Ediciones especialistas que cubren aeronáutica, polímeros, arquitectura e ingeniería civil, bio-materiales, y Eco-diseño, están también disponible.	Datos numéricos extensos para todos los materiales, permitiendo que los plenos poderes del sistema de la selección de CES sean desplegados.

Figura 9: Niveles en el software CES EduPack (<https://grantadesign.com/es/education/ces-edupack/> htm 01 marzo 2019)

## 2.7 Diseño robusto

Es un método de ingeniería de calidad propuesto por Genichi Taguchi, que indica como minimizar las variaciones del proceso de producción dónde su principal función se basa en la fase de diseño de un producto, para que éste no sea afectado por las fuentes de variabilidad, esto es que sea robusto.

Una característica del diseño robusto es que se enfoca en la mejora de la calidad para que el producto resulte más económico. Generalmente busca superar las expectativas del cliente para priorizar aquellos parámetros que requiere el cliente y de esta manera ahorrar dinero en los que no son tan importantes.

La importancia del diseño robusto es que, sin aumentar el costo se incorpora la calidad a los productos desde el diseño y es fundamental que se eliminen los problemas desde el laboratorio de diseño, no en la fábrica ni en el campo.

El enfoque de Taguchi se presenta en tres etapas en el diseño de un producto o proceso:

1. *Diseño del sistema*: se refiere a la configuración básica de los componentes del sistema.
2. *Diseño de los parámetros*: niveles o valores de los factores que se pueden controlar para que se reduzcan los efectos de aquellos factores que no se pueden controlar en las características de los productos terminados.
3. *Diseño de las tolerancias*: disminuir la varianza en las características del producto finalizado cuando la reducción que se hizo en el diseño de parámetros no es suficiente. (R.G, 2008)

## **2.8 Análisis ergonómico**

Hay una gran variedad de técnicas para evaluar puestos de trabajo, cada una tiene aplicaciones específicas bajo ciertas condiciones. Uno de ellos es el método desarrollado por la doctora Suzanne Rodgers.

Este método consiste en evaluar las funciones de tareas con frecuencia de repetición de 1 hasta 15 minutos, llegando a su máxima precisión al establecer las probabilidades de fatiga en esfuerzos que se realizarán entre 1 a 10 minutos.

El formato que desarrolló Sue Rodgers permite que se valore sistemáticamente las funciones facilitando el identificar las tareas que presentan posibilidades de riesgo ergonómico y señala la urgencia de cambio del componente en cuestión respecto a la función.

El método Sue Rodgers estudia el esfuerzo, duración y frecuencia requerida por cada parte del cuerpo al momento de llevar a cabo una tarea determinada. En él se evalúa la interacción del nivel de esfuerzo, duración de este antes de la “relajación” (o antes de pasar a un nivel de esfuerzo menor), y la frecuencia de activación de los músculos. En base a los parámetros se hace una predicción de la fatiga muscular. (Sempere, 2003)

## **2.9 Metodología: Design thinking**

Es un método para generar ideas innovadoras que centra su eficacia en entender y dar solución a las necesidades reales de los usuarios. Proviene de la forma en la que trabajan los diseñadores de producto. De ahí su nombre, que en español se traduce de forma literal como "Pensamiento de Diseño", aunque nosotros preferimos hacerlo como "*La forma en la que piensan los diseñadores*"

Se empezó a desarrollar de forma teórica en la Universidad de Stanford en California (EEUU) a partir de los años 70, y su primera aplicabilidad con fines lucrativos como "Design Thinking" la llevó a cabo la consultoría de diseño *IDEO*, siendo hoy en día su principal precursora.

Según Tim Brown, actual *CEO* de *IDEO*, el *Design Thinking* "Es una disciplina que usa la sensibilidad y métodos de los diseñadores para hacer coincidir las necesidades de las personas con lo que es tecnológicamente factible y con lo que una estrategia viable de negocios puede convertir en valor para el cliente, así como en una gran oportunidad para el mercado".

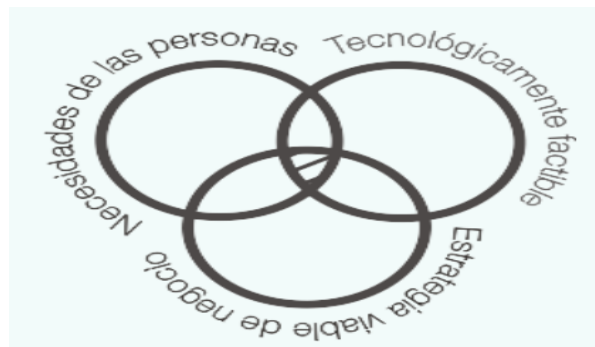


Figura 10: Modelo de necesidades (R.G., 2008)

Empresas como Apple, Google o Zara lo utilizan. Al ser un gran generador de innovación, se puede aplicar a cualquier campo. Desde el desarrollo de productos o servicios hasta la mejora de procesos o la definición de modelos de negocio. Su aplicabilidad tiene como límites nuestra propia imaginación.

El proceso de *Design Thinking* se compone de cinco etapas. No es lineal. En cualquier momento podrás ir hacia atrás o hacia delante si lo ves oportuno, saltando incluso a

etapas no consecutivas. Comenzarás recolectando mucha información, generando una gran cantidad de contenido, que crecerá o disminuirá dependiendo de la fase en la que te encuentres.

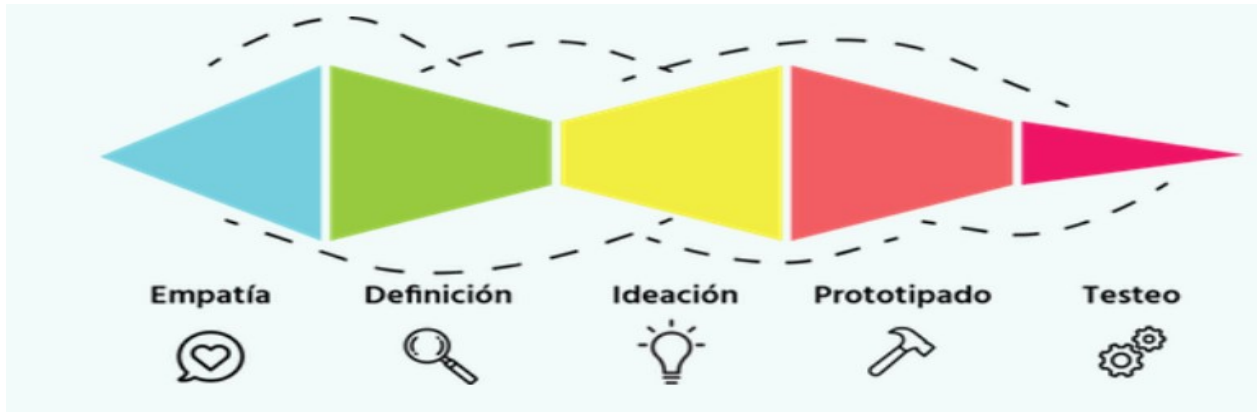


Figura 11: Etapas de metodología (R.G, 2008)

**EMPATIZA:** El proceso de Design Thinking comienza con una profunda comprensión de las necesidades de los usuarios implicados en la solución que estemos desarrollando, y también de su entorno. Debemos ser capaces de ponernos en la piel de dichas personas para ser capaces de generar soluciones consecuentes con sus realidades.

