

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

**Facultad de Ingeniería**

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE UN TALADRO A CNC UTILIZANDO LA  
ELECTRÓNICA EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA – UNJBG, EN EL AÑO 2019**

**TESIS**

Presentada por:

Bach. José Antonio Aguilar Cuchillo

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO MECÁNICO**





TACNA – PERÚ

2021

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE UN TALADRO A CNC UTILIZANDO LA  
ELECTRÓNICA EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA – UNJBG, EN EL AÑO 2019**

Trabajo de tesis sustentado por el bachiller José Antonio Aguilar Cuchillo, aprobado el 15 de enero del 2021, el jurado calificador estuvo integrado por:

PRESIDENTE	:	 _____
		Dr. Jesús Plácido Medina Salas
SECRETARIO	:	 _____
		Ing. Daniel Cárdenas García
VOCAL	:	 _____
		Ing. Reynaldo Clemente Telles Ríos
ASESOR	:	 _____
		Mgr. Francisco Gamarra Gómez

## **Dedicatoria**

Este trabajo va dedicado a mis padres Jose Aguilar y Lidia Cuchillo, a mis hermanos David y Andrés, que fueron de mucha ayuda, por su paciencia y buenos consejos para la vida.

## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme permitido pertenecer a una excelente familia, quienes me forjaron como la persona que actualmente soy.

A mis padres, por la educación y formación

A mis maestros que durante la etapa de aprendizaje supieron aconsejarme y darme las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente.

A mis amigos por sus buenos consejos y motivación.

## Índice

Dedicatoria .....	iii
Agradecimiento .....	iv
Índice.....	v
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras .....	x
Resumen.....	xii
Abstract .....	xiii
Introducción .....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1. Descripción de problema .....	3
1.2. Formulación del problema.....	5
1.3. Justificación e importancia .....	5
1.4. Alcances y limitaciones .....	5

1.4.1. Alcances .....	5
1.4.2. Limitaciones .....	6
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo general .....	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	6
1.6. Hipótesis .....	7
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1. Antecedentes del estudio .....	8
2.1.1. Antecedente nacional .....	8
2.1.2. Antecedentes internacionales .....	8
2.2. Bases teóricas.....	9
2.2.1. Control numérico asistido por computadora. ....	10
2.2.2. Enrutador del control numérico computarizado.....	11
2.2.3. Universal g-code sender. ....	11
2.2.4. Manufactura. ....	12
2.2.5. Diseño de ingeniería mecánica.....	14
2.2.6. Componentes electrónicos.....	15

2.3. Definición de términos .....	15
<b>CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>18</b>
3.1. Tipo y diseño de la investigación .....	18
3.1.1. Tipo de investigación. ....	18
3.1.2. Diseño de la investigación.....	18
3.2. Población y muestra.....	18
3.2.1. Población.....	18
3.3. Operacionalización de variables .....	18
3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos .....	19
3.5. Procesamientos y análisis de datos .....	20
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>21</b>
4.1. Resultados.....	21
4.1.1. Cálculos de cargas y esfuerzo para el diseño de análisis estructural.....	21
4.1.2. Dimensionamiento estructural.....	21
4.1.3. Cálculos para la implementación mecánica del router CNC.....	27
4.1.4. Movimiento de los ejes por guías lineales .....	33
4.1.5. Determinación de los husillos .....	54

4.1.6. Evaluación de torques de los motores paso a paso.....	65
4.1.7. Software empleado para el diseño de taladrado .....	71
4.1.8. Características y funciones del Fusion 360 de autodesk.....	74
4.1.9. Pasos para diseñar piezas mediante Fusion 360.....	76
4.1.10. Software para controlar la máquina herramienta CNC .....	80
4.1.11. Configuración del Universal G Code Sender .....	82
4.1.12. Selección de las partes electrónicas del sistema de control.....	84
4.1.13. Análisis económico .....	89
4.1.14. Condiciones de seguridad en la operación del taladro CNC.....	93
4.1.15. Taladro CNC modular.....	93
4.2. Discusión .....	95
CONCLUSIONES .....	97
RECOMENDACIONES .....	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
ANEXO.....	103

## Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de las variables .....	19
Tabla 2. Instrumentos para recolección de datos .....	20
Tabla 3. Dureza Brinell de algunos materiales .....	22
Tabla 4. Datos para los cálculos del taladrado .....	23
Tabla 5. Longitudes y fuerzas para el eje Z .....	34
Tabla 6. Parámetros para las guías del eje Z.....	37
Tabla 7. Longitudes y fuerzas para el eje Y .....	41
Tabla 8. Parámetros para las guías del eje Z.....	43
Tabla 9. Longitudes y fuerzas para el eje X.....	48
Tabla 10. Parámetros para las guías del eje X .....	51
Tabla 11. Descripción del motor paso a paso nema 17.....	67
Tabla 12. Selección del Software para el diseño.....	73
Tabla 13. Cuadro de costos de materiales para la implementación del taladro a CNC .....	89
Tabla 14. Cronograma para la implementación del taladro a CNC .....	92

## Índice de figuras

Figura 1. Manufactura como modificación de una pieza .....	13
Figura 2. Manufactura como valor agregado .....	13
Figura 3. Recomendaciones de velocidades y avances para algunos materiales .....	21
Figura 4. Energía requerida según el material .....	24
Figura 5. Kit taladro .....	26
Figura 6. Carga total para el eje Z.....	28
Figura 7. Carga total para el eje Y .....	30
Figura 8. Carga total para el eje X .....	31
Figura 9. Cargas que determinan sobre el eje Z.....	33
Figura 10. Momento flector máximo para la guía del eje Z.....	36
Figura 11. Cargas que determinan sobre el eje Y .....	40
Figura 12. Momento flector máximo para la guía del eje Y .....	43
Figura 13. Cargas que determinan sobre el eje Z.....	47
Figura 14. Momento flector máximo para la guía del eje X.....	50

Figura 15. Husillo y el rodamiento axial.....	54
Figura 16. Movimiento vertical del husillo.....	66
Figura 17. Fusion 360 .....	71
Figura 18. Pieza paralelepípedo mediante Fusion 360.....	76
Figura 19. Configuraciones para el taladrado en Fusion 360 .....	77
Figura 20. Simulación de Fusion 360 .....	78
Figura 21. Configuración del post procesador Grbl en Fusion 360 .....	79
Figura 22. Generación del código G mediante Fusion 360.....	80
Figura 23. Software controlador de CNC UGS .....	81
Figura 24. Husillo en tiempo real mediante el UGS .....	82
Figura 25. Importación del archivo de código G a UGS.....	83
Figura 27. Selección del Arduino Uno R3 .....	85
Figura 28. Shield GRBL CNC .....	86
Figura 29. Driver DVR 8825 para motores paso a paso nema 17.....	87
Figura 30. Fuente de poder para la máquina herramienta CNC.....	88
Figura 31. Coquizado y ensamblado del taladro cnc. ....	94

## Resumen

La presente tesis titulada “**Diseño de un taladro a CNC utilizando la electrónica en la Escuela de Ingeniería Mecánica – UNJBG, en el año 2019**” ha tenido el enfoque de poder complementar el conocimiento y aplicarla para la escuela de ingeniería mecánica. Por lo que en este propósito se realizó los cálculos de la parte más crítica, los cuales son los 3 ejes guías que para el eje z un factor de seguridad 13, para el eje y un factor de seguridad 20 y para el eje x un factor de seguridad 5, así también como la selección de los rodamientos que son de 8mm, esto también llevo a la selección del husillo que fue de 8mm. No solo fue la parte mecánica, también esta las parte electrónica y el uso de los programas de Fusion 360 y G Code Sender de los cuales son parte esenciales para el uso apropiado de la máquina herramienta.

Palabras clave: Diseño, CNC, Taladro, Arduino.

## **Abstract**

This thesis entitled "**Design of a CNC drill using electronics in the School of Mechanical Engineering - UNJBG, in 2019**" has had the focus of being able to complement the knowledge and apply it to the mechanical engineering school. For this purpose, the calculations of the most critical part were carried out, which are the 3 guide axes that for the z axis a safety factor 13, for the y axis a safety factor 20 and for the x axis a factor of safety 5, as well as the selection of the bearings that are 8mm, this also led to the selection of the spindle that was 8mm. It was not only the mechanical part, but also the electronic part and the use of the Fusion 360 and G Code Sender programs of which are essential parts for the proper use of the machine tool.

Keywords: Design, CNC, Drill, Arduino.

## **Introducción**

La necesidad de utilizar las nuevas fuentes tecnológica en la escuela de Ingeniería Mecánica, hace que sea una necesidad latente, puesto que en las empresas todo está siendo automatizado para que el usuario obtenga es sus procesos de manufactura un mejor acabado en menos tiempo, posibilitando así una mejor producción.

El primer capítulo aprecia el problema de la investigación que describe la realidad actual y se centra en el problema, para ser llevado a la formulación del problema, el objetivo que requiere la tesis en elementos metodológicos que guían la investigación.

En el segundo capítulo se presenta el marco teórico, en el mismo que están los antecedentes o investigaciones anteriores vinculadas con en esta tesis, el marco teórico está unida al diseño de un horno rotatorio.

El tercer capítulo contempla la participación metodológica donde se explica la metodología que sustenta a esta tesis, donde se puntualiza el problema de estudio para poder enmarcar el tipo de investigación que se va a llevar a cabo.

En el cuarto capítulo denominado resultados y discusión se contrasta los resultados del diseño de manera mecánica y electrónica luego se realiza una confrontación sobre las

similitudes y/o discrepancias de los resultados de esta tesis con respecto a los antecedentes de estudios

Se finaliza con las conclusiones y recomendaciones, siendo la conclusión más significativa de esta tesis permitió realizar las selecciones de los materiales y la viabilidad de esta tesis

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Descripción de problema**

En todo el mundo los trabajos de taladrado suelen ser manuales, pero estos suelen ser imprecisos basta que erremos en un ángulo de inclinación esto puede acarrear en la pérdida del material, la cual genera sobre costos y contaminación.

En el Perú el uso de máquinas herramientas es limitado, puesto tiene un alto costo de adquisición, es por el cual suele ser muy poco usado, esto conlleva a que los que utilizan un taladro manual deban tener experiencia y precisión.

En la actualidad dentro de las instalaciones de los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica, se encuentra el taller de máquinas y herramientas, las cuales son operadas mediante movimiento eléctrico y mecánico. Quedándose entrampado del uso actual de la electrónica los cuales están actualmente en auge para el uso en estos tipos de máquinas.

Sin la intervención de la electrónica en estos tipos de máquinas el estudiante estará aislado de los avances científicos dentro del taller de máquinas.

Para solucionar el problema se hará uso de la electrónica mediante el Diseño de un taladro a CNC en la escuela de Ingeniería Mecánica – UNJBG, en el año 2019 para el desarrollo del aprendizaje en los estudiantes.

### **1.1.1. Antecedentes del problema**

El uso del sistema de Control Numérico Computarizado en la industria, cumple funciones de extrema precisión y ha ido en ascenso en las últimas décadas.

En la actualidad muchos investigadores, “están realizando aplicaciones para este tipo de arquitecturas basadas en fuentes electrónicas abiertas con distintos métodos para controlar el enrutador de Control Numérico Computarizado mediante el Arduino u otro tipo de micro controladores como: Arduino, TI LaunchPad, Teensy, Beaglebone” (Correa, Toombs, & Ferreira, 2017, p. 1).

“El diseño del prototipo del enrutador del Control Numérico Computarizado, nace realizando búsquedas por internet, cometiendo errores para que el prototipo este rígido y pueda tener estabilidad a bajo costo para que el mecanismo de movimiento pueda taladrar” (Hood-Daniel & Kelly, 2009a, p. 3). Esto conlleva a que existen muchos diseños y formas del enrutador a bajo costo.

Los softwares para realizar el Control son utilizados de forma gratuita, “primeramente Fusion 360 de AutoDesk nos brinda una licencia de estudiante por 3 años para lo cual nos permite realizar el diseño de la pieza y la generación del código

G para su posterior uso en Universal G-Code Sender”(«Fusion 360 | Free Software for Students, Educators | Autodesk», 2015; «UGS», 2017).

### **1.1.2. Problemática de la investigación**

## **1.2. Formulación del problema**

¿La utilización de la electrónica permitirá el diseño de un taladro a CNC en la Escuela de Ingeniería Mecánica – UNJBG, en el año 2019?

## **1.3. Justificación e importancia**

La propuesta de un diseño de un taladro a CNC es una herramienta para mejorar el manejo de los estudios en manufactura, dando mejores acabados de los que se obtendrían en un proceso manual.

Por esta razón, considero investigar un equipo que prepare satisfactoriamente el proceso de manufactura en la escuela de Ingeniería Mecánica para que pueda ser implementada o adaptada a los equipos que existen actualmente en el recinto educativo.

## **1.4. Alcances y limitaciones**

### **1.4.1. Alcances**

La realización de la presente investigación se consiguió diseñar un taladro a CNC para mejorar los procesos de manufactura en la escuela de Ingeniería Mecánica.

Dentro del diseño se consiguió los parámetros del factor de seguridad para las vigas, los parámetros electrónicos de la utilización del Arduino y sus demás componentes.

En base a estos dos parámetros mencionado anteriormente se ha podido concretar el diseño de un taladro a CNC.

#### **1.4.2. Limitaciones**

En la actualidad no existe investigaciones financiadas con el fin tecnológico en la UNJBG y la poca información nacional que se pudo recabar dentro del repositorio de la SUNEDU es muy baja, pero a pesar de estos inconvenientes se realizará esta tesis con el fin de que puedan acceder los estudiantes de la ESMC a este tipo de diseño.

### **1.5. Objetivos**

#### **1.5.1. Objetivo general**

Diseñar un taladro a CNC utilizando la electrónica en la escuela de Ingeniería Mecánica – UNJBG, en el 2019.

#### **1.5.2. Objetivos específicos**

Diseñar un enrutador de Control Numérico Computarizado de 3 ejes para un taladro CNC utilizando la electrónica en la escuela de Ingeniería Mecánica – UNJBG, en el 2019.

Diseñar piezas tridimensionales haciendo uso del software Fusion 360 de Autodesk para un taladro CNC utilizando la electrónica en la escuela de Ingeniería Mecánica – UNJBG, en el 2019.

Configurar el software Universal G-Code Sender para un taladro CNC utilizando la electrónica en la escuela de Ingeniería Mecánica – UNJBG, en el 2019.

Configurar los componentes electrónicos para un taladro CNC utilizando la electrónica en la escuela de Ingeniería Mecánica – UNJBG, en el 2019.

## **1.6. Hipótesis**

La utilización de la electrónica permitirá el diseño de un taladro CNC en la Escuela de Ingeniería Mecánica – UNJBG, en el año 2019.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del estudio**

##### **2.1.1. Antecedente nacional**

En el Perú los bachilleres Richard Ramón Abanto Ruiz y Wilmer Montenegro Ruiz en sus tesis sobre el DISEÑO DE UNA FRESADORA CNC PARA GRABADO EN MADERA PARA LA EMPRESA “EL NAZARENO” S.R.L. CHICLAYO, realizado en la ciudad de Chiclayo. Concluye que: La CNC de mesa fija y puente móvil presenta mejores ventajas ya que cumple con la mayoría de criterios analizados en la matriz de selección en cuanto a diseño, facilidad de operación y mayor rentabilidad en sus piezas frente a los otros 3 tipos de máquinas CNC por cuanto su puntuación llegó a ser 4,5 además de satisfacer las necesidades requeridas de la empresa.

##### **2.1.2. Antecedentes internacionales**

###### **Antecedentes internacionales 1:**

En el ámbito internacional tenemos a los autores, Iván Piquer Mora en su trabajo Diseño e implementación de una máquina CNC con funcionalidad de taladradora realizado en la Universidad Politécnica de Valencia concluye que: A la vista de la

diversidad de elementos necesarios para llevar a cabo diseño de una máquina CNC, así como de ciertos conocimientos tanto mecánicos como electrónicos y de programación, se puede calificar totalmente como un sistema mecatrónico.

### **Antecedentes Internacionales 2.**

Dr.B.Jayachandraiah, O.Vamsi Krishna, P.Abdullah Khan, R.Ananda Reddy. Con el trabajo de FABRICACIÓN DE COSTO BAJO EN ROUTER CNC DE 3 EJES. Realizado en el instituto tecnológico SriKalahateeswara concluye que: con la creciente demanda para escalas pequeñas de partes en alta precisión en varias industrias, el mercado para maquinas herramientas de escala pequeña ha crecido substancialmente. usando maquinas herramientas pequeñas para fabricar partes de escalas pequeñas puede proveer flexibilidad y eficiencia en el avance de la manufactura y reduciendo el costo del capital, la cual es beneficioso para los negocios propios pequeños.

### **2.2. Bases teóricas**

Los principales conceptos que se dedican al sistema de Control Numérico Computarizado, así como sus diversos componentes del proyecto; esto implica el hardware dentro del cual se hará énfasis en los módulos de Control.

### **2.2.1. Control numérico asistido por computadora.**

“Esta plataforma tecnológica abierta permite la fácil fabricación de diversas máquinas industriales necesarias para pequeñas comunidades con la comodidad moderna proporciona lista de materiales suministros necesarios para montar los diseños, así como instrucciones de ensamblaje, uso y mantenimiento” (Contreras, s. f., p. 6).

El Control Numérico Computarizado (CNC), es un sistema el cual Controla un mecanismo o una máquina herramienta mediante un computador; actualmente la evolución en los sistemas de fabricación se orienta al desarrollo de tecnologías integradas que proporcionan un alto grado de flexibilidad para la automatización y fabricación de máquinas Controladas por un ordenador mediante el software CAD - CAM, según la necesidad de mecanizar piezas de geometría compleja y alta precisión en su proceso y acabado. (Abanto Ruiz & Montenegro Ruiz, 2017; Campoverde Piña, 2017).

“Estas máquinas alían con la manufactura para la automotriz, aeroespacial y la industria biomédica las cuales pueden ser de hasta 5 ejes, de las cuales tres son ejes lineales y dos son ejes rotacionales” (Gu, Agapiou, & Kurgin, 2017, p. 1).

### **2.2.2. Enrutador del control numérico computarizado.**

En la actualidad existen muchos modelos publicados en la internet, pero “la demanda a pequeña escala industrial a bajo costo con recurso de hardware abierto son una gran ventaja teniendo que ser a su vez fácil de operar” (Jayachandraiah, Krishna, Khan, & Reddy, 2014, p. 2).

El enrutador necesita ejercer movimientos útiles, precisas y coordinados en el proceso de mecanizado de una pieza puesto que, si la parte mecánica no está bien construida de manera correcta, puede ocurrir que el sistema no se comporte como se esperaba, teniendo menor estabilidad, produciéndose así pérdida de precisión. (Campoverde Piña, 2017; Mora, 2016)

A comparación de las máquinas industriales como la Fanuc, la implementación de “este tipo de máquina esta indica para realizar agujeros a distancias, medidas gracias a su gran precisión y al ajuste micrométrico de la mesa” (Gallego, 2016, p. 58). Pero en ambos casos “se requiere de un operador necesario para supervisar la máquina y los procesos” («Las 6 principales ventajas de utilizar maquinaria CNC», 2017).

### **2.2.3. Universal g-code sender.**

Actualmente existe diferentes tipos de enviar el código G para que se pueda accionar el motor paso a paso, “de manera similar como trabajan las máquinas industriales como

la marca Fanuc” (Smid, 2003, p. 49). Así tenemos el “software de Control Mach 3 el cual tiene su versión libre, pero con limitación de 500 líneas de códigos G, y su versión de paga que llega hasta las 10000000 líneas de códigos G” (Hood-Daniel & Kelly, 2009; Overby, 2011).

Por otro lado, tenemos la versión libre del “software Universal G-Code Sender de categoría plugin para ser usado por el micro Controlador Atmega 328 quien envía las líneas del código G por el puerto serial USB” (Jayachandraiah et al., 2014; Santiago et al., 2018).

G-code es el nombre de un lenguaje de descripción de operaciones para máquinas de Control Numérico por ordenador para tres ejes que puede ser usado también como lenguaje de programación para controlar estos dispositivos para simplificar operaciones utilizando, por ejemplo, bucles. Se almacena en formato texto, es decir, puede leerse (y modificarse) con un editor de texto plano. Los programas están estructurados en una sola columna que contiene las líneas de programa que se necesiten. (Abanto Ruiz & Montenegro Ruiz, 2017; Gallego, 2016)

#### **2.2.4. Manufactura.**

Esta se entiende como “la modificación que sucede a una pieza definida geoméricamente y también el agregado de valor a una pieza conllevan a un proceso de

manufactura” (Groover—*Fundamentos de manufactura moderna.pdf*, s. f., p. 4) como se muestra en la Figura 01 y la Figura 02

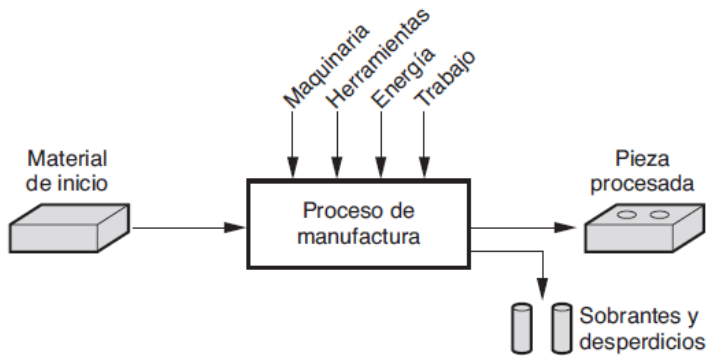


Figura 1. Manufactura como modificación de una pieza

Fuente: Groover, 2007

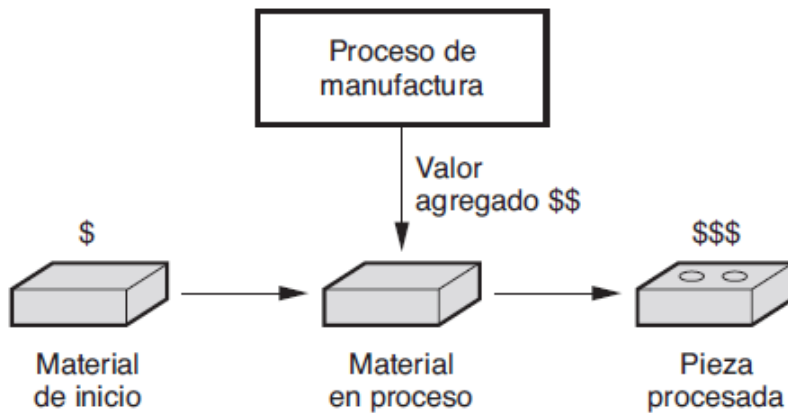


Figura 2. Manufactura como valor agregado

Fuente: Groover, 2007

La manufactura tiende a definirse como “cualquier cambio que sucede a un producto, desde la transformación de la materia prima como el hierro para transformarse en acero hasta la conformación de piezas ensambladas como son los motores eléctricos, triciclos, automóviles, etc.” (Kalpakjian, 2008, p. 1).

En nuestro caso emplearemos para realizar la operación de taladrado.

#### **2.2.5. Diseño de ingeniería mecánica.**

En el diseño de ingeniería mecánica, “se motiva en la solución de alguna necesidad encargada para que el Ingeniero Mecánico pueda darle solución con los conocimientos adquiridos durante su carrera profesional” (Mott, 2006, p. 3).

Estos diseños que se realizan deben tener la “rigurosidad científica puesto que debe ser funcional, confiable, seguro y útil, puesto que tendrá un operador a cargo y este debe funcionar es los parámetros predestinados” (Budynas & Nisbett, 2008, p. 5).

“Realizando cálculos estáticos, resistencia de materiales, deflexiones y que mediante análisis finitos” (Alva-Dávila, 2009, p. 3), podemos lograr tal objetivo que enmarca la producción de esta tesis.

### **2.2.6. Componentes electrónicos.**

El avance de la electrónica es asombroso, hasta la fecha es una de las tecnologías que más ha evolucionado teniendo como testigo los celulares inteligentes que pocas personas se imaginaban que en la actualidad una persona podría obtener uno de estos equipos. “La electrónica componen en sistemas que son sumamente pequeños y muy rapidos” (Boylestad & Nashelsky, 2009, p. 1). Los componentes electrónicos son considerados como un circuito integrado con una protección de capsula generalmente de color negro.

### **2.3. Definición de términos**

**ARDUINO.** - Es una compañía de software y hardware abierto donde se puede interactuar con dispositivos digitales y controlar objetos del mundo real.

**AUTOMATIZACIÓN.** - Es el uso de elementos tecnológicos los cuales son usado por los operadores para realizar una tarea de producción.

**AVANCE DEL TALADRO.** - Es una medida que indica un recorrido longitudinal en una vuelta dada de la broca.

**CAD.**- Por sus siglas Computer Aided Design que en español se traduce en diseño asistido por computador que para nuestro propósito se encarga de dar forma a una pieza con la ayuda de un computador.

**CAM.** - Por sus siglas Computer-Aided Manufacturing, que en español se traduce como manufactura asistido por computador, después de realizar un diseño el proceso de manufactura se puede simular mediante un computador.

**CNC.** - También conocido por control numérico computarizado, la cual permite controlar la posición de un elemento físico.

**DISEÑO.** - Es el proceso de dar forma, dimensiones, materiales, tecnología de fabricación y funcionamiento de una máquina para que cumpla unas determinadas funciones o necesidades.

**ENRUTADOR.** - Es una maquina controlada por computador manipulando los ejes mediante motores.

**ESMC.** - Por sus siglas Escuela de Ingeniería Mecánica.

**FACTOR DE SEGURIDAD.** - es un coeficiente del cálculo de la capacidad máxima y el valor requerido esperado real.

**FUSION 360.**- es un programa orientado al CAM.

**G-CODE SENDER.** - Es un emisor de código G de plataforma cruzada compatible con GRBL basado en Java.

**GRBL.** - Es un software libre, de código abierto, de alto rendimiento para controlar el movimiento de las máquinas que se mueven, que hacen las cosas, o que hacen que las cosas se muevan, y se ejecutará en un Arduino.

IMPLEMENTACIÓN. - Es la ejecución de una idea programada.

MECANISMO. - Son dispositivos solidos que reciben una energía de entrada y a través de un sistema de transmisión y transformación de movimiento.

MOMENTO FLECTOR. - Es el momento de una fuerza resultante mediante una distribución de tensiones sobre una sección transversal.

PROCESOS DE MANUFACTURA. - Es el uso de herramientas y técnicas para fabricar objetos.

PROTOTIPO. - Es un objeto que sirve como referencia para próximos modelos en una misma cadena de producción.

SUNEDU. - Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria

TALADRO. - Es una Herramienta que sirve para hacer agujeros en materiales duros mediante una broca.

UNJBG. - Por sus siglas Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Tipo y diseño de la investigación**

##### **3.1.1. Tipo de investigación.**

El tipo de la investigación es aplicada.

##### **3.1.2. Diseño de la investigación.**

El diseño de la investigación es experimental, pre-experimental

#### **3.2. Población y muestra**

No Aplica

##### **3.2.1. Población**

No aplica.

#### **3.3. Operacionalización de variables**

**Tabla 1**  
*Operacionalización de las variables*

Variable	Dimensión	Indicador
	Factor de seguridad.	Resistencia real entre resistencia requerida.
	Momento Flector.	Fuerza por distancia.
Diseño de un taladro a CNC.	Avance del taladro.	Avance por revolución.
	Torque en los motores PaP.	Fuerza por distancia.
	Carga para rodamientos.	Fuerza.
	Plataforma del CNC.	Estructura de soporte.
Utilización de la electrónica	Autodesk Fusión 360	Generación del código G.
	G-code Sender.	Envío del código g al Arduino R-Uno.
	Arduino R-Uno.	Algoritmo de programación.
	GRBL.	Configuración de firmware.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

La información de la presente investigación se obtendrá usando los instrumentos referenciados en la Tabla 2 los cuáles serán validados por ingenieros especialistas.

**Tabla 2**

*Instrumentos para recolección de datos*

Técnica	Uso	Instrumentos
Observación	Análisis documental de tablas, dureza de madera, mecánicos y electrónicos.	Unidades de datos.

---

Fuente: Elaboración propia.

### **3.5. Procesamientos y análisis de datos**

No aplica

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. Resultados

##### 4.1.1. Cálculos de cargas y esfuerzo para el diseño de análisis estructural

##### 4.1.2. Dimensionamiento estructural

Ecuaciones y cálculos para el taladrado.

Las fórmulas utilizadas, fueron recabadas del libro (Kalpakjian, 2008) y también fueron tomadas del libro (Groover, 2007) ambos libros se centran en la manufactura para fundamentar la presente tesis.

<b>Recomendaciones generales de velocidades y avances en taladrado</b>						
Material de la pieza de trabajo	Velocidad superficial		Diámetro de la broca			
			Avance, mm/rev (pulgadas/rev)		rpm	
	m/min	pies/min	1.5 mm (0.060 pulgada)	12.5 mm (0.5 pulgada)	1.5 mm	12.5 mm
Aleaciones de aluminio	30–120	100–400	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)	6400–25,000	800–3000
Aleaciones de magnesio	45–120	150–400	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)	9600–25,000	1100–3000
Aleaciones de cobre	15–60	50–200	0.025 (0.001)	0.25 (0.010)	3200–12,000	400–1500
Aceros	20–30	60–100	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)	4300–6400	500–800
Aceros inoxidables	10–20	40–60	0.025 (0.001)	0.18 (0.007)	2100–4300	250–500
Aleaciones de titanio	6–20	20–60	0.010 (0.0004)	0.15 (0.006)	1300–4300	150–500
Hierros fundidos	20–60	60–200	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)	4300–12,000	500–1500
Termoplásticos	30–60	100–200	0.025 (0.001)	0.13 (0.005)	6400–12,000	800–1500
Termofijos	20–60	60–200	0.025 (0.001)	0.10 (0.004)	4300–12,000	500–1500

Figura 3. Recomendaciones de velocidades y avances para algunos materiales

Fuente: Jayachandraiah, Krishna, Khan, & Reddy, 2014

En la Figura 3 se tiene algunas recomendaciones las pruebas se realizarán sobre madera, por lo que en la siguiente tabla se ilustra su dureza.

**Tabla 3**

*Dureza Brinell de algunos materiales*

Material	Dureza Brinell
Aluminio	20 HB
Cobre	35 HB
Acero (blando)	120 HB
Acero inoxidable	250 HB
Acero de herramientas	500 HB
Madera	entre 1 - 7 HB
Níquel	90 HB
Aleaciones de Níquel	entre 95 - 476 HB
Vidrio	482 HB
Magnesio, cinc, latón fundido	entre 11 - 158 HB
Metales antifricción	entre 6 - 78 HB
Plomo, estaño, soldadura blanda	entre 3 - 39 HB

Fuente: Escalas de Dureza de los Materiales, 2016

Haciendo la comparación con la Figura 3 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para la madera y el magnesio tiene durezas cercanas, por lo que se puede hacer uso de los parámetros para las aleaciones de magnesio.

En la siguiente tabla se detallará los datos correspondientes para realizar un taladrado.

**Tabla 4**

*Datos para los cálculos del taladrado*

Parámetro	Datos	Unidades
Diámetro de la broca	2	mm
Velocidad superficial	1,375	m/s
Avance del husillo	0,025	mm/rev
Velocidad del usillo	12000	RPM

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura, se mostrará una tabla de requerimientos de energía en las operaciones de corte para hacer los cálculos de la selección de motores eléctricos para el taladro.

Material	Energía específica	
	W · s/mm <sup>3</sup>	hp · min/pulg <sup>3</sup>
Aleaciones de aluminio	0.4-1	0.15-0.4
Hierros fundidos	1.1-5.4	0.4-2
Aleaciones de cobre	1.4-3.2	0.5-1.2
Aleaciones de alta temperatura	3.2-8	1.2-3
Aleaciones de magnesio	0.3-0.6	0.1-0.2
Aleaciones de níquel	4.8-6.7	1.8-2.5
Aleaciones refractarias	3-9	1.1-3.5
Aceros inoxidable	2-5	0.8-1.9
Aceros	2-9	0.7-3.4
Aleaciones de titanio	2-5	0.7-2

Figura 4. Energía requerida según el material

Fuente: Kalpakjian, 2008.