**DEFINE:** Durante la etapa de Definición, debemos cribar la información recopilada durante la fase de Empatía y quedarnos con lo que realmente aporta valor y nos lleva al alcance de nuevas perspectivas interesantes. Identificaremos problemas cuyas soluciones serán clave para la obtención de un resultado innovador.

**IDEA:** La etapa de Ideación tiene como objetivo la generación de un sinnúmero de opciones. No debemos quedarnos con la primera idea que se nos ocurra. En esta fase, las actividades favorecen el pensamiento expansivo y debemos eliminar los juicios de valor. A veces, las ideas más estrambóticas son las que generan soluciones visionarias.

**PROTOTIPA:** En la etapa de Prototipado volvemos las ideas realidad. Construir prototipos hace las ideas palpables y nos ayuda a visualizar las posibles soluciones, poniendo de manifiesto elementos que debemos mejorar o refinar antes de llegar al resultado final.

Prototipo: Durante la fase de prototipado, probaremos nuestros prototipos con los usuarios implicados en la solución que estemos desarrollando. Esta fase es crucial, y nos ayudará a identificar mejoras significativas, fallos a resolver, posibles carencias. Durante esta fase evolucionaremos nuestra idea hasta convertirla en la solución que estábamos buscando.

Esta metodología es basada en entender las necesidades del usuario, por lo tanto, el equipo de ingeniería decidido basar el proceso de diseño del mecanismo en este proceso, manteniendo como parte central la seguridad del operador y cumpliendo con el objetivo. El operador realiza el ciclo 75 veces por turno, la frecuencia es relativamente baja, pero cada colaborador atiende dos máquinas, en el diseño del mecanismo debe considerar restricciones de este nivel de detalle.

## Capítulo 3: Metodología

La metodología para el diseño del mecanismo de alimentación y alineación consistió en las siguientes fases:

### 3.1 Planeación

Para llevar a cabo la planeación, primeramente, se llevará a cabo una primera reunión para organizar al equipo (ver Anexo 1. minuta) donde se pactaron las primeras actividades para el desarrollo del proyecto, el plan de proyecto, una estimación de tiempos y recursos, así mismo se realizará un estudio del proyecto para observar su viabilidad e identificar las posibles limitaciones. En la reunión se eligió el tipo de estructura para gestionar el proyecto debido a que el papel del gestor del proyecto tiende mas a supervisar y asignar al personal mas capacitado de cada tarea en particular.

Además, fueron revisados los siguientes temas:

- Contrato del equipo
- Grafica de Gantt
- Nombre clave del proyecto
- Roles de los integrantes

### 3.2 Empatía

El equipo maquino durante un día, utilizando el mecanismo, para sentir y vivir la experiencia de utilizarlo, de esta manera entender evaluar los aspectos que se deberían mejorar. Con esta experiencia de campo generar el modelo de *Kano* para entender las necesidades del cliente. En esta etapa el equipo dio respuesta a las siguientes preguntas:

1. ¿Quién son mis clientes?
2. ¿Qué servicio o producto le tengo que dar a mis clientes?
3. ¿Qué creen mis clientes que es crítico para la calidad?

Con el modelo de *Kano* es posible clasificar los críticos para la calidad: Básicas, de desempeño o Inesperadas.



### **3.3 Definir**

Por medio de un *QFD*, realizaremos el proceso que asegura que los deseos y necesidades de los clientes sean traducidos en características técnicas, las características detectadas en el modelo de *Kano* son manejadas mediante la función del diseño, mismo que es manejando por el equipo multidisciplinario. Los aspectos que se pretende evaluar en este paso:

- Conflictos entre la evaluación técnica y la evaluación del cliente.
- Ventajas competitivas del mecanismo
- Áreas de oportunidad y mejoras del mecanismo

Con esta herramienta implicaría una autoevaluación del mecanismo, diseño y desempeño, así como lo percibe el cliente contrastado con el nivel de satisfacción.

### **3.4 Generar ideas**

Las restricciones con las que debe cumplir los mecanismos son conocidas y repasadas por el equipo, en esta etapa de “Idear” es donde será utilizada la innovación de los integrantes para darle solución a las interrogantes planteadas. Mediante la herramienta de “workshop” taller por su significado en español.

- Analizar el diseño actual del mecanismo
- Identificar los requerimientos técnicos (trazabilidad)
- Generar ideas para mejorar y/o corregir el diseño

### **3.5 Prototipado**

Crear el modelo 3D en el programa de diseño:

- Modelos 3D:
- Análisis de esfuerzos
- Evaluar y rediseñar de ser necesario

Elección de materiales para generar el prototipo, basado en la disponibilidad de material en el taller de maquinado.

- Dibujos 2D

### **3.6 Evaluar**

Se van a realizar las siguientes actividades:

- Prueba funcional del prototipo generado, montarlo en la CNC para cortar 30 unidades del modelo Strat2018. Ensamble de 5 unidades, con el objetivo de evaluar la funcionalidad del producto, cuerdas, entonación, ensamble de los componentes electrónicos.
- Evaluación por parte del equipo de seguridad mediante el método de Suzanne Rodgers, con el objetivo de ofrecer y mantener un puesto de trabajo seguro y digno para que los colaboradores puedan desarrollar su función sin deteriorar su salud y no comprometer su seguridad.
- Evaluar la primera pieza cortada en la máquina, validación dimensional con el propósito de actualizar el gemelo *3D*. esto será realizado por el equipo de metrología.

Implementado la metodología descrita realizare un diseño de un mecanismo de sujeción, alimentación para maquinar los cuerpos de instrumentos en un centro de maquinad, basado en las necesidades del usuario.



Figura 12: Metodología usada en el proyecto. Elaboración propia

### 3.7 Planeación

En la reunión de **planeación de las actividades**, fue realizado el contrato del equipo, esto con el objetivo de formalizar los compromisos y rol de cada uno de los miembros, el documento contiene los siguientes puntos clave:

Roles: Líder de proyecto, Diseñador mecánico y facilitador

Metas: Gestión, diseño del mecanismo, fabricación, validación y documentación.

Estrategias para resolución de conflictos: comunicación asertiva, toma de decisiones mayoritaria, reuniones extraordinarias.

El tener un objetivo de tiempo y saber la secuencia de las actividades que deben ser cumplidas es importante para llevar a cabo el proyecto con éxito, por lo tanto, se trabajó en el siguiente diagrama de Gantt. Ver figura 13.