### Velocidad de remoción de material

$$MRR = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) f N \quad [ 1 ]$$

MRR: velocidad de remoción del material.

D: diámetro de la broca a utilizar.

f: avance del husillo.

N: Velocidad del husillo

$$MRR = \left( \frac{\pi(2^2)}{4} \right) (0,025)(12000) \quad [ 2 ]$$

$$MMR = 942,4780 \text{ mm}^3/\text{min} \quad [ 3 ]$$

$$MMR = 15,7080 \text{ mm}^3/s \quad [ 4]$$

### **Cálculo de la potencia para el motor eléctrico del taladro**

La madera al tener una dureza similar a las aleaciones de magnesio la potencia requerida vendrá añadido con un factor de 0,4 según la tabla anterior

$$P = 15,7080 (0,4) \quad [ 5]$$

$$P = 6,2832 \text{ W} \quad [ 6]$$

### **Par de apriete**

$$w = N \left( \frac{2\pi}{60} \right) \quad [ 7]$$

$$w = 1256,6371 \text{ Rad/s} \quad [ 8]$$

$$T = \frac{P}{w} \quad [ 9]$$

$$T = 5 \times 10^{-3} \text{ Nm} \quad [ 10]$$

Con los datos obtenidos en las ecuaciones [ 4], [ 6], [ 10] podremos seleccionar de manera adecuada del motor eléctrico para el taladro.

Se Optó utilizar un taladro de marca PowerMaQ de código PP 1403 de 16 W de potencia del modelo Mini Grinder Set.



Figura 5. Kit taladro

Fuente: Elaboración propia.

#### **Cálculo de la fuerza del eje z ejercida por el motor paso a paso.**

El motor paso a paso de modelo 42BYGH34-0400A tiene 28 N-cm con eje de diámetro 5 mm, con estos datos podremos calcular la fuerza que dota al sistema.

$$T_{motor} = F_c * D \quad [ 11]$$

$$280 = F(2,5) \quad [ 12]$$

$$F_z = \frac{280}{2,5} \quad [ 13]$$

$$F_z = 112 \text{ N} \quad [ 14]$$

Donde:

$T_{motor}$ : Torque de 280 N-mm según el fabricante.

D: Distancia del radio del eje del motor paso a paso.

$F_c$ : Fuerza ejercida por el motor paso a paso.

#### **4.1.3. Cálculos para la implementación mecánica del router CNC**

Existen una fuerza resultante resultante sobre cierto objeto, el cual el eje del sistema soporta dichas fuerzas resultantes y para que no ocurra de formación o rotura se harán los cálculos correspondientes para la selección adecuada de dichos elementos mecánico.

## Fuerza resultante del eje z

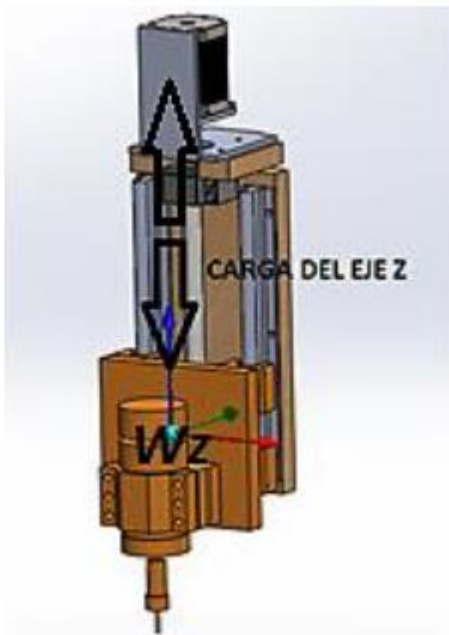


Figura 6. Carga total para el eje Z

Fuente: Abanto Ruiz & Montenegro Ruiz, 2017

Como se puede visualizar en la anterior figura, la cual se encuentra seleccionada siendo este el peso total que soportara el motor del eje z.

$$F_z = w_z + F_c \quad [15]$$

Donde:

Fz : es el total de la fuerza y la carga que soportara el eje z.

Wz: son los pesos de los rodamientos, estructura, tornillos, motor eléctrico y soporte.

Fc: es la fuerza de corte que ejercerá el taladro.

Con la sumatoria de todas las masas de cada elemento podemos determinar el peso total que soportara en cada eje.

$$\text{masa}_z = m_{\text{motor}} + m_{\text{estructura}} + m_{\text{elementos}} \quad [16]$$

$$\text{masa}_z = 0,1 \text{ kg} + 0,3 \text{ kg} + 0,1 \text{ kg} \quad [17]$$

$$\text{masa}_z = 0,5 \text{ kg} \quad [18]$$

$$Wz = \text{masa}_z \times 9,81 \text{ m/s}^2 \quad [19]$$

$$Wz = 0,5\text{kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \quad [20]$$

$$Wz = 4,9 \text{ N} \quad [21]$$

$$Fz = 4,9 \text{ N} + 112 \text{ N} \quad [22]$$

$$Fz = 116,91 \text{ N} \quad [23]$$

## Fuerza resultante del eje y

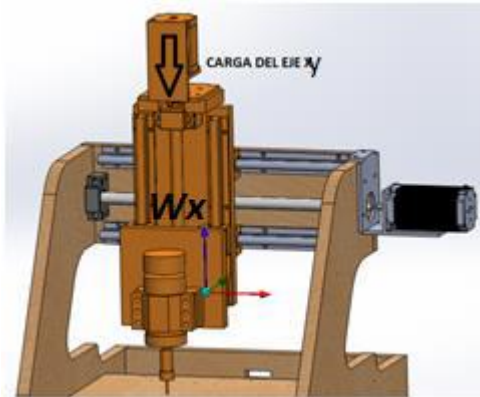


Figura 7. Carga total para el eje Y

Fuente: Abanto Ruiz & Montenegro Ruiz, 2017.

Donde:

$F_y$  : es el total de la fuerza y la carga que soportara el eje y.

$W_y$ : son los pesos de los rodamientos, estructura, tornillos, motor eléctrico y soporte.

$F_c$ : es la fuerza de corte que ejercerá el taladro.

$$masa_y = masa_z + m_{motor} + m_{estructura} + m_{elementos} \quad [ 24 ]$$

$$masa_y = 0,5 \text{ kg} + 0,3 \text{ kg} + 0,2 \text{ kg} + 0,78 \text{ kg} \quad [ 25 ]$$

$$masa_y = 1,78 \text{ kg} \quad [ 26 ]$$

$$W_y = m a_y \times 9,81 \text{ m/s}^2 \quad [ 27 ]$$

$$W_y = 1,78 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \quad [ 28 ]$$

$$W_y = 17,46 \text{ N} \quad [ 29 ]$$

$$F_y = 17,46 \text{ N} + 112 \text{ N} \quad [ 30 ]$$

$$F_y = 129,46 \text{ N} \quad [ 31 ]$$

**FUERZA RESULTANTE DEL EJE X.**



Figura 8. Carga total para el eje X

Fuente: Abanto Ruiz & Montenegro Ruiz, 2017

$$F_x = w_x + F_c \quad [ 32 ]$$

Donde:

$F_x$  : es el total de la fuerza y la carga que soportara el eje x.

$W_x$ : son los pesos de los rodamientos, estructura, tornillos, motor eléctrico y soporte.

$F_c$ : es la fuerza de corte que ejercerá el taladro.

$$Masa_x = m_{estructura} + m_{elementos} \quad [ 33]$$

$$Masa_x = 0,7 \text{ kg} + 0,2 \text{ kg} \quad [ 34]$$

$$Masa_x = 0,9 \text{ kg} \quad [ 35]$$

$$W_x = masa_x \times 9,81 \text{ m/s}^2 \quad [ 36]$$

$$W_x = 0,9 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \quad [ 37]$$

$$W_x = 8,82 \text{ N} \quad [ 38]$$

$$F_x = 8,82 \text{ N} + 112 \text{ N} \quad [ 39]$$

$$F_x = 120,82 \text{ N} \quad [ 40]$$

#### 4.1.4. Movimiento de los ejes por guías lineales

Para para realizar un diseño sobre las bancadas de cada uno de los ejes para la máquina CNC se debe tomar en cuenta todas las fuerzas y reacciones que actúan sobre los ejes lineales, para que realicen el traslado y dirección se utilizarán el catálogo del fabricante (THK, 2018).

#### Guías del eje Z.

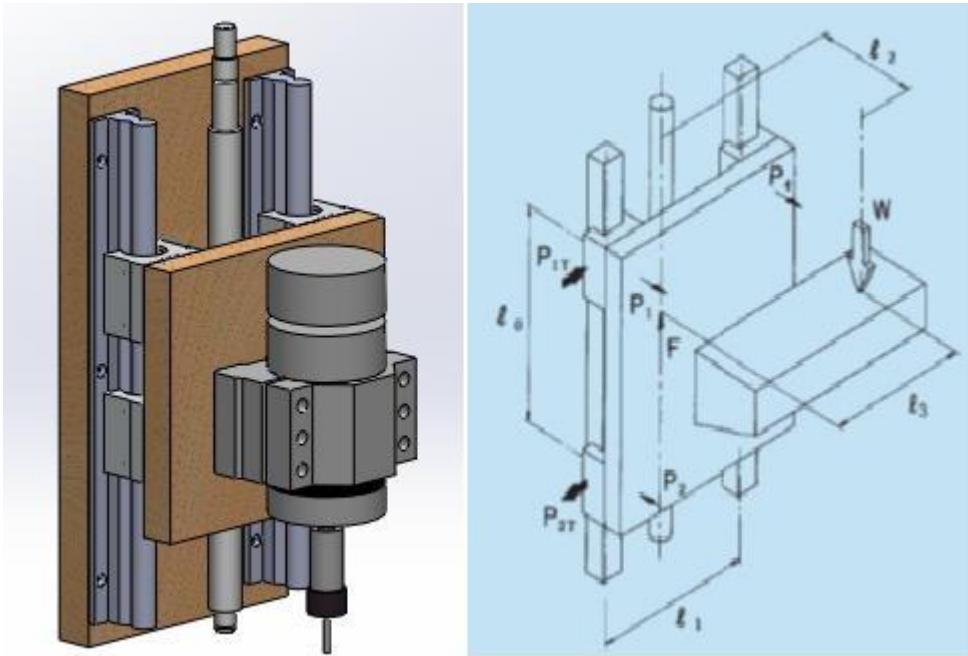


Figura 9. Cargas que determinan sobre el eje Z.

Fuente: THK, 2018

Conforme a la figura tendremos que tomar en cuenta las dimensiones de la estructura y tendrá una velocidad constante para el diseño, es necesario aclarar que la carga W se encuentra centrado en el carro vertical. El movimiento será ascendente y descendente.

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{w}{2} x \frac{l_2}{l_0} \quad [41]$$

$$P_{1T} = P_{2T} = P_{3T} = P_{4T} = \frac{w}{2} x \frac{l_3}{l_0} \quad [42]$$

**Tabla 5**

*Longitudes y fuerzas para el eje Z*

Parámetros	Datos	Unidades
Longitud axial entre Rodamientos lineales $l_0$ .	0,065	m
Longitud entre guías lineales $l_1$ .	0,065	m
Longitud entre la transmisión y el motor de grabado $l_2$ .	0,060	m
Longitud del centrado para el motor eléctrico $l_3$ .	0,000	m
Fuerza resultante para el eje Z W.	116,91	N

Fuente: elaboración propia

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{116}{2} \times \frac{0,06}{0,065} = 53,96 \text{ N} \quad [43]$$

$$P_{1T} = P_{2T} = P_{3T} = P_{4T} = \frac{116}{2} \times \frac{0,00}{0,065} = 0,00 \text{ N} \quad [44]$$

Mediante el software de análisis estructural “solidworks”, se procede con la determinación de las reacciones, fuerzas cortantes y el momento flector de las guías estando el carro en la posición central de la vertical para realizar un análisis crítico. La guía cuenta con 0.18 m de longitud y las cargas P1 y P2 se sitúan en 0,0575m y 0,1225m respectivamente.

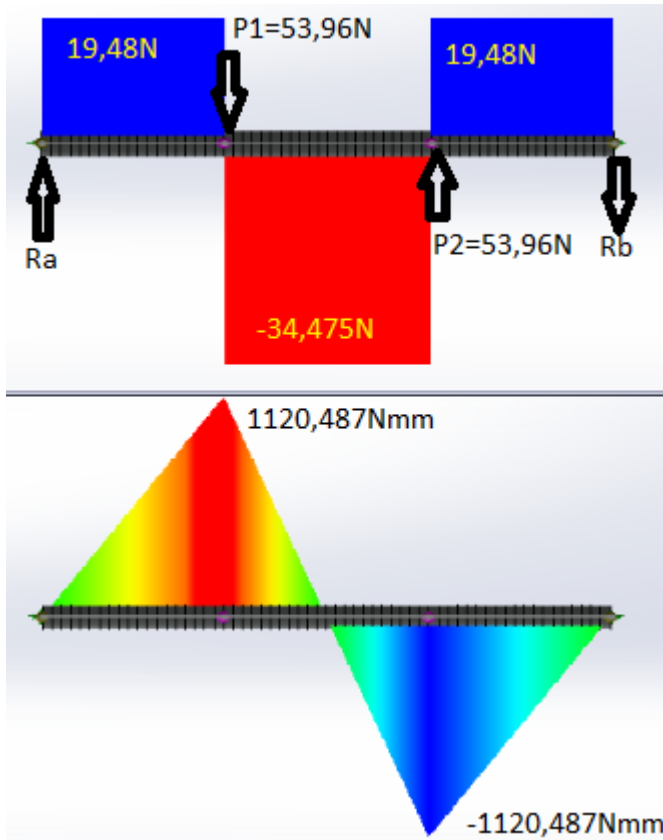


Figura 10. Momento flector máximo para la guía del eje Z

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6**

*Parámetros para las guías del eje Z*

PARÁMETROS	RESULTADOS	UNIDADES
Reacción en Ra	19,48	N
Reacción en Rb	19,48	N
Momento Flector M <sub>f</sub>	1120,487	N mm

Fuente: Elaboración propia.

Para evitar la deformación en las guías y permanezca en los rangos elásticos se tendrá el esfuerzo máximo con la formula.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{S_y}{\eta} \quad [ 45]$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ : Esfuerzo máximo.

$S_y$ : Es el esfuerzo a la resistencia de fluencia del acero AISI 1020 que tiene un valor de 296MPa o 296N/mm<sup>2</sup> para las guías lineales.

n: Es el factor de seguridad “Es una medida de seguridad que para diseños de elementos de máquinas bajo de cargas estáticas esta entre 1,25 y 2,00” (Mott, 2006, p. 185).

Por lo tanto, tomaremos el factor de seguridad n igual a 2,00.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{296}{2} \quad [46]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 148 \frac{N}{mm^2} \quad [47]$$

El esfuerzo máximo que se halló en los análisis de momentos flectores se relaciona con el módulo de resistencia de la sección.

$$s = \frac{M_f}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad [48]$$

Donde:

s: Modulo de resistencia de la sección.

M<sub>f</sub>: Momento flector máximo.

$$s = \frac{1120,49 \text{ N} * \text{mm}}{148 \frac{N}{mm^2}} \quad [49]$$

$$s = 7,57 \text{ mm}^3 \quad [50]$$

Por la fórmula del módulo de resistencia para una sección circular transversal maciza.

$$s = \frac{\pi(d^3)}{32} \quad [51]$$

Donde:

d: Diámetro de la guía lineal.

Despejando el diámetro y desarrollando la ecuación.

$$d = \sqrt[3]{\frac{s(32)}{\pi}} \quad [52]$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{7,57(32)}{\pi}} \quad [53]$$

$$d = 4,25 \text{ mm} \quad [54]$$

El diámetro que se encontró es de 4,25mm para los ejes lineales z, pero obtaremos por uno de 8mm por su comercialidad tanto por los rodamientos radiales y lineales con este diámetro obtendremos un factor de seguridad n igual a 13.

Entonces  $d_z = 8 \text{ mm}$ .

Como se determinó el uso de  $d_z = 8 \text{ mm}$  y la carga hallada afecta a cuatro puntos críticos de la guía.

Por lo tanto, se seleccionó un rodamiento de 8mm de diámetro interior con sus soportes.

## Guías del eje Y

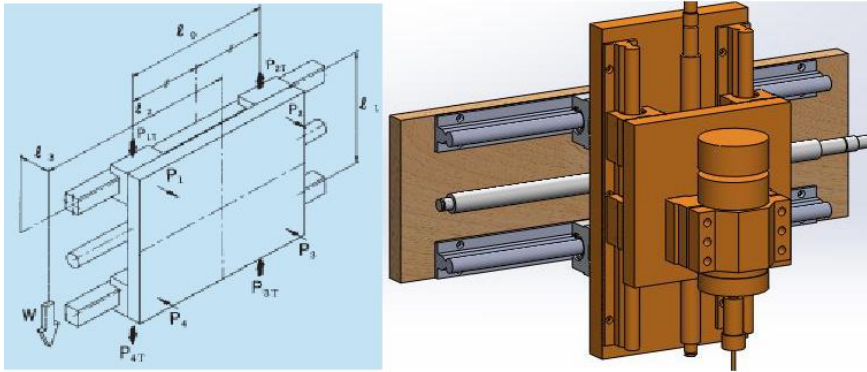


Figura 11. Cargas que determinan sobre el eje Y

Fuente: THK, 2018.

Conforme a la figura tendremos que tomar en cuenta las dimensiones de la estructura y tendrá una velocidad constante para el diseño, es necesario aclarar que la carga  $W$  se encuentra centrado en el carro vertical. La masa se encuentra situado en el centro del carro horizontal del eje Y.

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0} \quad [55]$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0} \quad [56]$$

$$P_{2T} = P_{3T} = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0} \quad [57]$$

**Tabla 7***Longitudes y fuerzas para el eje Y*

Parámetros	Datos	Unidades
Longitud axial entre Rodamientos lineales $l_0$ .	0,055	m
Longitud entre guías lineales $l_1$ .	0,100	m
Longitud entre la transmisión y el motor de grabado $l_2$ .	0,000	m
Longitud del centrado para el motor eléctrico $l_3$ .	0,040	m
Fuerza resultante para el eje Y.	129,46	N

Fuente: elaboración propia.

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{129,46}{2} \times \frac{0,100}{0,055}$$

[ 58]

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 25,89\text{N} \quad [ 59]$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \frac{w}{4} + \frac{w}{2} x \frac{l_2}{l_0} \quad [ 60]$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \frac{129,46}{4} + \frac{129,46}{2} x \frac{0,000}{0,055} \quad [ 61]$$

$$P_{1T} = P_{4T} = 32,37\text{N} \quad [ 62]$$

$$P_{2T} = P_{3T} = \frac{w}{4} - \frac{w}{2} x \frac{l_2}{l_0} \quad [ 63]$$

$$P_{2T} = P_{3T} = \frac{129,46}{4} - \frac{129,46}{2} x \frac{0,000}{0,055} \quad [ 64]$$

$$P_{2T} = P_{3T} = 32,37 \text{ N} \quad [ 65]$$

Mediante el software de análisis estructural “solidworks”, se procede con la determinación de las reacciones, fuerzas cortantes y el momento flector de las guías estando el carro en la posición central de la vertical para realizar un análisis crítico. La guía cuenta con 0,18 m de longitud y las cargas P1 y P2 se sitúan en 0,0575m y 0,1225m respectivamente.

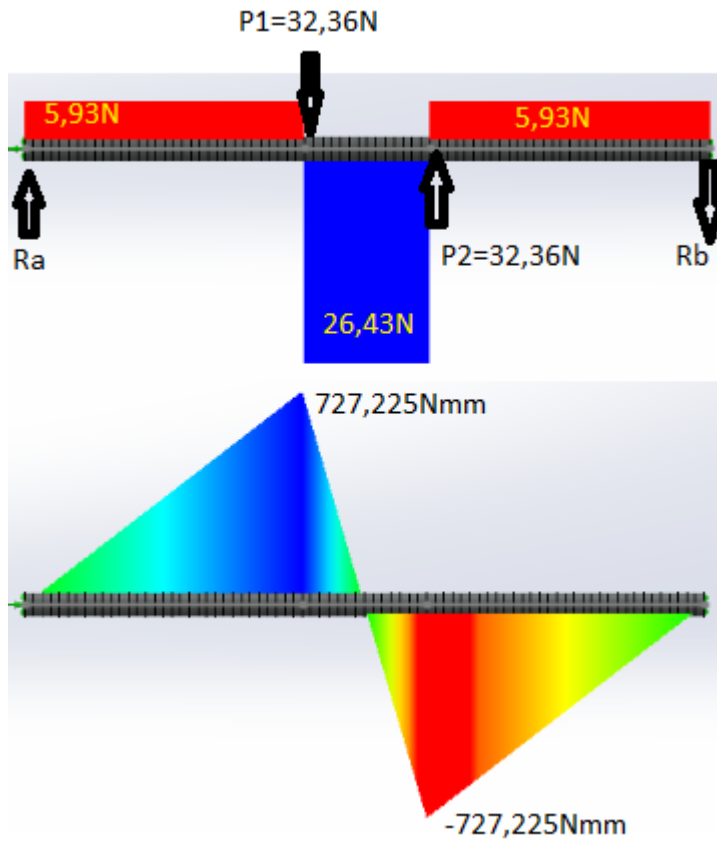


Figura 12. Momento flector máximo para la guía del eje Y

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8**

*Parámetros para las guías del eje Z*

PARÁMETROS	RESULTADOS	UNIDADES
Reacción en Ra	5,93	N

Reacción en Rb	5,93	N
Momento Flector M <sub>f</sub>	727,23	N mm

---

Fuente: Elaboración propia.

Para evitar la deformación en las guías y permanezca en los rangos elásticos se tendrá el esfuerzo máximo con la formula.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{S_y}{\eta} \quad [ 66]$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ : Esfuerzo máximo.

S<sub>y</sub>: Es el esfuerzo a la resistencia de fluencia del acero AISI 1020 que tiene un valor de 296 MPa o 296 N/mm<sup>2</sup> para las guías lineales.

n: Es el factor de seguridad “Es una medida de seguridad que para diseños de elementos de máquinas bajo de cargas estáticas esta entre 1,25 y 2,00” (Mott, 2006, p. 185).

Por lo tanto, tomaremos el factor de seguridad n igual a 2,00.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{296}{2} \quad [ 67]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 148 \frac{N}{mm^2} \quad [ 68]$$

El esfuerzo máximo que se halló en los análisis de momentos flectores se relaciona con el módulo de resistencia de la sección.

$$s = \frac{M_f}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad [ 69]$$

Donde:

s: Modulo de resistencia de la sección.

M<sub>f</sub>: Momento flector máximo.

$$s = \frac{727,225 \text{ N} * \text{ mm}}{148 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \quad [ 70]$$

$$s = 4,91 \text{ mm}^3 \quad [ 71]$$

Por la fórmula del módulo de resistencia para una sección circular transversal maciza.

$$s = \frac{\pi(d^3)}{32} \quad [72]$$

Donde:

d: Diámetro de la guía lineal.

Despejando el diámetro y desarrollando la ecuación.

$$d = \sqrt[3]{\frac{s(32)}{\pi}} \quad [ 73]$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4,1(32)}{\pi}} \quad [ 74]$$

$$d = 3,68 \text{ mm} \quad [ 75]$$

El diámetro que se encontró es de 3,68mm para los ejes lineales Y, pero optaremos por uno de 8mm por su comercialidad tanto por los rodamientos radiales y lineales con este diámetro obtendremos un factor de seguridad n igual a 20.

Entonces  $d_z = 8 \text{ mm}$ .

Como se determinó el uso de  $d_z = 8 \text{ mm}$  y la carga hallada afecta a cuatro puntos críticos de la guía.

Por lo tanto, se seleccionó un rodamiento de 8 mm de diámetro interior con sus soportes.

### Guías del eje X.

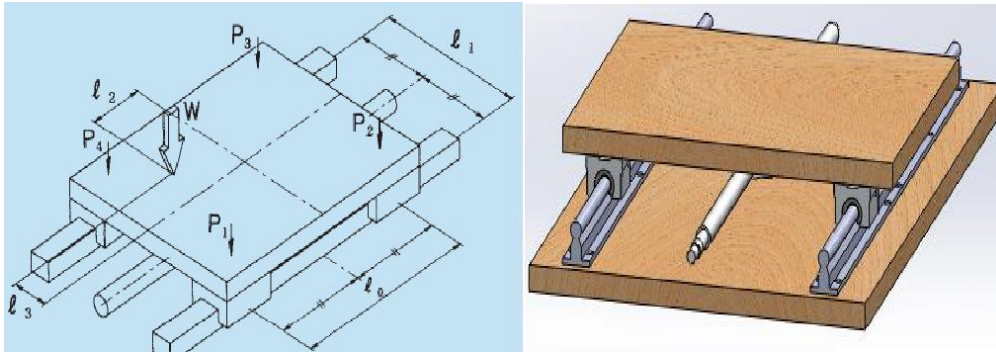


Figura 13. Cargas que determinan sobre el eje Z

Fuente: THK, 2018

Conforme a la figura tendremos que tomar en cuenta las dimensiones de la estructura y tendrá una velocidad constante para el diseño, es necesario aclarar que la carga  $W$  se encuentra centrado en el carro vertical.

**Tabla 9***Longitudes y fuerzas para el eje X*

Parámetros	Datos	Unidades
Longitud axial entre Rodamientos lineales $l_0$ .	0,10	m
Longitud entre guías lineales $l_1$ .	0,10	m
Longitud entre la transmisión y el motor de grabado $l_2$ .	0,00	m
Longitud del centrado para el motor eléctrico $l_3$ .	0,00	m
Fuerza resultante para el eje X $W$ .	120,82	N

Fuente: elaboración propia

$$P_1 = \frac{w}{4} + \frac{w}{2}x \frac{l_2}{l_0} - \frac{w}{2}x \frac{l_3}{l_1}$$

[ 76]

$$P_2 = \frac{w}{4} - \frac{w}{2}x \frac{l_2}{l_0} - \frac{w}{2}x \frac{l_3}{l_1} \quad [ 77]$$

$$P_3 = \frac{w}{4} - \frac{w}{2}x \frac{l_2}{l_0} + \frac{w}{2}x \frac{l_3}{l_1} \quad [ 78]$$

$$P_4 = \frac{w}{4} + \frac{w}{2}x \frac{l_2}{l_0} + \frac{w}{2}x \frac{l_3}{l_1} \quad [ 79]$$

$$P_1 = \frac{120,82}{4} + \frac{120,82}{2}x \frac{0,00}{0,10} - \frac{120,82}{2}x \frac{0,00}{0,10} \quad [ 80]$$

$$P_1 = 30,21N \quad [ 81]$$

$$P_2 = \frac{120,82}{4} - \frac{120,82}{2}x \frac{0,00}{0,10} - \frac{120,82}{2}x \frac{0,00}{0,10} \quad [ 82]$$

$$P_2 = 30,21N \quad [ 83]$$

$$P_3 = \frac{120,82}{4} - \frac{120,82}{2}x \frac{0,00}{0,10} + \frac{120,82}{2}x \frac{0,00}{0,10} \quad [ 84]$$

$$P_3 = 30,21N \quad [ 85]$$

$$P_4 = \frac{120,82}{4} + \frac{120,82}{2}x \frac{0,00}{0,10} + \frac{120,82}{2}x \frac{0,00}{0,10} \quad [ 86]$$

$$P_4 = 30,21N \quad [ 87]$$

Mediante el software de análisis estructural “solidworks”, se procede con la determinación de las reacciones, fuerzas cortantes y el momento flector de las guías estando el carro en la posición central de la vertical para realizar un análisis crítico. La guía cuenta con 0,3 m de longitud y las cargas P1 y P2 se sitúan en 0,10 m y 0,20 m respectivamente.

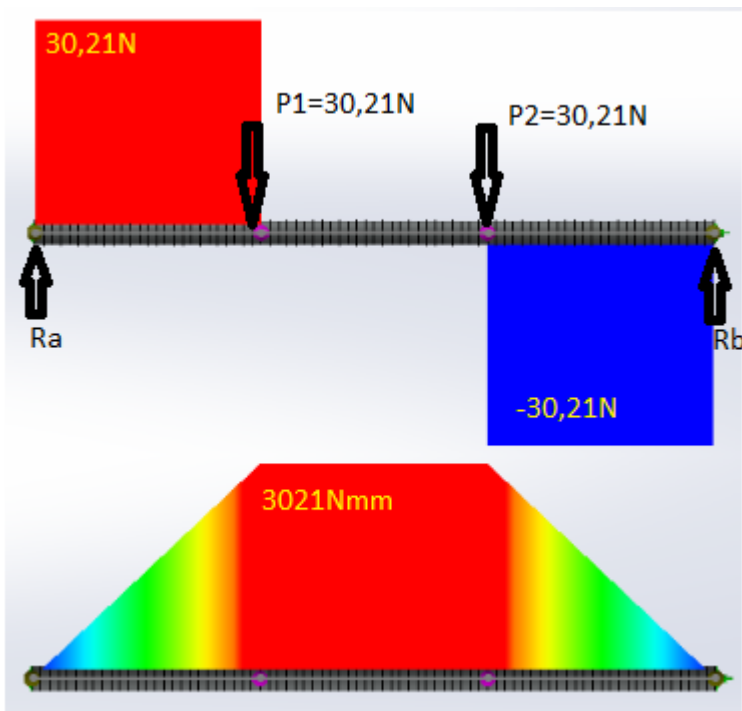


Figura 14. Momento flector máximo para la guía del eje X

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10**

*Parámetros para las guías del eje X*

PARÁMETROS	RESULTADOS	UNIDADES
Reacción en Ra	30,21	N
Reacción en Rb	30,21	N
Momento Flector M <sub>f</sub>	3021,00	N mm

Fuente: Elaboración propia

Para evitar la deformación en las guías y permanezca en los rangos elásticos se tendrá el esfuerzo máximo con la formula.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{S_y}{\eta} \quad [ 88]$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ : Esfuerzo máximo.

$S_y$ : Es el esfuerzo a la resistencia de fluencia del acero AISI 1020 que tiene un valor de 296 MPa o 296 N/mm<sup>2</sup> para las guías lineales.

$n$ : Es el factor de seguridad “Es una medida de seguridad que para diseños de elementos de máquinas bajo de cargas estáticas esta entre 1,25 y 2,00” (Mott, 2006, p. 185).

Por lo tanto, tomaremos el factor de seguridad n igual a 2,00.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{296}{2} \quad [ 89]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 148 \frac{N}{mm^2} \quad [ 90]$$

El esfuerzo máximo que se halló en los análisis de momentos flectores se relaciona con el módulo de resistencia de la sección.

$$s = \frac{M_f}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad [ 91]$$

Donde:

s: Modulo de resistencia de la sección.

M<sub>f</sub>: Momento flector máximo.

$$s = \frac{3021,00 \text{ N} * \text{mm}}{148 \frac{N}{mm^2}} \quad [ 92]$$

$$s = 20,41 \text{ mm}^3 \quad [ 93]$$

Por la fórmula del módulo de resistencia para una sección circular transversal maciza.

$$s = \frac{\pi(d^3)}{32} \quad [ 94]$$

Donde:

d: Diámetro de la guía lineal.

Despejando el diámetro y desarrollando la ecuación.

$$d = \sqrt[3]{\frac{s(32)}{\pi}} \quad [ 95]$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{3021(32)}{\pi}} \quad [ 96]$$

$$d = 5,92 \text{ mm} \quad [ 97]$$

El diámetro que se encontró es de 5,92 mm para los ejes lineales z, pero optaremos por uno de 8mm por su comercialidad tanto por los rodamientos radiales y lineales con este diámetro obtendremos un factor de seguridad n igual a 5.

Entonces  $d_z = 8 \text{ mm}$ .

Como se determinó el uso de  $d_z = 8 \text{ mm}$  y la carga hallada afecta a cuatro puntos críticos de la guía.

Por lo tanto, se seleccionó un rodamiento de 8mm de diámetro interior con sus soportes.