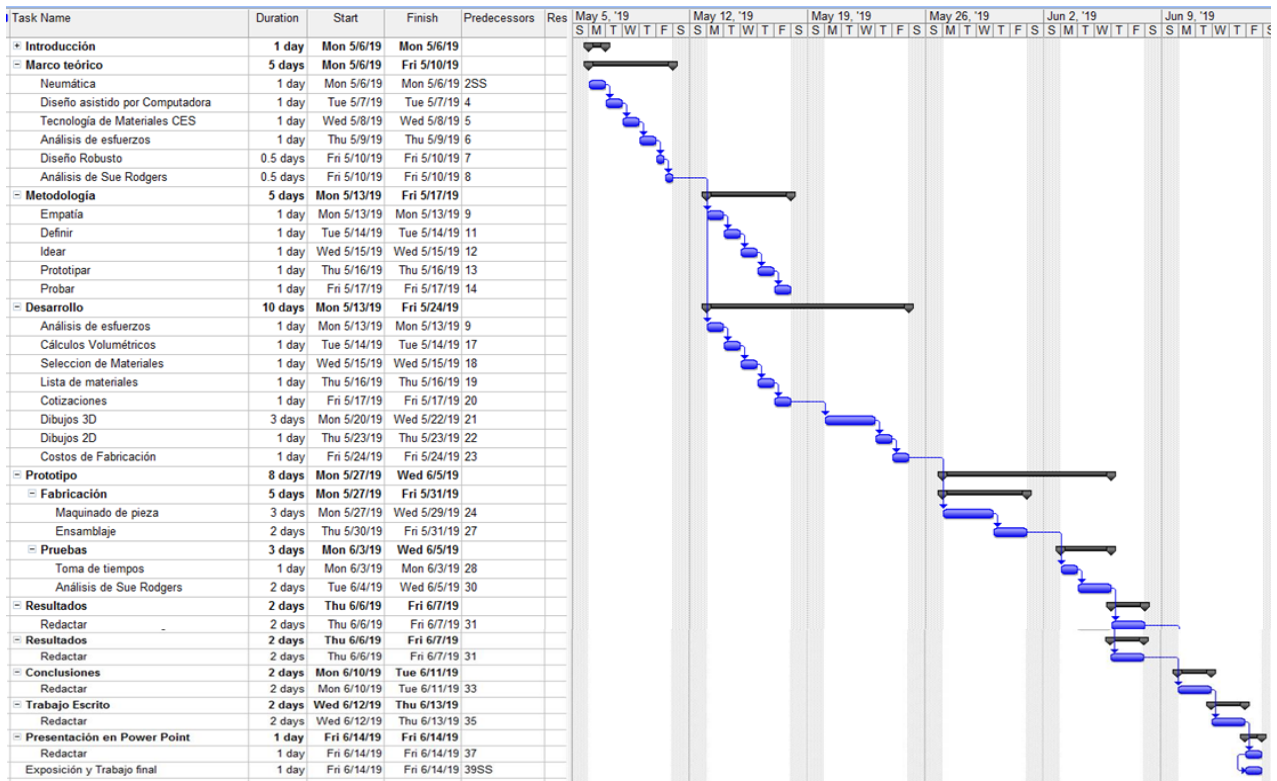


Figura 13: Diagrama de Gantt. Elaboración propia

### 3.8 Empatía

como todo inicia y termina con el cliente, ellos son los que definen y establecen las expectativas, por lo tanto, es primordial saber cómo traducir las necesidades del cliente. Identifique las necesidades y determine los requerimientos funcionales y desarrollo el mecanismo. En la figura 14 presento el modelo de Kano.

### KANO MODEL

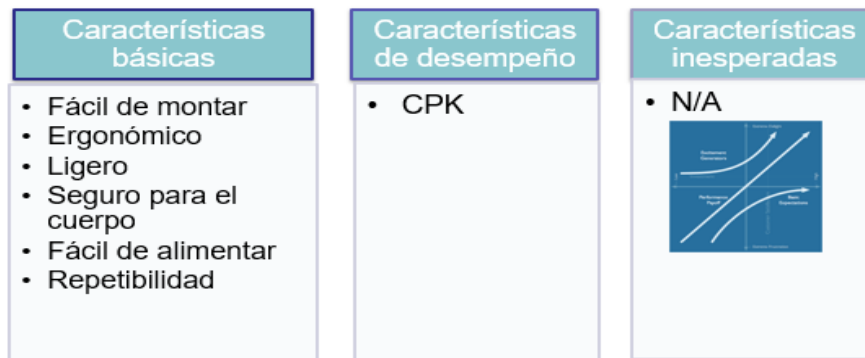


Figura 14: Modelo de Kano del mecanismo. Elaboración propia

### 3.9 Definición del diseño:

EL QFD permite calcular de manera matemática las características que debemos agregar en el mecanismo que será diseñado, evitar agregar requerimientos no necesarios que aporten sobre coste al mecanismo sin ser apreciadas por el usuario. Al elaborar el QFD (ver figura 15) los requerimientos en los que tiene que estar basado el diseño del mecanismo son: Pines de alineación cuerpo-husillo: 285, diseño robusto: 273 y pistones:195.

Technical requirements \ Client requirements	Priority	Pines de alineación bancada	Plancha alimentación desplazable	Pines de alineación cuerpo husillo	Pistones	Diseño robusto	Material
Facil de montar	9	9	1	9	3	9	0
Ergonomico	8	3	9	9	3	9	9
Repetibilidad	7	9	3	9	9	9	1
Seguro para el cuerpo	4	1	0	9	9	3	9
Facil de alimentar	3	0	9	9	9	9	3
Ligero	2	0	3	3	9	9	9
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>		172	135	285	195	273	142

9 = Strong  
3 = Moderate  
1 = Weak

Figura 15: QDF para el diseño del mecanismo de montaje. Elaboración propia

### 3.10 Idear

El workshop es un evento en el que asisten los interesados claves y expertos durante un periodo de tiempo concentrado, focalizado en obtener resultados predefinidos. El cuerpo del workshop es donde se producen los resultados: Valoración- diagnósticos

- Agregar pines de alineación.
- Agregar 3 pistones para levantar el cuerpo.
- Dos pistones horizontales para alimentación.
- Maquinado de las partes para reducir el material utilizado.
- Alineación con un pin de  $\frac{3}{4}$ " colocado en el husillo
- Reducir el calibre de material de  $\frac{1}{2}$ ' a  $\frac{1}{4}$ " para reducir el peso del mecanismo, con el propósito de agilizar o reducir el tiempo de preparación.

- La cubierta se realizo para todos los modelos para maquirarlos en un solo mecanismo.

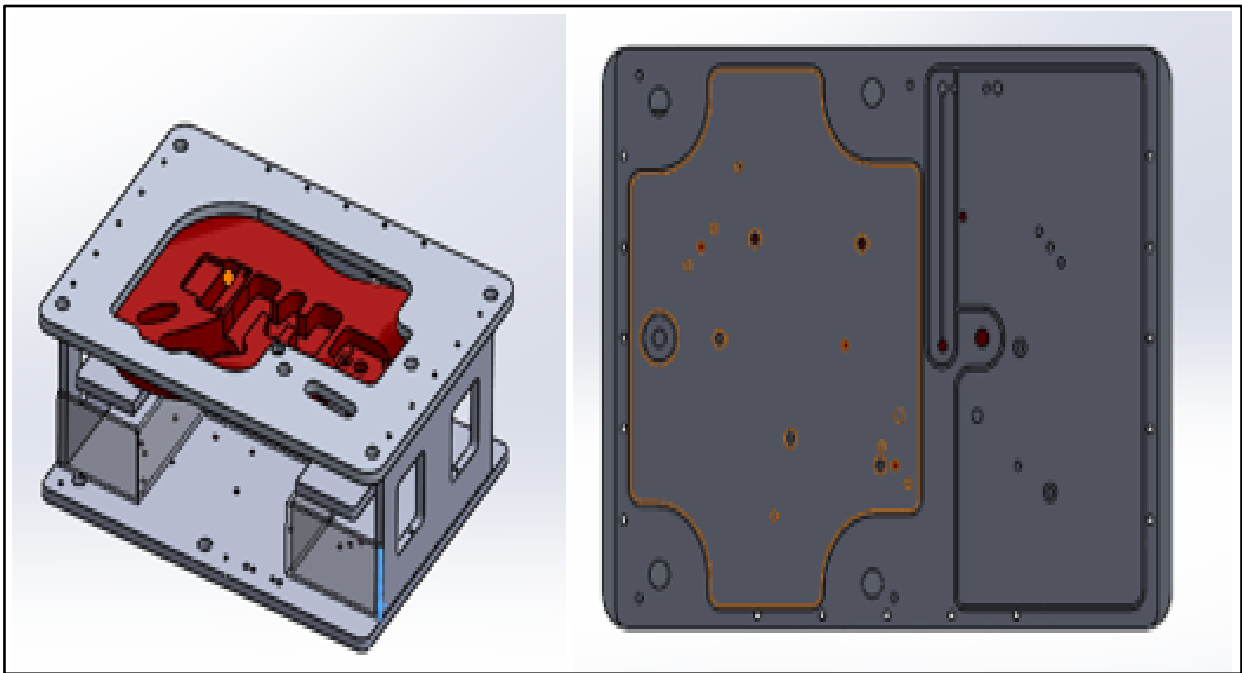


Figura 16: resultados de workshop. Elaboración propia

### 3.11 Prototipo

Las mejoras fueron agregadas al gemelo 3D, en esta etapa se busca comprobar que las mejoras son viables, materiales, formas, programas de maquinado y sobre todo ensamblar las piezas.

Para generar el prototipo se realizaron las siguientes actividades:

- Diseño de piezas
- Elección de material
- Generación de programas (código G) para maquinado de piezas

- Selección de materiales: basado en propiedades, fácil de maquinar, precio, resistencia mecánica.

**Composition overview**

Compositional summary ⓘ

Al-1Mg-.7Si-.3Cu/25%SiC(p)		
Material family	ⓘ	Metal (non-ferrous)
Base material	ⓘ	Al (Aluminum)
Filler/reinforcement	ⓘ	Silicon carbide
Filler/reinforcement form	ⓘ	Particulate

**Composition detail (metals, ceramics and glasses)**

Al (aluminum)	ⓘ	74	%
Cu (copper)	ⓘ	0.225	%
Mg (magnesium)	ⓘ	0.75	%
Si (silicon)	ⓘ	0.525	%
SiC (silicon carbide)	ⓘ	25	%

**Price**

Price	ⓘ	* 207 - 332	USD/kg
Price per unit volume	ⓘ	* 5.87e5 - 9.42e5	USD/m³

**Physical properties**

Density	ⓘ	2.83e3 - 2.84e3	kg/m³
---------	---	-----------------	-------

Figura 17: Tabla de propiedades mecánicas aluminio 6061. CES EDUPACK.

El prototipo fue maquinado en una con aluminio 6061 debido a que es el material con el que se cuenta en la planta.

En la figura 18 es presentado el prototipo del mecanismo para el maquinado de cavidades en un centro de maquinado de un cuerpo de guitarra eléctrica.



**Figura 18: prototipo de mecanismo. Elaboración propia**

## **Capítulo 4. Evaluación y análisis resultados.**

### **4.1 Diseño final del mecanismo de alineación y alimentación.**

Con 285 puntos, el requerimiento técnico pines de alineación cuerpo husillo, fue la primera restricción a resolver en el diseño del mecanismo. La solución propuesta fue



colocar dos pines en forma diagonal, para ubicar el cuerpo en posición. En la figura 19 pueden ser observados los pines de alineación en modelo al colocar el cuerpo del instrumento.

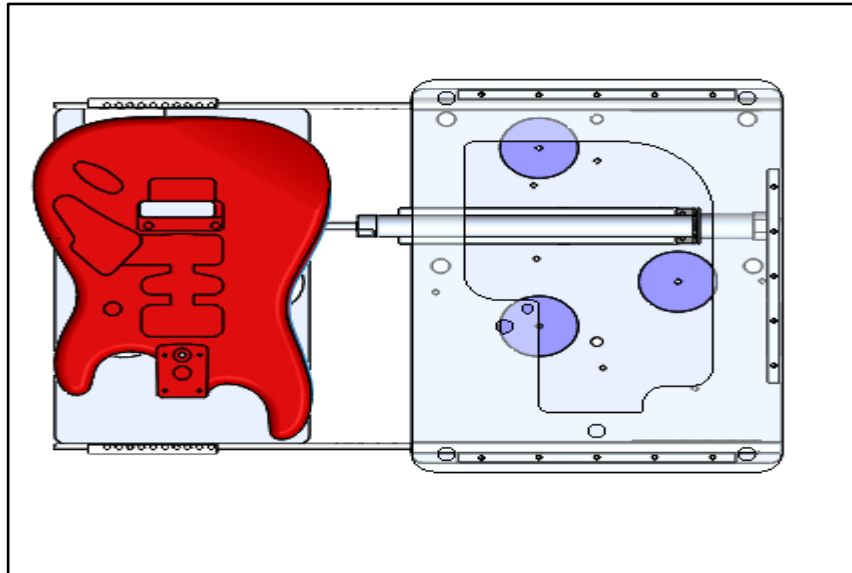


Figura 19: Vista superior modelo 3D de mecanismo. Elaboración propia.

El diseño robusto con 273 puntos, siguiente restricción a considerar, los (3) pistones, marcados en color morado, tienen una base-tapa circular para garantizar el centrado del cuerpo con el husillo. Estos viajan a través de la plancha de alimentación al ser activados por el pistón horizontal de alimentación (ver figura 20). La geometría evita atascamientos. La geometría de la tapa del mecanismo también muestra una flexibilidad del mecanismo, con esto permite maquinar los diferentes modelos. Los rieles a los costados aseguran el libre desplazamiento del cuerpo, tanto para entrar a ser maquinado como para retirarse del mecanismo. El cuerpo no puede ser colocado de una manera incorrecta debido a la posición de los dos pines en diagonal, otro ejemplo del dispositivo a prueba de error. Ver figura 20.

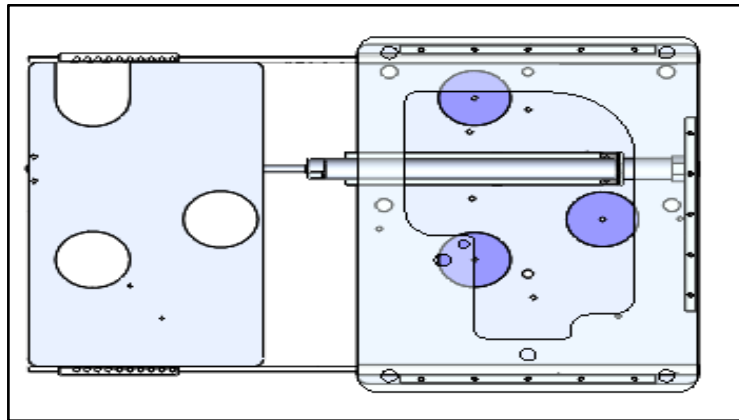


Figura 20: Vista superior modelo 3D de mecanismo. Elaboración propia.

## 4.2 Análisis de elemento finito.

Una de las primeras pruebas del mecanismo fue someter el modelo 3D a un análisis finito, es el método de análisis estructura de matrices de desplazamiento. El mecanismo es sometido a  $3652_N$  ejercidos por el husillo en movimiento al realizar el maquinado con las diferentes herramientas. Esta fuerza también es considerada para escoger los tres pistones, deben ejercer una fuerza de  $1217_N$  por unidad. El análisis fue generado considerando un factor de seguridad de 3.5. en la figura 19 se muestra la simulación de la deflexión que ejerce la carga del husillo en la tapa del mecanismo. En la figura 21, es mostrado el mallado de la estructura del mecanismo para analizar los desplazamientos en X,Y de los elementos.