#### 4.1.5. Determinación de los husillos

##### Determinación del husillo para el eje Z.

El tornillo sin fin de potencia que se utiliza, está actuando como husillo que para realizar los caculos recurriremos al catálogo de SKF 2013 la cual está normalizada con el ISO 2086-2:1988, para la selección del husillo importantes para el diseño de la máquina herramienta que se está diseñando.



Figura 15. Husillo y el rodamiento axial

Fuente: Elaboración propia.

La máxima carga que puede soportar sobre el eje Z es:

$$F_z = 116,91 \text{ N}$$

[ 98]

Esta carga incluye la fuerza de presión que ejerce la broca y el peso de los componentes. Sabemos que el movimiento que ejerce es de manera ascendente y descendente.

$$P = \frac{d}{\text{Revoluciones}} \quad [ 99]$$

d: Es el recorrido que realiza el bloque, siendo esta de 80mm.

P: Es el paso que tiene de uno de los labios del husillo la cual es 8mm.

$$\text{Rev} = \frac{80}{8} = 10 \text{ Revoluciones.} \quad [ 100]$$

Lo que refleja este resultado es que para realizar un recorrido completo en el husillo se deberá girar 10 veces el husillo

Para hallar la velocidad de avance recurriremos a las recomendaciones generales.

Sabemos que avance por revoluciones  $Av$ , es de 0,025mm/rev y que el motor eléctrico trabaja en 10000 RPM.

$$Va = Av * RPM \quad [ 101]$$

$$Va = 0,025 * 10000 = 4,16 \text{ mm/s} \quad [ 102]$$

$$tiempo\ de\ ciclo = \frac{d}{Va} = \frac{80}{4,16} = 19,23\ seg \quad [ 103]$$

En un tiempo de 19,23 segundos se realizará todo el recorrido sobre el husillo en la dirección vertical Z en 10 revoluciones. Se realiza el diseño para un trabajo de 8 horas diarias, por 3 años, con estos datos podremos calcular la vida nominal o vida útil previniendo fallas como la fatiga.

$$Años\ de\ trabajo * dias\ al\ año * horas\ por\ dia \quad [ 104]$$

$$3 \times 365 \times \frac{8\ \text{horas}}{1\ \text{dia}} \times \frac{3600\ \text{s}}{\text{hora}} = 31,53 \times 10^6\ \text{s} \quad [ 105]$$

$$L_{10} = \frac{10\ \text{revoluciones}}{19,23\ \text{s}} \times 31,53 \times 10^6 = 16,39 * 10^6 \quad [ 106]$$

$$L_{10} = 16,39 * 10^6\ (\text{Vida Útil} - \text{revoluciones}) \quad [ 107]$$

$$L_{10} = 16,39\ (\text{Vida Útil} - \text{millón de revoluciones}) \quad [ 108]$$

El husillo requiere una capacidad de carga, lo cual es de suma importancia este factor ya que nos describe el ciclo de fatiga nominal del husillo.

$$L_{10} = \left( \frac{C_{req}}{F_m} \right)^3 \quad [ 109]$$

Donde:

$C_{req}$  : Es la capacidad de carga requerida en kN.

$$C_{req} = F_z(L_{10})^{\frac{1}{3}} = 116,91(16,39)^{\frac{1}{3}} = 296,96 \text{ N} \quad [ 110]$$

Con el valor de la carga requerida, procederemos a la selección del husillo mediante el catalogo SKF y a la vez el diámetro de la rosca disponible es  $\emptyset = 8mm$  para una carga máxima de 2,2kN

Podemos sentirnos bastante confiados puesto que el valor que calculamos es de 0,296kN.

### **Determinación de rodamiento para el soporte del eje Z.**

Para realizar la selección del rodamiento axial para que soporte el husillo sobre el eje Z. Se utiliza la siguiente formula de la vida útil.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad [ 111]$$

$$C = P(L_{10})^{\frac{1}{3}} \quad [ 112]$$

$L_{10}$ : Es la vida útil por millón de ciclos.

C: Es la capacidad de carga en kN.

P: Es la carga máxima que soportara el rodamiento.

p: Es el exponente de la ecuación de la vida útil (para rodamientos axiales es el valor de  $p = 3$ ).

$$C = 116,91(16,39)^{\frac{1}{3}} = 296,96 \text{ N} = 0,297 \text{ kN} \quad [ 113]$$

Con el valor de C, la carga básica requerida podemos situarnos dentro del catálogo de SKF para realizar la selección del rodamiento axial se tomara un  $\varnothing = 8 \text{ mm}$  para una capacidad máxima de 7,02 kN.

#### **Determinación del husillo para el eje Y.**

La máxima carga que puede soportar sobre el eje y es,  $F_y = 129,46 \text{ N}$ .

Esta carga incluye la fuerza de presión que ejerce la broca y el peso de los componentes. Sabemos que el movimiento que ejerce es de manera ascendente y descendente.

$$P = \frac{d}{\text{Revoluciones}} \quad [ 114]$$

Donde:

d: Es el recorrido que realiza el bloque, siendo esta de 80mm.

P: Es el paso que tiene de uno de los labios del husillo la cual es 8mm.

$$\text{Rev} = \frac{220}{8} = 27,5 \text{ Revoluciones.} \quad [ 115]$$

Lo que refleja este resultado es que para realizar un recorrido completo en el husillo se deberá girar 27,5 veces el husillo

Puesto que tiene la funcionalidad de taladro la velocidad de avance ( $V_a$ ) en el eje Y, queda constante siendo esta en 3,33 mm/s

Entonces hallaremos el tiempo de que se demora en realizar todo el recorrido en el usillo del eje Y.

$$\text{tiempo de ciclo} = \frac{d}{V_a} = \frac{220}{3,33} = 66,67 \text{ seg} \quad [ 116]$$

En un tiempo de 66,67 segundos se realizará todo el recorrido sobre el husillo en la dirección vertical Y en 27,5 revoluciones. Se realiza el diseño para un trabajo de 8 horas diarias, por 3 años, con estos datos podremos calcular la vida nominal o vida útil previniendo fallas como la fatiga.

$$\text{Años de trabajo} * \text{días al año} * \text{horas por día} \quad [ 117]$$

$$3 \times 365 \text{ días} \times \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \times \frac{3600 \text{ s}}{\text{hora}} = 31,53 \times 10^6 \text{ s} \quad [ 118]$$

$$L_{10} = \frac{27,5 \text{ revoluciones}}{66,67 \text{ s}} \times 31,53 \times 10^6 = 13,00 * 10^6 \quad [ 119]$$

$$L_{10} = 13,00 * 10^6 \text{ (Vida Útil – revoluciones)} \quad [ 120]$$

$$L_{10} = 13,00 \text{ (Vida Útil – millón de revoluciones)} \quad [ 121]$$

El husillo requiere una capacidad de carga, lo cual es de suma importancia este factor ya que nos describe el ciclo de fatiga nominal del husillo.

$$L_{10} = \left( \frac{C_{req}}{F_m} \right)^3 \quad [ 122]$$

Donde:

$C_{req}$  : Es la capacidad de carga requerida en kN.

$$C_{req} = F_Y(L_{10})^{\frac{1}{3}} = 129,46(13)^{\frac{1}{3}} = 304,4 \text{ N} \quad [ 123]$$

Con el valor de la carga requerida, procederemos a la selección del husillo mediante el catalogo SKF y a la vez el diámetro de la rosca disponible es de  $\emptyset = 8 \text{ mm}$  para una carga máxima de 2,2 kN.

Podemos sentirnos bastante confiados puesto que el valor que calculamos es de 0,304 kN.

### **Determinación de rodamiento para el soporte del eje Y.**

Para realizar la selección del rodamiento axial para que soporte el husillo sobre el eje X. Se utiliza la siguiente formula de la vida útil.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad [ 124]$$

$$C = P(L_{10})^{\frac{1}{3}} \quad [ 125]$$

$L_{10}$ : Es la vida útil por millón de ciclos.

$C$ : Es la capacidad de carga en kN.

$P$ : Es la carga máxima que soportara el rodamiento.

$p$ : Es el exponente de la ecuación de la vida útil (para rodamientos axiales es el valor de  $p = 3$ ).

$$C = 129,46(13,00)^{\frac{1}{3}} = 304,40 \text{ N} = 0,304 \text{ kN} \quad [ 126]$$

Con el valor de  $C$ , la carga básica requerida podemos situarnos dentro del catálogo de SKF para realizar la selección del rodamiento axial tendremos que usar uno de  $\emptyset = 8 \text{ mm}$  para una capacidad máxima de 7,02 kN.

### **Determinación del husillo para el eje X.**

La máxima carga que puede soportar sobre el eje X es:

$$F_x = 120,82 \text{ N} \quad [ 127]$$

Esta carga incluye la fuerza de presión que ejerce la broca y el peso de los componentes. Sabemos que el movimiento que ejerce es de manera ascendente y descendente.

$$P = \frac{d}{\text{Revoluciones}} \quad [ 128]$$

Donde:

d: Es el recorrido que realiza el bloque, siendo esta de 80mm.

P: Es el paso que tiene de uno de los labios del husillo la cual es 8mm

$$\text{Rev} = \frac{287}{8} = 35,88 \text{ Revoluciones.} \quad [ 129]$$

Lo que refleja este resultado es que para realizar un recorrido completo en el husillo se deberá girar 35,88 veces el husillo

Puesto que tiene la funcionalidad de taladro la velocidad de avance ( $V_a$ ) en el eje X, queda constante siendo esta en 3,33 mm/s

Entonces hallaremos el tiempo de que se demora en realizar todo el recorrido en el husillo del eje Y.

$$\text{tiempo de ciclo} = \frac{d}{V_a} = \frac{287}{3,33} = 84,08 \text{ seg} \quad [ 130]$$

En un tiempo de 84,08 segundos se realizará todo el recorrido sobre el husillo en la dirección vertical X en 35,88 revoluciones. Se realiza el diseño para un trabajo de 8 horas diarias, por 3 años, con estos datos podremos calcular la vida nominal o vida útil previniendo fallas como la fatiga.

$$\text{Años de trabajo} * \text{días al año} * \text{horas por día} \quad [ 131]$$

$$3 * 365 \text{ días} * \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{3600 \text{ s}}{\text{hora}} = 31,53 * 10^6 \text{ s} \quad [ 132]$$

$$L_{10} = \frac{35,88 \text{ revoluciones}}{84,08 \text{ s}} * 31,53 * 10^6 = 13,46 * 10^6 \quad [ 133]$$

$$L_{10} = 13,46 * 10^6 \text{ (Vida Útil – revoluciones)} \quad [ 134]$$

$$L_{10} = 13,46 \text{ (Vida Útil – millón de revoluciones)} \quad [ 135]$$

El husillo requiere una capacidad de carga, lo cual es de suma importancia este factor ya que nos describe el ciclo de fatiga nominal del husillo.

$$L_{10} = \left(\frac{C_{req}}{F_m}\right)^3 \quad [ 136]$$

Donde:

$C_{req}$ : Es la capacidad de carga requerida en kN.

Con el valor de la carga requerida, procederemos a la selección del husillo mediante el catalogo SKF y a la vez el diámetro de la rosca disponible de un  $\emptyset = 8 \text{ mm}$ . Para una carga máxima de 2,2 kN

Podemos sentirnos bastante confiados puesto que el valor que calculamos es de 0,309 kN.

### **Determinación de rodamiento para el soporte del eje X.**

Para realizar la selección del rodamiento axial para que soporte el husillo sobre el eje Y. Se utiliza la siguiente formula de la vida útil.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad [ 137]$$

$$C = P(L_{10})^{\frac{1}{3}} \quad [ 138]$$

$L_{10}$  : Es la vida útil por millón de ciclos.

$C$  : Es la capacidad de carga en kN.

$P$  : Es la carga máxima que soportara el rodamiento.

p : Es el exponente de la ecuación de la vida útil (para rodamientos axiales es el valor de p=3).

$$C = 129,46(13,46)^{\frac{1}{3}} = 307,95\text{N} = 0,308 \text{ kN} \quad [ 139]$$

Con el valor de C, la carga básica requerida podemos situarnos dentro del catálogo de SKF para realizar la selección del rodamiento axial tenemos uno de  $\varnothing = 8 \text{ mm}$  para una capacidad máxima de 7,02 kN.

#### **4.1.6. Evaluación de torques de los motores paso a paso**

Luego de seleccionar el husillo y su respectivo rodamiento axial se procederá con el cálculo del torque necesario para vencer el peso de cada bloque de eje y la fuerza de avance.

#### **Motor paso a paso eje Z**

Se mostraron una estructuración de los componentes que realizan el desplazamiento vertical de la carga. Se puede observar que el motor paso a paso traslada el movimiento hacia el husillo mediante el acoplamiento para que la transmisión sea directa.

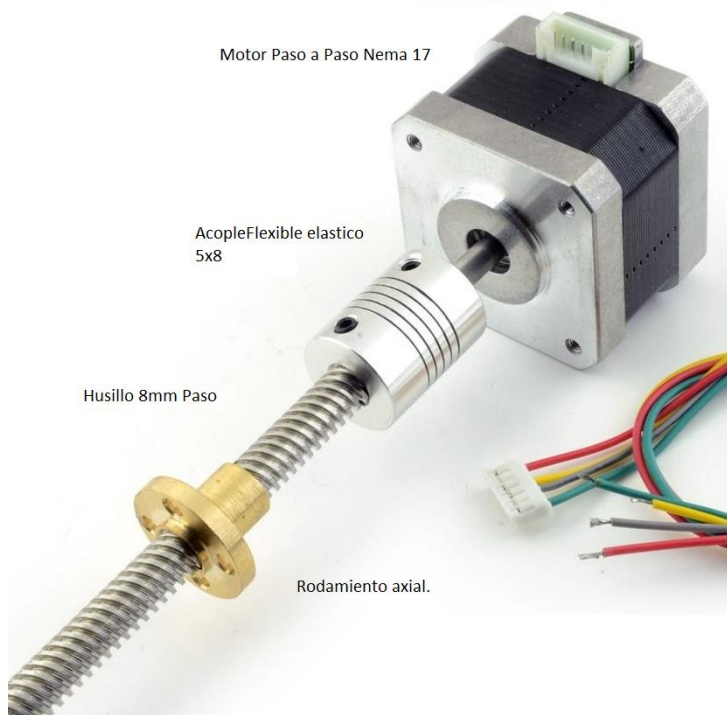


Figura 16. Movimiento vertical del husillo

Fuente: Elaboración propia

El trabajo que se realizara es sobre madera con una dureza de 7HB máxima sobre la madera. El torque que requiere para operación de una broca de 2 mm de diámetro es de 5 N-mm y una fuerza de 5 N, según las características del motor Nema 17 mostrados en la tabla siguiente

**Tabla 11**

*Descripción del motor paso a paso nema 17*

Descripción	Datos
Nombre del producto.	Motor paso a paso
Modelo.	42BYGH34-0400A
Material.	Metal
Color.	Plomo
Dimensiones.	42x42x34 mm
Angulo de paso.	1,8°
Voltaje de operación.	12 V
Corriente de operación.	0,4 A
Numero de fases.	2
Resistencia por fase.	30 Ohm +-10%
Torque de trabajo.	28 Ncm
Torque de arranque.	1,6 Ncm
Diámetro del eje.	5 mm

Fuente: Elaboración propia.

La fuerza que requiere la madera de 5N mas la carga de los elementos del bloque para el eje Z de 4,9 se tendera una fuerza mínima para el motor de 9,9N.

Como se observa en la tabla anterior se tiene un torque de operación máximo de 280Nmm que tiene 112 N de fuerza. Esto compensa los requerimientos mínimos para operación de la madera más dura comparando las fuerzas y momentos mínimos requeridos.

Entonces se realiza la selección del Motor paso a paso del Nema 17 del modelo 42BYGH34-0400.

#### **Acople de desplazamiento para el eje Z**

Puesto que se seleccionó el motor paso a paso con un torque de 280 Nmm, se seleccionó un acople flexible que soporta 310 Nmm

#### **Motor Paso a Paso Eje Y**

Para la función de taladro de la que se propuso en esta tesis el movimiento sobre el eje Y se realiza con carga uniforme, puesto que el ángulo de perforación es de 90° y carga de 19,46 N.