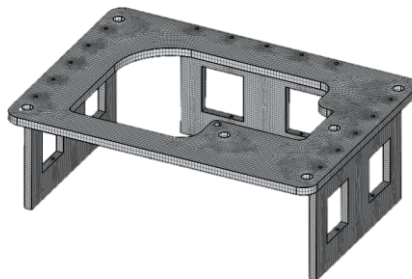


Figura 21: modelado de la malla gruesa. Solidworks 2019

El material que se considero para realizar el análisis fue aluminio 6061, fue uno de los resultados de la investigación en el software CES, considerando principalmente las propiedades mecánicas y la facilidad de para el maquinado. En la figura 22 se muestra la elección del material en el programa de simulación.

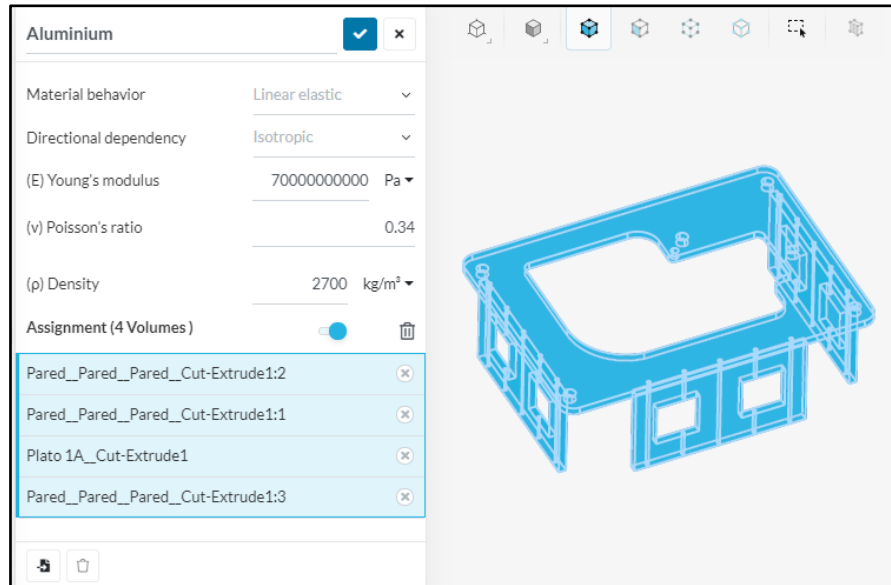


Figura 22: Elección de aluminio 6061. Solidworks 2019

Fueron considerados los elementos de contacto de la estructura en tres caras de contacto, unidos por cinco tornillos de 1/4" de diámetro. En la figura 23 se observa dicha unión.

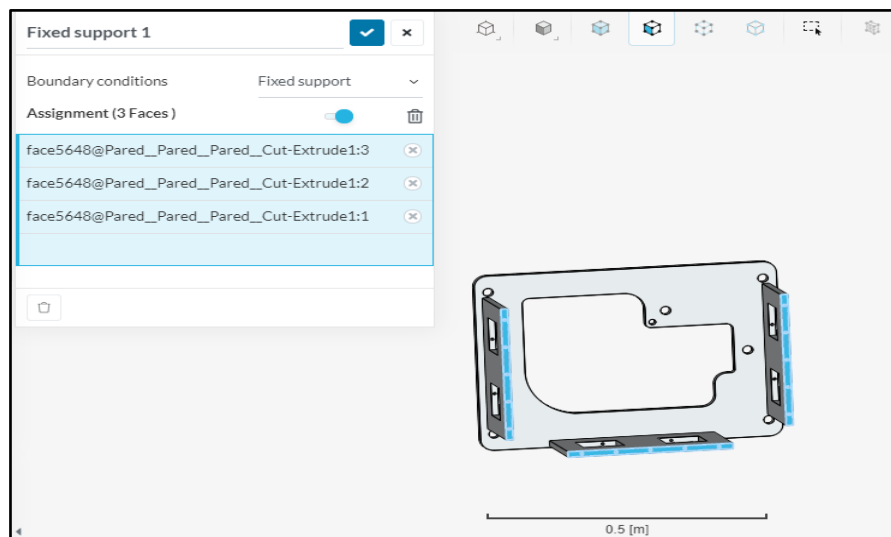


Figura 23: Elementos de contacto de la estructura, Solidworks 2019

La primera fuerza que es aplicada a la estructura es la ejercida por los pistones sobre la tapa, esta tiene una dirección en Y positiva, con un valor de  $1217\text{N}$  por unidad. ver figura 24.

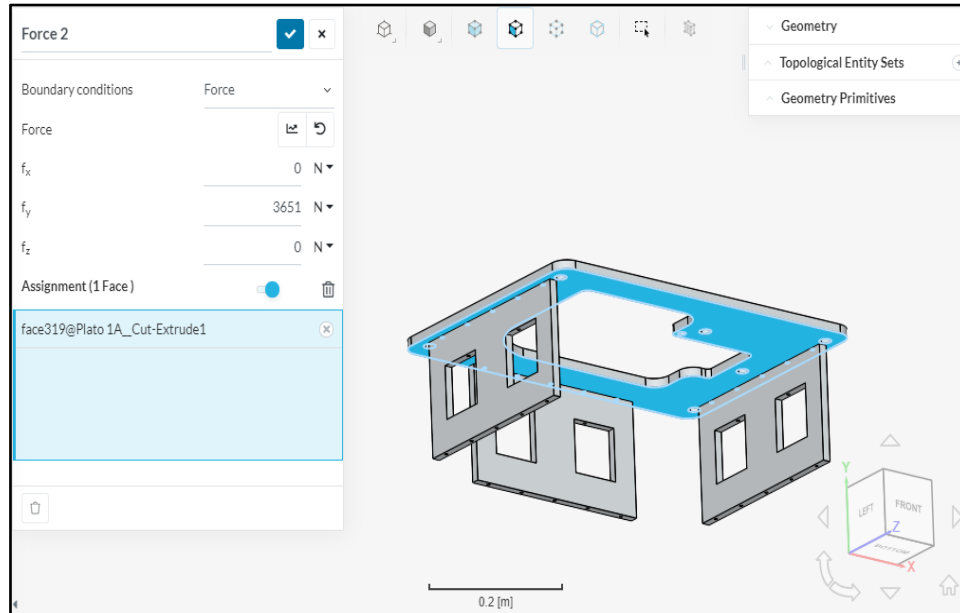


Figura 24: Fuerza de  $1217\text{N}$  ejercida a la tapa de la estructura. Solidworks 2019

La segunda fuerza considerada en el análisis es la ejercida en el pin de sujeción, dicha fuerza es considerada en dirección del eje X, Y dependiendo de la dirección de corte del cortador de  $5/8''$  montado en el husillo. En la figura 25 se muestra el ajuste del programa para simular esta acción.

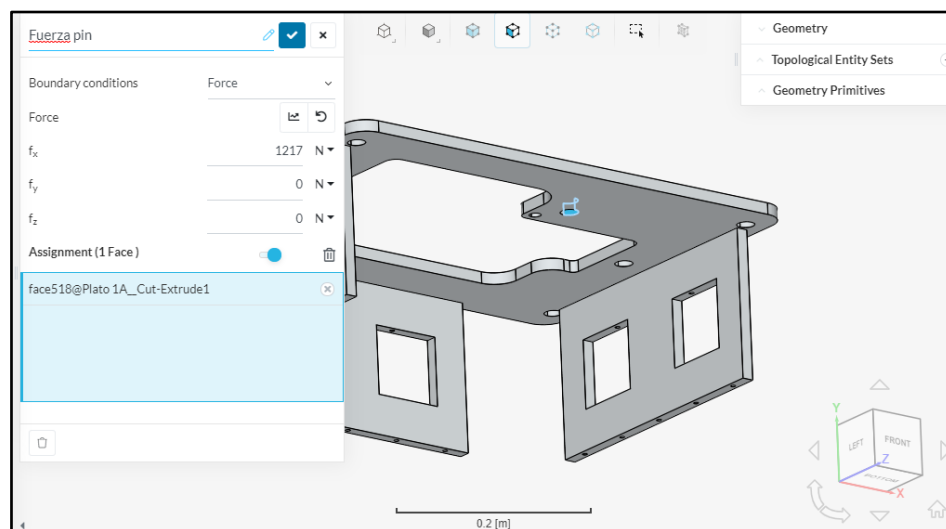


Figura 25: Fuerza ejercida en el pin de sujeción de la estructura. Solidworks 2019

En la figura 26, se mostrada la simulación de los esfuerzos en las diferentes secciones, ejercidas por la fuerza del husillo y los pistones sobre la estructura. Los resultados que se pueden interpretar de la simulación y la escala de colores son que en ninguno de los nodos tiene riesgo de fractura. Pero es posible concluir que los esfuerzos se concentran en las uniones. Principalmente en la tapa. El factor de seguridad es de 3.5, por lo tanto, la estructura construida con una placa de aluminio 6061 de  $\frac{1}{2}$ " de espesor, tiene capacidad de soportar una carga de  $3652\text{N}$  ejercida por el husillo y  $1267\text{N}$  por unidad de los pistones.

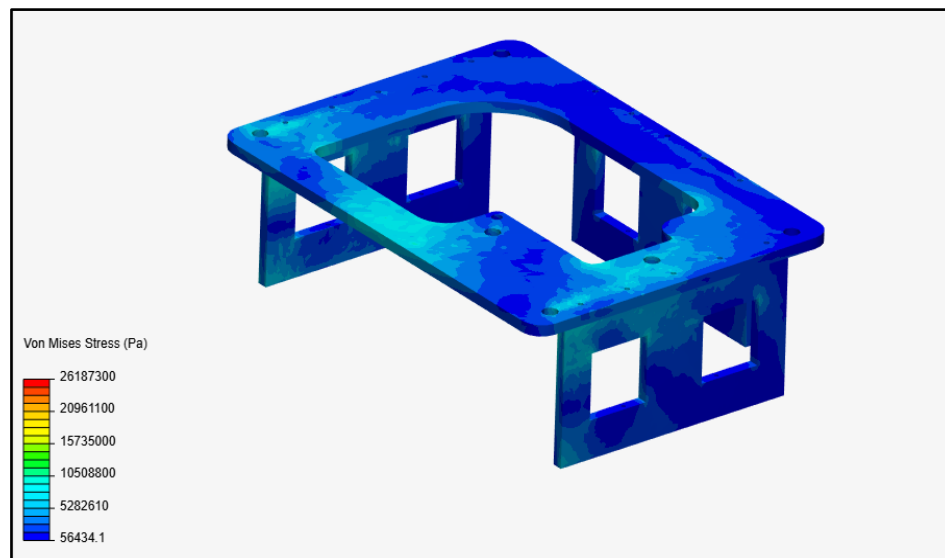


Figura 26: Resultado de la simulación de elemento finito: Solidworks 2019

### 4.3 Análisis de Suzanne Rodgers

Uno de los puntos importantes a evaluar es la seguridad del operador al usar el mecanismo, para tal evaluación se utilizó el método de *Suzanne Rodgers*. El cual consiste en ponderar los movimientos, posturas, esfuerzos y frecuencias de los movimientos requeridos por la operación. En la figura 27. Se muestra dicha ponderación. Negro: muy alto riesgo, Rojo: Alto, Amarillo: Moderado y Verde: Bajo riesgo.

<b>Duración continua de Esfuerzo</b>	< 6 s 1	6 - 20 s 2	20 - 30 s 3	> 30 s 4
<b>Frecuencia de esfuerzo</b>	< 1 / min 1	1 - 5 / min 2	> 5 - 15 / min 3	> 15 / min 4
<b>BAJO</b>	<b>MODERAD</b>	<b>ALTO</b>	<b>MUY ALTO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
111	123	223	323	
112	132	313	331	
113	213	321	332	
211	222	322	4XX	
121	231		X4X	
212	232		XX4	
311	312			
122				
131				
221				

Figura 27: Ponderación Análisis de Suzanne Rodgers. Kalpakjian, Schmid. Manufactura, (2008. 620 KAL man). Ingeniería.

Con el uso del mecanismo se obtuvieron los siguientes resultados (Ver figura 28). La operación tenía una ponderación de 332 a 93. Esto significa que reduce el riesgo de un accidente de negro “muy alto” a verde “bajo”.

<b>Espalda</b>	Inclinando hacia un lado, o flexionando arqueando la espalda	Flexionando al frente; sin carga, cargando pesos moderados cerca del cuerpo, trabajando arriba de su cabeza	Cargando o ejerciendo fuerza mientras gira su columna, alto esfuerzo o peso mientras flexiona	1	5	15	
<b>Brazos Codos</b>	Brazos lejos del cuerpo, sin carga; esfuerzos ligeros cargando cerca del cuerpo	Rotando (pronación supinación de brazos) mientras se jerce fuerza moderada.	Alto esfuerzo ejercido con rotación, cargando con brazos extendidos.	DER	1	5	15
				IZQ	1	5	15
<b>Mano Muñeca Dedos</b>	Muñecas rectas ; agarres confortables	Agarres con ángulos de muñeca moderados especialmente en flexión, con moderado esfuerzo.	Pinzamientos frecuentes; muñeca muy estresada; alto esfuerzo.	DER	2	4	24
				IZQ	2	4	24

Figura 28: Análisis de operación con uso de mecanismo. Kalpakjian, Schmid. Manufactura, (2008. 620 KAL man). Ingeniería.

#### 4.4 Análisis de capacidad

Una manera de evaluar la capacidad del proceso para producir piezas dentro de las especificaciones es comparar el ancho de las especificaciones con el ancho del proceso. El índice de capacidad  $C_{pk}$ . Se utilizo para dar seguimiento al proceso con respecto al tiempo. Con el objetivo de evaluar la variación y el centrado en base a un solo número. Fueron tomados 13 datos para evaluar el gap en los lados de una de las cavidades críticas para el ensamble del instrumento musical, el cual es el Neck pocket. La especificación es que el gap debe ser menor a 0.015". en la figura 29 muestra que el  $C_{pk}$  del proceso es de 1.16 que para la industria es aceptable a partir de 1. El  $C_{pk}$  evalúa la capacidad real del proceso, tomando en cuenta las dos especificaciones, la variación y

el centrado del proceso, por tal motivo un  $C_{pk} = 1.16$  se considera que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria.