Con las características de motor paso a paso Nema 17 del modelo 42BYGH34-0400 A, tiene una capacidad de 112 N garantizándonos el funcionamiento regular para el desplazamiento sobre el eje Y.

### **Acople de desplazamiento Y.**

Puesto que se seleccionó el motor paso a paso con un torque de 280 Nmm, se seleccionó un acople flexible que soporta 310 Nmm

### **Motor Paso a Paso Eje X.**

Para la función de taladro de la que se propuso en esta tesis el movimiento sobre el eje X se realiza con carga uniforme, puesto que el ángulo de perforación es de 90° y carga de 8,82 N.

Con las características de motor paso a paso Nema 17 del modelo 42BYGH34-0400A, tiene una capacidad de 112 N garantizándonos el funcionamiento regular para el desplazamiento sobre el eje Y.

### **Selección del software de diseño y control**

En los sistemas de control numérico computariza “CNC”, se encuentran vinculados firmemente en el diseño computarizado, en donde crear algún tipo de diseño para manufacturarlo desde la obtención de una pieza de madera se puede realizar la operación una vez tras otra.

Hoy en día el mercado software, tiene una gran variedad de asistentes para la realización del proceso de manufactura computarizada, alguno de alto nivel como el CamWorks, SolidCam y el Fusion 360 de AutoDesk esta última tiene configurada el

post procesado para el Arduino Uno R3, todos estos Softwares son de paga, pero para la funcionalidad que emplearemos podemos adecuarnos al Fusion 360 puesto que tiene una licencia gratuita de estudiante por tres años.

asistentes para la realización del proceso de manufactura computarizada, alguno de alto nivel como el CamWorks, SolidCam y el Fusion 360 de AutoDesk esta última tiene configurada el post procesado para el Arduino Uno R3,. El CAM se encarga de generar código G, que la maquina entiende e interpreta para el movimiento de los motores y estas pueda transferirlas en coordenadas.

En cambio, el CAD es necesario utilizarlo puesto que es el diseño al que queremos llegar y que con la ayuda del CAM podemos precisar el diseño realizando el maquinado necesario puesto el software esta implementado para realizar distintos tipos de maquinado y esto generara el código G que requiere la maquina física.

Con el CAM podremos realizar simulaciones de la operación que se realizara teniendo así una gran ayuda para el usuario u operario.

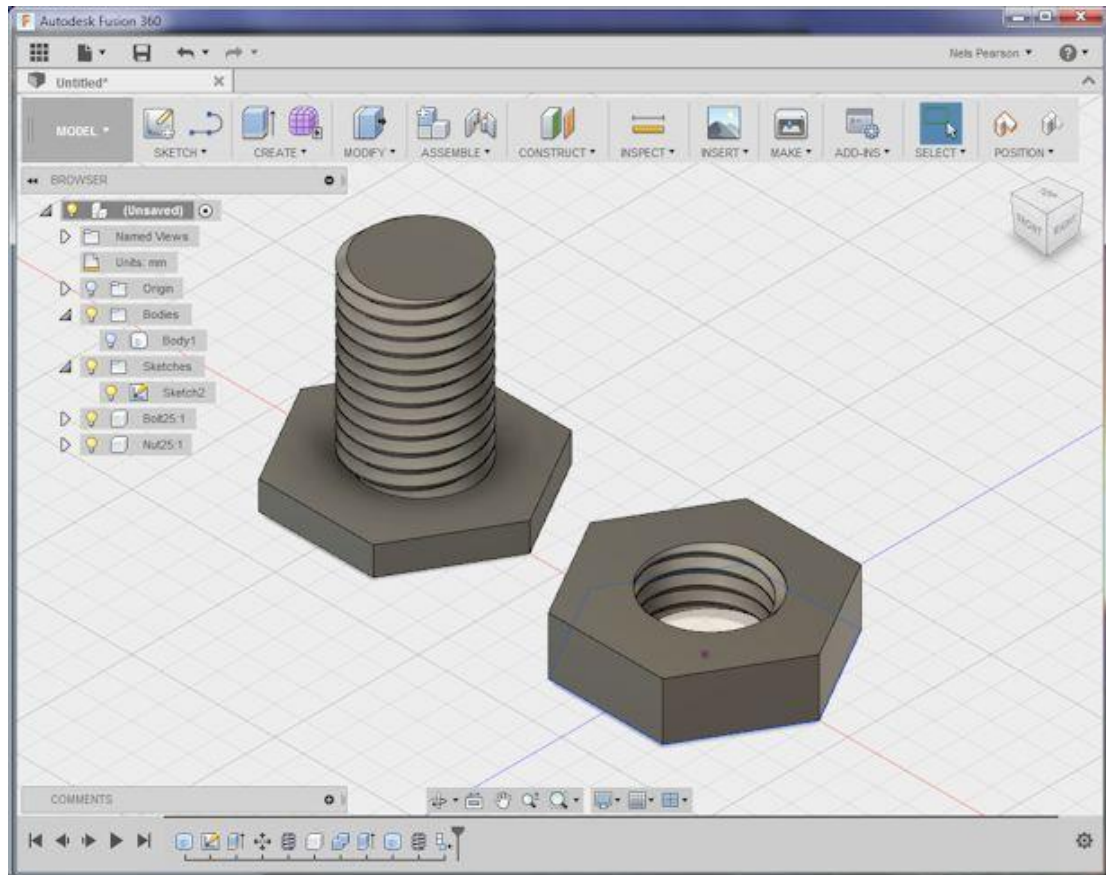


Figura 17. Fusion 360

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.7. Software empleado para el diseño de taladrado

Para establecer un software adecuado en el cual nos permita realizar el CAD y el CAM que sean compatible con el post procesador del GRBL el cual es usado en el Arduino Uno R3 y que tenga como función principal realizar acciones de taladrado. Lo resumiremos en una tabla.

En seguida se describirá cada característica que abarca la tabla la cual se incluye tres diferentes softwares para realizar CAD y CAM los cuales han sido seleccionados por sus diversas funciones que ofrecen al usuario y al operador de una máquina herramienta de CNC.

**Precio de la licencia:** es el valor monetario según el tipo de licencia que tiene el software para su activación parcial o total.

**Generación códigos G:** función que contienen algunos softwares para transformar el CAD a CAM y de esta producir el código G.

**Interacción con el usuario:** el nivel que se requiere con respecto al uso del software.

**Funcionalidad:** son las virtudes que tienen entre los softwares en cuanto a herramientas para un mejor desempeño.

**Compatible con GRBL:** Es el tipo de post procesador que se emplea en el diseño de la máquina herramienta.

**Ayuda y soporte:** Catálogos, libros, tutoriales que existe para el usuario.

**Tabla 12***Selección del Software para el diseño*

	Software	Solidworks	SolidWorks	AutoDesk
Característica	SolidCam	CamWorks	Fusion 360	
Precio de la licencia.	Pagada	Pagada	Libre	3
Generación de códigos G	Si	Si	Si	
Interacción con el usuario.	Media	Media	Fácil	
Funcionalidad.	Alto Nivel	Alto Nivel	Alto Nivel	
Compatible con GRBL	No	No	Si	
Ayuda y soporte.	Si	Si	Si	

Fuente: Elaboración propia.

Según las características que se presentaron en la tabla anterior se dio por conveniente el uso de Fusion 360 de AutoDesk, puesto que fuera de tener una licencia libre de 3 años para versión estudiante tiene la compatibilidad con el post procesador de GRBL, la cual es la más importante característica ya que los otros paquetes tienen

los post procesadores para marcas reconocidas industrialmente. Este programa tiene la opción de realizar el diseño, la operación de maquinado virtual, la simulación y la generación del código G para el post procesador GRBL para luego ser usado por el siguiente Software.

#### **4.1.8. Características y funciones del Fusion 360 de autodesk**

La inserción de nuevos materiales y con menor costo para la producción y que junto del auge de la impresora 3D y escáneres caseros, esto ha cambiado al mundo con respecto a la invención y creación permitiendo que no sea necesario adquirirlos, permitiendo así que las fabricas comiencen su investigación.

Sabemos que distintos productos tienen un ciclo de vida y funcionalidad, por ejemplo, un zapato continuo con su evolución, dejando de ser una medida estándar para todos, estos son renovados con tallas adecuadas para nuestros pies pudiendo contener fibras que impidan el paso del agua y el libre paso del aire, que sean a su vez ergonómicas y que en distintos lugares estos puedan adaptarse a nuestras pisadas.

Para realizar estos proyectos se requiere la necesidad de herramientas que entiendan y manipulen de manera adecuada estos procesos y es en esto que entra Fusion 360.

### **Diseño asistido por computadora**

Más conocidos como CAD tiene un uso de innumerables rangos de herramientas computacionales que ayudan a Ingenieros, Arquitectos y diseñadores, el CAD es también usado para administrar el ciclo de vida de productos.

### **Manufactura asistida por computadora.**

Es la fabricación asistida por computador o también denominado CAM este es un enlace entre el CAD y el lenguaje de programación de las maquinas herramientas con conocimientos mínimos del operario.

### **Evaluación Asistida por computador.**

Es también conocido como CAE, que esta enlazado al concepto de un producto en etapas de investigación y diseño previo a su fabricación, estos análisis asistida por computador se extienden por que influyen en la fabricación por lo que es un proceso integrado que adhiere todas las funciones de la ingeniería que empieza desde el diseño hasta su fabricación.

Por lo que Fusion 360 tiene para realizar esta 3 característica el CAD, CAM, CAE.

### **Instalación de Fusion 360**

Para realizar la instalación del software Fusion 360, se requiere ir al sitio web <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview> la cual se selección la versión de estudiante que tiene una licencia libre por 3 años, luego el asistente de

instalación le guiara al usuario, hay que recordar que el tiempo instalación será en función a la velocidad de conexión a internet.

#### 4.1.9. Pasos para diseñar piezas mediante Fusion 360

Descargar el programa Fusion 360 de modo estudiantes (versión gratuita por 3 años), después de descargar e instalarla, este programa es como el AutoCad, pero orientada a la manufactura que lo más importante es el código G el cual reconoce al Arduino Uno.

Realizar un diseño en la figura se muestra un diseño simple, pero, así como es básico puede tener mayores características como el avance de profundidad.

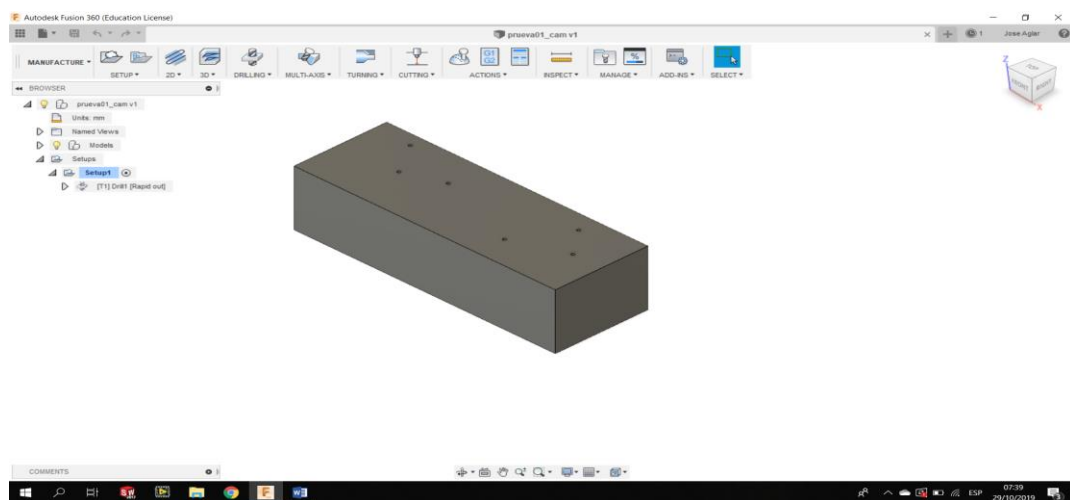


Figura 18. Pieza paralelepípedo mediante Fusion 360

Fuente: Elaboración propia

Ahora se realizará la configuración de la manufactura virtual, seleccionamos la pestaña Drilling y configuramos la pantalla emergente que constan de la herramienta (tool), geometría, alturas y sus ciclos.

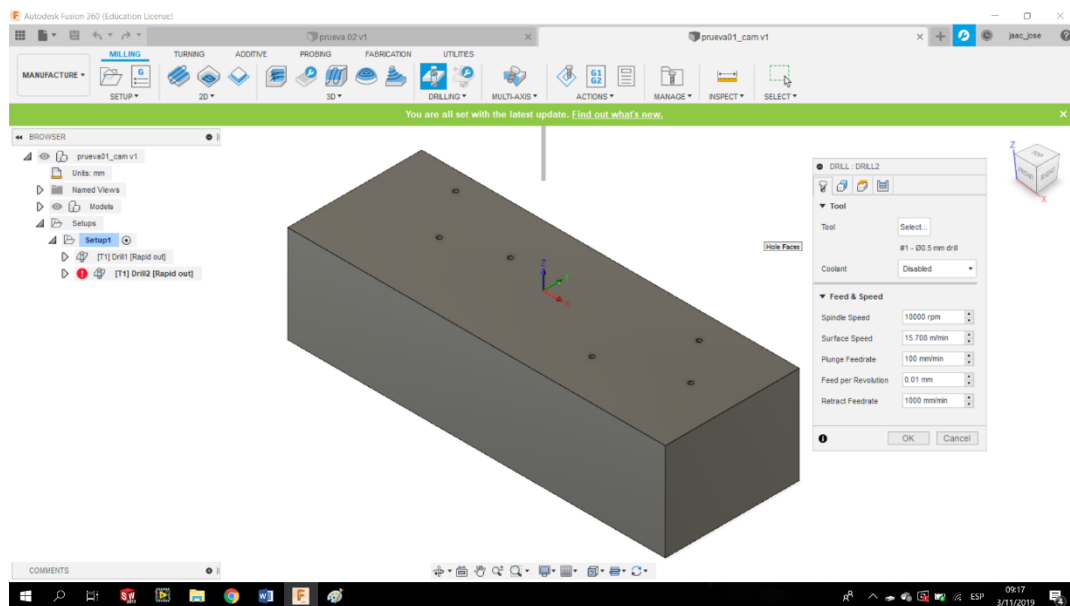


Figura 19. Configuraciones para el taladrado en Fusion 360

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente podemos usar la función de simular la acción de simulación de la máquina herramienta.

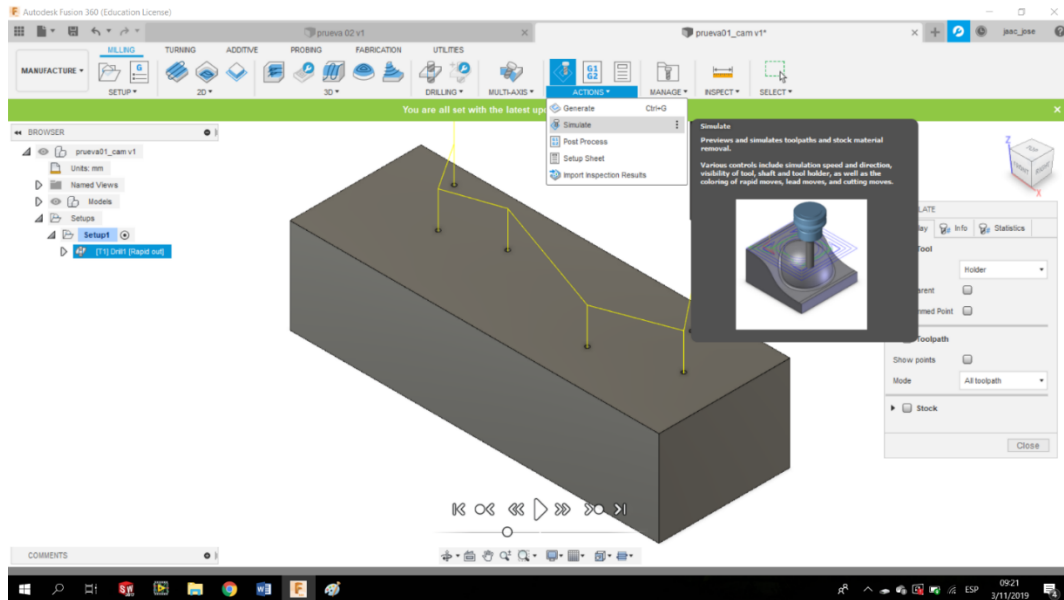


Figura 20. Simulación de Fusion 360

Fuente: Elaboración propia

Al finalizar se puede obtener el código G pero antes configurar el post-procesador, haciendo click en post processor configurando Grbl/grlb.