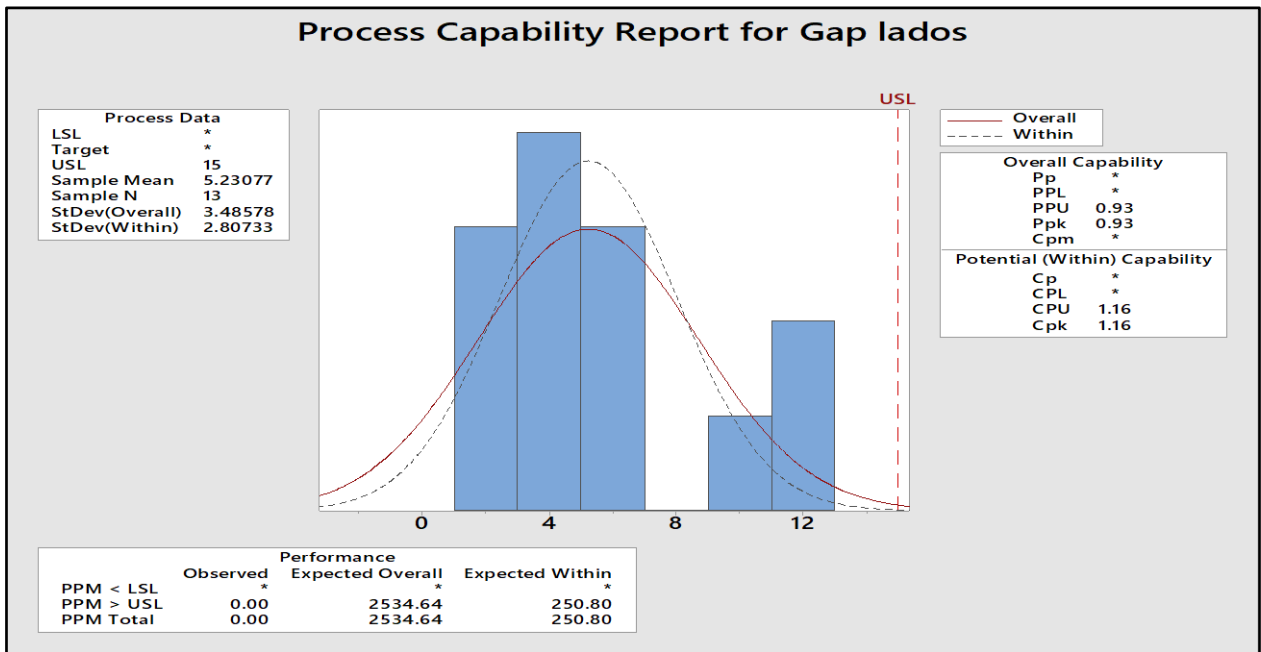


Figura 29: Grafica de Cpk de proceso de maquinado de cavidad NP. Elaboración propia

## 4.5 Prueba de Hipótesis

Como la prueba de hipótesis es una afirmación sobre los parámetros de una población o un proceso que es susceptible de probarse partir de una muestra representativa obtenida de la población.

La cavidad del *Neck pocket* tiene una dimensión crítica que se rectificara en el proceso de corte utilizando el mecanismo. El modelo elegido para correr las mediciones es el *Stratocaster*. La dimensión que se desea probar tiene una especificación ( $2.21'' \pm 0.015''$ ) Por lo tanto, la medición fue realizada en 30 unidades, de las cuales se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 30.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- $H_0: \mu = 2.21$
- $H_1: \mu > 2.21$

Debido a que el t calculado es  $=0.083$  y el t crítico  $=2.36$  no se puede rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye lo siguiente:

$H_0: \mu = 2.21$

Lectura	ancho butt	Tolerancia	Nominal	Media	S	t, tablas	t, calculado
1	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
2	2.212	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
3	2.211	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
4	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
5	2.205	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
6	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
7	2.213	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
8	2.215	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
9	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
10	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
11	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
12	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
13	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
14	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
15	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
16	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
17	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
18	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
19	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
20	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
21	2.209	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
22	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
23	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
24	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
25	2.208	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
26	2.21	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
27	2.212	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
28	2.205	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
29	2.213	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907
30	2.209	±.005	2.21	2.210067	0.0043	2.363846	0.083827907

Figura 30: Mediciones del ancho del butt del modelo Stratocaster, Elaboración propia.

## 4.6 Análisis de tendencia de defectos.

La implementación del mecanismo en la línea de producción fue iniciada la semana 22. debido a que el defecto de problemas en el NP tenía una tendencia creciente. Este comportamiento es observado en la figura 31. Los cuerpos de la CNC105 contaban con el mecanismo para el maquinado de todas las cavidades con el cero de trabajo en la cara superior del cuerpo. Para la semana 31 es claro que se alcanzó una reducción en el porcentaje de rechazos de 3.2%. después de esta fecha, hay una tendencia creciente por problemas del proveedor interno, cuerpos con una compensación incorrecta que provocaron un evento atípico.



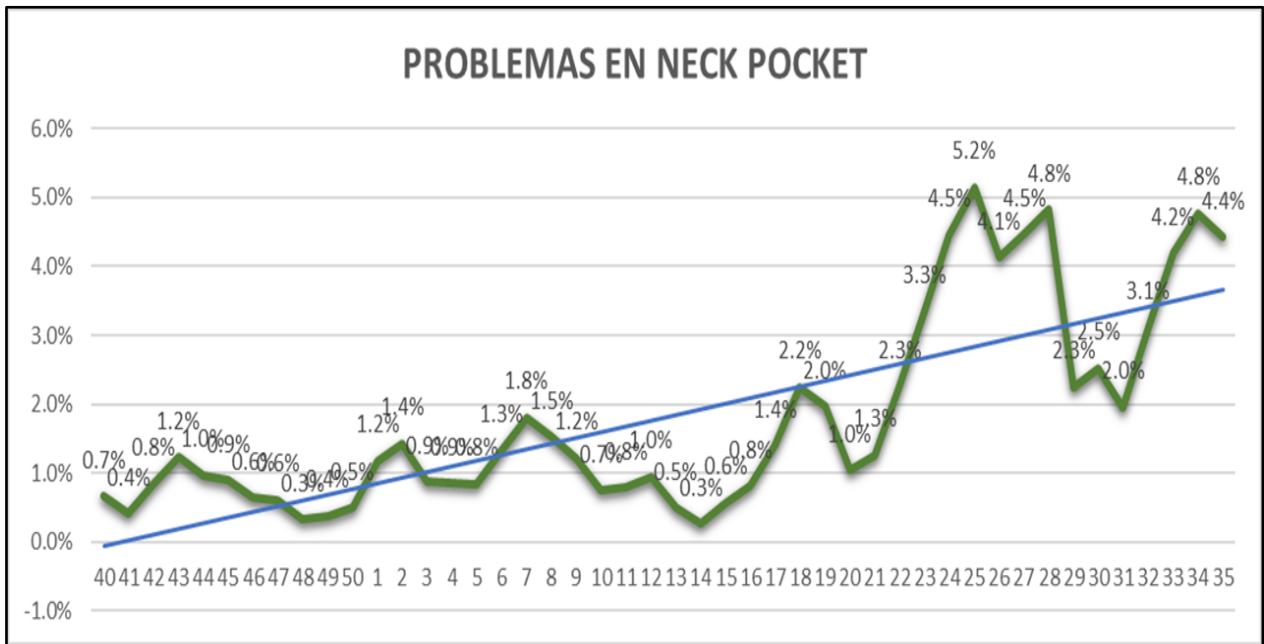


Figura 31: Grafica de tendencia de porcentaje de rechazo de unidades por defecto en el NP. Elaboración propia

#### 4.7 Evaluación de la estructura de los programas de corte.

El cambiar el cero de trabajo para generar los programas de maquinado implico lo siguiente:

- Diseño de estructura de programa madre.
- Recodificar 201 programas.
- Cambiar la altura de las herramientas.
- Cambiar ceros de trabajo G54.
- Capacitación de los operadores.