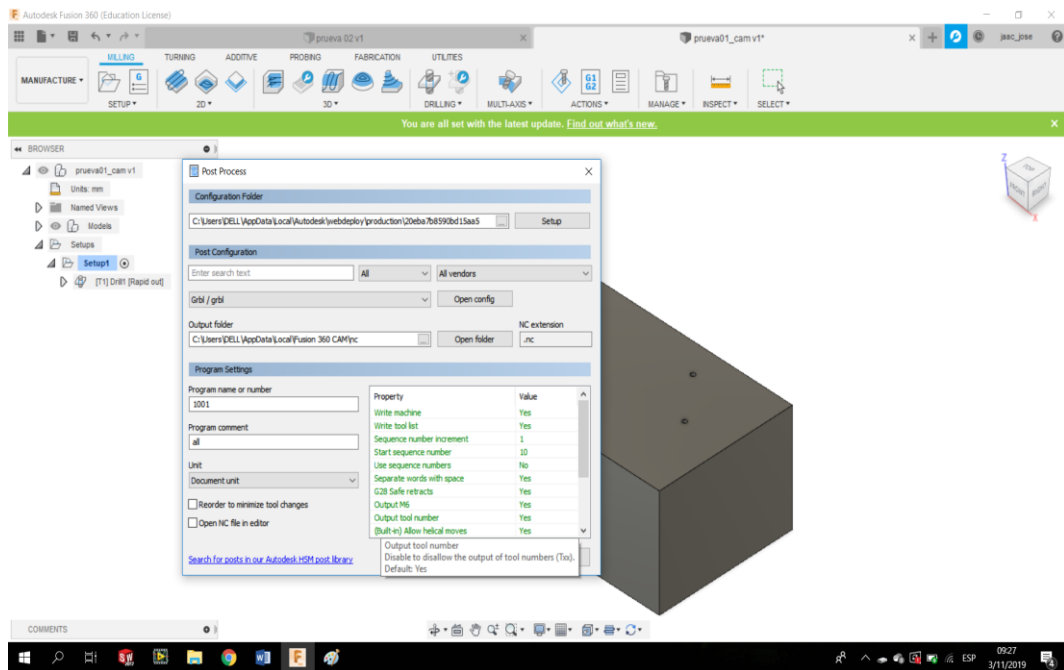


Figura 21. Configuración del post procesador Grbl en Fusion 360

Fuente: Elaboración propia

Ahora presionar la opción generate, ubicar el archivo NC para usarlo en el programa G-code Sender.

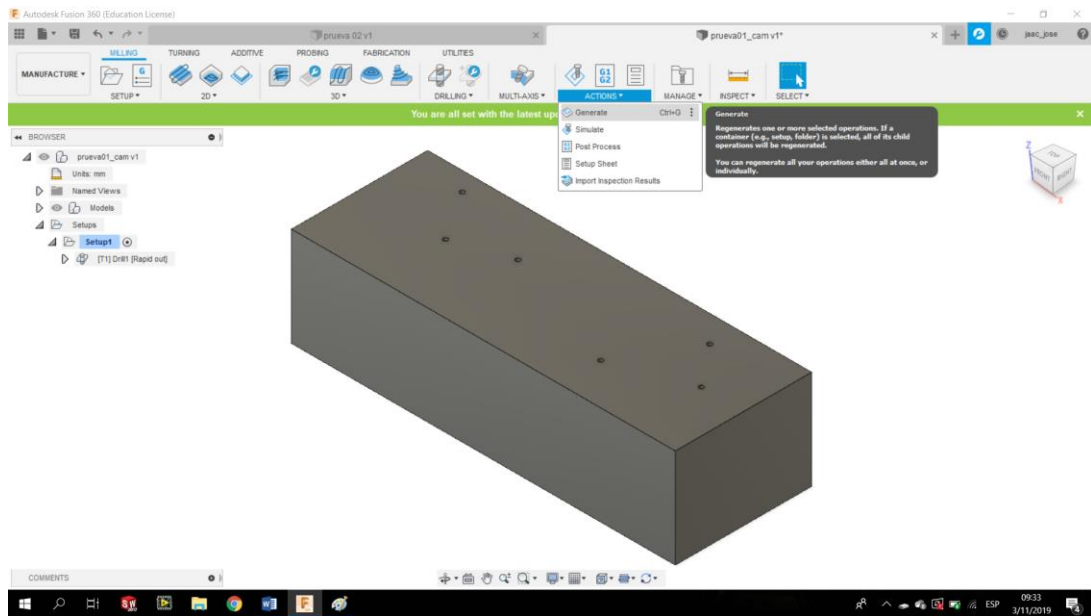


Figura 22. Generación del código G mediante Fusion 360

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.10. Software para controlar la máquina herramienta CNC

En el instante de seleccionar el tipo de programa adecuado para realizar el control de la máquina herramienta CNC de tres ejes, se observó que se requiere un programa que se compatible con la tarjeta de control y también tenga compatibilidad de funcionalidad con el computador. El Universal G code Sender (UGS), es un software versátil con el propósito de controlar maquinas herramientas como fresadoras, taladros, tornos y maquinas que se controlaría con el sistema de control numérico (CN).

Con la tarjeta electrónica utilizado e implementado para esta máquina herramienta, conlleva compatibilidad exclusiva para ejecutar con el software USG, el cual es el encargado de transmitir datos a la tarjeta controladora CNC por el puerto serial universal USB que abre y ejecuta archivos en “códigos G” para ser interpretados al instante.

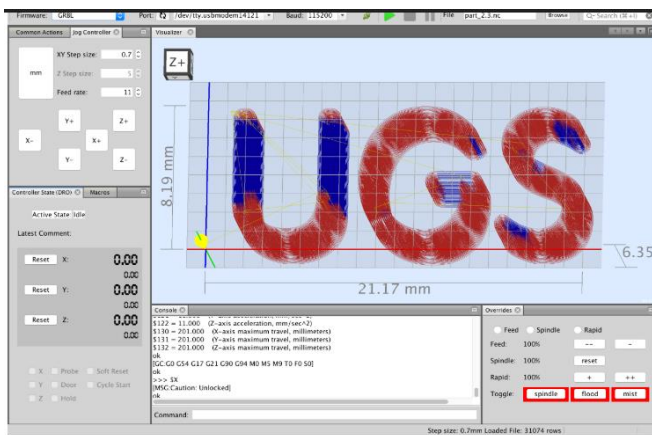


Figura 23. Software controlador de CNC UGS

Fuente: Goddard, Goddard, & Goddard, 2002.

Este tipo de software es creado para aficionados, para crear proyectos en el desarrollo de máquinas en 3 ejes siendo de fácil uso sin la necesidad de una implementación profesional para su maniobra.

Dicho software es de uso “gratuito desarrollado y mantenido para la comunidad Hobby.cnc” («UGS», s. f.). Este software se puede descargar desde la página [https://winder.github.io/ugs\\_website/#sponsors](https://winder.github.io/ugs_website/#sponsors).

Con el uso de este software es posible controlar el usillo de manera independiente con el mismo software que genera el código G, pero el uso de esto es complejo por lo que se hace uso del software Fusion 360 y es compatible con el USG. Además, el UGS nos permite visualizar en tiempo real el movimiento del usillo en tres dimensiones.

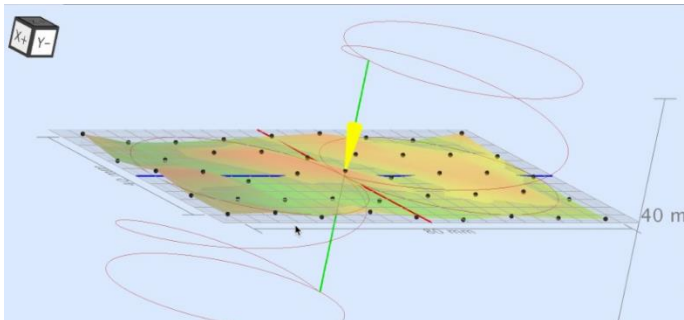


Figura 24. Usillo en tiempo real mediante el UGS  
Fuente: «UGS», s. f.

#### 4.1.11. Configuración del Universal G Code Sender

Primeramente, entrar al programa, en firmware colocar GRBL, cargar el archivo de extensión .NC proporcionado por el programa Fusion 360 y presionar conectar.

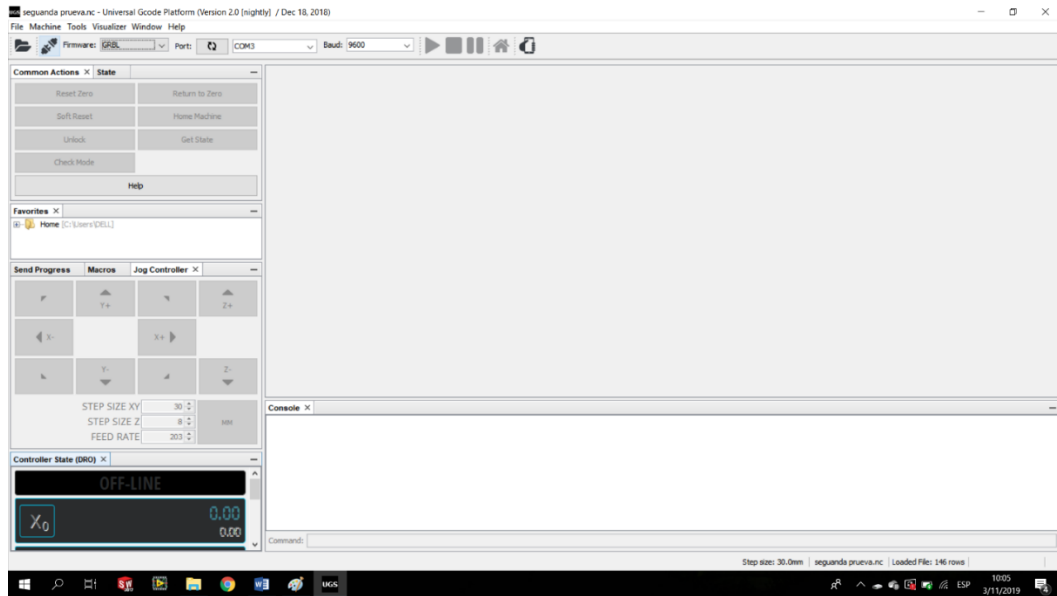


Figura 25. Importación del archivo de código G a UGS  
Fuente: Goddard, Goddard, & Goddard, 2002.

Luego centrar la pieza del diseño por medio de los botones Jog controller y finalmente el botón enviar luego de esto la máquina herramienta comenzara a funcionar.

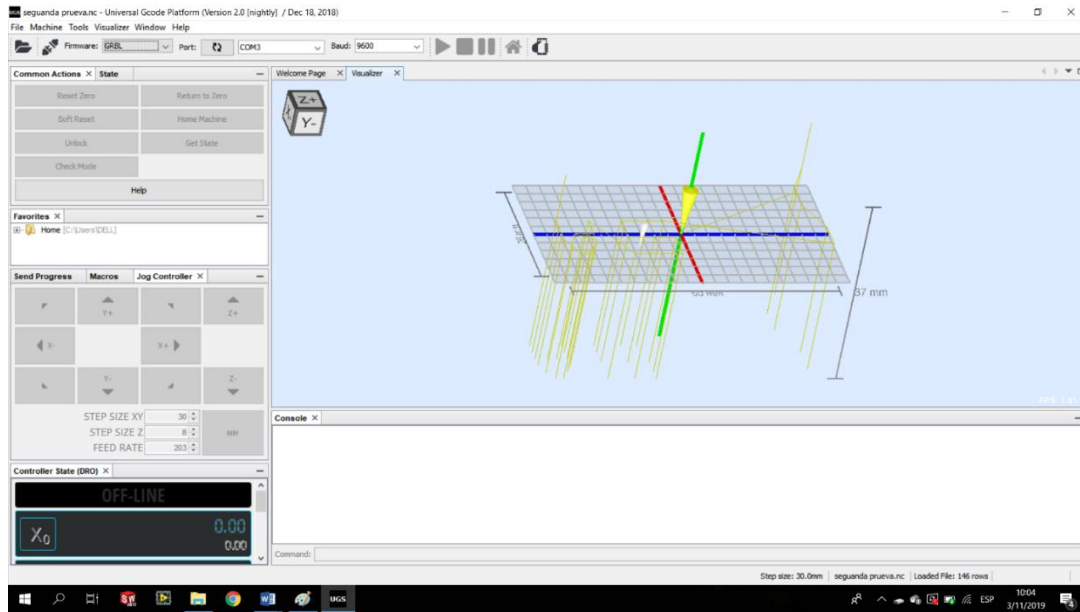


Figura 26. Centrado, visualización del UGS

Fuente: Goddard, Goddard, & Goddard, 2002.

#### 4.1.12. Selección de las partes electrónicas del sistema de control

- Arduino uno R 3.

El Arduino es una placa programable y se estableció este componente por su uso libre, amigable y tener facilidad en su programación, su bajo costo y adquisición en el mercado.

Esta placa programable requiere de un programa que se pueda ejecutar mediante las sentencias basadas en lenguaje C, en la dirección web

<https://github.com/gnea/grbl/releases>, se puede descargar las sentencias puesto que han sido desarrolladas por otros colaboradores.



Figura 27. Selección del Arduino Uno R3

Fuente «Arduino UNO R3», s. f.

- Shiedl grbl CNC.

Este componente fue seleccionado como complemento para facilitar en la programación del GRBL a los componentes controladores de motores paso a paso.

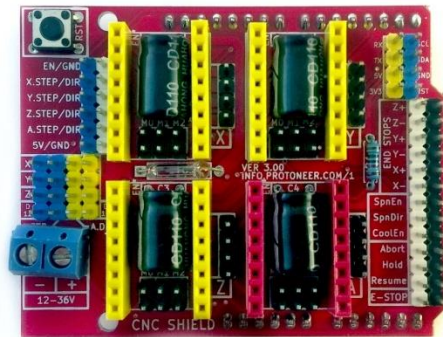


Figura 28. Shield GRBL CNC

Fuente: «Arduino CNC shield version 3.0 with GRBL v0.9», 2015

- Driver DVR 8825.

Según los cálculos realizados y el motor paso a paso seleccionado se seleccionó el driver DVR 8825 que tolera la corriente nominal en 2A en la que funciona dentro del rango el motor Nema 17. Para poder utilizar el motor NEMA 17 se requiere configurar el voltaje de referencia que haciendo uso de un voltímetro moveremos con un pequeño desarmador de punta plana hasta poder elegir 0,950V.

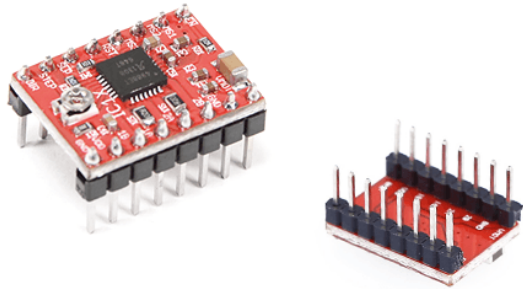


Figura 29. Driver DVR 8825 para motores paso a paso nema 17

Fuente: «Motores paso a paso con Arduino y driver A4988 o DRV8825», s. f.

- Fuente de poder de 12V

La fuente de poder de 12V de corriente directa nos proporciona la tensión eléctrica necesaria para el funcionamiento de los motores paso a paso y para los componentes electrónicos, se utiliza por lo general el cable de color amarillo pero esta descrito en la fuente que color del cable es el que nos proporciona los 12V.

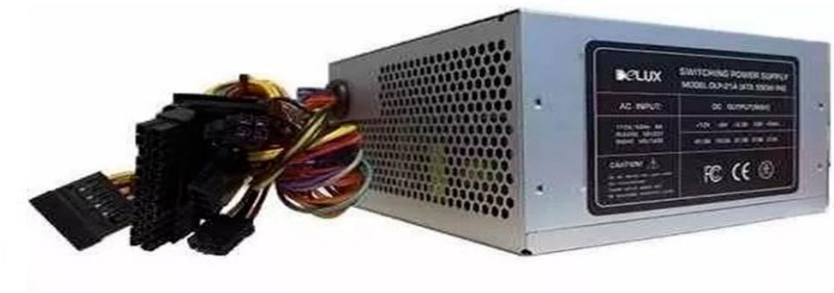


Figura 30. Fuente de poder para la máquina herramienta CNC

Fuente: «Motores paso a paso con Arduino y driver A4988 o DRV8825», s. f.

#### 4.1.13. Análisis económico

El estado económico del diseño de un taladro a cnc utilizando la electrónica se encuentra terminada para esto se considera la tabla de presupuesto para su respectiva construcción.

**Tabla 13**

*Cuadro de costos de materiales para la implementación del taladro a CNC*

Rubros	Cantidad	Descripción	Montos
Personal	1	Investigador	S/. 300,00
Kit de tornillos.	1	Para la sujeción de la estructura.	S/. 50,00
Varilla lisa calibrada.	6	Es el tren para los rodamiento lineales que conducen a los 3 ejes.	S/. 40,00
Rodamiento lineal.	12	Utilizado para poder deslizarse sin problemas entre la varilla lisa y las plataformas.	S/. 300,00
Rodamiento de bolas radiales.	3	Empleado para sujetar y hacer girar sin restricción el tornillo sin fin debido al movimiento del motor paso a paso.	S/. 50,00

acoplador flexible	3	La función principal es acoplar el eje del motor paso a paso y el tornillo sin fin.	S/. 150,00
Tornillo sin fin de potencia más tuerca NUT.	3	Realiza la transmisión de la potencia radial del motor hacia la tuerca NUT, transformando en movimiento lineal.	S/. 250,00
Motores paso a paso.	3	Motor de alta precisión de 1.8 grados por paso, con torque máximo 28 N-cm	S/. 500,00
Kit de Arduino Uno más CNC Shield mas Driver A4988.	1	Encargado de recibir el código G, interpretarlos y enviarlos a los motores paso a paso.	S/. 300,00
Estructura mecánica.	1	Soporte para todo el sistema del Control Numérico de 3 ejes.	S/. 200,00
Fuente de poder 12V Deluxe.	1	Fuente de alimentación externa.	S/. 50,00
Kit mini taladro	1	Para realizar pruebas de perforaciones.	S/. 80,00
Fusion 360 Autodesk	1	Utilizado para diseñar las piezas tridimensionales, realizar el proceso de	S/. 0,00

manufactura virtual y generar el código			
G.			
Universal Code Sender	G-	1	Encargado de enviar el código G hacia al Arduino. S/. 0,00
Arduino IDE		1	Soporte para el firmware del GRBL. S/. 0,00
GRBL.		1	Programación para el Arduino. S/. 0,00
Envío		1	La compra se realizara en lima. S/. 50,00
sub total			S/. 2320,00
IVG			S/. 417,60
Total			S/. 2737,60

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla anterior para poder construir el modulo taladro a cnc se requiere tener un presupuesto de 2737,60 soles y el cronograma estará compuesta de la siguiente tabla.

**Tabla 14***Cronograma para la implementación del taladro a CNC*

Días	1	2	3	4	5	6	7
Construcción de la plataforma mecánica.							
corte y taladro de la madera	X						
fijación de los pernos		X					
montaje de los motores paso a paso.			X				
fijación de los ejes, rodamientos y tornillos sin fin.			X				
Montaje de los componente electrónicos y electromecánicos							
conexión del sistema eléctrico.				X			
montaje del sistema de control electrónico GRBL.				X			
montaje del mini taladro.							
Instalaciones de medios informáticos.							
Instalación de los softwares Fusion 360, Univesal G-Code Sender, Arduino IDE y GRBL.					X		
Comprobación del sistema utilizando la plataforma universal G-Code Sender.						X	
Diseño de piezas tridimensional utilizando Fusion 360 de AutoDesk y generación del Código G.							X

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.14. Condiciones de seguridad en la operación del taladro CNC**

Se recomienda utilizar una fuente estabilizadora de electricidad para no prevenir las sobrecargas de la red eléctrica.

Por la potencia del motor se puede realizar taladros en madera. No utilizar en metales con hierro.

No manipular los componentes electrónicos cuando esta la maquina en funcionamiento.

Realizar limpieza de los residuos de la madera taladrada.

No manipular el taladro cuando está en funcionamiento.

#### **4.1.15. Taladro CNC modular**

En esta parte del trabajo se ha realizado el croquizado y el ensamblado virtual utilizando el programas SolidWorks de la version 2017 se puede mostrar en la siguiente figura.

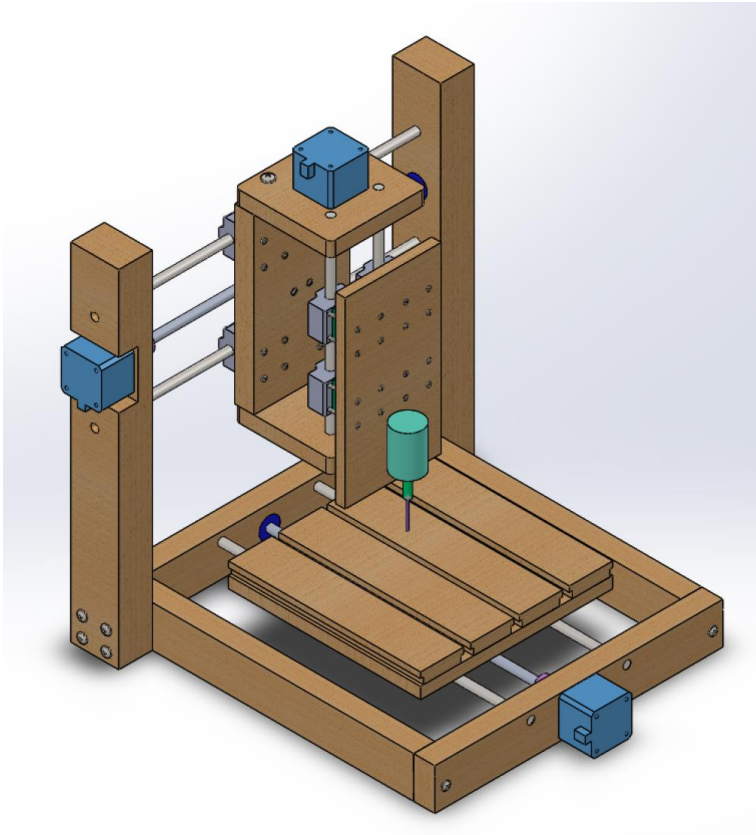


Figura 31. Coquizado y ensamblado del taladro CNC.

Fuente: Elaboración propia.

## **4.2. Discusión**

### **Con respecto al antecedente nacional:**

El trabajo de tesis que desarrollaron los bachilleres Richard Ramón Abanto Ruiz y Wilmer Montenegro Ruiz estuvo bajo las exigencias de la empresa “EL NAZARENO” el cual solicitaba una máquina herramienta, el resultado de los bachilleres fue 4,5 de puntuación en su factor de seguridad. Comparando este resultado obtenido frente a los elementos más críticos de nuestro diseño los cuales son los ejes guías se obtuvieron para el eje z un factor de 13, para el eje y un factor de 20 y para el eje x un factor de 5, por lo que el prototipo trabaja de manera regular logrando realizar pruebas satisfactorias e inclusive superan a lo indicado de los bachilleres con respecto al factor de seguridad.

### **Con respecto al antecedente internacional 1:**

Con relación al Master Iván Piquer Mora quien presenta una memoria titulada “Diseño e implementación de una máquina CNC con funcionalidad de taladradora” de los cuales concluye que con los componentes electrónicos tiene una clasificación mecatrónica. A lo cual se pone en manifiesto que se está de acuerdo al respecto ya que con los componentes electrónicos y controles de programación se obtuvo el producto de la máquina herramienta CNC.

**Con respecto al antecedente internacional 2:**

En comparación al trabajo desarrollado por Dr.B.Jayachandraiah, O.Vamsi Krishna, P.Abdullah Khan, R.Ananda Reddy quienes presentaron “FABRICACIÓN DE COSTO BAJO EN ROUTER CNC DE 3 EJES” resulta cooperativo el trabajo realizado por el tesista puesto que en este trabajo se realizó un análisis mecánico para resolver el elemento crítico que puede fallar en todo el conjunto para que la realización de trabajos en pequeña escala pueda también realizarse en grandes escalas, pero con el presente diseño es un módulo que trabaja a escala regular, puesto que se requerirá sistemas que permitan una mayor rapidez y potencia para realizar los trabajos requeridos.

## CONCLUSIONES

- 1) Se diseñó los elementos de la máquina del taladro a CNC, obteniendo los resultados de factor de seguridad de las guías del eje z un factor de 13, para el eje y un factor de 20 y para el eje x un factor de 5, los cuales son los elementos más críticos de toda la máquina, seleccionando así los rodamientos radiales de 8mm. A la vez también se utilizó los componentes electrónicos y los softwares de Fusion 360 y G Code Sender.
- 2) Se diseñó los elementos del enrutador, los cuales se obtuvieron los resultados de los rodamientos axiales para el eje z 0,296 kN, para el eje y 0,304 kN y para el eje x 0,304 kN, siendo la capacidad de los rodamientos de 8mm de 7,02 kN. Para los usillos del eje z 0,309 kN, para el eje y 0,304 kN y para el eje x 0,309 kN por lo que el usillo que se seleccionó de diámetro 8mm soporta hasta 2,2 kN siendo esto aceptable y seguro.
- 3) Se seleccionó los motores paso a paso Nema 17 puesto que tiene una capacidad de 112 N, que por medio de los cálculos para el eje z requiere 9,9 N, para el eje y requiere 19,46 N y para el eje x requiere 8,82 N, por lo que con el motor Nema 17 concede la suficiente carga para el trabajo que se requiere realizar.

- 4) Se empleó el software Fusion 360, para la realización del diseño asistido por computador la cual es compatible con el Arduino R3, obteniendo el código G.
- 5) Se configuró el software G Code Sender para que la máquina herramienta pueda realizar sus operaciones de taladro.
- 6) Se Configuró los componentes electrónicos para el control electrónico que requiere la máquina herramienta siendo este necesario una fuente de alimentación eléctrica de 12V en corriente directa.

## RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda que al implementar la máquina herramienta se encuadre bien los elementos, pueda que la bancada sea de madera u otro material más duro como el acero.
- 2) Para los componentes electrónicos la limitación está en los motores paso a paso que se desean utilizar, verificar que el componente electrónico del Driver DVR 8825 este por encima del consumo del motor.
- 3) En el caso de que se requiera para aplicaciones de taladro de mayor potencia acoplar al Driver DVR 8825 el componente electrónico IRF 530 la cual tiene hasta 14 A frente a los 2 A que tiene el Driver. Para los componentes mecánicos acondicionar el diseño conforme al trabajo realizado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto Ruiz, R. R., & Montenegro Ruiz, W. (2017). *Diseño de una fresadora CNC para grabado en madera para la empresa El Nazareno SRL Chiclayo*.
- Alva Davila, F. (2009). *Diseño de elementos de máquinas i* (segunda). PERU.
- Boylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2009). *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. México: Pearson Educación.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley* (Octava). Mexico: Mcgraw-hill/interamericana editores, S.A.
- Campoverde Piña, J. F. (2017). *Máquina (CNC) de control numérico computarizado de 3 ejes para el grabado de placas conmemorativas implementado en el Taller de Joyería Campoverde* (B.S. thesis).
- Correa, J. E., Toombs, N., & Ferreira, P. M. (2017). A modular-architecture controller for CNC systems based on open-source electronics. *Journal of Manufacturing Systems*, 44, 317-323. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.04.013>
- Fusion 360 | Free Software for Students, Educators | Autodesk. (s. f.). Recuperado 26 de enero de 2019, de <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educators>
- Gallego, I. G. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de control numérico en lazo abierto para una fresadora industrial de tres ejes*.

- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (Tercera). Mexico: Mcgraw-Hill/interamericana editores, S.A.
- Gu, J., Agapiou, J. S., & Kurgin, S. (2017). Error compensation and accuracy improvements in 5-axis machine tools using the global offset method. *Journal of Manufacturing Systems*, *44*, 324-331.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.04.015>
- Hood-Daniel, P., & Kelly, J. F. (2009a). *Build Your Own CNC Machine*.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4302-2490-7>
- Hood-Daniel, P., & Kelly, J. F. (2009b). *Build Your Own CNC Machine*.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4302-2490-7>
- Jayachandriah, B., Krishna, O. V., Khan, P. A., & Reddy, R. A. (2014). Fabrication of Low Cost 3-Axis Cnc Router. *International Journal of Engineering Science Invention*, *3*(6), 01–10.
- Kalpakjian, S. (s. f.). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 1333.
- Las 6 principales ventajas de utilizar maquinaria CNC. (2017, marzo 10). Recuperado 29 de enero de 2019, de Kuzu Decoletaje - Mecanizados por decoletaje de precisión website: <http://kuzudecoletaje.es/las-6-principales-ventajas-de-utilizar-maquinaria-cnc/>

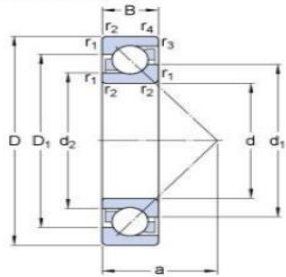
- Mora, I. P. (2016). *Diseño e implementación de una máquina CNC con funcionalidad de taladradora*.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas* (Cuarta). Mexico: Pearson/Educación.
- Overby, A. (2011). *CNC machining handbook: building, programming, and implementation* (1st ed). New York, NY: McGraw-Hill/TAB Electronics.
- Santiago, M. A. L., Casanova, D. I. S., Avila, J. L. V., Martínez, W. A. S., Blanco, M. A. R., Vigil, H. A., & Cruz, H. T. (2018). Control numérico computarizado utilizando interpolación lineal para autonivelar la superficie de trabajo en una cnc (computerized numerical control using linear interpolation to self-level the working surface in a CNC). *Pistas Educativas*, 40(130).
- Smid, P. (2003). *CNC Programming Handbook*. 989 Avenue of the Americas, New York, NY 10018: Industrial Press Inc.
- UGS. (s. f.). Recuperado 26 de enero de 2019, de [https://winder.github.io/ugs\\_website/#universal-gcode-sender](https://winder.github.io/ugs_website/#universal-gcode-sender)

## ANEXO

**SKF**

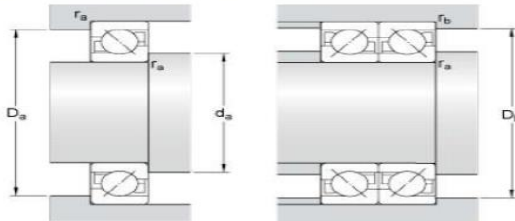
### 7244 BCBM

#### Dimensiones



<b>d</b>	<b>220</b>	<b>mm</b>
<b>D</b>	<b>400</b>	<b>mm</b>
B	65	mm
$d_1$	≈ 291.1	mm
$d_2$	≈ 259.1	mm
$D_1$	≈ 333.55	mm
a	164	mm
$r_{1,2}$	min. 4	mm
$r_{3,4}$	min. 1.5	mm

#### Dimensiones de los resaltes



$d_a$	min. 237	mm
$D_a$	max. 383	mm
$D_b$	max. 391	mm
$r_a$	max. 3	mm
$r_b$	max. 1.5	mm

#### Datos del cálculo

<b>Capacidad de carga dinámica básica</b>	<b>C</b>	<b>390</b>	<b>kN</b>
Capacidad de carga estática básica	$C_0$	560	kN
Carga límite de fatiga	$P_u$	13.4	kN
Velocidad de referencia		1900	r/min
<b>Velocidad límite</b>		<b>2200</b>	<b>r/min</b>
Factor de cálculo	A	5.13	

#### Masa

<b>Rodamiento de masa</b>	<b>37</b>	<b>kg</b>
---------------------------	-----------	-----------