La figura 32 muestra la estructura del programa madre del modelo Stratocaster 2018, los cambios inician en con las de ubicación de la herramienta G90 G54 G00 X Y. esto fue realizado para que los movimientos rápidos sean realizados en Z0. antes de leer el G43. Esto es recomendado como buenas practicas para evitar estrellamientos del husillo. Los movimientos de posición entre subrutinas fueron estandarizados. G43 Z0.25 esto para no incurrir en traslados mayores a 0.25" arriba del plano de trabajo. Otra modificación fue en la "Z" de las cavidades. Como la referencia es tomada en la cara superior del cuerpo las "Z" son negativas facilitando el entendimiento y lectura del código.

Debido a que es tal cual el valor del dibujo 2D. el tiempo de ciclo de los programas se mantiene en 7 minutos.

```
T1 M06 (#3 60 DEG CENTERDRILL)
T21
G90 G56 G00 X0.625 Y0.75 Z0.
S2800 M03
G43 Z0.25 H01 M83
G81 G99 R0.25 Z-0.25 F20.
M97 P1000 (POCKET HOLES)
M84
T21 M06 (#19 JOBBER DRILL)
T9
G90 G56 G00 X0.625 Y0.75
S1800 M03
G43 Z0.25 H21 M83
G81 G99 R0.25 Z-1.25 F12.
M97 P1000 (POCKET HOLES)
M84
T9 M06 (#2 60 DEG CENTERDRILL)
T7
G52 X0.0312
G90 G56 G00 X-8.52 Y1.703
S2800 M03
G43 H09 Z0.25 M83
G81 G99 R0.25 Z-0.09 F20.
M97 P1012 (BARRENOS BACK COVER)
M84
```

Figura 32: Estructura de programa madre de modelo Strat2018. Elaboración propia

## Capítulo 5. Conclusiones

Las conclusiones de la presente tesis son las siguientes:

- El mecanismo diseñado cumplió con las restricciones técnicas descritas en el *QFD*, pines de alineación cuerpo husillo. Se añadieron a la plancha de alimentación 2 pines de 0.166", ubicados de manera diagonal para fungir como dispositivo a prueba de error, al colocar el cuerpo. Estos pines son concéntricos con dos de los barrenos de montaje del cuerpo. El concepto de diseño robusto esta presente en el mecanismo en pequeños detalles, los pines de alineación cuentan con boleado en los extremos para facilitar el ensamble con el cuerpo. Todos los tornillos de alineación tienen un sistema de ajuste (slot, opresores y cuernas de ajuste). Pines de alineación con la bancada del centro de maquinado, para resolver este reto, se recurrió al concepto de cambios rápidos. Colocar un negativo en la bancada (barreno) y un positivo (pin) que tuviera las mismas coordenadas de los ceros de trabajo (G54, G55) fue la solución perfecta para reducir el tiempo de preparación del mecanismo.
- Mantener el tipo de ciclo es importante para garantizar la producción de los centros de maquinado, la operación de alineación agrega 0:56 segundos al tiempo de ciclo. La producción de un centro de maquinado es de 65 unidades por turno, quiere decir que al agregar la operación de alineación la producción bajaría a 56 unidades por turno. Por lo tanto, el optimizar los programas es una actividad importante. En el subtema de análisis de resultados 4.7, son descritas las actividades para reducir los movimientos innecesarios, y la estandarización de los valores de revoluciones por minuto y alimentación por pulgada.
- En el estudio ergonómico Suzanne Rodgers, fue utilizado para evaluar la restricción de seguridad, el análisis esta basado en observar la operación y evaluarla, considerando tres aspectos, duración, frecuencia y esfuerzo de dicha actividad, la operación de maquinado de cavidades estaba clasificada antes de usar el mecanismo, como de alto riesgo (color negro, ver figura 30) con un valor de 332 puntos. Cuatro semanas después de implementar el mecanismo, fue realizado un nuevo análisis, los principales puntos del cuerpo fueron, espalda,

brazos, codos, mano, muñeca y dedos. Los resultados fueron realmente gratificantes, debido a que se redujo a 92 puntos, fue una mejora del 72%, clasificando de la operación como de bajo riesgo.

- La hipótesis planteada, cambiar el cero de trabajo de los programas de CNC a la cara superior de los cuerpos reduce la variabilidad en el maquinado de las cavidades. Fue comprobada y no se puede rechazar, se acepta la hipótesis, por lo tanto, el cambio del cero de trabajo reduce la variabilidad del maquinado de las cavidades. Esto fue presentado en el capítulo de resultados, con el cálculo del  $C_{pk}$  y la prueba de hipótesis, Ver figura 22.
- La geometría fue primordial para distribuir los esfuerzos. Por tal motivo la placa presenta las esquinas con radios para distribuir y reducir los esfuerzos de tensión y compresión. La interpretación de la figura 26 es que con una fuerza de  $3652N$  en un periodo de tiempo de 7 minutos que es el tiempo de ciclo del programa de maquinado no presenta fractura con un factor de seguridad de 3.5 es posible sugerir que el espesor de la placa puede ser menor a  $\frac{1}{2}$ ". Se recomienda correr un análisis con un espesor de  $\frac{1}{4}$ ".

## Referencias bibliográficas

- Carlos Alfonso Devia Castillo, C. A. D. C. (1997, 22 septiembre). Valoración de la madera en pie.
- Moon, S.-I., Cho, I.-J., & Yoon, D. (2010). Fatigue life evaluation of mechanical components using
- Reinhold Schalm, Elsevier (2006) UV Coatings.
- Ramon de la Bara, (2002) Control Estadístico.
- W William, Ed 8, (2009) Caracterización de materiales.
- Symphony. (2007-2011). In The Oxford dictionary of music.
- Kalpakjian, Schmid, Manufactura, (2008. 620 KAL man), Ingeniería y tecnología.
- Pereira Domínguez, Alejandro, Diéguez Quintas, José L. (2009.), Tecnología y sistemas
- Creus, S. A. (2007). Neumática e hidráulica.
- Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (2006). Diseño asistido por computador. Industrial Data.
- Cross, N. (2001), Engineering Design Methods, England: Wiley.
- Diaz de León Santiago, V. M., González Ajuech, V. L., Rosete Fonseca, J. C., & Diaz de León
- Mendoza, N. (2018). Mecánica de Materiales. Teoría y Aplicaciones. México: Grupo Editorial Patria.
- Smith, W. F., & Hashemi, J. (2004), Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Mexico D.F: McGraw-Hill Interamericana.
- VALENCIANA DE ALUMINIOS, C. Y. (Enero de 2016). <http://www.valencianadeacp.com>. Obtenido de VALENCIANA DE ALUMINIOS, COBRES Y PLÁSTICOS S.A: