



**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

TESIS:

**DISEÑO DE UNA FRESADORA CNC PARA
GRABADO EN MADERA PARA LA EMPRESA “EL
NAZARENO” S.R.L. CHICLAYO.**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor(es):

**Bach. Abanto Ruiz Richard Ramón
Bach. Montenegro Ruiz Wilmer**

Asesor:

Dr. Olortegui Yume Jorge

**Línea de Investigación
Diseño y Desarrollo de Nuevos Productos**

Pimentel – Perú

2017

**DISEÑO DE UNA FRESADORA CNC PARA GRABADO
EN MADERA PARA LA EMPRESA “EL NAZARENO”
S.R.L. CHICLAYO.**

Autores:

Bach. Abanto Ruiz Richard Ramón

Bach. Montenegro Ruiz Wilmer

Aprobado por:

Dr. Olortegui-Yume Jorge, Ph.D.

Asesor metodólogo

Msc. Rojas Coronel Ángel Marcelo

Presidente del Jurado de tesis

Mg. Gastiaburú Morales Silvia Yvone

Secretario del Jurado de tesis

Ing. Vives Garnique Juan Carlos

vocal del Jurado de tesis

Abanto Ruiz Richard Ramón

A Dios.

Por haberme ayudado a
mantenerme firme en mis
decisiones, siendo él quien me
dio el valor para poder
sobrellevar los obstáculos que
se me presentaron a lo largo de
mi vida; y por haber sido una
luz en mi camino ayudándome
a enfrentar los problemas de la
vida.

A mis padres, Mercedes y Ramón.

Por el amor incondicional que me
muestran a diario creyendo en las
decisiones que llego a tomar; y
porque nunca me dejaron solo,
siempre estuvieron ahí para
apoyarme, sin esperar nada a
cambio.

Montenegro Ruiz Wilmer

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta esta etapa de mi vida, dándome fuerzas para no rendirme, y más que todo por darme salud para seguir luchando y cumplir con mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre, hermanos y seres queridos. Por el apoyo que me brindaron en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por sus deseos para ser una mejor persona cada día y lograr muchos éxitos para cumplir mis sueños.

AGRADECIMIENTO

Al Mg. Jony Villalobos Cabrera por su gran ayuda y colaboración en cada momento de consulta y soporte en este trabajo de investigación.

Al profesor Jorge Carrero por sus maravillosas consultas interpretativas donde me ofreció su apoyo en cada clase magistral con la que pudo asesorarme.

A los compañeros y/o trabajadores de tesis en las áreas adyacentes del estudio, por la ayuda prestada durante el desenvolvimiento de este trabajo en la etapa de campo.

A Dios y al universo por haber conspirado para mantenernos firmes y no decaer a pesar las adversidades presentadas durante este gran esfuerzo y dedicación que comprendió nuestra carrera como Ingeniero Mecánico Electricista.

| | |
|---|------|
| ÍNDICE | |
| RESUMEN | XIII |
| ABSTRACT | XIV |
| INTRODUCCION | XV |
| CAPÍTULO I PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA: | 2 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA | 3 |
| 1.3.1. Justificación Tecnológica: | 3 |
| 1.3.2. Justificación Ambiental: | 3 |
| 1.3.3. Justificación Económica: | 4 |
| 1.3.4. Justificación Social: | 4 |
| 1.4. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 4 |
| 1.5. OBJETIVOS | 4 |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN | 7 |
| 2.2. ESTADO DEL ARTE | 11 |
| 2.3. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS | 14 |
| 2.3.1. Máquina de control numérico computarizado (CNC) | 14 |
| 2.3.1.1. Definición | 14 |
| 2.3.1.2. Descripción de las partes que forman la máquina fresadora CNC | 14 |
| 2.3.1.3. Características y Funcionamiento. | 22 |
| 2.3.1.4. Clasificación | 23 |
| 2.3.2. Parámetros de operación de corte | 24 |
| 2.3.3. Propiedades mecánicas de la madera | 26 |
| 2.3.4. Conductores | 28 |
| 2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS. | 29 |
| 2.4.1. Variables y Dimensiones de Máquinas CNC | 29 |
| CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO | 32 |
| 3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 33 |
| 3.2. VARIABLES: | 33 |
| 3.2.1. Variable Independiente. | 33 |
| 3.2.2. Variable Dependiente. | 33 |
| 3.2.3. Variable Interviniente. | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.4. Diagrama de caja negra..... | 34 |
| 3.2.5. Operacionalización de variables:..... | 35 |
| 3.2.5.1. Variables Independientes: | 35 |
| 3.2.5.2. Variables Dependientes: | 36 |
| 3.3. METODOLOGÍA DE DISEÑO..... | 37 |
| 3.4. ABORDAJE METODOLÓGICO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:..... | 37 |
| 3.4.1. Abordaje metodológico:..... | 38 |
| 3.4.2. Técnicas de recolección de información..... | 38 |
| 3.4.3. Instrumentos de recolección de datos | 38 |
| 3.5. PRINCIPIOS ÉTICOS: | 39 |
| 3.6. PRINCIPIOS DE RIGOR CIENTÍFICO:..... | 40 |
| CAPÍTULO IV PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN | 42 |
| 4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE LA EMPRESA | 43 |
| 4.2. NORMAS Y CÓDIGOS PERTINENTES PARA EL DISEÑO DE UNA FRESADORA CNC | 43 |
| 4.3. EXPRESIÓN EN TÉRMINOS INGENIERILES LAS NECESIDADES DE LA EMPRESA. | 44 |
| 4.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS TIPOS DE MADERA Y SELECCIÓN DEL DE MAYOR RESISTENCIA..... | 45 |
| 4.5. GENERACION DE CONCEPTOS ALTERNATIVOS..... | 46 |
| 4.6. CÁLCULO DE CARGAS Y ESFUERZO PARA EL DISEÑO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL. | 54 |
| 4.6.1. Dimensionamiento Estructural..... | 54 |
| 4.6.2. Fórmulas y Cálculos para Fresado..... | 54 |
| 4.6.3. Fórmulas y Cálculos para Taladrado | 58 |
| 4.6.4. Análisis de Guías Lineales en Eje Z | 61 |
| 4.6.5. Análisis de Guías Lineales en Eje Y | 67 |
| 4.6.6. Análisis de Guías Lineales en Eje X..... | 73 |
| 4.6.7. Determinación del Husillo de bolas con sus rodamientos axiales de soporte para Z | 77 |
| 4.6.8. Determinación del Husillo de bolas con sus rodamientos axiales de soporte para Y | 80 |
| 4.6.9. Determinación del Husillo de bolas con sus rodamientos axiales de soporte para X | 83 |
| 4.6.10. Cálculo de Torques de los Motores a Pasos y acoples..... | 86 |

| | |
|---|------------|
| 4.6.11. Análisis de base lateral | 93 |
| 4.7. DISEÑO PARAMÉTRICO DE LAS PARTES O SISTEMAS CRÍTICOS DE LA FRESADORA CNC..... | 96 |
| 4.8. ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS EN PUNTOS CRÍTICOS DE LAS GUÍAS LINEALES EN LOS 3 EJES EN SOFTWARE CAE O FEA. | 98 |
| 4.9. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ELECTROMECAÓNICOS Y ESTRUCTURALES ESTÁNDAR..... | 100 |
| 4.10. SELECCIÓN DE LAS PARTES ELECTRÓNICAS DEL SISTEMA DE CONTROL. | 105 |
| 4.11. SECUENCIA DE PROGRAMACIÓN..... | 107 |
| 4.12. PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL USANDO SOFTWARE ESPECIALIZADO (SOFTWARE CAE O FEA).. | 108 |
| 4.13. ELABORACIÓN DE PLANOS..... | 108 |
| 4.14. ANÁLISIS ECONÓMICO (VAN-TIR-ROI)..... | 108 |
| 4.14.1. Costos de inversión | 108 |
| 4.14.2. Análisis de ganancia por grabados en madera | 111 |
| 4.14.3. Cálculo de valor actual neto y tasa interna de retorno..... | 112 |
| 4.14.4. Periodo de retorno de inversión (ROI)..... | 112 |
| 4.15. Análisis de encuestas | 113 |
| CAPÍTULO V ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 118 |
| 5.1. CARGAS Y ESFUERZO PARA EL DISEÑO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL. | 119 |
| 5.1.1. Parámetros del fresado | 119 |
| 5.1.2. Parámetros del taladrado | 119 |
| 5.1.3. Dimensiones de las plataformas en los ejes Z, Y, X..... | 120 |
| 5.1.4. Cargas resultantes en los puntos críticos de las guías..... | 121 |
| 5.2. SIMULACION EN LOS PUNTOS CRÍTICOS DE LAS GUÍAS LINEALES DE LOS 3 EJES EN SOFTWARE CAE O FEA. | 123 |
| CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 127 |
| 6.1. CONCLUSIONES..... | 128 |
| 6.2. RECOMENDACIONES | 129 |
| CAPÍTULO VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 130 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 131 |
| CAPÍTULO VIII ANEXOS | 132 |

INDICE FIGURAS

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1:</i> Inventables presenta su nueva máquina CNC X-Carve..... | |
| <i>Figura 2:</i> Fresadora de control numérico (CNC) | 13 |
| <i>Figura 3:</i> Máquina fresadora de control numérico..... | 13 |
| <i>Figura 4:</i> Partes de Fresadora..... | 14 |
| <i>Figura 5:</i> Tornillos de potencia | 15 |
| <i>Figura 6:</i> Sistema piñón – cremallera | 15 |
| <i>Figura 7:</i> Sistema de husillos de bolas | 16 |
| <i>Figura 8:</i> Sistema de Guía Lineal con Rodillos Guía | 16 |
| <i>Figura 9:</i> Modelos de rodamientos lineales y radiales. | 17 |
| <i>Figura 10:</i> motor paso a paso..... | 18 |
| <i>Figura 11:</i> Esquema de driver PaP DRV8825 | 19 |
| <i>Figura 12:</i> Shield CNC – GRBL..... | 19 |
| <i>Figura 13:</i> Placa programable Arduino UNO Rev.3..... | 20 |
| <i>Figura 14:</i> Sensor fin de carrera..... | 20 |
| <i>Figura 15:</i> software linux CNC | 21 |
| <i>Figura 16:</i> software Mach3..... | 22 |
| <i>Figura 17:</i> Diámetros de fresa | 25 |
| <i>Figura 18:</i> Profundidad de Cortes | 25 |
| <i>Figura 19:</i> Parámetros de corte para el proceso de fresado..... | 26 |
| <i>Figura 20:</i> Variables y Dimensiones de Máquinas CNC..... | 29 |
| <i>Figura 21:</i> Diagrama de flujo - Metodología de diseño..... | 37 |
| <i>Figura 22:</i> características de madera – Guayacán..... | 45 |
| <i>Figura 23:</i> Fuerza Especifica de Corte | 45 |
| <i>Figura 24:</i> Desarrollo de la matriz morfológica | 48 |
| <i>Figura 25:</i> Máquina fresadora CNC- Router..... | 49 |
| <i>Figura 26:</i> Mini CNC Router..... | 50 |
| <i>Figura 27:</i> Estructura Cantiléver | 51 |
| <i>Figura 28:</i> Representación general de la máquina CNC. | 52 |
| <i>Figura 29:</i> Diagrama de fuerzas en el eje z..... | 62 |
| <i>Figura 30:</i> Eje vertical, movimiento a velocidad constante o reposo. | 62 |
| <i>Figura 31:</i> Eje vertical con carga normal. | 64 |
| <i>Figura 32:</i> Diagrama de Corte y Momento Flector para Guía Lineal del eje Z | 65 |
| <i>Figura 33:</i> Diagrama de fuerzas en el eje y..... | 68 |
| <i>Figura 34:</i> Ejes horizontales con cargas perpendiculares al eje y | 69 |
| <i>Figura 35:</i> Diagrama de Corte y Momento Flector para Guía Lineal del eje Z | 71 |
| <i>Figura 36:</i> Diagramas de fuerzas en el eje x..... | 73 |
| <i>Figura 37:</i> Ejes horizontales con cargas perpendiculares al eje x | 74 |
| <i>Figura 38:</i> Diagrama de Corte y Momento Flector para Guía Lineal del eje X | 75 |
| <i>Figura 39:</i> husillo de bolas miniatura roscado y laminado, tuerca con extremo roscado | 77 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 40:</i> Accionamiento vertical del husillo de bolas | 87 |
| <i>Figura 41:</i> Accionamiento vertical del husillo de bolas | 89 |
| <i>Figura 42:</i> DCL Fuerzas que intervienen en el eje Y | 89 |
| <i>Figura 43:</i> Modelado base lateral | 93 |
| <i>Figura 44:</i> cargas y sujeciones | 94 |
| <i>Figura 45:</i> cargas y sujeciones | 94 |
| <i>Figura 46:</i> Tensión en base lateral..... | 95 |
| <i>Figura 47:</i> Desplazamiento en base lateral..... | 95 |
| <i>Figura 48:</i> Factor de seguridad en base lateral..... | 96 |
| <i>Figura 49:</i> Análisis de momentos en eje Z..... | 97 |
| <i>Figura 50:</i> Análisis de momentos en eje Y..... | 97 |
| <i>Figura 51:</i> Análisis de momentos en eje X..... | 98 |
| <i>Figura 52:</i> Detalle de análisis por elementos finitos en eje Z | 99 |
| <i>Figura 53:</i> Detalle de análisis por elementos finitos en eje Y | 99 |
| <i>Figura 54:</i> Detalle de análisis por elementos finitos en eje X..... | 100 |
| <i>Figura 55:</i> Rodamientos lineales de bolas..... | 101 |
| <i>Figura 56:</i> Unidades lineales para ejes..... | 101 |
| <i>Figura 57:</i> selección de usillo de bolas | 102 |
| <i>Figura 58:</i> Rodamientos de una hilera de bolas de contacto angular | 102 |
| <i>Figura 59:</i> selección de motor PaP nema 34 | 103 |
| <i>Figura 60:</i> Acoplamientos de desplazamiento lateral | 103 |
| <i>Figura 61:</i> selección de tubo cuadrado LAC | 104 |
| <i>Figura 62:</i> selección de plancha de acero normalizado | 104 |
| <i>Figura 63:</i> selección de Arduino | 105 |
| <i>Figura 64:</i> selección de Shield grbl CNC..... | 106 |
| <i>Figura 65:</i> selección de driver DVR 8825 | 106 |
| <i>Figura 66:</i> Secuencia lógica de cnc..... | 108 |
| <i>Figura 67:</i> Madera más resistente resultada de la encuesta..... | 113 |
| <i>Figura 68:</i> Tipo de madera con el que más trabajan según encuesta | 113 |
| <i>Figura 69:</i> Producción mensual según encuesta | 114 |
| <i>Figura 70:</i> Tiempo estimado para el grabado según encuesta..... | 114 |
| <i>Figura 71:</i> Propuestas para mejoramiento según encuesta..... | 115 |
| <i>Figura 72:</i> Costos por m ² según encuesta | 115 |
| <i>Figura 73:</i> Talleres dedicados al grabado según encuesta..... | 116 |
| <i>Figura 74:</i> Forma de grabado según encuesta..... | 116 |
| <i>Figura 75:</i> Mejora en el proceso de grabado según encuesta..... | 117 |
| <i>Figura 76:</i> Mejoramiento tecnológico CNC según encuesta | 117 |
| <i>Figura 77:</i> DIMENSIONES EN EJE Z..... | 120 |
| <i>Figura 78:</i> DIMENSIONES EN EJE Y..... | 120 |
| <i>Figura 79:</i> DIMENSIONES EN EJE X..... | 121 |
| <i>Figura 80:</i> Cargas en el eje Z..... | 121 |
| <i>Figura 81:</i> Cargas en el eje Y..... | 122 |
| <i>Figura 82:</i> Cargas en el eje X..... | 122 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 83: Modelo y mallado en software especializado</i> | 123 |
| <i>Figura 84: Análisis en software especializado</i> | 124 |
| <i>Figura 85: Modelo y mallado en software especializado</i> | 124 |
| <i>Figura 86: Análisis en software especializado</i> | 125 |
| <i>Figura 87: Modelo y mallado en software especializado</i> | 126 |
| <i>Figura 88: Análisis en software especializado</i> | 126 |
| <i>Figura 89: Caracterización de la Madera</i> | 137 |
| <i>Figura 90: Husillos de bolas laminados de precisión</i> | 138 |
| <i>Figura 91: Husillos de bolas laminados de precisión</i> | 139 |
| <i>Figura 92: Rodamientos lineales</i> | 140 |
| <i>Figura 93: catálogo de rodamientos</i> | 141 |
| <i>Figura 94: Motor PaP</i> | 142 |
| <i>Figura 95: Acoplamientos de desplazamiento lateral</i> | 143 |
| <i>Figura 96: DRV8825 Stepper</i> | 144 |
| <i>Figura 97: ATmega 328</i> | 145 |
| <i>Figura 98: Pantallazo de programación</i> | 146 |
| <i>Figura 99: Pantallazo de programación</i> | 147 |
| <i>Figura 100: Aceros Arequipa</i> | 148 |
| <i>Figura 101: Tubo cuadrado LAC</i> | 149 |
| <i>Figura 101: Simulación en Proteus</i> | 150 |
| <i>Figura 102: Simulación en UGS</i> | 151 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|----------------|----|
| Tabla 1 | 35 |
| Tabla 2 | 36 |
| Tabla 3 | 39 |
| Tabla 4 | 40 |
| Tabla 5 | 44 |
| Tabla 6 | 46 |
| Tabla 7 | 47 |
| Tabla 8 | 53 |
| Tabla 9 | 55 |
| Tabla 10 | 58 |
| Tabla 11 | 61 |
| Tabla 12 | 63 |
| Tabla 13 | 64 |
| Tabla 14 | 66 |
| Tabla 15 | 69 |
| Tabla 16 | 71 |

| | |
|---------------|-----|
| Tabla 17..... | 74 |
| Tabla 18..... | 76 |
| Tabla 19..... | 88 |
| Tabla 20..... | 90 |
| Tabla 21..... | 91 |
| Tabla 22..... | 92 |
| Tabla 23..... | 93 |
| Tabla 24..... | 93 |
| Tabla 25..... | 109 |
| Tabla 26..... | 109 |
| Tabla 27..... | 110 |
| Tabla 28..... | 110 |
| Tabla 29..... | 111 |
| Tabla 30..... | 111 |
| Tabla 31..... | 112 |
| Tabla 32..... | 119 |
| Tabla 33..... | 119 |

RESUMEN

En este trabajo de investigación se diseñó una fresadora CNC para grabado en madera para la empresa EL NAZARENO S.R.L en la ciudad de Chiclayo.

Las necesidades de la empresa se establecieron a través de parámetros de la misma y se expresó en términos ingenieriles bajo sus especificaciones técnicas. Cuatro geometrías de fresadoras CNC fueron analizadas mediante una matriz de selección para designar la forma final. Luego se calcularon las cargas de diseño usando cálculos de fuerza y momentos estáticos. Obtenidos estas cargas se realizó una simulación en software CAE o FEA para optimizar detalles en la forma final de los diámetros en las guías lineales. Finalmente, se seleccionaron los elementos electromecánicos y las partes electrónicas del sistema de control.

La CNC de mesa fija y puente móvil fue seleccionada en nuestro diseño ya que cumple con la mayoría de criterios considerados. Los diámetros de las guías en los tres ejes X, Y y Z fueron de 24.3mm, 18.55mm, 9.18mm respectivamente. Optimizada la selección de guías, se diseñó en software CAE o FEA con los espesores mencionados se obtuvo un factor de seguridad global mínimo de 1.8 en uno de los ejes. El torque del motor más bajo fue de 2.6 N.m y el máximo de 4.39 N.m.

La CNC de mesa fija y puente móvil presenta mejores ventajas ya que cumple con la mayoría de criterios en cuanto a diseño, facilidad de operación y mayor rentabilidad en sus piezas frente a los otros 3 tipos de máquinas CNC, además de satisfacer las necesidades requeridas de la empresa. El análisis por elementos finitos en software permitió diseñar adecuadamente las guías lineales en los tres ejes, además de aplicar las cargas ejercidas en dichos elementos a la realidad manteniendo al mismo tiempo un adecuado factor de seguridad (1.8, 2.4 y 4) respectivamente. De la evaluación económica y financiera el VAN (9522) y TIR (12%) generará gran rentabilidad en un periodo corto de tiempo. Del ROI (24.58%) se afirma la idea de una buena rentabilidad económica.

Palabras claves: Máquina fresadora, cnc, grabado, programación en arduino, diseño CAD, madera.

ABSTRACT

In this research work was designed a CNC milling machine for wood engraving for the company EL NAZARENO S.R.L in the city of Chiclayo.

The needs of the company were established through parameters of the same and was expressed in engineering terms under its technical specifications. Four geometries of CNC milling machines were analyzed using a selection matrix to designate the final shape. The design loads were then calculated using force calculations and static moments. Once these loads were obtained, a simulation was performed in software CAE o FEA to optimize details on the final shape of the diameters in the linear guides. Finally, electromechanical elements and electronic parts of the control system were selected.

The fixed table CNC and mobile bridge was selected in our design since it meets most of the criteria considered. The diameters of the guides on the three X, Y and Z axes were 24.3mm, 18.55mm, and 9.18mm respectively. Optimized the selection of guides, was designed in software CAE o FEA with the mentioned thicknesses obtained a minimum overall safety factor of 1.8 in one of the axes. The lowest engine torque was 2.6 N.m and the maximum of 4.39 N.m.

The fixed table CNC and mobile bridge presents better advantages since it meets the majority of criteria in terms of design, ease of operation and greater profitability in its parts compared to the other 3 types of CNC machines, besides satisfying the required requirements of the company. The finite element analysis in software allowed to properly design the linear guides in the three axes, in addition to applying the loads exerted on these elements to the reality while maintaining an adequate safety factor (1.8, 2.4 and 4) respectively. From the economic and financial evaluation, the NPV (9522) and TIR (12%) will generate great profitability in a short period of time. ROI (24.58%) affirms the idea of a good economic profitability.

Keywords: Machine milling, cnc, engraving, programming in arduino, CAD design, wood.

INTRODUCCION

En este trabajo de investigación se diseñó una fresadora CNC para grabado en madera; resolviendo así la carencia de equipos automatizados para el remplazo de los trabajos en grabados artesanalmente; siendo esta una de las necesidades de la empresa y expresando en términos ingenieriles sus especificaciones técnicas. Para lo cual cuatro geometrías de fresadoras CNC fueron analizadas mediante una matriz de selección para designar la forma final. Luego se calcularon las cargas de diseño usando cálculos de fuerza y momentos estáticos. Obtenidos estas cargas se realizó una simulación en software CAE o FEA para optimizar detalles en la forma final de los diámetros en las guías lineales. Finalmente, se seleccionaron los elementos electromecánicos y las partes electrónicas del sistema de control.

Dado los resultados obtenidos la CNC de mesa fija y puente móvil presentó mejores ventajas ya que cumple con la mayoría de criterios en cuanto a diseño, facilidad de operación y mayor rentabilidad en sus piezas, además de satisfacer las necesidades requeridas de la empresa. El análisis por elementos finitos software CAE o FEA permitió diseñar adecuadamente las guías lineales en los tres ejes, además de aplicar las cargas ejercidas en dichos elementos a la realidad manteniendo al mismo tiempo un adecuado factor de seguridad (1.8, 2.4 y 4) respectivamente. Consecuentemente se hizo la evaluación económica y financiera que afirmó la idea de una buena rentabilidad económica

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA

INVESTIGACIÓN

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA:

A nivel internacional los trabajos en madera suelen ser hechos de manera artesanal, por personas capacitadas los cuales son llamados ebanistas pero les toma mucho tiempo y habilidad para lograr terminar una obra de arte como tallados en las mesas, en las puertas; aunque hay equipos automatizados para trabajos de tallados, estos son empleados mayormente para otros trabajos, ya que el precio del equipo suele ser muy elevado y no es muy rentable, por esta razón es que muy poco se modernizan la pymes de este rubro en contar con dicha máquina; prefieren seguir trabajando de manera artesanal; así es el caso de **Chile**; aquí encontramos, que aún se sigue haciendo trabajos de manera artesanal, pero esto se encuentra muy dispersa y en vías de extinción puesto que los especialistas en estos trabajos son muy pocos (Valdés, 2014), también en **España**, el arte de la madera, es una formación en peligro de extinción; cada vez son menos las personas que se interesan en querer aprender este arte y eso supone un riesgo en la transmisión del conocimiento (Elías, 2011)

En **Perú** aun defienden su cultura en el arte del trabajo en madera, pero ya son pocos los artesanos, ebanista que son especialistas en su arte, haciendo grabados en las cabeceras de las camas, en las ventanas de alguna parroquia, o en adornos para eventos festivos, y el conocimiento que estos tienen sugiere un riesgo, pues no se está transmitiendo este conocimiento a la futura generación y el mercado es cada vez más exigente en el trabajo y el tiempo empleado para el término de un proyecto; y dado que la tecnología está en aumento ya se empiezan a ver nuevas maneras de cómo dar solución con otros métodos; así pues por poner un ejemplo, la artesanía ayacuchana se caracteriza por contar con una diversidad de líneas de artesanía; existiendo otras líneas de pocas demandadas que se mantienen estables, como el tallado en madera, confección de instrumentos de cuerda, utensilios de madera. (Vilca, 2016)

La empresa “EL NAZARENO” S.R.L. – Chiclayo, es una empresa que cuenta con una vasta cartera de clientes, que a lo largo de los años ha ido mejorando en la producción de trabajos especializados, pero actualmente está pasando por una cadencia de personal ebanista especializado en trabajos de grabado en madera, pues estos trabajos suelen ser hechos de manera artesanal, lo cual les conlleva a tener muchos retrasos y mayor tiempo de espera para entregar los productos a sus clientes, además algunos de ellos no cuentan con las máquinas e implementos necesarios para la realización de grabados en madera, ya que estas no son fáciles de adquirir por el motivo de que sus precios son muy elevados; es por ello que teniendo acceso a esta tecnología (Máquina CNC router) se les facilitará muchas acciones ventajosas como un aumento de flujo de ingresos y una disminución de tiempo en el que se podría aprovechar para el mismo u otro tipo de labores.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál será la configuración y especificaciones técnicas de una fresadora CNC para el grabado en madera en la empresa “EL NAZARENO” S.R.L.?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.3.1. Justificación Tecnológica:

La nueva aplicación de esta tecnología de fresadora CNC controlada por arduino a la ebanistería permitirá mejorar los trabajos en grabado para madera a través de las tecnologías que nos ofrecen el hardware y el software controlados por una interfaz con los drivers y así lograr una comunicación del hombre con la máquina.

1.3.2. Justificación Ambiental:

Este tipo de diseño de máquina CNC funcionará con energía eléctrica empleando tecnología moderna que será amigable con el medio ambiente al no generar problemas ambientales como el CO₂.

1.3.3. Justificación Económica:

El diseño de la máquina CNC busca incrementar los ingresos económicos al realizar estos detalles como los grabados en madera en menor tiempo, logrando así una mayor producción.

1.3.4. Justificación Social:

Este diseño de máquina CNC, lograra una comodidad de trabajo al carpintero, ya que habrá un distanciamiento entre la madera y el carpintero lo cual evitara inhalar directamente el polvo que se produce en el lapso del grabado en madera.

1.4. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

- La universidad no cuenta con laboratorio que equipos especializados para ensayos.
- En Chiclayo no existen lugares donde se puedan conseguir los motores PAP y no se puede escoger los aditamentos a utilizar en la CNC.
- No existen cursos de robótica en la malla curricular ni docentes especialistas en esta área.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General:

Diseñar una máquina fresadora CNC para hacer grabados en madera para la empresa “El Nazareno” S.R.L., de bajo costo con un grado de precisión aceptable.

1.5.2. Objetivos Específicos:

- Identificar y expresar en términos ingenieriles las necesidades de la empresa.
- Aplicar las normas y códigos pertinentes para el diseño de una fresadora CNC.

- Caracterizar los tipos de madera y así seleccionar la de mayor resistencia.
- Generar 4 conceptos alternativos capaces de solucionar el problema planteado y seleccionar la alternativa de diseño más ventajosa mediante una matriz de selección.
- Calcular las cargas y esfuerzo para el diseño de análisis estructural.
- Diseñar paramétricamente las partes o sistemas críticos de la fresadora CNC.
- Analizar la deformación por elementos finitos en puntos críticos de las guías lineales en los 3 ejes en software CAE o FEA.
- Seleccionar los elementos electromecánicos, electrónicos y estructurales estándar.
- Programar y simular el sistema de control usando software especializado (CAD).
- Elaborar los planos: general, explotado y despiece.
- Realizar un análisis económico (VAN-TIR-ROI).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACIÓN

NG YU KI (2008). Nueva generación de perfil de velocidad para la aplicación de maquinaria CNC de alta eficiencia (HONG KONG). Un problema desafiante que debe abordarse es que al aumentar la velocidad de movimiento para mejorar la productividad, la precisión del movimiento del CNC también puede degradarse. Se planificó mejoras de movimiento mediante el empleo de un nuevo perfil de velocidad para ahorrar tiempo de operación y así mejorar la eficiencia de trabajo, manteniendo al mismo tiempo una buena precisión de movimiento. Se propone un nuevo perfil de velocidad con curva S mejorada, mediante el cual el siguiente movimiento comienza sin esperar a que se detenga el movimiento anterior, con lo que se ahorra el tiempo de operación y se mejora la eficiencia. Dos métodos sin control jerk y con control jerk son desarrollados para generar este nuevo perfil de velocidad. Con el nuevo perfil de velocidad se logró tener una mejora frente al perfil de velocidad tradicional.

Sashank Thapa (2014). Diseño estructural de herramienta de máquina CNC de 3 ejes para talla de madera (INDIA). Anteriormente se realizó pocos trabajos especializados, pero desde la década pasada ha ido en aumento la demanda de artículos decorativos debido al estilo de vida alta, y esto se ha hecho con la ayuda de máquinas herramientas. Como la mayor parte de las compañías que fabrican máquinas de tallado de madera del CNC no divulga el procedimiento de diseñar; es difícil seleccionar una máquina según parámetros de entrada propios. Se realizó un análisis de los componentes de la máquina herramienta en ANSYS que puede añadir a la deflexión de la herramienta ya que es la causa principal de la desviación de la trayectoria de la herramienta. Así que la optimización se hace para minimizar la deflexión de los componentes de la máquina herramienta contra su propio peso, fuerzas de corte, longitudes largas de impulsiones, etc.

AKHIL MAHAJAN (2012). Evaluación de la fabricación y del diseño utilizando herramientas cae para una fresadora vertical de 3 ejes para el mecanizado de superficie esculpida (INDIA). Uno de los mayores desafíos de hoy es cómo hacer que la tecnología CNC sea asequible, más simple y disponible en una medida que incluso un aficionado / usuario ocasional puede pensar en utilizar a dicha tecnología. Se ha diseñado una unidad de máquina herramienta simplificada para el mecanizado de superficies esculpidas, y bajo el presente trabajo se ha dado una forma general al diseño conceptual. Los principales componentes estándar necesarios para el desarrollo del prototipo de estructura de la máquina herramienta se han seleccionado siguiendo el enfoque de tipo de carga a la que será sometida la máquina herramienta. El diseño conceptual para la máquina herramienta que se logró después de un número de iteraciones, se ha analizado utilizando el método de elementos finitos (FEM) utilizando ANSYS para su estabilidad bajo diferentes condiciones de carga. Se ha encontrado que el diseño de la estructura de la máquina es seguro y el nivel máximo de desviaciones y tensiones encontradas durante el análisis FEM están en un límite seguro.

López López & Parra Santos, (2016). Diseño de una Fresadora Router CNC (ECUADOR). El tallado de madera se lo realiza en un gran porcentaje de forma manual dando como resultados bajos niveles de producción, por esta razón se plantea la necesidad de diseñar y construir un prototipo de máquina fresadora router CNC. Para ello se tomaron en cuenta características físicas y propiedades mecánicas de la materia prima, para luego realizar cálculos de diseño y selección de sus componentes estableciendo los parámetros de operación de la máquina CNC. A partir del diseño preliminar de la máquina, se procedió a seleccionar un sistema de control adecuado que cumpla con los requerimientos de la fresadora router CNC, donde se usaron las tarjetas Arduino, Shield CNC y el driver Pololu A4988. Se concluye que la máquina fresadora CNC dispone de una precisión aceptable a

velocidades de producción adecuadas, con reducidos costos de producción.

Michael David Pérez Valdez, (2016). Máquina fresadora de control CNC tipo cartesiano para materiales plásticos y madera (MEXICO). Las PYMES mexicanas así como los sectores públicos como universidades necesitan instalaciones lo más equipadas posibles para aumentar el crecimiento económico del país. En los últimos 50 años México perdió hasta un 55% en materia de competitividad respecto a sus competidores en Asia. Por tal razón se presenta el diseño y construcción de un prototipo de una máquina fresadora con control CNC para el fresado, desbastado y perforado de materiales plásticos, acrílicos, maderas y aluminio. Logrado mediante el uso de dispositivos mecánicos, electrónicos, y la aplicación de técnicas e instrumentos de control. Este prototipo servirá para acercar el maquinado de tipo computarizado a las PYMES Mexicanas así como instituciones de educación. Se concluye que la máquina es capaz perfectamente de maquinar materiales con dureza máxima de aluminio y menores a este como maderas y plásticos sin ningún problema, para el área de trabajo se tenía como objetivo de un área de 20x15 cm, la cual fue sobrada en medio centímetro cada una, además de una altura de 11 cm en el área de trabajo la cual cumple y sobrepasa un poco los objetivos fijados; siendo este un referente para futuros proyectos.

Caicedo Guerra & Pillajo Almachi, (2017). Diseño e implementación de una máquina router CNC de 4 ejes para el tallado de modelos 3d en madera (ECUADOR). En SETRA se desarrollan piezas variadas en distintos materiales, especialmente en madera, de una forma artesanal y casera lo que presenta una serie de desventajas como baja producción debido al tiempo empleado en un trabajo, dificultad de réplica de figuras y entre otros. Por tal motivo se realizó la construcción y ensayos con el fin de verificar el rendimiento de la máquina herramienta. Los materiales y elementos que la constituyen permiten

conseguir una estructura robusta que soporta las cargas mecánicas aplicadas al momento del funcionamiento, teniendo así que el volumen de trabajo de 800x500x150mm logra una excelente relación entre el espacio de trabajo y costos de fabricación de la máquina. Concluyendo así que el diseño optado fue de gran beneficio y rentabilidad para la PYME.

Palma Chauca & Jesús Bravo, (2012). Propuesta de diseño para la fabricación de máquina automatizada para optimizar la operación de cortes rectos en la manufactura de muebles en melamina (PERU). Existe una deficiencia en la operación de corte recto de madera melamina, por falta de automatización y la necesidad de una máquina que facilite esta operación. Ya que al terminar la operación de corte, las piezas caen sin tener una buena recepción de este, dañando de esta manera su estructura, también supone un riesgo al operario al poder ser golpeado por las piezas cortadas. La producción de trabajos se realiza en un tiempo demasiado extenso, lo que provoca un incremento en el precio de venta y un decremento en la oferta, por lo tanto se diseñara una máquina CNC que mejore la calidad de trabajo, resuelto esto se podrá fabricar en serie los diversos tipos de trabajos comercializados en el mercado.

Alonso Ricardo Pérez Espinoza, (2015). Diseño de una cortadora láser CNC de CO₂ para acrílicos y madera (PERU). La necesidad por incrementar el desarrollo tecnológico industrial ha tomado un carácter mandatorio; que condiciona el éxito de una empresa industrial, un sector especializado e incluso la economía y calidad de vida en un país. Teniendo como objetivo principal diseñar una cortadora CNC laser de bajo costo capaz de cortar madera y acrílico, para ello se diseñó la parte lógica de control de flujo y además, en cuanto a la mecánica, se tiene el diseño de un sistema de movimiento en el plano XY. Dando como resultado en primer lugar, que el diseño pretendió y logro reducir costos en cada área posible: óptica (baja potencia del láser), mecánica

(materiales de piezas y tornillos de precisión disponibles en el mercado local) y electrónica (diseño óptimo y componentes disponibles en mercado local). En segundo lugar, a lo largo del diseño se optó por factores de seguridad o sobredimensionamiento, coherentes con un uso doméstico y no industrial.

José Manuel Flores Hernández, (2012). Diseño mecánico del cabezal y el bastidor de una fresadora CNC de 500x500x300 mm con mesa de trabajo tipo plataforma de gough (PERU). En una fresadora convencional se dispone de una máquina con diversos grados de libertad con el objetivo de lograr el mayor alcance y versatilidad de la herramienta. Sin embargo; los ejes en los que se logran grados de libertad son cartesianos, lo que limita muchas veces el proceso. Se diseñó una fresadora CNC con la variante que llevará como mesa de trabajo una plataforma móvil de 6 GDL, cuya dinámica se regirá a partir de una correcta acción de control. Así, la mesa de trabajo permitirá 3 desplazamientos y 3 orientaciones, de esta forma, la pieza a maquinar podrá posicionarse según lo determine la plataforma móvil mediante una acción de control apropiada. Concluyendo así que mediante la aplicación de las normas pertinentes se obtuvo un $FS \geq 100$ para la resistencia mecánica, y con un $FS=5$ para la deflexión del husillo. Ya sea en un taller convencional de mecanizado u otros, pues esto nos asegura continuidad en la producción.

2.2. ESTADO DEL ARTE

Inventables presenta su nueva máquina CNC X-Carve:

Inventables es conocido por su máquina CNC de código abierto Shapeoko 2 CNC, sin embargo han anunciado una nueva máquina con su propia máquina llamada X-Carve, que trae una serie de mejoras y nuevas características para toda la comunidad. La Shapeoko de Edward Ford comenzó su andadura con un kit de 300 dólares, lanzado en Kickstarter en 2011. Con este éxito, se asoció con Inventables para ayudar a producir y vender la máquina. Un par de

años más tarde, la asociación continuó con el lanzamiento de la Shapeoko 2, una creación mucho más refinada con rieles MakerSlide de aluminio y un área de trabajo más grande.

El diseño físico de la X-Carve cambia un poco de la Shapeoko 2. En primer lugar, ahora hay dos opciones de tamaño de 500 mm y 1000 mm. Los rieles Makerslide de aluminio están montadas en esquina para aumentar la rigidez, y ahora vienen con tornillos de rosca en lugar de tener roscar a mano. Utiliza 50% menos de piezas debido a que muchos de los componentes son de metal extruido que ofrece más rigidez. (Inventables, 2016)



Figura 1: Inventables presenta su nueva máquina CNC X-Carve

Fuente: <http://blog.bricogeek.com>

FCN-P:

Versátil y fiable para el trabajo a alta velocidad de todo tipo de materiales no ferrosos.

Su estructura de puente móvil, sus elevadas prestaciones dinámicas, modularidad y potencia presentan a esta máquina como la solución perfecta para el mecanizado de piezas que requieren gran calidad y precisión en los acabados. (bermaq, 2015)



EURO-PX:

Máquina fresadora de control numérico (CNC) diseñada para el mecanizado de una gran variedad de materiales no férricos (poliestireno, maderas, resinas) a alta velocidad.

Su bancada situada a baja altura facilita el mecanizado de piezas de dimensiones medias. Máquina ideal para modelistas y maquetadores. (machines, 2015)



2.3. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS

2.3.1. Máquina de control numérico computarizado (CNC)

2.3.1.1. Definición

Se denomina máquina CNC a la que se opera por medio de control numérico computarizado, que utiliza un código de programación para construir una pieza determinada, dicho código puede ser realizado manualmente o generado mediante un software CAD - CAM a partir de un dibujo 3D de dicha pieza.

Como se muestra en la figura, generalmente son máquinas herramientas como el torno y la fresadora las que han sido automatizadas con este tipo de sistema.

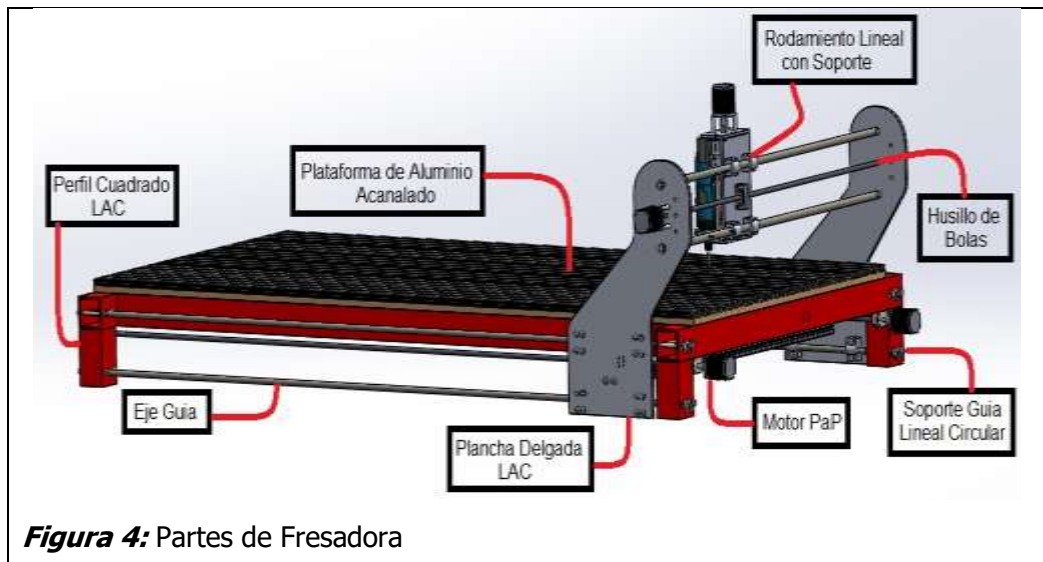


Figura 4: Partes de Fresadora

2.3.1.2. Descripción de las partes que forman la máquina fresadora CNC

1) Sistema mecánico

1.1) Tornillos de Potencia

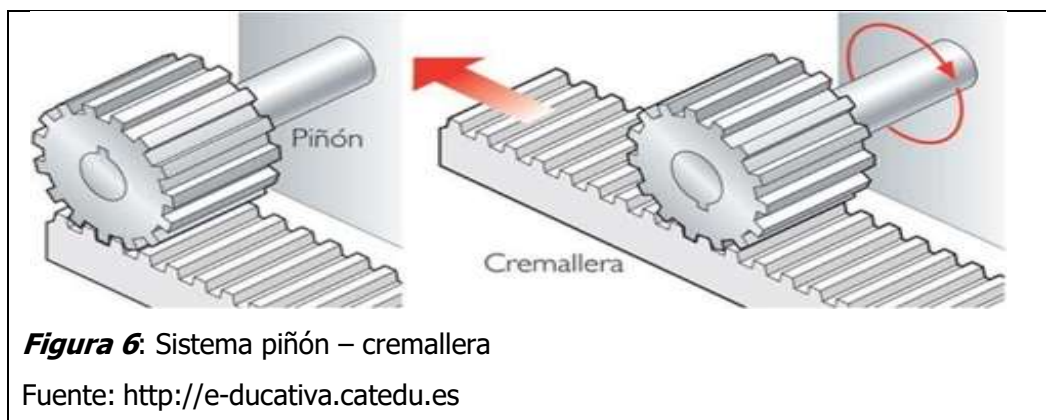
Es el elemento más común utilizado en máquinas herramientas para realizar los movimientos principales de traslación en cada eje de las mismas, permite transformar un movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo con el objeto de transmitir fuerza o potencia.

Trabaja con un roce elevado, por lo que la eficiencia, el desgaste, el calentamiento y la resistencia mecánica son consideraciones importantes para su diseño.



1.2) Piñón Cremallera

Este sistema transforma el movimiento giratorio de un eje, en el que va montado un piñón, en movimiento rectilíneo, al engranar los dientes de dicho piñón con los dientes de una barra prismática o cremallera que se desplaza longitudinalmente, los dientes de ambos pueden ser rectos o helicoidales.



1.3) Husillos de Bola

Es un tornillo de potencia que ha mejorado considerablemente su eficiencia de funcionamiento al cambiar su diseño de forma, utiliza un camino de rodadura helicoidal sobre el cual se mueven unos rodamientos de bolas que actúan como un tornillo de precisión por lo que su par torsión motriz requerido equivale solamente a un tercio que el necesario en un husillo deslizante convencional, ahorra bastante energía de accionamiento y no sólo puede convertir el movimiento de rotación en un movimiento lineal, sino que también puede convertir el movimiento lineal en movimiento de rotación.



1.4) Guía Lineal con Rodillos Guía

Con un diseño robusto están diseñados para ofrecer un movimiento lineal preciso con baja fricción y bajo ruido, trabajan en combinación de otros sistemas de carriles rectos o curvos hasta una velocidad de 10 m/s.



1.5) Rodamiento

La función principal del sistema de deslizamiento es poder realizar los movimientos en los tres ejes coordinados en los cuales se requiere trasladar el router. La mayoría de los sistemas comerciales están constituidos por rodamientos de alta precisión, diseñados específicamente para máquinas CNC.

Muchas empresas dedicadas al diseño y manufactura de rodamientos cuentan con una línea especializada en el desarrollo de rodamientos.

Básicamente existen tres modelos de este tipo de rodamientos:

- a) **Rodamientos lineales de bolas y guías deslizables.**
- b) **Rodamientos de transmisión lineal.**
- c) **Rodamiento de bolas radiales.**

El primer modelo funciona como deslizador en una sola dirección lineal, ya que tiene restringidos los movimientos de rotación gracias al perfil del eje guía. El segundo modelo también cuenta con un movimiento lineal en una sola dirección, pero además, este rodamiento tiene la capacidad de poder rotar sobre su eje guía de movimiento lineal, ya que el eje guía es una barra circular. Este tipo de rodamiento es especialmente indicado para aplicaciones de alta velocidad. Las características generales de este tipo de rodamientos son:

- Aceleración de hasta 100 m/s^2
- Velocidad de hasta 5 m/s
- Precisión de hasta $50 \text{ } \mu\text{m}$
- Temperatura de trabajo entre los $-20 \text{ } ^\circ\text{C}$ y $80 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Longitud de eje de hasta 6 m

Como se puede observar en las características, estos rodamientos son fabricados especialmente para aplicaciones de precisión.

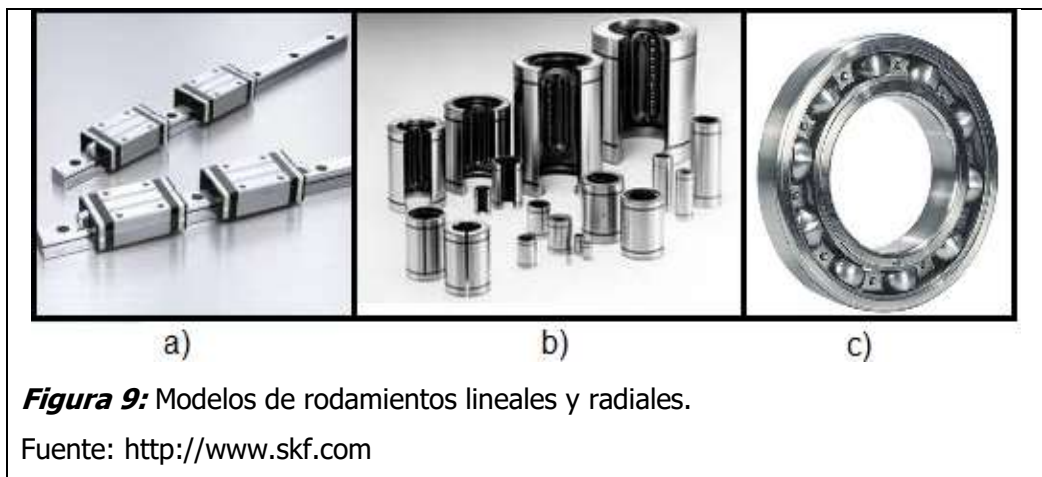


Figura 9: Modelos de rodamientos lineales y radiales.

Fuente: <http://www.skf.com>

1.6) Modos de Sujeción

Los sujetadores son un método de unión entre dos o más piezas, utilizados en casi cualquier producto o estructura. Pueden ser permanentes o removibles, se utilizarán dos modos de sujeción los

cuales cumplen con normas y estándares internacionales como la American Welding Society (AWS) para cordones de soldadura, la American National Standards Institute(ANSI) y Deutsches Institut für Normung (DIN) para piezas de fijación como pernos, tornillos, espárragos, tuercas, etc.

2) Sistema eléctrico.

2.1) Motores paso a paso

Son un tipo especial de motores que reciben un impulso de corriente y lo transforman en un movimiento preciso del eje y al que se le denomina paso, según la secuencia de dichos impulsos se puede girar en uno u otro sentido y dependiendo de la frecuencia de los mismos se puede regular la velocidad de giro.

Este tipo de motores es ideal para la construcción de mecanismos que requieren movimientos con mucha precisión.

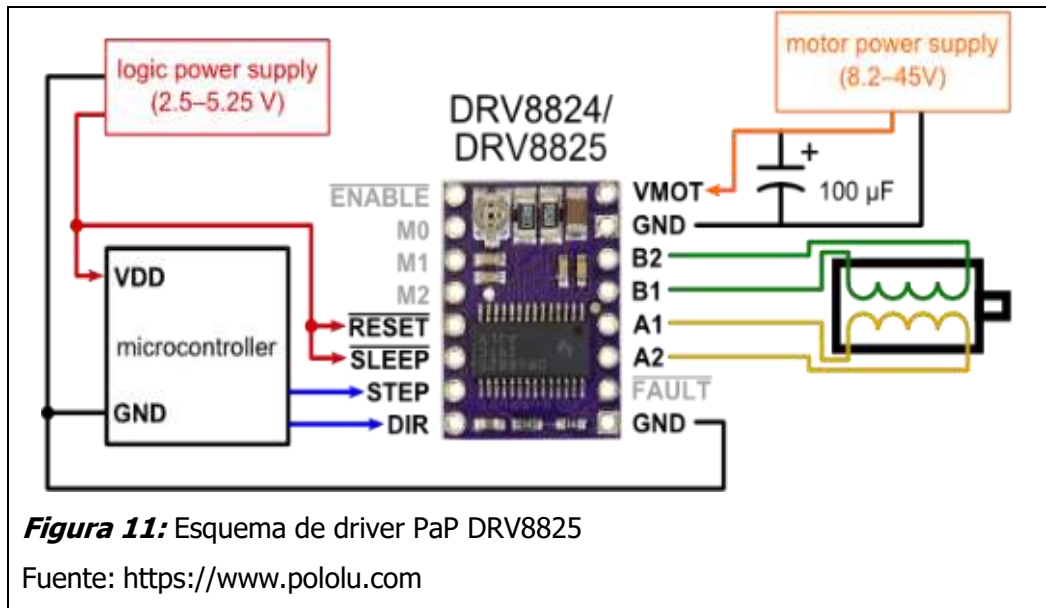


Figura 10: motor paso a paso

2.2) Driver de Motor Paso a Paso

Esta placa utiliza el driver DRV8825 de Texas Instrument para motores paso a paso bipolares y es ampliamente utilizada con las distintas placas de control de impresoras 3D y Máquinas CNC.

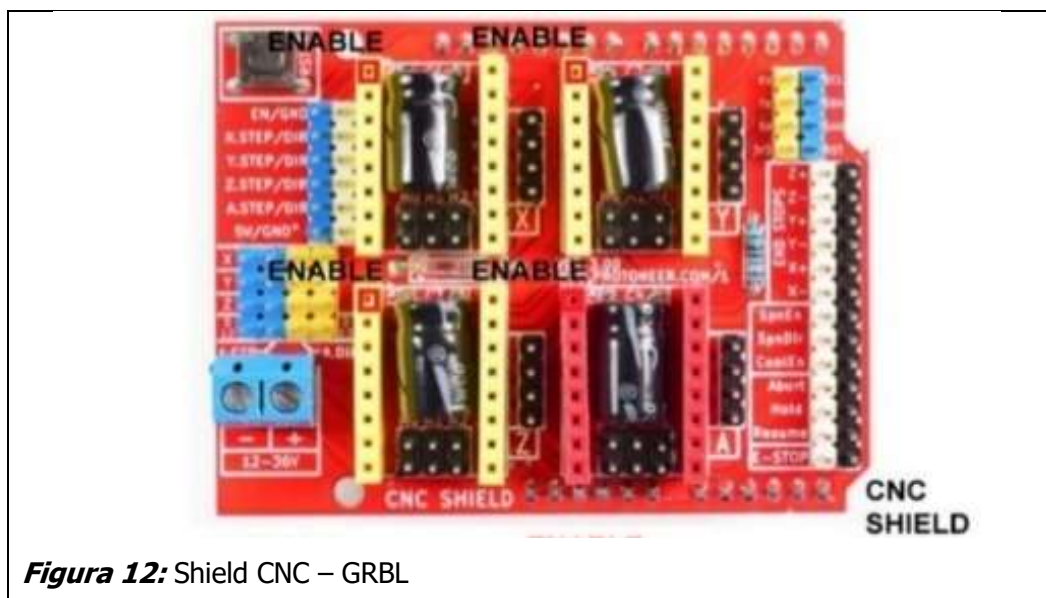
Este módulo es pin-compatibile con el driver A4988, lo que significa que puede usarse como reemplazo directo de mejor rendimiento. Esto lo hace ideal para su uso con el Shield RAMPS 1.4 y el Shield CNC.



2.3) Shield CNC

Este Shield te permite construir una CNC de la manera más rápida y sencilla, solo necesitas agregar un Arduino Uno y unos cuantos Drivers A4988 o DRV8825. Posee un diseño modular y Open Source.

Este shield puede ser usado con los drivers Pololu A4988 (Allegro) o los DRV8825 (Texas Inst.), el A4988 puede manejar motores Paso a paso de hasta 2A por bobina y microstepping de 1/16, el driver DRV8825 es más versátil pues ofrece hasta 2.5A por bobina y microstepping de hasta 1/32.



2.4) Placa programable

Arduino UNO es la versión mejorada de su predecesor Duemilanove. Incluye función de autoreset, protección de sobrecargas, conector USB para programarlo, totalmente montado con componentes miniatura SMD (salvo el micro-controlador, para poder cambiarlo fácilmente) y nuevo bootloader OptiBoot a 155kbps.

Se entrega con el nuevo chip Atmega328 de AVR con 32 KB de memoria de programa en lugar de 16 KB de la anterior versión, RAM de 2KB (antes 1KB) y EEPROM de 1 KB (antes 512 bytes).



Figura 13: Placa programable Arduino UNO Rev.3

2.5) Sensor Final de Carrera

También llamado sensor de contacto, es un dispositivo electrónico que tiene como objetivo enviar una señal para modificar el estado de un circuito. Un elemento móvil es detectado tras accionar mecánicamente el sensor que se encuentra en una posición determinada. Estos dispositivos son muy usuales en la industria.



Figura 14: Sensor fin de carrera

3) Software y Programación.

3.1) Programación de Control Numérico

El código de programación que se utiliza en CNC es también conocido como código "G" ya que dentro de dicha programación la mayoría de parámetros importantes como el sistema de medidas o los procesos de mecanizado a realizar se designan con dicha letra.

Números de secuencia:

El número de secuencia, también llamado código N, es el número de identificación del bloque (línea) en un programa CNC, la palabra de código común utilizada comienza con N y normalmente tiene un rango N1 hasta N9999, por ejemplo N5, N10, N15, etc. Su principal beneficio es permitir la búsqueda fácil en programas largos y la capacidad de volver a hacer partir un programa en casi cualquier número de línea.

3.2) LinuxCNC

Software libre de alta capacidad en control numérico para máquinas CNC como fresas, tornos, routers, cortadores de láser y plasma, inclusive para robots de hasta 9 ejes o grado de libertad. Presenta varios entornos gráficos que pueden ser personalizados para determinada aplicación. Lectura de códigos G sin la opción de poder generarla.

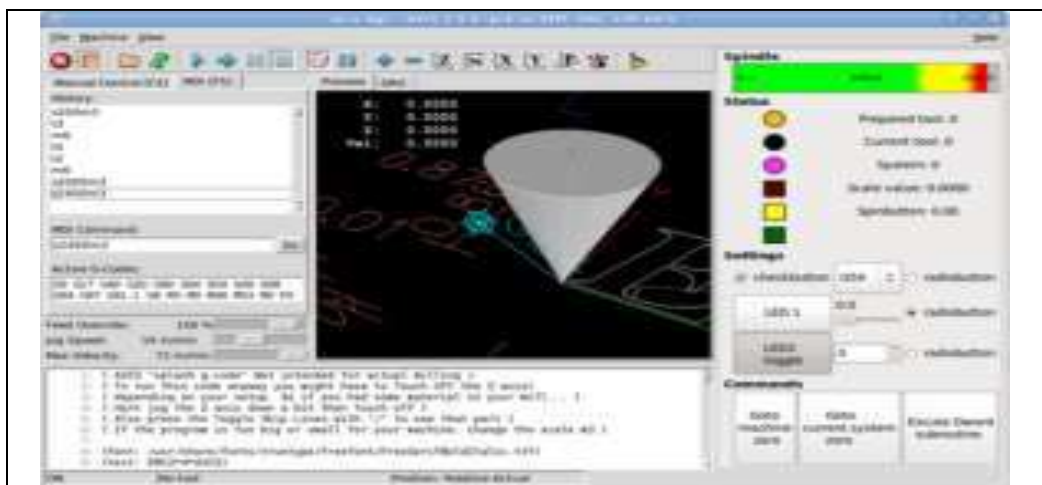


Figura 15: software linux CNC

Fuente: <http://linuxcnc.org>

3.3) Mach3

Convierte un ordenador típico en un controlador de la máquina CNC. Presenta características que son de gran valor para aquellos que necesitan un paquete de control de CNC. Mach3 está disponible para el sistema operativo Windows en sus versiones XP, Vista y 7. Controla el movimiento de los motores (paso a paso y servo) mediante el procesamiento de Código G.

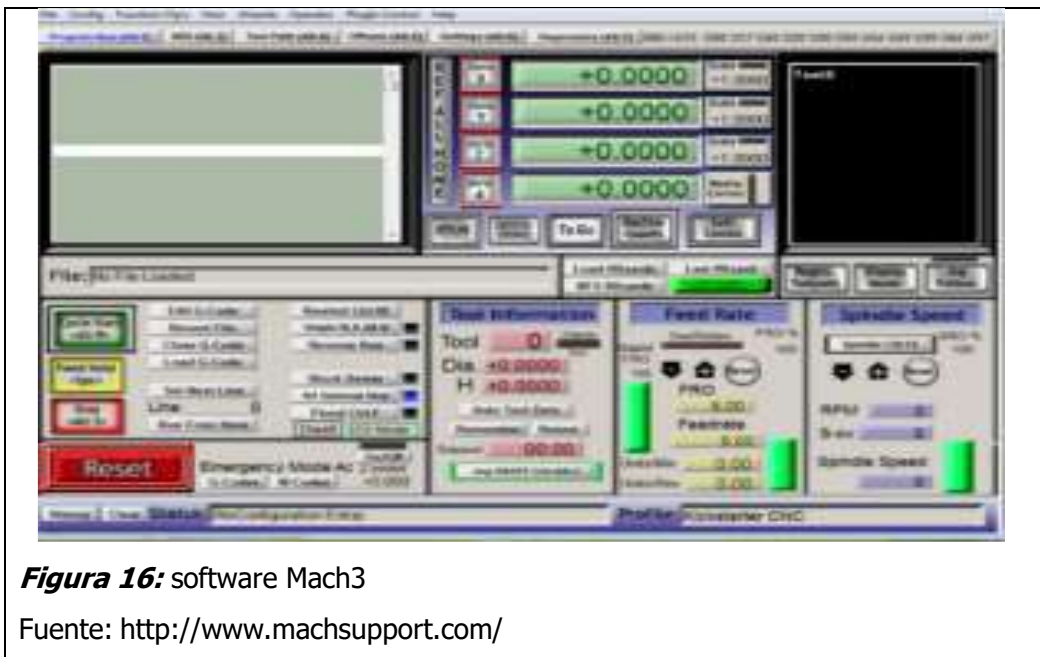


Figura 16: software Mach3

Fuente: <http://www.machsupport.com/>

2.3.1.3. Características y Funcionamiento.

1) Características:

- Alto grado de calidad gracias a la precisión, repetitividad (producción en serie) y ausencia de variaciones debido a operaciones de tipo manual.
- Desperdicios reducidos y son menos probables los errores por interrupciones u otros factores que suelen ocurrir en máquinas de tipo convencional.
- Inspección simplificada, una vez que la inspección a la primera pieza, se requiere una inspección mínima en las piezas subsecuentes.
- Menores costos de producción y gasto de herramientas gracias a la menor necesidad de montajes, reparaciones complejas y al reducido tiempo de servicio.

2) **Funcionamiento:**

Para maquinar una pieza se utiliza un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte, el sistema se basa en el control de los movimientos de dicha herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un código de programación ejecutado desde una computadora.

En la fresadora se controlan tres ejes de desplazamientos un vertical, que corresponden al eje Z y dos ejes horizontales que corresponden a los ejes X e Y respectivamente.

2.3.1.4. **Clasificación**

Una de las maneras más habituales de clasificación para las máquinas herramientas CNC es por su número de ejes o también conocidos como Grados de libertad.

1) **Por el Número de Ejes:**

De tres ejes.

Se trata de fresadoras con posibilidad de movimiento horizontal, vertical y oblicuo, este último, como resultado de la combinación de movimientos entre mesa, ménsula y husillo. Permiten un control sobre el movimiento relativo existente entre la máquina herramienta y la pieza, en cada uno de los tres ejes del sistema cartesiano.

De cuatro ejes.

Las fresadoras tipo cuatro ejes, cumplen todas las funciones descritas en el tipo anterior: movimiento relativo entre pieza y herramienta, en los tres ejes.

Añade la posibilidad de control de giro de la pieza, sobre uno de los ejes, gracias a un plato giratorio o mecanismo divisor. De esta forma, este tipo de fresadoras está especialmente indicado a la hora de generar superficies labrando sobre patrones cilíndricos. Tal es el caso del labrado de ejes estriados o engranajes, por ejemplo.

De cinco ejes.

Además de cumplir con todas las posibilidades de las descritas anteriormente; las fresadoras de cinco ejes cuentan con dos particularidades.

De una parte, permitir el control de giro de la pieza sobre dos de sus ejes. Uno de ellos perpendicular al husillo y el otro, paralelo (como en el caso de las de cuatro ejes, que se consigue por medio de un plato giratorio o mecanismo divisor).

2) Por la configuración de estructura:

Características que influyen en la precisión y área de trabajo como la rigidez de la estructura y la robustez para de diseño de una CNC. Se pueden hallar en las siguientes configuraciones.

- Bancada fija y mesa móvil.
- Bancada fija y mesa rototraslante.
- Cabezal fija y mesa móvil.
- Cabeza móvil y mesa fija.
- Columna móvil.

2.3.2. Parámetros de operación de corte

A. Fresa

Las fresas generalmente se asemejan a las brocas empleadas en los taladros, su forma es alargada y están construidas de acero. Su función principal es arrancar viruta de la pieza en forma giratoria y progresiva.

Diámetro de la fresa (Dc): Es la distancia máxima de corte, es la base para el cálculo de la velocidad de corte.

Número de dientes (zc): Es el número de dientes disponibles en la fresa, varía considerablemente y se utiliza para determinar el avance de mesa mientras que el número efectivo de dientes es el número de dientes que actúan realmente en el corte.

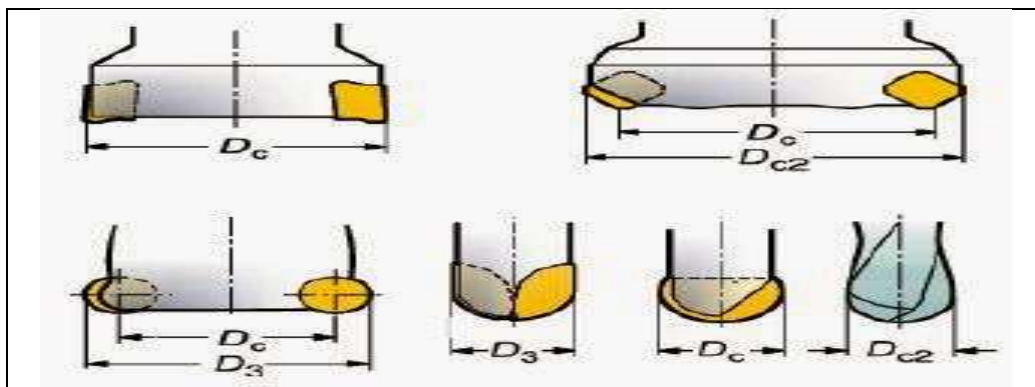


Figura 17: Diámetros de fresa

Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

Profundidad de corte radial (a_e): Espacio transversal en la pieza de trabajo por donde actúa el diámetro de la fresa.

Profundidad de corte axial (a_p): Porción de material que remueve la fresa a su paso, la distancia se toma por debajo de la superficie sin mecanizar.

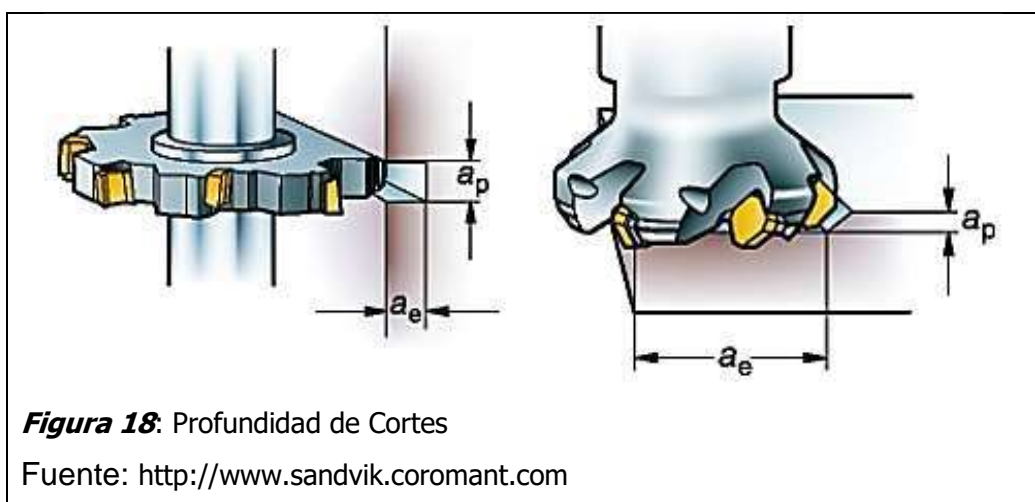


Figura 18: Profundidad de Cortes

Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

B. Proceso de Fresado

Velocidad del husillo (n): Número de giros completos que realiza la herramienta por cada minuto. Valor orientado a la máquina, que se calcula a partir del valor de velocidad de corte sugerido para diferente operación.

Velocidad de corte (V_c): Velocidad a la que el filo de la herramienta realiza el desbaste de la pieza. Es lineal y se expresa en m/min .

Avance por diente (f_z): Distancia lineal que recorre la herramienta mientras se ejecuta el corte con un solo diente.

Avance por minuto (V_f): Conocido también como avance de mesa, avance de máquina o velocidad de avance. Distancia que recorre la herramienta por cada minuto transcurrido.

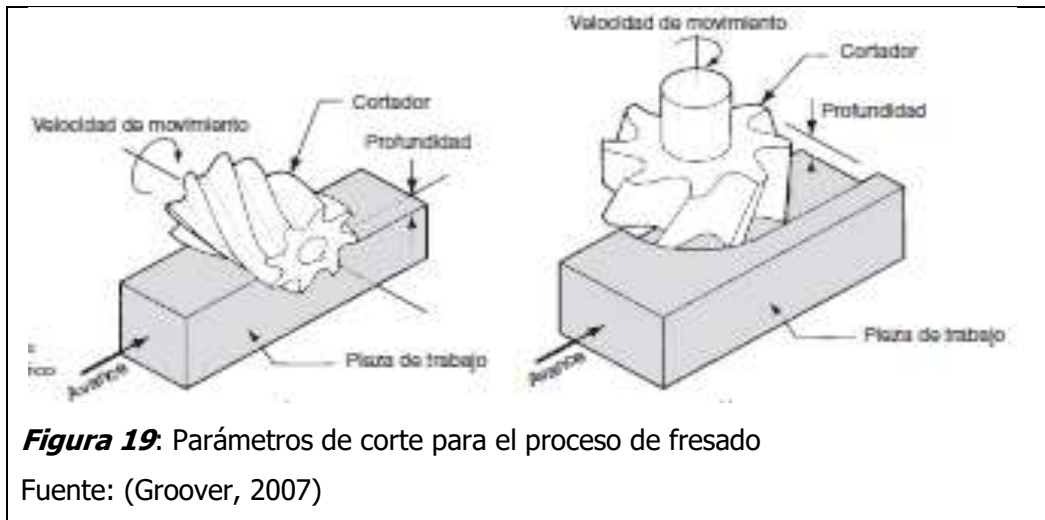


Figura 19. Parámetros de corte para el proceso de fresado

Fuente: (Groover, 2007)

Espesor medio de la viruta (h_m): Valor eficaz para la determinación de la fuerza de corte específica y potencia neta.

Potencia neta (P_c): Es la potencia que debe ser capaz de proporcionar la máquina para impulsar la acción de mecanizado.

Par de apriete (M_c): Es la fuerza que produce la herramienta durante el mecanizado, la máquina debe ser capaz de suministrar esta fuerza.

Fuerza de corte específica (k_c): Este valor se puede encontrar en tablas y es constante para cada material. Se expresa en N/mm^2 .

2.3.3. Propiedades mecánicas de la madera

La orientación de las fibras que componen la madera da lugar a la variedad de su estructura, por lo que a la hora de definir sus propiedades mecánicas hay que distinguir siempre entre la dirección perpendicular y la dirección paralela a la fibra, es en este hecho que radica la principal diferencia de comportamiento frente a otros materiales, las resistencias y módulos de elasticidad en la dirección

paralela a la fibra son mucho más elevados que en la dirección perpendicular.

Los árboles están diseñados por naturaleza para resistir con eficacia los esfuerzos a los que va a estar sometido en su vida, principalmente son esfuerzos de flexión, producidos por la acción del viento u otros factores ambientales y los de compresión, producidos por las acciones gravitatorias de su peso al crecer.

Entre las características más significativas de las propiedades mecánicas de la madera tipo estructural se tiene:

Tracción paralela a la fibra:

La resistencia a la tracción paralela a la fibra es elevada, los valores característicos oscilan entre 8 y 18 N/mm².

Compresión paralela a la fibra:

Su resistencia a compresión paralela a la fibra es elevada, alcanzando valores característicos en la madera de 16 a 23 N/mm². Un valor bajo del módulo de elasticidad reduce en la práctica la resistencia a la compresión en piezas esbeltas.

Flexión:

La resistencia a la flexión es muy elevada comparada con su densidad, sus valores característicos varían entre 14 y 30 N/mm².

Tracción perpendicular a la fibra

La resistencia a la tracción perpendicular a la fibra es muy baja y va de 30 a 70 veces menos que en la dirección paralela, su valor característico es de 0,3 a 0,4 N/mm².

Compresión perpendicular a la fibra:

Su resistencia a compresión perpendicular a la fibra es muy inferior a la de la dirección paralela, los valores característicos varían entre 4,3 y 5,7 N/mm², lo que representa la cuarta parte de la resistencia en dirección paralela a la fibra.

Cortante:

El esfuerzo cortante origina tensiones tangenciales que actúan sobre las fibras de la madera de diversos modos, en las piezas sometidas a flexión y a cortante, las tensiones que intervienen son conjuntamente las de cortadura y deslizamiento y sus valores característicos (por deslizamiento) varían entre 1,7 y 3,0 N/mm² en las especies más utilizadas habitualmente.

El valor de la resistencia por rodadura es del orden del 20 al 30% de la resistencia por deslizamiento.

Módulo de elasticidad:

En la madera, debido a su anisotropía, el módulo de elasticidad en dirección paralela a la fibra adopta valores diferentes según se trate de compresión o de tracción, en la práctica se utiliza un único valor del módulo de elasticidad para la dirección paralela a la fibra, su valor varía entre 7.000 y 12.000 N/mm² dependiendo de la calidad de la madera. En la dirección perpendicular a la fibra se toma, análogamente, un único módulo de elasticidad, cuyo valor es 30 veces inferior al paralelo a la fibra.

Módulo de cortante

En la madera también existe un módulo de cortante ligado a los esfuerzos cortantes, su valor es 16 veces inferior al módulo de elasticidad paralelo a la fibra.

2.3.4. Conductores

Los conductores adecuados para los motores PAP son aquellos cuya caída de tensión sea mínima, es decir menos del 3%.

A partir de la caída de tensión, se puede calcular el valor de la sección, para un conductor de resistencia RL es:

$$\Delta V = R_L \cdot i = \rho \cdot \frac{L}{S_{ec}} \cdot i \quad (1)$$

$$S_{ecc} = \frac{\rho \cdot L \cdot i}{\Delta V} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (2)$$

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

2.4.1. Variables y Dimensiones de Máquinas CNC

Una máquina CNC tiene como función mover una herramienta a través de una superficie, esta superficie en las máquinas CNC caseras es una mesa de trabajo, donde se establecen dos ejes el eje X que corresponde con la parte horizontal de la mesa y el eje Y que corresponde a la parte vertical de la mesa. Hay casos en los que además la herramienta también puede realizar otro movimiento subiendo la herramienta sobre la mesa o bajando la herramienta.

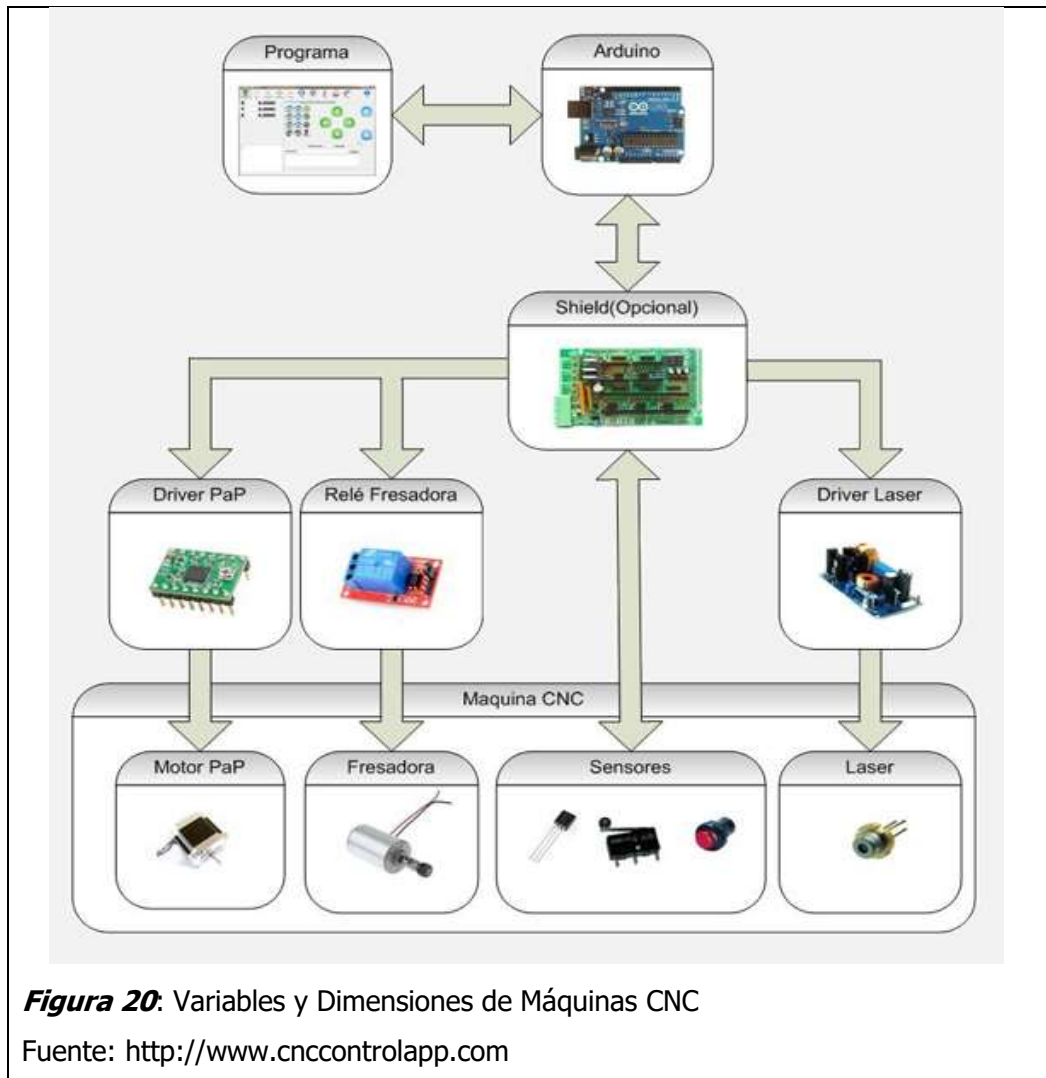


Figura 20: Variables y Dimensiones de Máquinas CNC

Fuente: <http://www.cnccontrolapp.com>

Backlash.- Es un efecto que se produce en las transmisiones que utilizan varilla roscada o husillo, y consiste en un retardo en el movimiento cuando el motor PAP cambia de dirección.

Confiabilidad.- Es la capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado

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.

Disponibilidad.- Es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado (arriba) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

Dremel.- Herramienta rotativa que consta de un motor AC, la cual ahora tiene diferentes versiones, aditamentos y accesorios para trabajos en diferentes materiales.

Eficacia.- Capacidad para lograr los objetivos establecidos sin importar los que medios o métodos se emplearan para lograrlo. Se centra en los resultados.

Eficiencia.- Es la cantidad de trabajo que realmente genera la máquina en relación a la energía con que se alimenta.

Falla.- Se entiende por fallo de una máquina cualquier cambio en la misma que impida que ésta realice la función para la que fue diseñada.

Frecuencia.- Prioridad de ejecución de una actividad medida en una escala de tiempo

Grabado.- Resaltar o tallar un modelo sobre la superficie de un material a menudo mediante cinceles que lleva el modelo incorporado.

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.

Mantenimiento.- Conjunto de actividades que tienen como propósito conservar o reactivar un equipo para que cumpla sus funciones.

Proteus.- Es un software de simulación para circuitos eléctricos tanto análogos como digitales, además de que te permite crear el layout del PCB y visualizarlo en 3D.

Rentabilidad.- Produce un beneficio que compensa la inversión o el esfuerzo que se ha hecho.

Shield.- Es una placa impresa que se puede conectar en la parte superior de la placa Arduino permitiendo cambiar la disposición de los pines o ampliar las capacidades del mismo asignarlos a componentes que se encuentran en dicha placa.

Software.- Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.

SolidWorks.- Es un programa de diseño mecánico en 3D con el que puedes crear geometría 3D usando sólidos paramétricos, la aplicación está enfocada a diseño de producto, diseño mecánico, ensambles, y dibujos para taller.

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

Viruta.- Tira fina y enrollada en espiral que sale de la madera o de un metal al pulirlo o rebajarlo con algún instrumento cortante.

CAPÍTULO III
MARCO
METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para este proyecto de diseño de una fresadora CNC se empleó el método cuantitativo ya que se utilizó datos numéricos para realizar de forma sistemática, organizada y estructurada el trabajo de investigación.

3.2. VARIABLES:

Considerando que esta tesis trata de un proyecto con metodología formal de diseño se llevara a cabo una adaptación de esquema de variables basándonos en la propuesta de Eggert, R. J. (Eggert, 2010); Dieter, G. E., Schmidt, L. C., & AZARM, S. (Dieter, 2012); Que proponen: Variables de solución, parámetros de definición de problema y variables intervinientes

Como se menciona en la sección “2.2.3.1. Máquina de control numérico computarizado (CNC)” los principales sistemas son: Sistema mecánico, Sistema de control.

3.2.1. Variable Independiente.

- Velocidad de corte (m/min).
- Diámetro de la fresa (mm).
- Fuerza de corte (Fc).

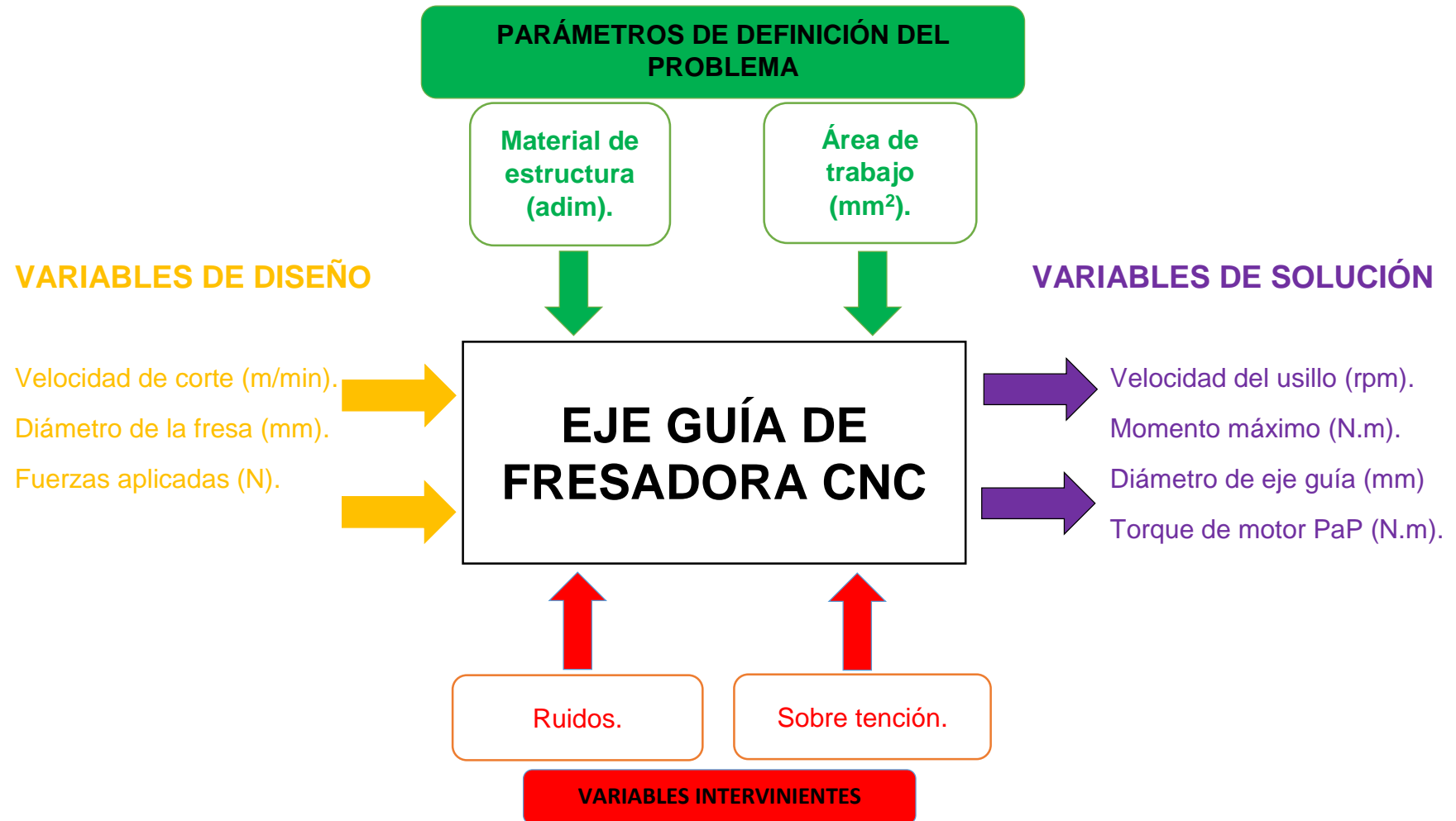
3.2.2. Variable Dependiente.

- Velocidad del usillo (rpm).
- Momento máximo (N.m).
- Diámetro de eje guía (mm)
- Factor de seguridad (n)

3.2.3. Variable Interviniente.

- Ruidos.
- Sobre tensiones.

3.2.4. Diagrama de caja negra.



3.2.5. Operacionalización de variables:

3.2.5.1. Variables Independientes:

Tabla 1

Cuadro de variables independientes de fresadora CNC

| Variables Independientes | Definición conceptual | Dimensión | Indicadores | Escala | Índice |
|--------------------------|--|---------------------------|---|--------------------|--------|
| Velocidad de corte. | Velocidad que necesita la fresa para hacer el corte | $\omega = \text{rev/min}$ | Vueltas por tiempo | rev/min | rpm |
| Diámetro de la fresa. | Medida circular de la fresa para realizar cortes | $D_F = L$ | Longitud (L) | mm | L |
| Fuerza de corte. | Fuerzas que actúan sobre la fresa para realizar los cortes | $F_c = k_c \cdot A_c$ | Fuerza de corte específica (N/mm^2) por Área de corte (mm^2). | $(N/mm^2)/ (mm^2)$ | N |

3.2.5.2. Variables Dependientes:

Tabla 2

Cuadro de variables dependientes de fresadora CNC

| Variables Dependientes | Definición conceptual | Dimensión | Indicadores | Escala | Índice |
|------------------------|--|--|---------------------------------------|-------------------|----------------|
| Velocidad del usillo. | Velocidad en el tiempo en que gira la fresa | $\omega = \text{rev/min}$ | Vueltas por tiempo | rev/min | rpm |
| Momento máximo | Medida de la fuerza con relación a la distancia para obtención de la máxima flexión en un punto | $M = \text{N.mm}$ | Fuerza (N) por longitud (mm) | N.mm | M |
| Diámetro de eje guía | Línea recta que pasa por el centro y une dos puntos opuestos de los ejes guías | $D_E = L$ | Longitud (L) | mm | L |
| Factor de seguridad | Coeficiente de seguridad que indica la capacidad en exceso para poder dar selección de los ejes guías. | $\eta = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}}$ | Esfuerzo a la fluencia (σ_y) | N/mm ² | σ_y |
| | | | Esfuerzo máximo (σ_{max}) | N/mm ² | σ_{max} |

3.3. METODOLOGÍA DE DISEÑO

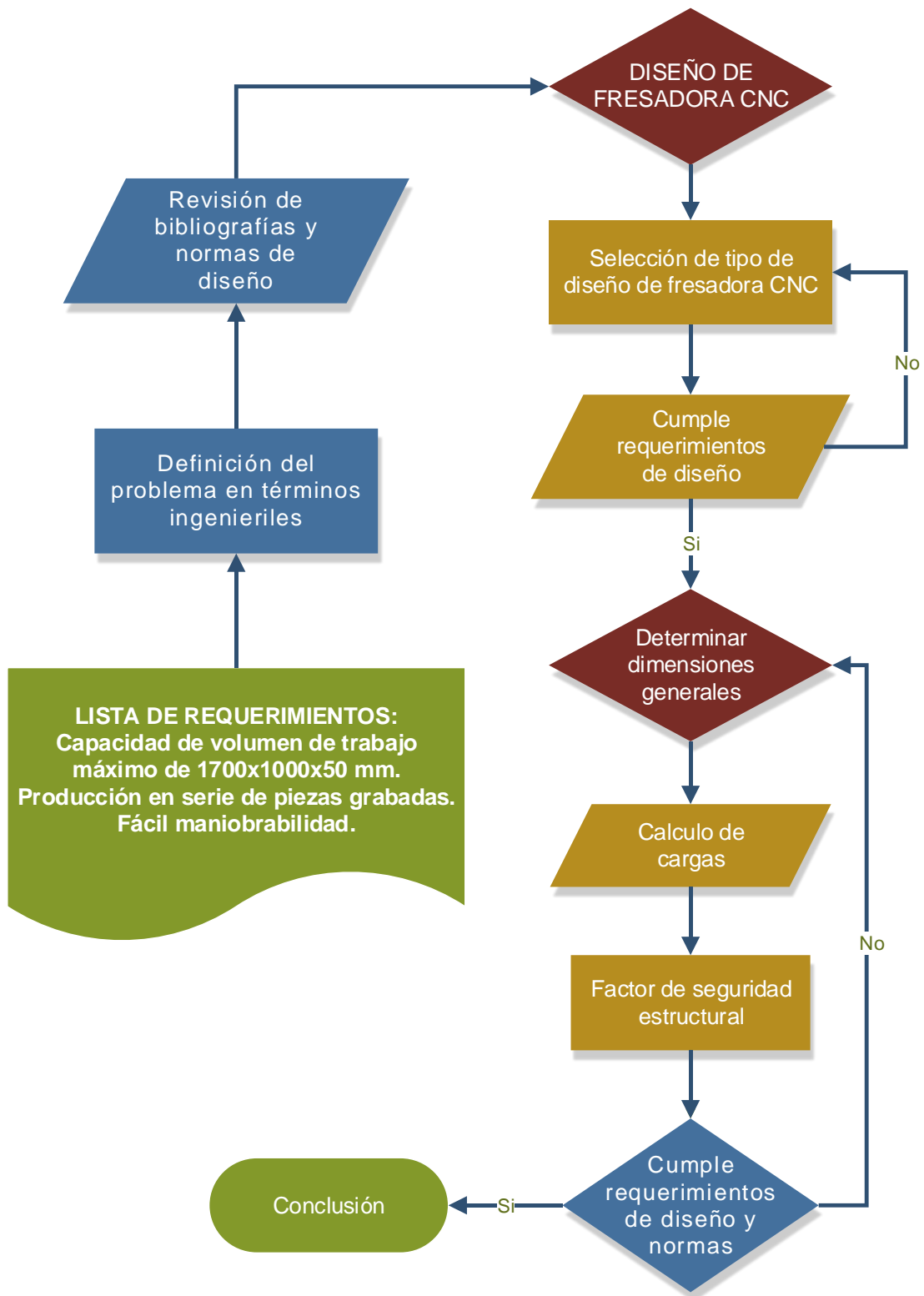


Figura 21: Diagrama de flujo - Metodología de diseño

3.4. ABORDAJE METODOLÓGICO, TÉCNICAS E

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

3.4.1. Abordaje metodológico:

Análisis: Porque se descompone el objeto de estudio en sus partes para conocer sus riesgos y propiedades. En nuestro caso tenemos que conocer el proceso que se realiza para el grabado en madera para poder determinar los parámetros de diseño.

Síntesis: Porque una vez analizada la situación actual en los talleres de carpintería, acerca de los procesos de grabado artesanal, plantearemos una solución: diseño de la Máquina CNC.

Deductivo: Porque después de haber definido las variables independientes y sus parámetros se debe inferir hipótesis para el diseño de la máquina CNC.

Inductivo: Porque después de haber logrado con éxito el dimensionamiento de la máquina CNC y haber realizado los estudios pertinentes al equipo mediante el software de diseño, determinaremos la factibilidad y el correcto diseño para la máquina CNC.

3.4.2. Técnicas de recolección de información.

En este proyecto se ha utilizado las siguientes técnicas de investigación:

- **Entrevistas:**

Se formara una agenda para visitar la carpintería a fin de entrevistar al gerente del taller para obtener la información necesaria. También se dialogará con los ingenieros expertos en máquinas CNC con el fin de conocer a detalle el funcionamiento de las mismas.

- **Encuestas:**

Se buscó recaudar datos por medio de un cuestionario prediseñado, los cuales nos brindaran información clave para el desarrollo de este proyecto.

3.4.3. Instrumentos de recolección de datos

- **Cuestionario:**

Se realizó una entrevista al señor Segundo Quispe Manay, como representante legal de la empresa EL NAZARENO S.R.L. quien fue el que hizo el requerimiento de un equipo automatizado para el grabado en madera.

El cuestionario cuenta con los datos puntuales que nos ayudaran a identificar las necesidades de la empresa, los tiempos empleados para sus trabajos, la producción y el deseo de innovar tecnológicamente los procesos de producción. ANEXO 01

- **Hoja de encuesta:**

Se encuestó a los trabajadores de la empresa EL NAZARENO para determinar la los procesos de trabajo en la producción de grabados en madera; para ello se tomaron datos de materiales con los que han trabajado, tiempos empleados en el término del proceso de grabado y herramientas usadas a la hora de realizar un grabado. ANEXO 02

- **Guías de análisis de documentos:**

Se revisó normas técnicas y ambientales para el diseño de la máquina, dadas por ISO.

Además se tomará en cuenta manuales, para la elección de los dispositivos de control y para el diseño del sistema tanto mecánico, también libros y revistas.

3.5. PRINCIPIOS ÉTICOS:

Tabla 3

Principios Éticos

| Criterios | Características éticas del criterio |
|---------------------------------|---|
| Consentimiento Informado | Los Participantes deben estar de acuerdo con ser informantes y conocer sus derechos y responsabilidades |
| Confidencialidad | Asegurar la protección de la identidad de las personas que participan como informantes de la investigación. |

| | |
|---------------------------------|---|
| Manejo de Riesgos | Este requisito tiene relación con los principios de no maleficencia y beneficencia establecidos para hacer investigación con seres humanos. |
| Observación Participante | La incursión del investigador en el campo exige una responsabilidad ética por los efectos y las consecuencias que pueden derivarse de la interacción establecida con los sujetos participantes del estudio. |
| Entrevistas | Se trata de una interacción social donde no se deben provocar actitudes que condicionen las respuestas de los participantes. |

Fuente: Sistemas de Información Científica

3.6. PRINCIPIOS DE RIGOR CIENTÍFICO:

Tabla 4

Principios de Rigor Científico

| Criterios | Característica del criterio | Procedimiento |
|--|---|--|
| Credibilidad Valor de la verdad/ autenticidad | Aproximación de los resultados de una investigación frente al fenómeno observado. | <ul style="list-style-type: none"> - Los resultados son reconocidos por los participantes. - Observación continua y prolongada del fenómeno. - Triangulación. |
| Transferibilidad Aplicabilidad | Los resultados derivados de la investigación cuantitativa no son generalizables sino transferibles. | <ul style="list-style-type: none"> - Descripción detallada del contexto y de los participantes. - Muestreo teórico. - Recogida exhaustiva de datos. |

| | | |
|--|---|--|
| Consistencia Dependencia/ replicabilidad | La complejidad de la investigación cuantitativa dificulta la estabilidad de los datos. Tampoco es posible la replicabilidad exacta del estudio. | <ul style="list-style-type: none"> - Triangulación. - Empleo de evaluador externo. - Descripción detallada del proceso de recogida, análisis e interpretación de los datos. - Reflexividad del investigador. |
| Confirmabilidad o reflexividad Neutralidad/ objetividad | Los resultados de la investigación deben garantizar la veracidad de las descripciones realizadas por los participantes. | <ul style="list-style-type: none"> - Contrastación de los resultados con la literatura existente. - Revisión de hallazgos por otros investigadores. - Identificación y descripción de limitaciones y alcances del investigador. |
| Relevancia | Permite evaluar el logro de los objetivos planteados y saber si se obtuvo un mejor conocimiento del fenómeno de estudio. | <ul style="list-style-type: none"> - Configuración de nuevos planteamientos teóricos o conceptuales. - Comprensión amplia del fenómeno - Correspondencia entre la justificación y los resultados obtenidos. |
| Adecuación teórico- epistemológica | Correspondencia adecuada del problema por investigar y la teoría existente. | <ul style="list-style-type: none"> - Contrastación de la pregunta con los métodos. - Ajustes de diseño. |

Fuente: Sistemas de Información Científica

CAPÍTULO IV

PROPUESTA DE

INVESTIGACIÓN

4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE LA EMPRESA

La empresa EL NAZARENO E.I.R.L. Chiclayo, requiere implementar una máquina que realice trabajos de grabado en madera para ampliar su mercado de producción pidiendo que dicha máquina cuente con piezas de calidad que garanticen un trabajo de calidad pero con un bajo costo. Las características requeridas se describen a continuación:

- Capacidad de volumen de trabajo de 1000mm por 1700mm por 50mm.
- Uso de madera como material a grabar.
- Trabajo continuo.
- Estructura echa de acero y/o aluminio.
- Producción en serie de piezas grabadas.
- Fácil de maniobrar.
- Que no supere los \$1500.00 ó S/4500.00
- Que tenga un botón de apagado de emergencia.
- Fácil intercambio de cabezal.
- De fácil transporte.
- Operacionalización de la máquina con software libre.
- Que la máquina sea estética y segura.

4.2. NORMAS Y CÓDIGOS PERTINENTES PARA EL DISEÑO DE UNA FRESADORA CNC

Para el diseño de la máquina fresadora CNC se tomó en cuenta normas q fueron de ayuda para la conclusión de este proyecto:

- Norma DIN 8615-4: Para calidad estructural del diseño del equipo que cuantifica la deformación angular del husillo de la fresadora con respecto a una superficie perpendicular al apoyo de la base de la misma
- Norma ISO 286-2: El tornillo de potencia que se va a utilizar, es el husillo de bolas laminado SKF, que brinda una precisión de paso estándar

- Norma nema MG-1: El motor q se va a utilizar es un PaP, que brinda una precisión pasos
- Norma ISO 12100: Para seguridad de la maquinaria evaluación y reducción de riesgos

4.3. EXPRESIÓN EN TÉRMINOS INGENIERILES LAS NECESIDADES DE LA EMPRESA.

Los requerimientos de la empresa EL NAZARENO E.I.R.L. para la implementación de la máquina fueron evaluados y finalmente estos se plasmaron en especificaciones técnicas de la misma en la siguiente tabla cubriendo así las necesidades de dicha empresa.

Tabla 5

Parámetros Técnicos

| N° | PARÁMETROS TÉCNICOS DE FRESADORA CNC | |
|----|--------------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Para Materiales | AISI 4340 |
| 2 | Para ejes guías | AISI 1018 |
| 3 | Para usillo de bolas | AISI 1020 |
| 4 | Área de trabajo | 1700 x 1000 mm |
| 5 | Profundidad de trabajo | 150mm |
| 6 | Max. consumo De Energía | 480w |
| 7 | sistema de Control | UGS |
| 8 | Sistema de accionamiento | Motor paso a paso |
| 9 | Voltaje de funcionamiento | AC220V/60Hz |
| 10 | Lenguaje de comandos | G código |
| 11 | peso bruto | 30 kg |
| 12 | Interfaz de la computadora | USB |
| 13 | sistema de lubricación | Manual |
| 14 | Superficie de La mesa | t-ranura de la Mesa de trabajo |
| 15 | ordenador compatible | Windows |

4.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS TIPOS DE MADERA Y SELECCIÓN DEL DE MAYOR RESISTENCIA.

Para este proyecto, se consideró el material más duro con el que ha trabajado la empresa “EL NAZARENO”; según la información brindada fue el guayacán que presenta las características mostradas en la figura (22), pero para este diseño de la máquina se requirió de más información; información que no se pudo obtener, por falta de instrumentos de medición en el laboratorio de la universidad y por falta de estudios previos de este material, por consiguiente se previó la solución de trabajar con materiales que cuenten con la información necesaria (fuerza de corte específica), para lo cual se optó por tomar el material más próximo, el cual fue el aluminio.

| Propiedades mecánicas | |
|---|--------------|
| Resistencia a compresión paralela CH_{12-15} [N/mm ²] | 80—126 |
| Resistencia a flexión CH_{12-15} [N/mm ²] | 117—144 |
| Módulo de elasticidad (flexión) CH_{12-15} [N/mm ²] | 10800—13500 |
| Resistencia al impacto CH_{12-15} [kJ/m ²] | 30—45 |
| Cizallamiento CH_{12-15} [N/mm ²] | no hay datos |
| Dureza JANKA (lateral) CH_{12-15} [kN] | 20—27 |
| Dureza BRINELL (lateral) CH_{12-15} [N/mm ²] | 70—90 |

*verde a seco (0% de humedad); **verde a 12% de humedad

Figura 22: características de madera – Guayacán

Fuente: <http://www.conafor.gob.mx>

| | | Taladrado | Fresado | | Roscado | |
|----------------------------------|-----|---|-------------------|----------------------|-------------------|------|
| | | k | k_{C1} | z | k_C | |
| Aplicación por grupo de material | | Factor de material | N/mm ² | Factor de corrección | N/mm ² | |
| 7. Aluminio Magnesio | 7.1 | Al, Mg, no aleado | 0,6 | 250 | 0,22 | 700 |
| | 7.2 | Al aleado con Si < 0.5% | 0,6 | 450 | 0,18 | 700 |
| | 7.3 | Al aleado con Si > 0.5% < 10% | 0,7 | 450 | 0,18 | 800 |
| | 7.4 | Al aleado, Si > 10% Reforzado por filamentos Al-aleados, Mg-aleados | 0,7 | 500 | 0,15 | 1000 |

Figura 23: Fuerza Especifica de Corte

Fuente: <http://www.dormertools.com>

Tabla 6*Tabla comparativa de materiales*

| MATERIAL | Densidad g/cm³ | Resistencia a la flexión N/mm² | Módulo de elasticidad N/mm² | Dureza brinell N/mm² |
|-----------------|--------------------------------------|--|---|--|
| Madera | (1.10 – 1.33) | (117 – 144) | (10800 – 13500) | (70 – 90) |
| Aluminio | 2.7 | (120 – 190) | 69000 | (50 – 85) |

Para la selección del material, se optó por seleccionar el aluminio magnesio aleado con Si <0.5% por ser un material que más se asemejaba a la madera así como se muestra en la tabla (6)

4.5. GENERACION DE CONCEPTOS ALTERNATIVOS.

El estudio de los conceptos alternativos se realizó en base a un estudio previo de estas máquinas CNC (Santos, 2016) teniendo en cuenta los parámetros de diseño de la máquina los impone la empresa EL NAZARENO, con los cuales se formará una idea base para la generación de conceptos. Con esto se logra una descripción aproximada de la tecnología, principios de trabajo y forma general de la máquina.

El proceso de generación de conceptos empieza con un conjunto de necesidades del cliente y especificaciones objetivo, lo cual da como resultado un conjunto de conceptos del producto de los que el equipo hará una selección final. (Ulrich, 2013)

Una vez conocidas las necesidades, en la Tabla 1 se presentan las características principales que serán de fundamento para el desarrollo del proyecto, luego se mostrarán tablas que muestran alternativas para el diseño, facilitando así la selección de componentes y forma final; a esto se le conoce como matriz de selección.

Tabla 7*Características para el diseño*

| n° | CARACTERÍSTICA | DESCRIPCIÓN |
|----|---------------------|--|
| 1 | Dimensiones | Volumen de trabajo de 1700 x 1000 x 150 [mm] en XYZ, |
| 2 | Número de ejes | La máquina debe funcionar a manera de fresa de modo que se puedan maquinar figuras precisas, en 3 ejes |
| 3 | Precisión | Preferentemente que sea superior a 0.05m |
| 4 | Herramienta | La herramienta debe ser desmontable de manera que se pueda usar manualmente para otros trabajos. |
| 5 | Material a trabajar | El principal material a trabajar es la madera, opcional mente debe maquinar algunos materiales blandos |
| 6 | Estructura | Máquina fácil de desmontar para su fácil transporte |
| 7 | Presupuesto | No debe superar los \$1500.00 ó S/4500.00 |

Cada parte será resuelta realizando una selección de entre varias alternativas, tomando en cuenta las especificaciones y características más relevantes de cada componente y para establecer el valor de importancia para cada criterio de selección, se les será asignado un valor porcentual que ira en escala de 1 al 5 en donde 1 es menos significativo y por consiguiente 5 muy significativo.

Matriz morfológica:






















| FUNCIONES PARCIALES | PORTADORES DE FUNCIONES | | | |
|----------------------------------|---|---|--|--|
| 1. Material de estructura |  Estructura de acero |  Estructura de madera | | |
| 2. Tipo de desplazamiento |  Mesa móvil y puente fijo |  Mesa fija y puente móvil |  Mesa fija y brazo en voladizo |  Mesa fija, puente móvil y torno |
| 3. Transmisión de potencia |  Husillo de bolas |  Tornillo de potencia | | |
| 4. Ejes guía |  Eje guía |  Eje guía |  Eje guía |  Eje guía |
| 5. Rodamientos lineales para eje |  Rodamiento lineal |  Rodamiento lineal |  Rodamiento lineal | |
| 6. Tipos de motores |  Motor PaP |  Motor DC |  Servo motor | |
| 7. Tipos de acoples |  Acople |  Acople |  Acople | |
| | S1 | S3 | S4 | S2 |

Figura 24: Desarrollo de la matriz morfológica

Alternativa solución uno: Mesa Fija y Puente Móvil

Características:

- Fácil de manejar.
- Mesa de trabajo fija, requiere un actuador para el movimiento del puente móvil en el eje Y, y dos actuadores para el movimiento de la herramienta de corte en el eje X, Z.
- Diseño con alto volumen de trabajo y precisión.

- La altura del puente limita el tamaño al momento de manufacturar piezas.

En la figura se muestra el modelo en 3D, de una máquina fresadora CNC Router, que comúnmente es usada micro y pequeñas empresas.



Figura 25: Máquina fresadora CNC- Router

Fuente: (Máquina fresadora Instructables ,2015)

Alternativa solución dos: Mesa Móvil y Puente Fijo

Características:

- Para este tipo de máquina herramienta se requiere tener soportes en dos puntos para el desplazamiento de la mesa en eje Y.
- Requiere de tres actuadores, uno para cada eje (X, Y, Z), adicionalmente se necesita un actuador para accionamiento de la herramienta.
- Mecaniza plásticos, madera, ceras, MDF.
- Diseño con excelente rigidez para trabajos leves.
- Buena visibilidad al momento de mecanizar.

- Máquina Herramienta óptima para microempresas.

La alternativa tres, muestra un diseño de fresadora router CNC casera, usada para trabajos livianos, por su bajo costo.

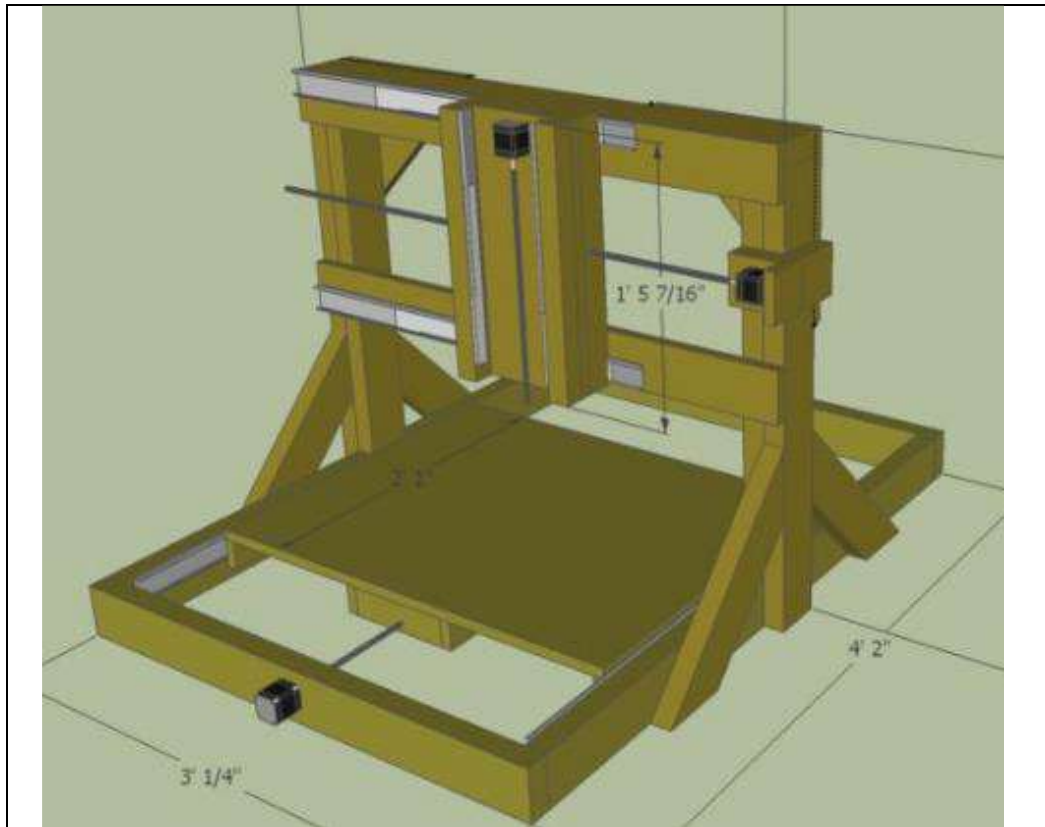


Figura 26: Mini CNC Router

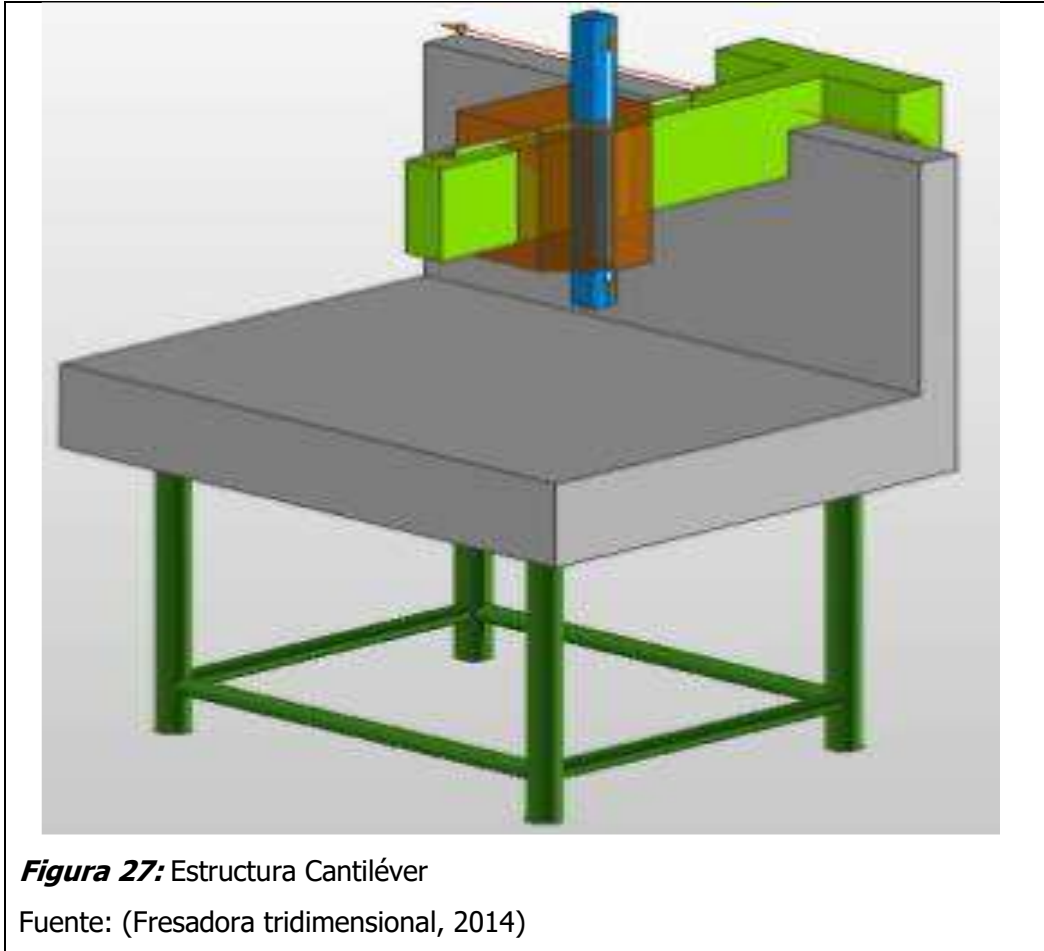
Fuente: (Fresadora Router CNC Instructables, 2011)

Alternativa solución tres: Mesa Fija y Brazo en Voladizo

Características:

- Mesa de trabajo fija, el movimiento de los tres ejes cartesianos se da en la herramienta de corte con la ayuda del brazo cantiléver.
- Buena accesibilidad para carga y descarga de las piezas.
- Excelente inspección en piezas medianas y pequeñas.
- Pérdida de precisión por caída de brazo.
- Estructura abierta y ligera.

Con las características propuestas de la alternativa uno, se procede a realizar el diseño de forma de la estructura en cantiléver, para evaluar su viabilidad.



Alternativa solución cuatro: Mesa Fija, Puente Móvil y Torno

Características:

- Fácil de manejar y buena visibilidad.
- Mesa de trabajo fija, requiere un actuador para el movimiento del puente móvil en el eje Y, dos actuadores para el movimiento de la herramienta de corte en el eje X, Z y un actuador adicional para el torno el cual será eje A.
- Diseño con alto volumen de trabajo y precisión.
- La altura del puente limita el tamaño al momento de manufacturar piezas.
- Fabricación con acero A36 para la estructura de la máquina.
- Constante flujo de trabajo para maquinar piezas en 3D

En la figura se muestra el modelo en 3D, de una máquina fresadora CNC Router de 3 ejes más 1 eje de torno, esta máquina suele usarse

para trabajos más especializados que requieran de un torneado dando un acabado en 3D del material trabajado.

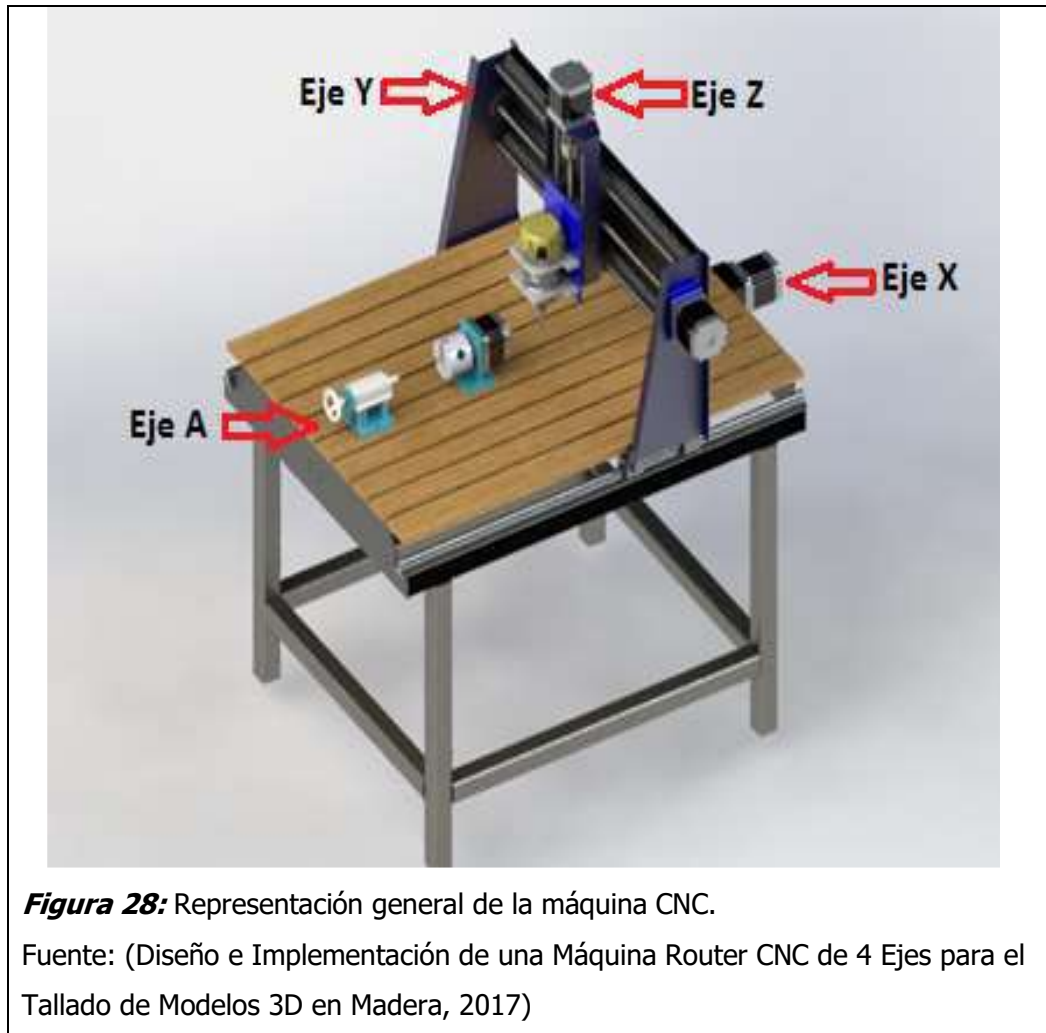


Figura 28: Representación general de la máquina CNC.

Fuente: (Diseño e Implementación de una Máquina Router CNC de 4 Ejes para el Tallado de Modelos 3D en Madera, 2017)

Tabla 8

Matriz de Selección

| CRITERIO DE SELECCIÓN | %/1 | Mesa Fija y Puente Móvil | | Mesa Móvil y Puente Fijo | | Mesa Fija y Brazo en Voladizo | | Mesa Fija, Puente Móvil y Torno | |
|-----------------------|-----|--------------------------|-------|--------------------------|-------|-------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| | | Valor | Total | Valor | Total | Valor | Total | Valor | Total |
| Montaje | 0.1 | 4 | 0.4 | 4 | 0.4 | 3 | 0.3 | 2 | 0.2 |
| Funcionamiento | 0.2 | 4 | 0.8 | 3 | 0.6 | 3 | 0.6 | 4 | 0.8 |
| Precisión | 0.3 | 5 | 1.5 | 3 | 0.9 | 3 | 0.9 | 4 | 1.2 |
| diseño | 0.3 | 5 | 1.5 | 3 | 0.9 | 2 | 0.6 | 4 | 1.2 |
| Costo | 0.1 | 3 | 0.3 | 4 | 0.4 | 3 | 0.3 | 1 | 0.1 |
| | 1 | 4.5 | | 3.2 | | 2.7 | | 3.5 | |

Se observa en la tabla 2, que la alternativa uno consiguió la más alta calificación, cumpliendo con la mayoría de criterios considerados en la matriz de decisión ya que posee más características favorables en comparación con los otras máquinas CNC.

4.6. CÁLCULO DE CARGAS Y ESFUERZO PARA EL DISEÑO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

Para hallar los componentes que conforman la máquina, lo más importante que hay que calcular es la Fuerza de Corte (F_c) en el fresado y la Fuerza de Avance (F_f) en el taladrado. Con estos dos parámetros se hallan las cargas aplicadas en los ejes, facilitando la determinación de los diámetros de las guías lineales y husillos de bolas, como también los torques de los motores paso a paso a emplear.

El proceso que se seguirá para encontrar los parámetros antes mencionados, será ir analizando el comportamiento de cada eje empezando por el Z, donde se encuentra la herramienta rebajadora (tupi).

4.6.1. Dimensionamiento Estructural

La máquina está enfocada en el maquinado de madera, sin embargo, se pretende implementar el sistema de manera que sea capaz de realizar el desbaste en materiales metálicos suaves. Se toma como referencia los parámetros más exigentes posibles en el maquinado de aluminio con lo que se logra dar mayor robustez y estabilidad a la estructura de la máquina.

4.6.2. Fórmulas y Cálculos para Fresado

Las fórmulas que se detallan, fueron tomadas del Libro de Formación de (SANDVIK, Tecnología del Corte del Metal, 2016) y del Catálogo de Información General de (Dormer, 2012).

Tabla 9

Parámetros de Corte del Fresado

| Parámetros | Datos | Unidades |
|---|--------------|-------------------|
| Velocidad de corte (V_c) | 300 | m/min |
| Diámetro de la fresa (D_c) | 12.7 | mm |
| Avance por diente (f_z) | 0.28 | mm |
| Número de dientes de la fresa (z_c) | 3 | - |
| Ángulo de posición (K_r) | 90 | ° |
| Fuerza de corte específica para un espesor medio de la viruta de 1mm (k_{c1}) | 450 | N/mm ² |
| Factor de compensación del grosor de la viruta (mc) | 0.18 | - |
| Ángulo de desprendimiento de la plaquita (γ_0) | 0 | ° |
| Profundidad de corte axial (a_p) | 2 | mm |

Fuente: (CAICEDO GUERRA, Diseño e implementación de una máquina router cnc de 4 ejes para el tallado de modelos 3D en madera, 2017)

A. Velocidad del husillo

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} \quad (3)$$

En donde:

n [rpm]: Velocidad del husillo.

V_c [m/min]: Velocidad de corte.

D_c [mm]: Diámetro de la fresa.

$$n = \frac{300 \times 1000}{\pi \times 12.7} = 7519 \text{ rpm}$$

B. Avance de mesa

$$V_f = f_z \times z_c \times n \quad (4)$$

En donde:

V_f [mm/min]: Avance de mesa.

f_z [mm]: Avance por diente.

z_c : Número de dientes de la fresa.

n [rpm]: Velocidad del husillo.

$$V_f = 0.28 \times 3 \times 7519 = 6316 \text{ mm/min}$$

C. Profundidad de corte radial

$$ae = \frac{3}{4} \times Dc \quad (5)$$

En donde:

ae [mm]: Profundidad de corte radial.

Dc [mm]: Diámetro de la fresa.

$$ae = \frac{3}{4} \times 12.7 = 9.3 \text{ mm}$$

D. Espesor medio de la viruta

$$hm = \frac{360 \times \sin(Kr) \times ae \times fz}{\pi \times Dc \times \arccos\left(1 - \frac{2 \times ae}{Dc}\right)} \quad (6)$$

En donde:

hm [mm]: Espesor medio de la viruta.

Kr [°]: Ángulo de posición.

ae [mm]: Profundidad de corte radial.

fz [mm]: Avance por diente.

Dc [mm]: Diámetro de la fresa.

$$hm = \frac{360 \times \sin(90) \times 9.3 \times 0.28}{\pi \times 12.7 \times \arccos\left(1 - \frac{2 \times 9.3}{12.7}\right)} = 0.20 \text{ mm}$$

E. Fuerza de corte específica

$$kc = kc1 \times h_m^{-mc} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) \quad (7)$$

En donde:

kc [N/mm²]: Fuerza de corte específica.

$kc1$ [N/mm²]: Fuerza de corte específica para un espesor medio de la viruta de 1mm.

hm [mm]: Espesor medio de la viruta.

mc : Factor de compensación del grosor de la viruta.

γ_0 [°]: Ángulo de desprendimiento de la plaquita.

$$kc = 450 \times 0.20^{-0.18} \times \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 601.2 \text{ N / mm}^2$$

F. Potencia neta

$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times V_f \times k_c}{60 \times 10^6} \quad (8)$$

En donde:

P_c [kW]: Potencia neta.

a_p [mm]: Profundidad de corte axial.

a_e [mm]: Profundidad de corte radial.

V_f [mm/min]: Avance de mesa.

k_c [N/mm²]: Fuerza de corte específica.

$$P_c = \frac{2 \times 9.53 \times 6316 \times 601.2}{60 \times 10^6} = 1.21 \text{ KW}$$

G. Par de apriete

$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n} \quad (9)$$

En donde:

M_c [Nm]: Par de apriete.

P_c [kW]: Potencia neta.

n [rpm]: Velocidad del husillo.

$$M_c = \frac{1.21 \times 30 \times 10^3}{\pi \times 7519} = 1.53 \text{ Nm}$$

H. Área de corte

$$A_c = a_p \times h_m \quad (10)$$

En donde:

A_c [mm²]: Área de corte.

a_p [mm]: Profundidad de corte axial.

h_m [mm]: Espesor medio de la viruta.

$$A_c = 2 \times 0.2 = 0.4 \text{ mm}^2$$

I. Fuerza de corte

$$F_c = k_c \times A_c \quad (11)$$

En donde:

F_c [N]: Fuerza de corte.

k_c [N/mm²]: Fuerza de corte específica.

A_c [mm²]: Área de corte.

$$F_c = 600.92 \times 0.4 = 240.37 \text{ N}$$

4.6.3. Fórmulas y Cálculos para Taladrado

Tabla 10

Parámetros de Corte del Taladrado

| Parámetros | Datos | Unidades |
|---|-------|-------------------|
| Velocidad de corte (V_c) | 160 | m/min |
| Diámetro de la broca (D_c) | 12.7 | mm |
| Avance por revolución (f_n) | 0.25 | mm/rev |
| Número de dientes (z_c) | 3 | - |
| Fuerza de corte específica para un espesor medio de la viruta de 1mm (k_{c1}) | 450 | N/mm ² |
| Ángulo de posición (K_r) | 90 | ° |
| Factor de compensación del grosor de la viruta (m_c) | 0.18 | - |
| Ángulo de desprendimiento de la plaquita (γ_0) | 0 | ° |

Fuente: (CAICEDO GUERRA, Diseño e implementación de una máquina router cnc de 4 ejes para el tallado de modelos 3D en madera, 2017)

A. Velocidad del husillo

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} \quad (12)$$

En donde:

n [rpm]: Velocidad del husillo.

V_c [m/min]: Velocidad de corte.

D_c [mm]: Diámetro de la broca.

$$n = \frac{160 \times 1000}{\pi \times 12.7} = 4010 \text{ rpm}$$

B. Avance por diente

$$f_z = \frac{f_n}{z_c} \quad (13)$$

En donde:

f_z [mm]: Avance por diente.

f_n [mm/rev]: Avance por revolución.

z_c : Número de dientes.

$$f_z = \frac{0.25}{3} = 0.08 \text{ mm}$$

C. Velocidad de avance

$$V_f = f_n \times n \quad (14)$$

En donde:

V_f [mm/min]: Velocidad de avance.

f_n [mm/rev]: Avance por revolución.

n [rpm]: Velocidad del husillo.

$$V_f = 0.25 \times 4010 = 1002.5 \text{ mm/min}$$

D. Fuerza de corte específica

$$k_c = k_{c1} \times [f_z \times \sin(K_r)]^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) \quad (15)$$

En donde:

k_c [N/mm²]: Fuerza de corte específica.

k_{c1} [N/mm²]: Fuerza de corte específica para un espesor medio de la viruta de 1mm.

f_z [mm]: Avance por diente.

K_r [°]: Ángulo de posición.

m_c : Factor de compensación del grosor de la viruta.

γ_0 [°]: Ángulo de desprendimiento de la plaquita.

$$k_c = 450 \times [0.08 \times \sin(90^\circ)]^{-0.18} \times \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 709 \text{ N/mm}^2$$

E. Consumo de potencia

$$P_c = \frac{f_n \times V_c \times D_c \times k_c}{240 \times 10^3} \quad (16)$$

En donde:

P_c [kW]: Consumo de potencia.

f_n [mm/rev]: Avance por revolución.

V_c [m/min]: Velocidad de corte.

D_c [mm]: Diámetro de la broca.

k_c [N/mm²]: Fuerza de corte específica.

$$P_c = \frac{0.25 \times 160 \times 12.7 \times 709}{240 \times 10^3} = 1.5 \text{ KW}$$

F. Fuerza de avance

$$F_f = 0.5 \times k_c \times \frac{D_c}{2} \times f_n \times \sin(K_r) \quad (17)$$

En donde:

F_f [N]: Fuerza de avance.

k_c [N/mm²]: Fuerza de corte específica.

D_c [mm]: Diámetro de la broca.

f_n [mm/rev]: Avance por revolución.

K_r [°]: Ángulo de posición.

$$F_f = 0.5 \times 709 \times \frac{12.7}{2} \times 0.25 \times \sin(90) = 562.76 \text{ N}$$

G. Par de apriete

$$M_c = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n} \quad (18)$$

En donde:

M_c [Nm]: Par de apriete.

P_c [kW]: Consumo de potencia.

n [rpm]: Velocidad del husillo.

$$M_c = \frac{1.5 \times 30 \times 10^3}{\pi \times 4010} = 3.57 \text{ Nm}$$

De las Tablas anteriores se compara las velocidades del husillo y potencias que se necesita al momento del maquinado, los parámetros de mayor valor son de referencia para elegir una herramienta que cubra con tales exigencias.

En la tabla (11) se presentan las especificaciones de dos rebajadoras BOSCH existentes en el mercado.

Tabla 11

Selección de Herramienta

| CRITERIO DE SELECCIÓN |  |  |
|-----------------------------------|---|---|
| ESPECIFICACIONES | GKF 600 | GMF 1600 CE |
| Potencia absorbida | 600 W | 1600 W |
| Velocidad de giro en vacío | 33.000 r.p.m. | 10000-25000 r.p.m. |
| Portaherramientas | 6mm/8mm | 8-12.7 mm |
| Peso | 1.5 kg | 1.7 kg |
| Costo | Bajo | Medio |

Fuente: (BOSCH, Herramientas eléctricas profesionales, 2016)

Se selecciona la GMF 1600 CE por tener un rango de velocidad de 10000-25000 r.p.m., una potencia de 1.6 KW y por tener un arranque suave al comienzo de los trabajos del maquinado

4.6.4. Análisis de Guías Lineales en Eje Z

A. Diagrama de Cuerpo Libre

La Figura presenta el diagrama de cuerpo libre (DCL) para el eje Z, donde se puede ver las fuerzas que intervienen en el conjunto.

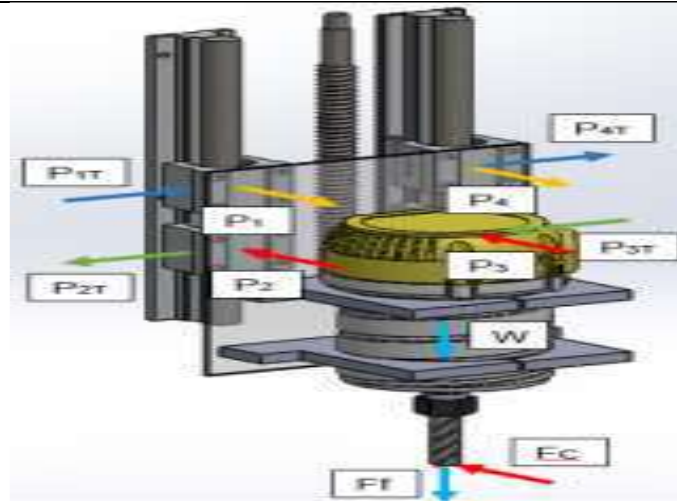


Figura 29: Diagrama de fuerzas en el eje z

Fuente: (CAICEDO GUERRA, Diseño e implementación de una máquina router cnc de 4 ejes para el tallado de modelos 3D en madera, 2017)

B. Cálculo de Fuerzas de Carga para Taladrado

Para establecer las cargas (P_1 a P_4) que se producen en las guías lineales por el movimiento vertical de la herramienta tupi y por el desplazamiento en el área de trabajo, se toma en cuenta la fuerza de avance (F_f) con el peso del tupi que se va aplicar con respecto al sistema de guías lineales, así también las distancias (l_0 a l_3) a las que se encuentran los rodamientos lineales y la carga total (W).

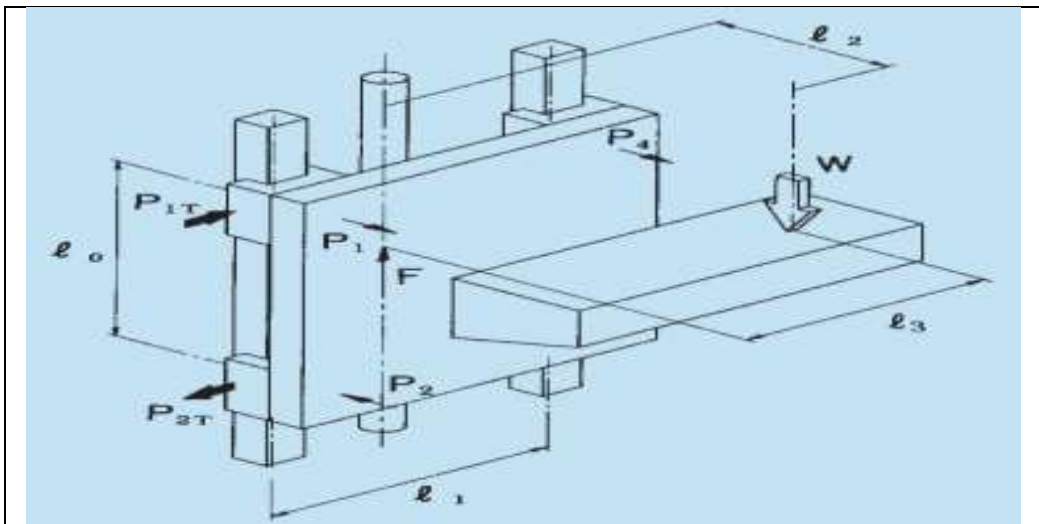


Figura 30: Eje vertical, movimiento a velocidad constante o reposo.

Fuente: (THK, Guías de movimiento lineal, 2009)

La configuración de la Figura establece las siguientes fórmulas para el cálculo de las cargas.

$$P1 = P4 = \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0} \quad (19)$$

$$P2 = P3 = -\frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0} \quad (20)$$

$$P1T = P4T = \frac{W}{2} \times \frac{l_3}{l_0} \quad (21)$$

$$P2T = P3T = -\frac{W}{2} \times \frac{l_3}{l_0} \quad (22)$$

Los datos necesarios se encuentran en la tabla (12).

Tabla 12

Distancias y Fuerzas para eje Vertical

| PARAMETROS | DATOS | UNIDADES |
|----------------------------|--------|----------|
| Fuerza de avance (F_f) | 558.66 | N |
| Peso tupi (W_1) | 25 | N |
| l_0 | 82 | mm |
| l_1 | 132 | mm |
| l_2 | 88 | mm |
| l_3 | 0 | mm |
| $W (F_f + W_1)$ | 583.66 | N |

Reemplazo los valores en las fórmulas (19 y 20)

$$P1 = P4 = \frac{583.66}{2} \times \frac{88}{82} = 313.18 \text{ N}$$

$$P2 = P3 = -\frac{583.66}{2} \times \frac{88}{82} = -313.18 \text{ N}$$

C. Cálculo de Fuerzas de Carga para Fresado

En este caso la fuerza de corte (F_c) interviene en el cálculo, de forma normal al conjunto de guías.

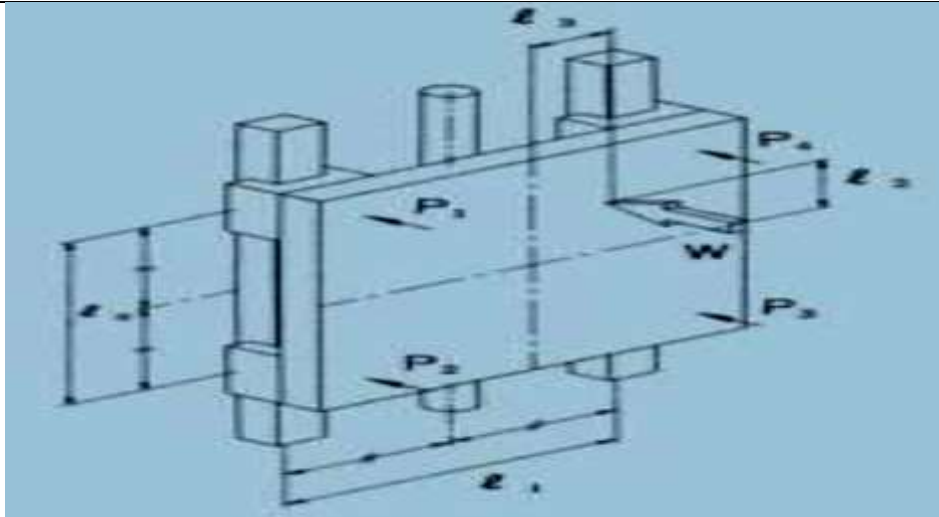


Figura 31: Eje vertical con carga normal.

Fuente: (THK, Guías de movimiento lineal, 2009)

La configuración de la Figura establece las siguientes fórmulas para el cálculo de las cargas.

$$P1 = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} \left(\frac{l_2}{l_0} - \frac{l_3}{l_1} \right) \quad (23)$$

$$P2 = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} \left(\frac{l_2}{l_0} + \frac{l_3}{l_1} \right) \quad (24)$$

$$P3 = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} \left(\frac{l_2}{l_0} - \frac{l_3}{l_1} \right) \quad (25)$$

$$P4 = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} \left(\frac{l_2}{l_0} + \frac{l_3}{l_1} \right) \quad (26)$$

Los datos necesarios se encuentran en la tabla (13)

Tabla 13

Distancias y fuerzas perpendicular al eje vertical

| PARAMETROS | DATOS | UNIDADES |
|--|--------|----------|
| Fuerza de avance (F_f) | 240.37 | N |
| l_0 | 82 | mm |
| l_1 | 132 | mm |
| l_2 | 280 | mm |
| l_3 | 0 | mm |

Reemplazo los valores en las fórmulas (23 al 26)

$$P1 = \frac{240.37}{4} + \frac{240.37}{2} \left(\frac{280}{82} - \frac{0}{132} \right) = 469$$

$$P2 = \frac{240.37}{4} - \frac{240.37}{2} \left(\frac{280}{82} + \frac{0}{132} \right) = -349.8$$

$$P3 = \frac{240.37}{4} - \frac{240.37}{2} \left(\frac{280}{82} - \frac{0}{132} \right) = -349.8$$

$$P4 = \frac{240.37}{4} + \frac{240.37}{2} \left(\frac{280}{82} + \frac{0}{132} \right) = 469$$

Se debe tomar los valores de las fórmulas (23 y 24), ya que la fuerza aplicada en el fresado es mayor a la del taladrado.

D. Determinación de Esfuerzos

Mediante software de análisis estructural, se procede con la determinación de las reacciones, fuerzas cortantes y del momento flector de las guías, siendo la posición en el centro del carro vertical el punto crítico a analizar. La guía cuenta con una longitud de 300 mm de largo y las cargas P1 y P2 se sitúan a 109 mm y 191 mm respectivamente.

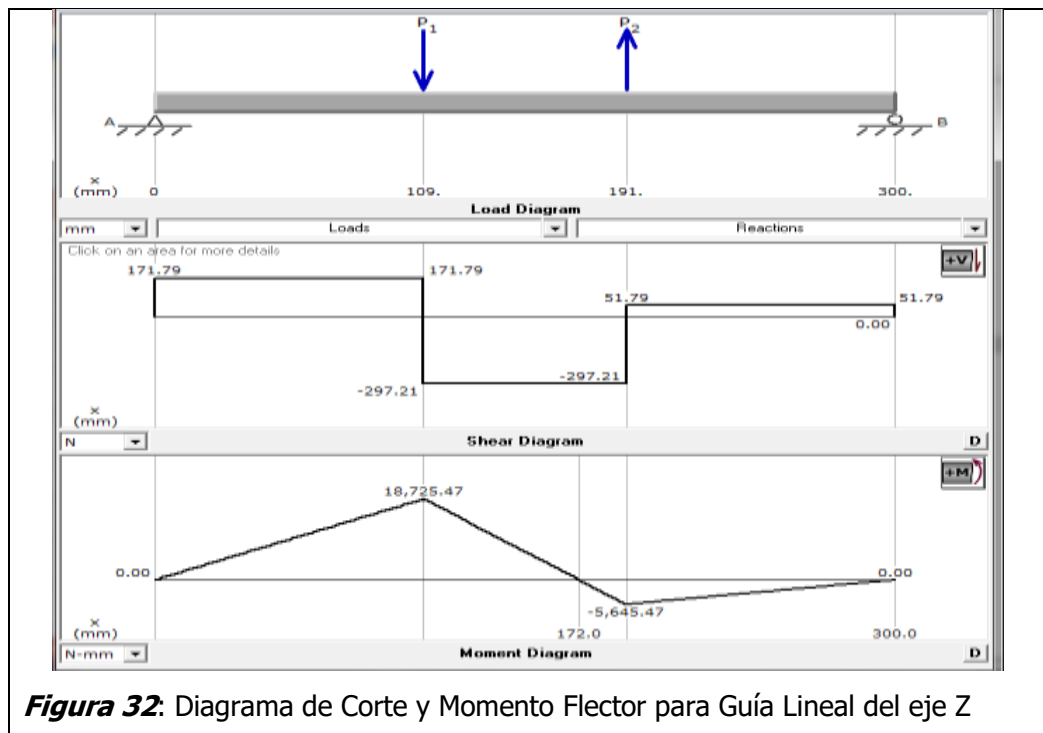


Figura 32: Diagrama de Corte y Momento Flector para Guía Lineal del eje Z

Los valores resultantes del cálculo estructural simple se encuentran en la tabla (14) para cálculos posteriores.

Tabla 14

Carga estructural simple

| PARAMETROS | RESULTADOS | UNIDADES |
|--------------------------------|------------|----------|
| Reacción <i>RAZ</i> | 171.79 | N |
| Reacción <i>RBZ</i> | 51.79 | N |
| Momento Flector (<i>MfZ</i>) | 18725.47 | N.mm |

E. Diámetro de Guías Lineales

Para que no se produzca deformación en las guías y permanezca dentro del rango linealmente elástico se obtiene el esfuerzo máximo, su fórmula es:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{n_1} \quad (27)$$

En donde:

- $\sigma_{m\acute{a}x}$ [N/mm²]: Esfuerzo máximo.
- σ_y [N/mm²]: Esfuerzo de fluencia para acero 1018. 370 N/mm²
- n_1 : Factor de seguridad. (1.5 – 2.5) Asumiendo 1.5

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{370}{1.5} = 246.67 \text{ N / mm}^2$$

El esfuerzo máximo descrito se produce en la sección de momento flexionante máximo, intervienen en este caso el momento flector y el módulo de resistencia de la sección.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_f}{S} \quad (28)$$

En donde:

- $\sigma_{m\acute{a}x}$ [N/mm²]: Esfuerzo máximo.
- M_f [N. mm]: Momento flector.
- S [mm³]: Módulo de resistencia de la sección.

Despejando el módulo de resistencia y reemplazando los valores de $\sigma_{m\acute{a}x}$ y M_{fz} en la fórmula 28 se tiene que:

$$s = \frac{18725.47}{246.67} = 75.9 \text{ mm}^3$$

Finalmente se tiene la fórmula del módulo de resistencia para una sección circular transversal maciza.

$$s = \frac{\pi \times d^3}{32} \quad (29)$$

En donde:

- S [mm^3]: Módulo de resistencia de la sección.
- d [mm]: Diámetro de la guía lineal.

Despejando el diámetro y operando, se obtiene:

$$d_z = \sqrt[3]{\frac{s \times 32}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{75.9 \times 32}{\pi}} = 9.18 \text{ mm}$$

Dado que el resultado fue de 9.18 mm de diámetro de eje guía se asumirá uno de diámetro de 12 mm para el eje guía puesto que los rodamientos de soporte lineales que se seleccionaran tienen un diámetro mínimo de 12 mm.

F. Selección de rodamientos lineales con soporte para el eje Z

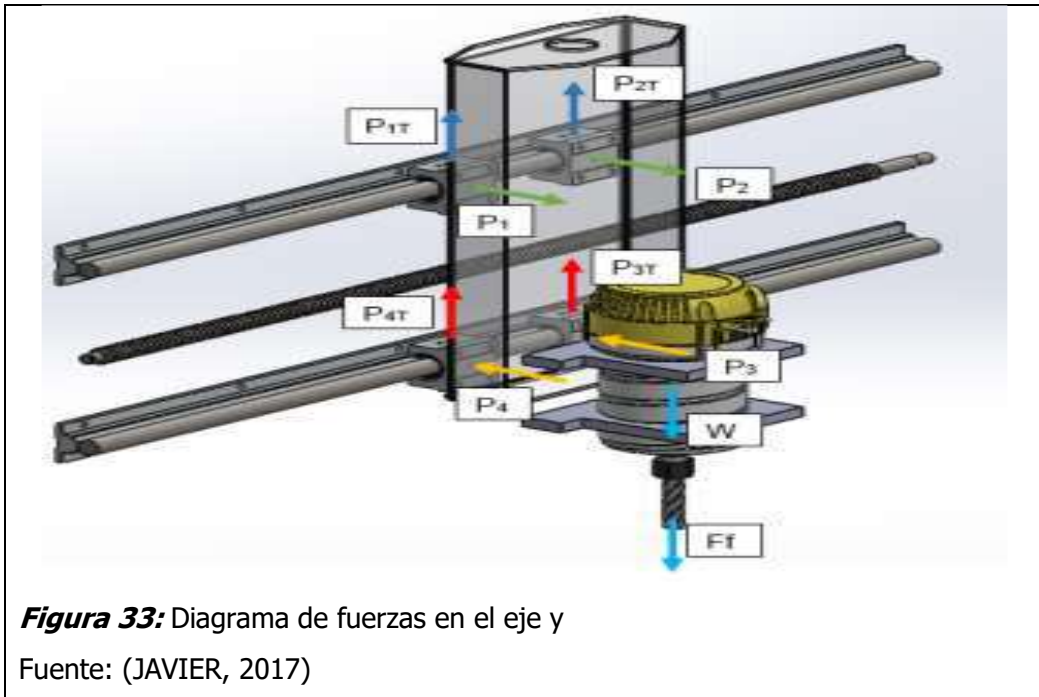
Se tomó en cuenta el diámetro d_z (12 mm), y la carga máxima hallada que afecta en uno de los cuatro puntos críticos de las guías (Fórmula 19), para la selección del rodamiento.

Se seleccionó un rodamiento tipo LBBR de 12 mm \emptyset interior con su soporte. En la figura 49 y Figura 50 se observan los datos seleccionados.

4.6.5. Análisis de Guías Lineales en Eje Y

A. Diagrama de cuerpo libre

La figura presenta el diagrama de cuerpo libre (DCL) para el eje Y, donde se pueden ver las fuerzas aplicadas.



B. Cálculo de Fuerzas de Carga

En este caso se hacen presentes las cargas verticales pasando por el centro del eje. Para establecer las cargas que se producen en las guías lineales se concentrará todo el peso de los componentes del eje Z en la misma dirección de la fuerza de avance (F_f).

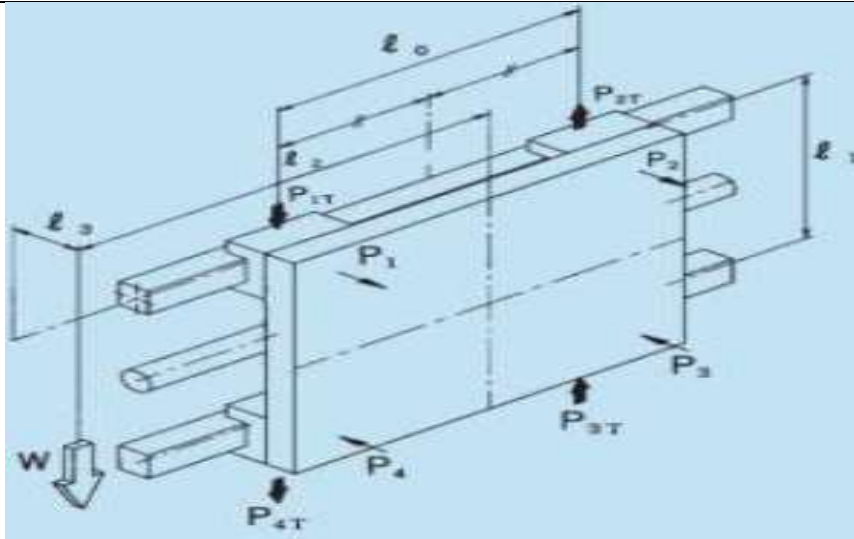


Figura 34: Ejes horizontales con cargas perpendiculares al eje y

Fuente: (THK, Guías de movimiento lineal, 2009)

$$P_1 = P_2 = \frac{W}{2} x \frac{l_3}{l_1} \quad (30)$$

$$P_3 = P_4 = -\frac{W}{2} x \frac{l_3}{l_1} \quad (31)$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \frac{W}{4} + \left(\frac{W}{2} x \frac{l_2}{l_0} \right) \quad (32)$$

$$P_{2T} = P_{3T} = \frac{W}{4} - \left(\frac{W}{2} x \frac{l_2}{l_0} \right) \quad (33)$$

Los datos necesarios se encuentran en la tabla (15).

Tabla 15

Distancias y Fuerzas para eje Horizontal

| PARAMETROS | DATOS | UNIDADES |
|-------------------------------|--------|----------|
| Fuerza de avance (F_f) | 558.66 | N |
| Peso conjunto eje Z (W_1) | 120 | N |
| l_0 | 140 | mm |
| l_1 | 200 | mm |
| l_2 | 0 | mm |
| l_3 | 140 | mm |
| $W (F_f + W_1)$ | 678.66 | N |

Reemplazo los valores en las fórmulas (30 al 33)

$$P_1 = P_2 = \frac{678.66}{2} \times \frac{140}{200} = 237.53 \text{ N}$$

$$P_3 = P_4 = -\frac{678.66}{2} \times \frac{140}{200} = -237.53 \text{ N}$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \frac{678.66}{4} + \left(\frac{678.66}{2} \times \frac{0}{140} \right) = 169.67 \text{ N}$$

$$P_{2T} = P_{3T} = \frac{678.66}{4} - \left(\frac{678.66}{2} \times \frac{0}{140} \right) = 169.67 \text{ N}$$

En cada punto de carga actúan 2 fuerzas perpendiculares entre sí, pasando por el centro del eje de la guía, simplemente se toma la fuerza resultante entre las dos utilizando el teorema de Pitágoras. El ejemplo de cálculo se realizará para P_2 y P_{2T} ya que los demás puntos de carga tienen los mismos valores.

$$P_T = \sqrt{P_2^2 + P_{2T}^2} = 291.9 \text{ N}$$

C. Determinación de Esfuerzos

Mediante software de análisis estructural, se procede con la determinación de las reacciones, fuerzas cortantes y del momento flector de las guías, el punto crítico a analizar será cuando el carro del eje Z se ubique a la mitad del recorrido. La guía cuenta con una longitud de 1200 mm de largo y las cargas P_T se sitúan a 530 mm y 670 mm.

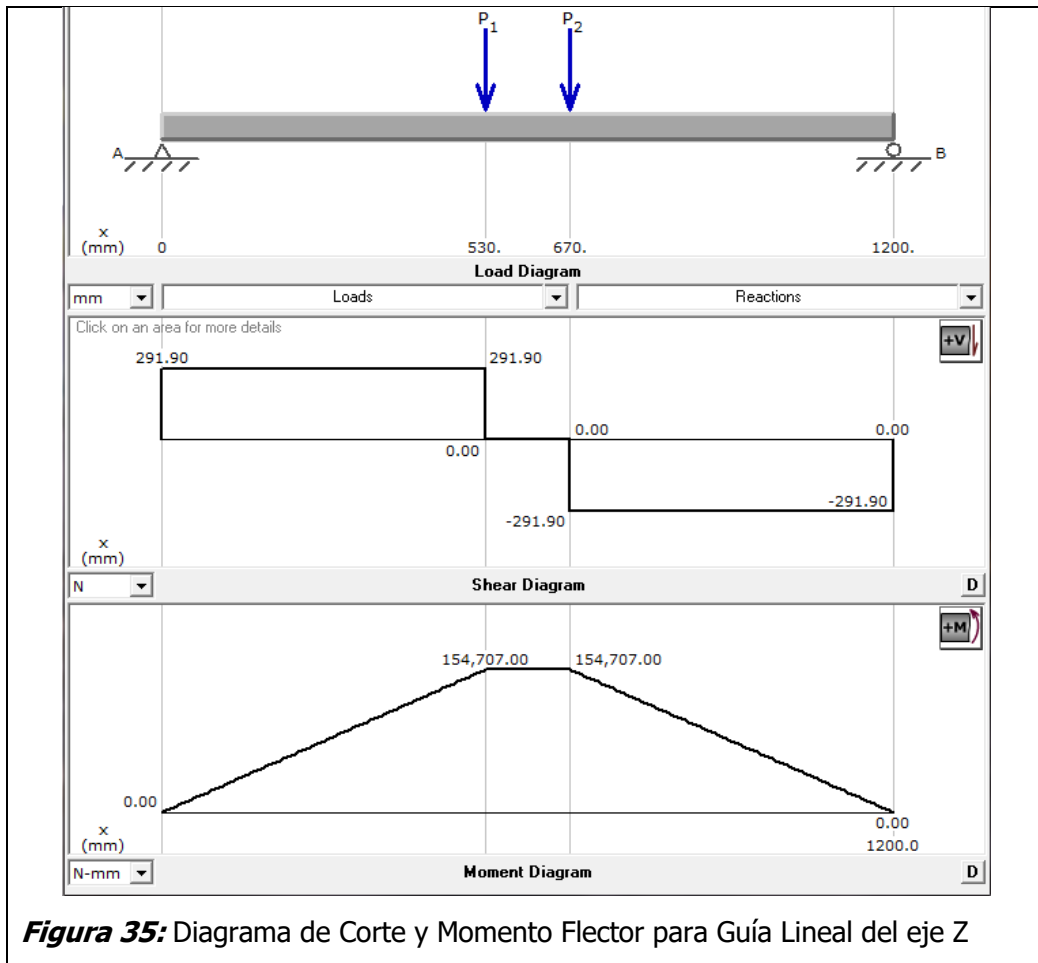


Figura 35: Diagrama de Corte y Momento Flector para Guía Lineal del eje Z

Los valores resultantes del cálculo estructural simple se encuentran en la tabla (16) para cálculos posteriores.

Tabla 16

Carga estructural simple

| PARAMETROS | RESULTADOS | UNIDADES |
|---------------------------|------------|----------|
| Reacción RAZ | 291 | N |
| Reacción RBZ | 291 | N |
| Momento Flector (MfZ) | 154707 | N.mm |

D. Diámetro de Guías Lineales

Se toma el valor del esfuerzo máximo ya calculado por ser el mismo material, aplicándola en la fórmula anterior junto al momento flector M_{fY} encontrado, el módulo de resistencia es:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_f}{S} \quad (34)$$

En donde:

- $\sigma_{m\acute{a}x}$ [N/mm²]: Esfuerzo máximo.
- M_f [N. mm]: Momento flector.
- S [mm³]: Módulo de resistencia de la sección.

Despejando el módulo de resistencia y reemplazando los valores de $\sigma_{m\acute{a}x}$ y M_f en la fórmula 34 se tiene que:

$$s = \frac{154707}{246.67} = 627 \text{ mm}^3$$

Finalmente se tiene la fórmula del módulo de resistencia para una sección circular transversal maciza.

$$s = \frac{\pi \times d^3}{32} \quad (35)$$

En donde:

- S [mm³]: Módulo de resistencia de la sección.
- d [mm]: Diámetro de la guía lineal.

Despejando el diámetro y operando, se obtiene:

$$d_y = \sqrt[3]{\frac{s \times 32}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{627 \times 32}{\pi}} = 18.55 \text{ mm}$$

Dado que el resultado fue de 18.55 mm de diámetro de eje guía se asumió uno de diámetro de 20 mm para el eje guía puesto que los rodamientos de soporte lineales que se seleccionaran tienen un diámetro de 20 mm

E. Selección de rodamientos lineales con soporte para el eje Y

Se tomó en cuenta el diámetro d_y (20 mm), y la carga máxima hallada que afecta en uno de los cuatro puntos críticos de las guías usando Pitágoras en las tomando como datos las formulas (30 y 33), para la selección del rodamiento.

Se seleccionó un rodamiento tipo LBBR de 20 mm \emptyset interior con su soporte. En la figura 49 y Figura 50 se observan los datos seleccionados

4.6.6. Análisis de Guías Lineales en Eje X

A. Diagrama de cuerpo libre

La figura presenta el diagrama de cuerpo libre (DCL) para el eje X, donde se puede ver las fuerzas aplicadas.

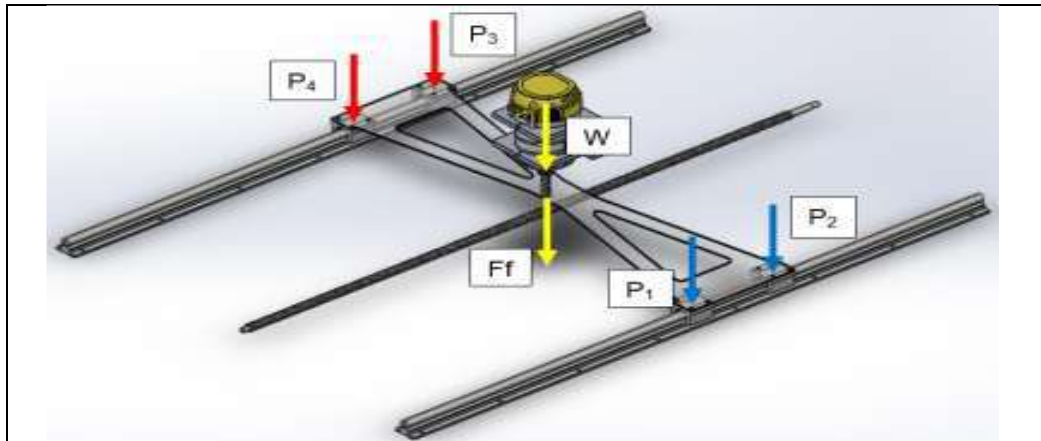


Figura 36: Diagramas de fuerzas en el eje x

Fuente: (CAICEDO GUERRA, diseño e implementación de una máquina router cnc de 4 ejes para el tallado de modelos 3D en madera, 2017)

B. Cálculo de fuerzas de carga

Para establecer las cargas que se producen en las guías lineales se concentrará todo el peso de los componentes del eje Z y eje Y en la misma ubicación de la fuerza de avance (F_f).

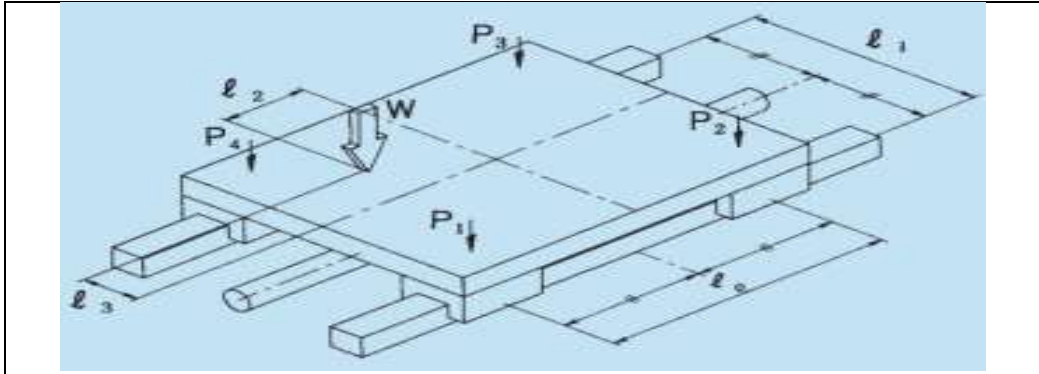


Figura 37: Ejes horizontales con cargas perpendiculares al eje x

Fuente: (THK, Guías de movimiento lineal, 2009)

La configuración de la Figura 37 establece las siguientes fórmulas para el cálculo de cargas.

$$P1 = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} \left(\frac{l_2}{l_0} - \frac{l_3}{l_1} \right) \quad (36)$$

$$P2 = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} \left(\frac{l_2}{l_0} + \frac{l_3}{l_1} \right) \quad (37)$$

$$P3 = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} \left(\frac{l_2}{l_0} - \frac{l_3}{l_1} \right) \quad (38)$$

$$P4 = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} \left(\frac{l_2}{l_0} + \frac{l_3}{l_1} \right) \quad (39)$$

Los datos necesarios se encuentran en la tabla (17).

Tabla 17

Distancias y fuerzas para eje vertical

| PARAMETROS | DATOS | UNIDADES |
|--|--------|----------|
| Fuerza de avance (F_f) | 558.66 | N |
| Peso en conjunto eje Z y Y ($W1$) | 270 | N |
| l_0 | 210 | mm |
| l_1 | 1200 | mm |
| l_2 | 25 | mm |
| l_3 | 510 | mm |
| $W (F_f + W1)$ | 828.66 | N |

Reemplazo los valores en las fórmulas (36 – 39)

$$P1 = \frac{828.66}{4} + \frac{828.66}{2} \left(\frac{25}{210} - \frac{510}{1200} \right) = 80.79 \text{ N}$$

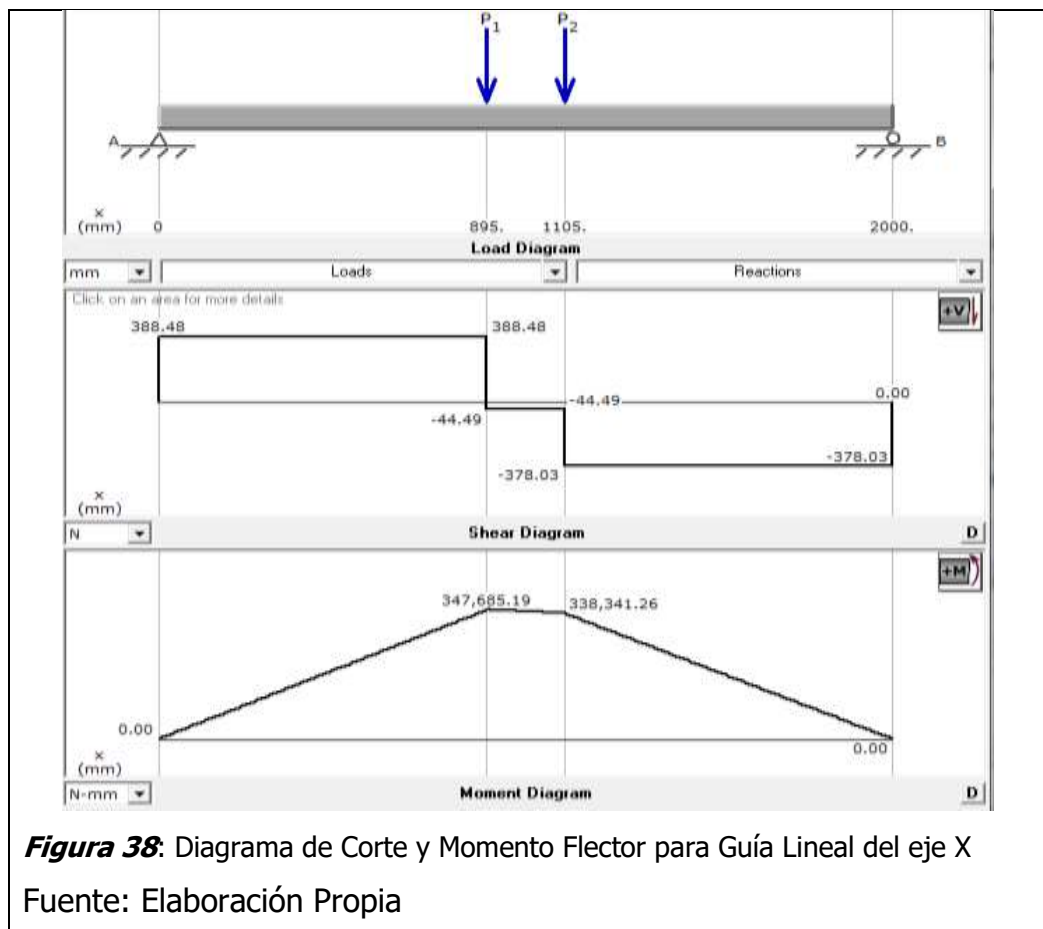
$$P2 = \frac{828.66}{4} - \frac{828.66}{2} \left(\frac{25}{210} + \frac{510}{1200} \right) = -18.64 \text{ N}$$

$$P3 = \frac{828.66}{4} - \frac{828.66}{2} \left(\frac{25}{210} - \frac{510}{1200} \right) = 333.54 \text{ N}$$

$$P4 = \frac{828.66}{4} + \frac{828.66}{2} \left(\frac{25}{210} + \frac{510}{1200} \right) = 432.97 \text{ N}$$

C. Determinación de esfuerzos

Se utiliza el mismo procedimiento con el software de análisis estructural para hallar las reacciones, fuerzas cortantes y momento flector de las guías, el punto de interés para ser analizado será cuando el conjunto entre el eje Y-Z se posicionen en la mitad del recorrido. La guía cuenta con una longitud de 2000 mm de largo y las cargas P4 y P3 se sitúan a 895 mm y 1105 mm respectivamente.



Los valores resultantes del cálculo estructural simple se encuentran en la tabla (18) para cálculos posteriores.

Tabla 18

Carga estructural simple

| PARAMETROS | RESULTADOS | UNIDADES |
|--------------------------------|------------|----------|
| Reacción <i>RAX</i> | 388.48 | N |
| Reacción <i>RBX</i> | 378.03 | N |
| Momento Flector (<i>MfZ</i>) | 347685.19 | N.mm |

D. Diámetro de Guías Lineales

Se toma el valor del esfuerzo máximo ya calculado por ser el mismo material, aplicándola en la fórmula anterior junto al momento flector *MfX* encontrado, el módulo de resistencia es:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_f}{s} \quad (40)$$

En donde:

- $\sigma_{\text{máx}}$ [N/mm²]: Esfuerzo máximo.
- M_f [N. mm]: Momento flector.
- S [mm³]: Módulo de resistencia de la sección.

Despejando el módulo de resistencia y reemplazando los valores de $\sigma_{\text{máx}}$ y *MfZ* en la fórmula 40 se tiene que:

$$s = \frac{347685.19}{246.67} = 1409 \text{ mm}^3$$

Finalmente se tiene la fórmula del módulo de resistencia para una sección circular transversal maciza.

$$s = \frac{\pi \times d^3}{32} \quad (41)$$

En donde:

- S [mm³]: Módulo de resistencia de la sección.
- d [mm]: Diámetro de la guía lineal.

Despejando el diámetro y operando, se obtiene:

$$d_x = \sqrt[3]{\frac{s \times 32}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{1409 \times 32}{\pi}} = 24.30 \text{ mm}$$

Dado que el resultado fue de 24.30 mm de diámetro de eje guía, se asumió uno de diámetro de 16 mm para el eje guía, porque se empleó dos ejes según el diseño de la maquina CNC

E. Selección de rodamientos lineales con soporte para el eje X

Se tomó en cuenta el diámetro d_x (16 mm), y la carga máxima hallada que afecta en uno de los cuatro puntos críticos de las guías (Fórmula 39), para la selección del rodamiento.

Se seleccionó un rodamiento tipo LBBR de 16 mm \emptyset interior con su soporte. En la figura 49 y Figura 50 se observan los datos seleccionados

4.6.7. Determinación del Husillo de bolas con sus rodamientos axiales de soporte para Z

A. Determinación del Husillos de Bola para Z

El tornillo de potencia que se va a utilizar, es el husillo de bolas laminado SKF, que brinda una precisión de paso estándar conforme a la norma ISO 286-2:1988. Se toma como referencia el catálogo de selección de husillos de bolas laminado SKF, proporcionándonos los valores de diseño recomendados al momento de dar arranque al motor (SKF, Grupo, 2013).



La carga máxima axial aplicada sobre el husillo de bolas es:

$$F_m = F_t = F_f + W_1 = 558.66 + 25 = 583.66 \text{ N}$$

Se asume que esta fuerza total es igual a la carga media equivalente durante todo el recorrido del eje Z.

$$P = \frac{d}{\text{Revoluciones}} \quad (42)$$

Donde:

d : 250 mm [Recorrido eje Z]

P : 4 mm/rev [Paso del eje roscado]

$$\text{Rev} = \frac{250}{4} = 62.5 \text{ revoluciones}$$

Para un ciclo completo, el eje roscado deberá girar 62.5 revoluciones en un intervalo de tiempo, calculado a continuación.

Donde la velocidad recomendada es igual a la velocidad de avance de la herramienta de corte.

$$V_a = V_f = 1002.5 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 16.7 \text{ mm/s}$$

$$\text{Tiempo de ciclo} = \frac{d}{v} = \frac{250}{16.7} = 14.96 \text{ s}$$

Para un ciclo completo del recorrido en la dirección vertical Z, se efectuará en un intervalo de tiempo de 14.96 segundos con un total de 62.5 revoluciones. Se supone que el husillo de bolas está diseñado para un trabajo diario de ocho horas por 3 años, para poder calcular la vida nominal o vida útil antes de que aparezcan los primeros signos de fatiga del material.

$$3 \times 365 \times \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}} = 31.53 \times 10^6 \text{ s}$$

$$L_{10} = \frac{62.5 \text{ revoluciones}}{14.96 \text{ s}} \times 31.53 \times 10^6$$

$$L_{10} = 131.73 \times 10^6 \text{ (vida útil – revoluciones)}$$

$$L_{10} = 131.73 \text{ (vida útil – millón de revoluciones)}$$

La capacidad o carga dinámica requerida por el husillo de bolas, es un factor importante en la selección del husillo de bolas, por el motivo de que dicho valor nos especifica el ciclo de fatiga nominal del husillo.

$$L_{10} = \left(\frac{C_{req}}{F_m} \right)^3 \quad (43)$$

C_{req} = Capacidad de carga requerida KN

$$C_{req} = F_m (L_{10})^{\frac{1}{3}} = 583.66 (131.73)^{\frac{1}{3}} = 2969.76 \text{ N}$$

Con el valor de la carga dinámica requerida, se procede a seleccionar la carga máxima ejercida por el husillo de bola (Catálogo: Husillos de bolas laminados de precisión SKF – pág. 16) y el diámetro de rosca disponible en el mercado los cuales se pueden ver en la figura 51.

$$\emptyset 10 - \text{nominal} = C \text{ dinámica máxima} = 4.5 \text{ KN}$$

B. Determinación de rodamientos axiales para el soporte del eje Z

Selección del tamaño de rodamientos axiales para soporte del husillo de bolas en el eje Z utilizando la fórmula de la vida útil.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (44)$$

Donde:

L_{10} : 131.73 (Vida útil-millón de revoluciones)

C: Capacidad de carga dinámica básica [kN]

$P = F_m$: 0.583 Carga dinámica equivalente del rodamiento (kN)

p: Exponente de la ecuación de la vida útil (Para los rodamientos de bolas, $p = 3$)

Despejo la capacidad de la carga dinámica básica de la fórmula (44)

$$C = P \sqrt[3]{L_{10}} = 0.583 \times \sqrt[3]{131.73} = 2.97 \text{ kN}$$

Con el valor de la carga dinámica básica requerida, se procede a seleccionar la carga máxima para el rodamiento axial (Catálogo: Rodamientos SKF – pág. 506). También se puede apreciar en la figura 52

$$\varnothing 10 - \text{nominal} = C \text{ dinámica máxima} = 7.02 \text{ KN}$$

4.6.8. Determinación del Husillo de bolas con sus rodamientos axiales de soporte para Y

A. Determinación del Husillos de Bola para Y

El tornillo de potencia que se va a utilizar, es el husillo de bolas laminado SKF, que brinda una precisión de paso estándar conforme a la norma ISO 286-2:1988. Para este cálculo se requiere determinar la fuerza total aplicada en la dirección de la coordenada Y.

$$m_{total} = \frac{W_1}{g_1} \quad (45)$$

Donde:

F_c : 240.37 N

W_1 : 78.49 N (Peso en conjunto de Z)

g_1 : 9.81 m/s² (Aceleración de la gravedad)

m_{total} : kg

$$m_{total} = \frac{78.49}{9.81} = 8 \text{ kg}$$

Considerando estos valores, se procede a calcular la aceleración que ejercerá el husillo de bolas laminado y así determinar la máxima carga axial.

$$\alpha = V_{max} / t \quad (46)$$

Donde:

V_{max} : 1 m/s (Velocidad máxima)

t : 0.15 s (Tiempo de aceleración)

μ : 0.003 (Coeficiente de fricción)

α : m/s² (Aceleración)

$$\alpha = \frac{1}{0.15} = 6.67 \text{ m/s}^2$$

La carga máxima axial (F_a) aplicada sobre el husillo de bolas es:

$$F_a = F_m = \mu (m_{total}) g + F_c + (m_{total}) \alpha$$

$$F_m = 0.003 (8) 9.81 + 240.37 + (8) 6.67 = 293.97 \text{ N}$$

Se asume que esta fuerza total es igual a la carga media equivalente durante todo el recorrido del eje Y.

$$P = \frac{d}{\text{Revoluciones}} \quad (47)$$

Donde:

d : 1200 mm [Recorrido eje Y]

P : 4 mm/rev [Paso del eje roscado]

$$\text{Rev} = \frac{1200}{4} = 300 \text{ revoluciones}$$

Para un ciclo completo, el eje roscado deberá girar cien revoluciones en un intervalo de tiempo, calculado a continuación.

Donde la velocidad recomendada es igual a la velocidad de avance de la herramienta de corte.

$$V_a = V_f = 6316 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 105.27 \text{ mm/s}$$

$$\text{Tiempo de ciclo} = \frac{d}{v} = \frac{1200}{105.27} = 11.4 \text{ s}$$

Para un ciclo completo del recorrido en la dirección vertical Y, se efectuará en un intervalo de tiempo de 11.4 segundos con un total de 300 revoluciones. Se supone que el husillo de bolas está diseñado para un trabajo diario de ocho horas por 3 años, para poder calcular la vida nominal o vida útil antes de que aparezcan los primeros signos de fatiga del material.

$$3 \times 365 \times \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}} = 31.53 \times 10^6 \text{ s}$$

$$L_{10} = \frac{300 \text{ revoluciones}}{11.4 \text{ s}} \times 31.53 \times 10^6$$

$$L_{10} = 829.74 \times 10^6 \text{ (vida util – revoluciones)}$$

$$L_{10} = 829.74 \text{ (vida util – millón de revoluciones)}$$

La capacidad o carga dinámica requerida por el husillo de bolas, es un factor importante en la selección del husillo de bolas, por el motivo de que dicho valor nos especifica el ciclo de fatiga nominal del husillo.

$$L_{10} = \left(\frac{C_{req}}{F_m} \right)^3 \quad (48)$$

C_{req} : Capacidad de carga requerida KN

$$C_{req} = F_m (L_{10})^{\frac{1}{3}} = 293.97 (829.74)^{\frac{1}{3}} = 2761 \text{ N}$$

Con el valor de la carga dinámica requerida, se procede a seleccionar la carga máxima ejercida por el husillo de bola (Catálogo: Husillos de bolas laminados de precisión SKF – pág. 16) y el diámetro de rosca disponible en el mercado los cuales se pueden ver en la figura 51.

$$\emptyset 12 - \text{nominal} = C \text{ dinámica máxima} = 4.9 \text{ KN}$$

B. Determinación de rodamientos axiales para el soporte del eje Y

Selección del tamaño de rodamientos axiales para soporte del husillo de bolas en el eje Y utilizando la fórmula de la vida útil.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (49)$$

Donde:

L_{10} : 829.74 (Vida util-millón de revoluciones)

C: Capacidad de carga dinámica básica [kN]

$P = F_m$: 0.583 Carga dinámica equivalente del rodamiento (kN)

p: Exponente de la ecuación de la vida útil (para los rodamientos de bolas, $p = 3$)

Despejo la capacidad de la carga dinámica básica de la fórmula (49)

$$C = P \sqrt[p]{L_{10}} = 0.293 \times \sqrt[3]{829.74} = 2.75 \text{ kN}$$

Con el valor de la carga dinámica básica requerida, se procede a seleccionar la carga máxima para el rodamiento axial (Catálogo: Rodamientos SKF – pág. 506). También se puede apreciar en la figura

$$\varnothing 10 - \text{nominal} = C \text{ dinámica máxima} = 7.02 \text{ KN}$$

4.6.9. Determinación del Husillo de bolas con sus rodamientos axiales de soporte para X

A. Determinación del Husillos de Bola para X

El tornillo de potencia que se va a utilizar, es el husillo de bolas laminado SKF, que brinda una precisión de paso estándar conforme a la norma ISO 286-2:1988. Para este cálculo se requiere determinar la fuerza total aplicada en la dirección de la coordenada X.

$$m_{total} = \frac{W_1}{g_1} \quad (50)$$

Donde:

F_c : 240.37 N

W_1 : 264.87 N (Peso en conjunto de Y y Z)

$g_1: 9.81 \text{ m/s}^2$ (Aceleración de la gravedad)

$m_{total}: \text{kg}$

$$m_{total} = \frac{264.87}{9.81} = 27 \text{ kg}$$

Considerando estos valores, se procede a calcular la aceleración que ejercerá el husillo de bolas laminado y así determinar la máxima carga axial.

$$\alpha = V_{max} / t \quad (51)$$

Donde:

$V_{max}: 1 \text{ m/s}$ (Velocidad máxima)

$t: 0.15 \text{ s}$ (Tiempo de aceleración)

$\mu: 0.003$ (Coeficiente de fricción)

$\alpha: \text{m/s}^2$ (Aceleración)

$$\alpha = \frac{1}{0.15} = 6.67 \text{ m/s}^2$$

La carga máxima axial (F_a) aplicada sobre el husillo de bolas es:

$$F_a = F_m = \mu (m_{total}) g + F_c + (m_{total}) \alpha \quad (52)$$

$$F_m = 0.003 (27) 9.81 + 240.37 + (27) 6.67 = 421.25 \text{ N}$$

Se asume que esta fuerza total es igual a la carga media equivalente durante todo el recorrido del eje X.

$$P = \frac{d}{\text{Revoluciones}} \quad (53)$$

Donde:

$d : 2000 \text{ mm}$ [Recorrido eje X]

$P : 4 \text{ mm/rev}$ [Paso del eje roscado]

$$\text{Rev} = \frac{2000}{4} = 500 \text{ revoluciones}$$

Para un ciclo completo, el eje roscado deberá girar 500 revoluciones en un intervalo de tiempo, calculado a continuación.

Donde la velocidad recomendada es igual a la velocidad de avance de la herramienta de corte.

$$V_a = V_f = 6316 \frac{mm}{min} = 105.27 \text{ mm/s}$$

$$Tiempo \text{ de ciclo} = \frac{d}{v} = \frac{2000}{105.27} = 19 \text{ s}$$

Para un ciclo completo del recorrido en la dirección horizontal X, se efectuará en un intervalo de tiempo de 19 segundos con un total de 500 revoluciones. Se supone que el husillo de bolas está diseñado para un trabajo diario de ocho horas por 3 años, para poder calcular la vida nominal o vida útil antes de que aparezcan los primeros signos de fatiga del material.

$$3 \times 365 \times \frac{8 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}} = 31.53 \times 10^6 \text{ s}$$

$$L_{10} = \frac{500 \text{ revoluciones}}{19 \text{ s}} \times 31.53 \times 10^6$$

$$L_{10} = 829.74 \times 10^6 \text{ (vida util – revoluciones)}$$

$$L_{10} = 829.74 \text{ (vida util – millón de revoluciones)}$$

La capacidad o carga dinámica requerida por el husillo de bolas, es un factor importante en la selección del husillo de bolas, por el motivo de que dicho valor nos especifica el ciclo de fatiga nominal del husillo.

$$L_{10} = \left(\frac{C_{req}}{F_m} \right)^3 \quad (54)$$

C_{req} : Capacidad de carga requerida KN

$$C_{req} = F_m (L_{10})^{\frac{1}{3}} = 421.25 (829.74)^{\frac{1}{3}} = 3958.4 \text{ N}$$

Con el valor de la carga dinámica requerida, se procede a seleccionar la carga máxima ejercida por el husillo de bola (Catálogo: Husillos de bolas

laminados de precisión SKF – pág. 16) y el diámetro de rosca disponible en el mercado los cuales se pueden ver en la figura 51.

$$\varnothing 12 - \text{nominal} = C \text{ dinámica máxima} = 4.9 \text{ KN}$$

B. Determinación de rodamientos axiales para el soporte del eje X

Selección del tamaño de rodamientos axiales para soporte del husillo de bolas en el eje Z utilizando la fórmula de la vida útil.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (55)$$

Donde:

L_{10} : 829.74 (Vida util-millón de revoluciones)

C: Capacidad de carga dinámica básica [kN]

$P = F_m$: 0.421 Carga dinámica equivalente del rodamiento (kN)

p: Exponente de la ecuación de la vida útil (para los rodamientos de bolas, $p = 3$)

Despejo la capacidad de la carga dinámica básica de la fórmula (55)

$$C = P \sqrt[p]{L_{10}} = 0.421 \times \sqrt[3]{829.74} = 3.96 \text{ kN}$$

Con el valor de la carga dinámica básica requerida, se procede a seleccionar la carga máxima para el rodamiento axial (Catálogo: Rodamientos SKF – pág. 506). También se puede apreciar en la figura 52

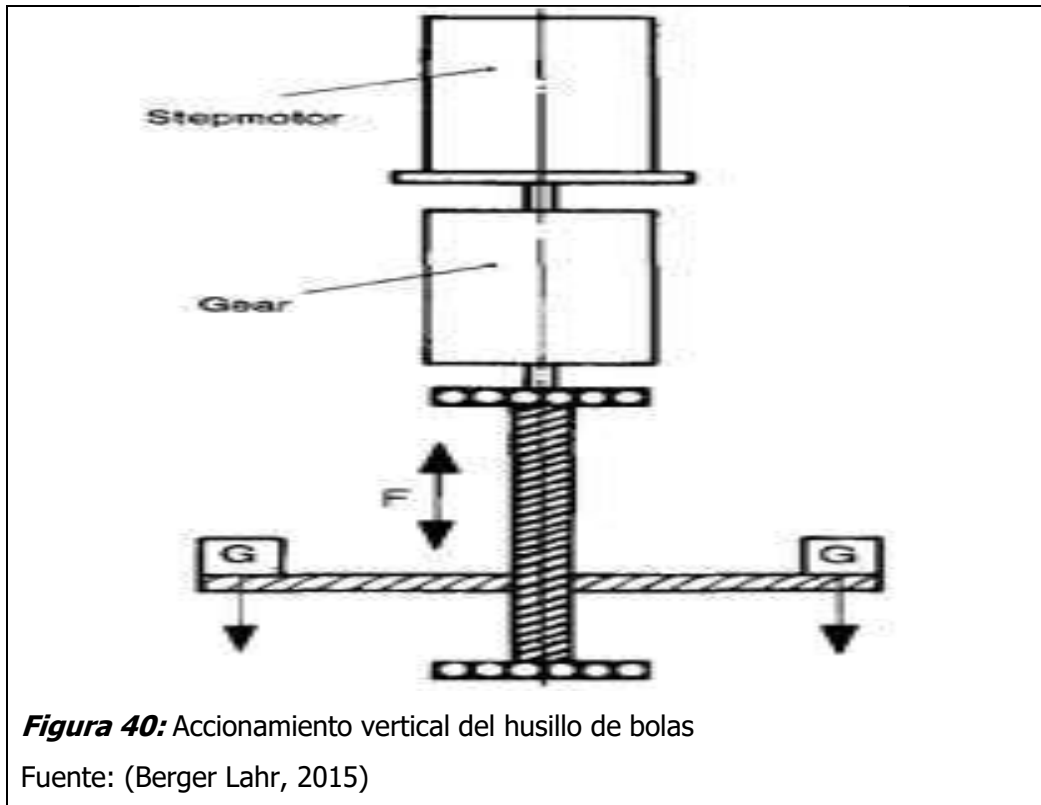
$$\varnothing 10 - \text{nominal} = C \text{ dinámica máxima} = 7.02 \text{ KN}$$

4.6.10. Cálculo de Torques de los Motores a Pasos y acoples

Pasando con la selección del husillo de bolas, se procede con el cálculo del torque necesario para vencer el peso de cada conjunto de eje y fuerza de avance que genera la herramienta tupi.

A. Motor a Pasos Eje Z

En la Figura se muestra la configuración de los elementos que producen el desplazamiento vertical de la carga. Hay que recalcar que los motores transmiten su movimiento a los husillos mediante acoplamientos haciendo que la relación de transmisión sea directa (1 a 1).



En este caso el mayor torque que realizará el motor será cuando eleve toda la carga, para ello se describe la siguiente fórmula.

$$T_Z = F \left[\frac{h}{2 \times \pi \times \eta} + (r_B \times \mu_B) \right]^{\frac{1}{i}} \quad (56)$$

En donde:

- F [N]: Fuerza de avance y peso tupi.
- h [mm]: Paso del husillo de bolas.
- η : Eficiencia del husillo de bola.
- r_B [mm]: Radio medio del husillo de bolas.
- μ_B : Coeficiente de fricción acero-acero.
- i : Relación de transmisión.

- T_z [N. mm]: Par motor resultante.

El radio medio del husillo se puede verificar en los ANEXOS. Los datos necesarios para ser reemplazados en la fórmula (56) se encuentran en la Tabla 19.

Valores para la obtención del par motor eje Z

Tabla 19

Valores para la obtención del par motor eje Z

| PARAMETROS | DATOS | UNIDADES |
|---------------------------|--------|----------|
| Fuerza de avance (Ff) | 558.66 | N |
| Peso tupi ($W1$) | 25 | N |
| h | 4 | mm |
| η | 0.9 | - |
| rB | 5 | mm |
| μB | 0.74 | - |
| i | 1 | - |
| $W (Ff + W1)= F$ | 583.66 | N |

Se reemplaza en la fórmula (56)

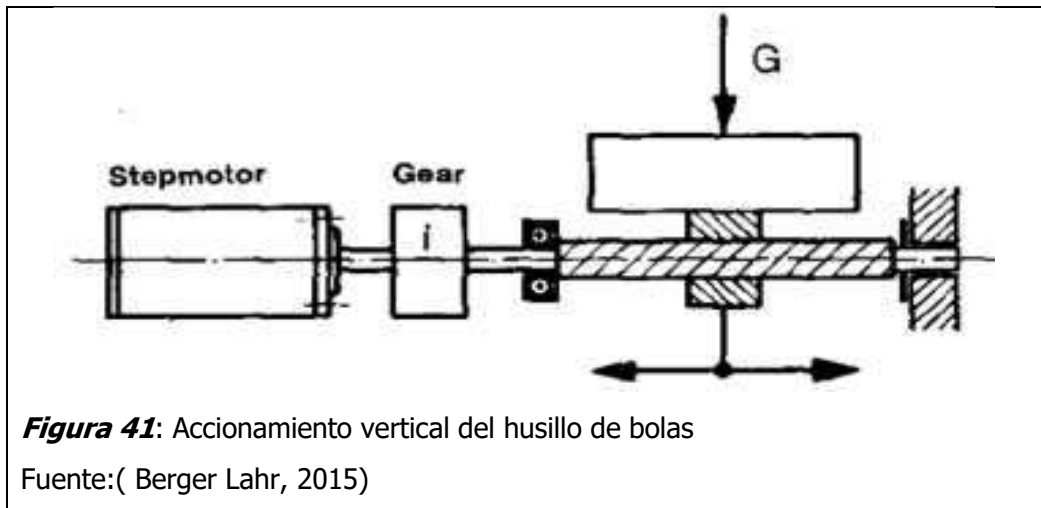
$$T_z = 583.66 \left[\frac{4}{2 \times \pi \times 0.9} + (5 \times 0.74) \right]^{\frac{1}{1}} = 2.6 \text{ N.m}$$

B. Acople de desplazamiento lateral eje Z

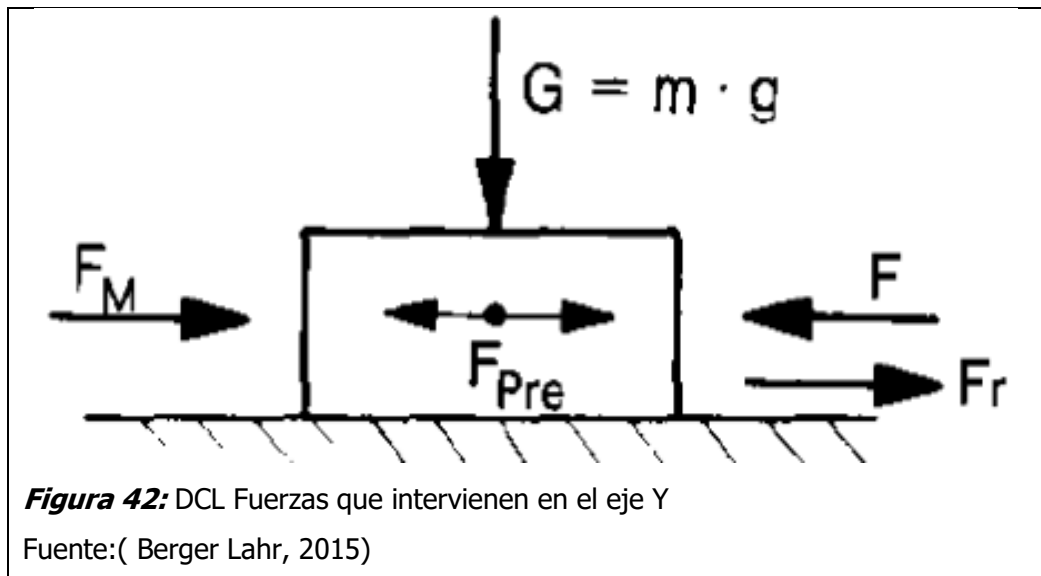
Ya que se halló un torque $T_z=2.6$ N.m, se seleccionó un acople MODELO OFP 2530, con par de apriete de 3,1 N.m, como se observa en la figura 54.

C. Motor a Pasos Eje Y

En la Figura se visualiza la disposición de los elementos que realizan el movimiento horizontal de la carga. Esta disposición es tanto para el eje Y como para el eje X.



Para determinar el par motor, es necesario realizar una sumatoria de fuerzas que influyen en el movimiento como se muestra en la Figura 42.



Tras el análisis de fuerzas se tiene que:

$$F = (G \times \mu_B) + F_M + F_{pre} \quad (57)$$

En donde:

- F [N]: Fuerza total en el husillo.
- μ_B : Coeficiente de fricción acero-acero.
- G [N]: Peso conjunto eje Z.
- F_M [N]: Fuerza de corte en el fresado.
- F_{Pre} [N]: Fuerza de pre-tensión.

La fuerza de pre-tensión (F_{Pre}) es igual a cero ya que no se utiliza ruedas dentadas ni correas, el acople directo de motor-husillo elimina este valor. Los datos se encuentran en la Tabla 20.

Tabla 20

Valores para la Obtención de la Fuerza total en el Husillo del eje Y

| PARAMETROS | DATOS | UNIDADES |
|-------------------------------|--------|----------|
| Fuerza de avance (F_f) | 558.66 | N |
| Peso conjunto eje Z (W_1) | 74.49 | N |
| μ_B | 0.74 | - |
| FM | 240.37 | N |
| F_{Pre} | 0 | N |
| $G (W_1)$ | 74.49 | N |

La fuerza total en el husillo es:

$$F = (74.49 \times 0.74) + 240.37 + 0 = 314.49 \text{ N}$$

Se reemplaza la fuerza hallada en la fórmula (58)

$$T_Y = F \left[\frac{h}{2 \times \pi \times \eta} + (r_B \times \mu_B) \right]^{\frac{1}{i}} \quad (58)$$

En donde:

- F [N]: Fuerza total en el husillo
- h [mm]: Paso del husillo de bolas.
- η : Eficiencia del husillo de bola.
- r_B [mm]: Radio medio del husillo de bolas.
- μ_B : Coeficiente de fricción acero-acero.
- i : Relación de transmisión.
- T_Z [N. mm]: Par motor resultante.

El radio medio del husillo se puede verificar en los ANEXOS. Los datos necesarios para ser reemplazados en la fórmula (58) se encuentran en la Tabla 21.

Valores para la obtención del par motor eje Y

Tabla 21

Valores para la obtención del par motor eje Y

| PARAMETROS | DATOS | UNIDADES |
|------------|--------|----------|
| h | 4 | mm |
| η | 0.9 | - |
| r_B | 6 | mm |
| μ_B | 0.74 | - |
| i | 1 | - |
| F | 314.49 | N |

Se reemplaza e la fórmula (58)

$$T_Y = 314.49 \left[\frac{4}{2 \times \pi \times 0.9} + (6 \times 0.74) \right]^{\frac{1}{1}} = 1.62 \text{ N.m}$$

D. Acople de desplazamiento lateral eje Y

Ya que se halló un torque $T_y = 1.62 \text{ N.m}$, se seleccionó un acople MODELO OFP 2530, con par de apriete de 3,1 N.m, como se observa en la figura 54.

E. Motor a Pasos Eje X

La configuración de la Figura (41) se aplica para este eje ya que también realiza un movimiento horizontal. De igual forma hay que hallar la fuerza total en el husillo donde actúan la fuerza de avance y peso conjunto del eje Z y eje Y. Los datos se encuentran en la Tabla 22.

$$F = (G \times \mu_B) + F_M + F_{pre} \quad (59)$$

En donde:

- $F [N]$: Fuerza total en el husillo.
- μ_B : Coeficiente de fricción acero-acero.
- $G [N]$: Fuerza de avance y peso conjunto eje Z.
- $F_M [N]$: Fuerza de corte en el fresado.
- $F_{Pre} [N]$: Fuerza de pre-tensión.

La fuerza de pre-tensión (F_{Pre}) es igual a cero ya que no se utiliza ruedas dentadas ni correas, el acople directo de motor-husillo elimina este valor. Los datos se encuentran en la Tabla 22.

Tabla 22

Valores para la Obtención de la Fuerza total en el Husillo del eje Y

| PARAMETROS | DATOS | UNIDADES |
|---------------------------------------|--------|----------|
| Fuerza de avance (F_f) | 558.66 | N |
| Peso conjunto eje Z y eje Y (W_1) | 264.87 | N |
| μ_B | 0.74 | - |
| FM | 240.37 | N |
| F_{Pre} | 0 | N |
| $G (W_1)$ | 264.87 | N |

La fuerza total en el husillo es:

$$F = (264.87 \times 0.74) + 240.37 + 0 = 436.37 \text{ N}$$

Se reemplaza la fuerza hallada en la fórmula (60)

$$T_x = F \left[\frac{h}{2 \times \pi \times n} + (r_B \times \mu_B) \right]^{\frac{1}{i}} \quad (60)$$

En donde:

- $F [N]$: Fuerza total en el husillo
- $h [mm]$: Paso del husillo de bolas.
- n : Eficiencia del husillo de bola.
- $r_B [mm]$: Radio medio del husillo de bolas.
- μ_B : Coeficiente de fricción acero-acero.
- i : Relación de transmisión.
- $T_x [N \cdot mm]$: Par motor resultante.

El radio medio del husillo se puede verificar en los ANEXOS. Los datos necesarios para ser reemplazados en la fórmula (60) se encuentran en la Tabla 23.

Valores para la obtención del par motor eje X

Tabla 23

Valores para la obtención del par motor eje X

| PARAMETROS | DATOS | UNIDADES |
|------------|--------|----------|
| h | 4 | mm |
| η | 0.9 | - |
| rB | 6 | mm |
| μB | 0.74 | - |
| i | 1 | - |
| F | 436.37 | N |

Se reemplaza e la fórmula (60)

$$T_x = 436.37 \left[\frac{4}{2 \times \pi \times 0.9} + (6 \times 0.74) \right]^{\frac{1}{1}} = 2.25 \text{ N.m}$$

F. Acople de desplazamiento lateral eje X

Ya que se halló un torque $T_x = 2.25 \text{ N.m}$, se seleccionó un acople MODELO OFP 2530, con par de apriete de 3,1 N.m, como se observa en la figura 54

4.6.11. Análisis de base lateral

Se hizo un análisis estático en los puntos críticos de las bases laterales, para así hallar sus respectivas resistencias, desplazamientos y su factor de seguridad según cargas aplicadas.

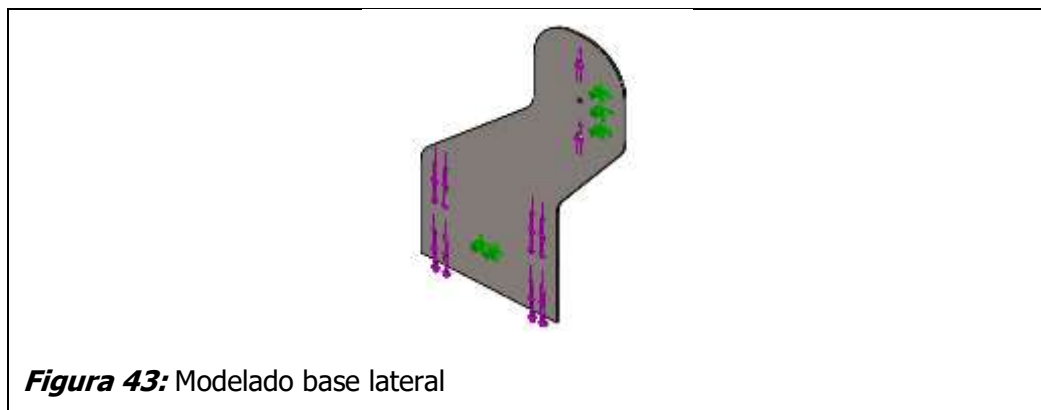


Tabla 24

Solido base lateral

| Nombre de documento y referencia | Tratado como | Propiedades volumétricas |
|----------------------------------|--------------|--------------------------|
|----------------------------------|--------------|--------------------------|

| | | |
|--------------|---------------|--|
| Base lateral | Sólido | Masa:4.74746 kg Volumen:0.000616553 m ³ Densidad:7700 kg/m ³ Peso:46.5251 N |
|--------------|---------------|--|



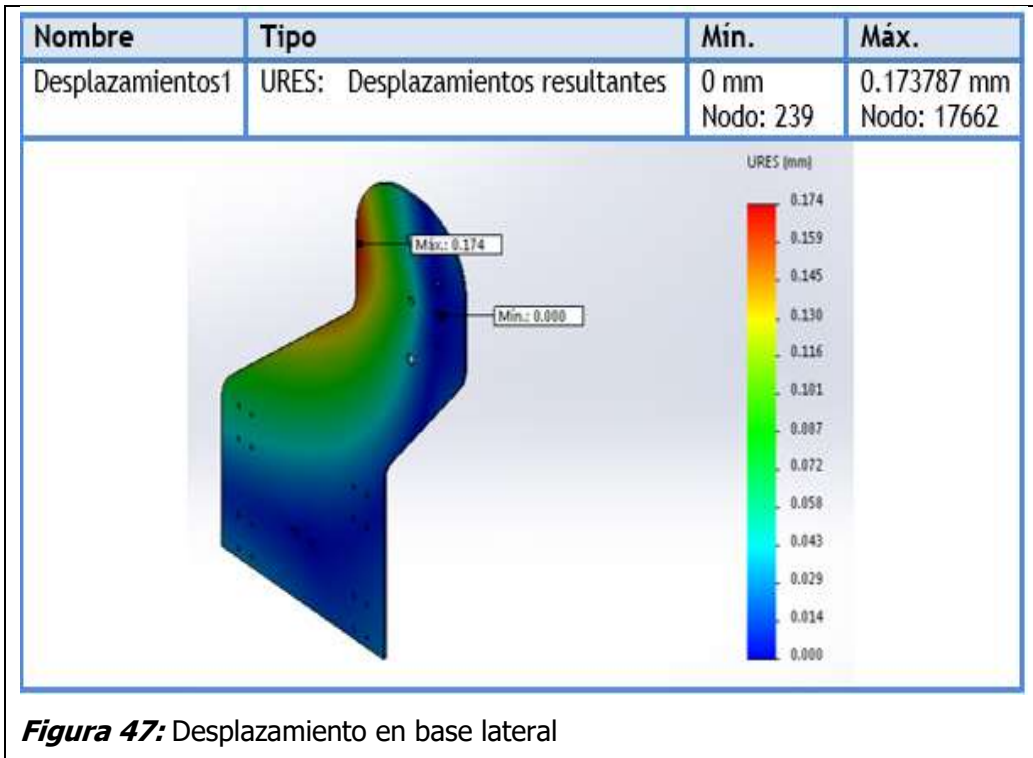
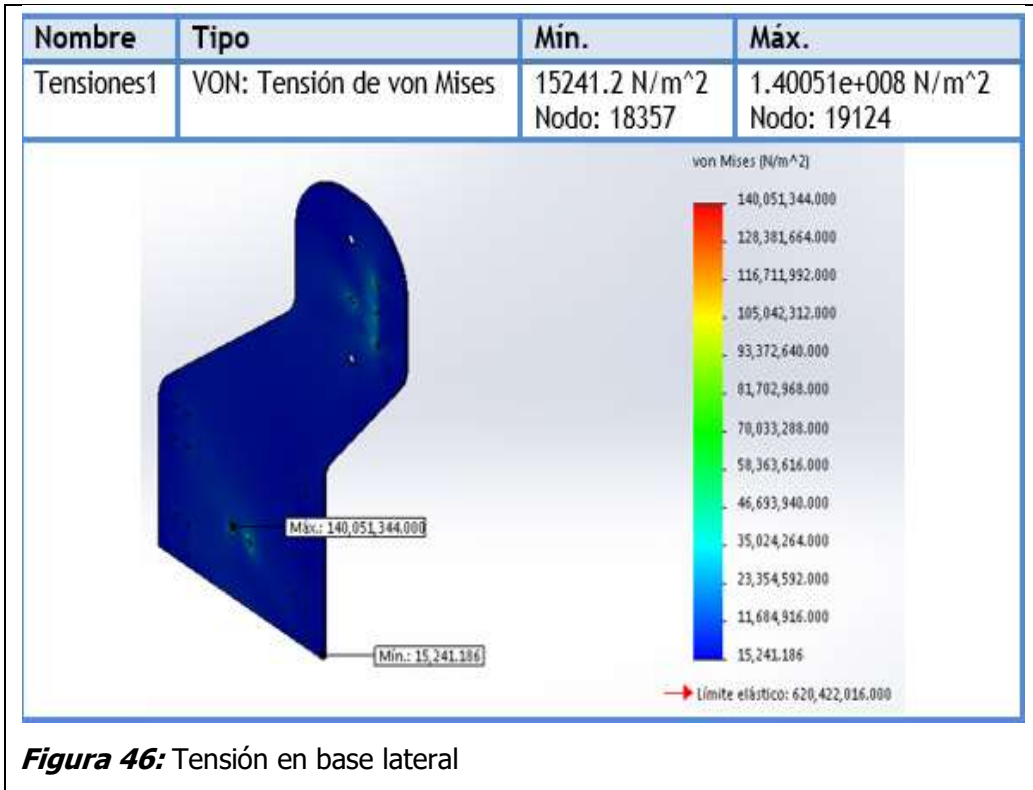
| Nombre de sujeción | Imagen de sujeción | Detalles de sujeción | | |
|------------------------------|--------------------|--|----------|-------------------|
| Fijo-1 | | Entidades: 2 arista(s), : 3 cara(s) Tipo: Geometría fija | | |
| Fuerzas resultantes | | | | |
| Componentes | X | Y | Z | Resultante |
| Fuerza de reacción(N) | 0.046907 4 | 4956.23 | 297.974 | 4965.18 |

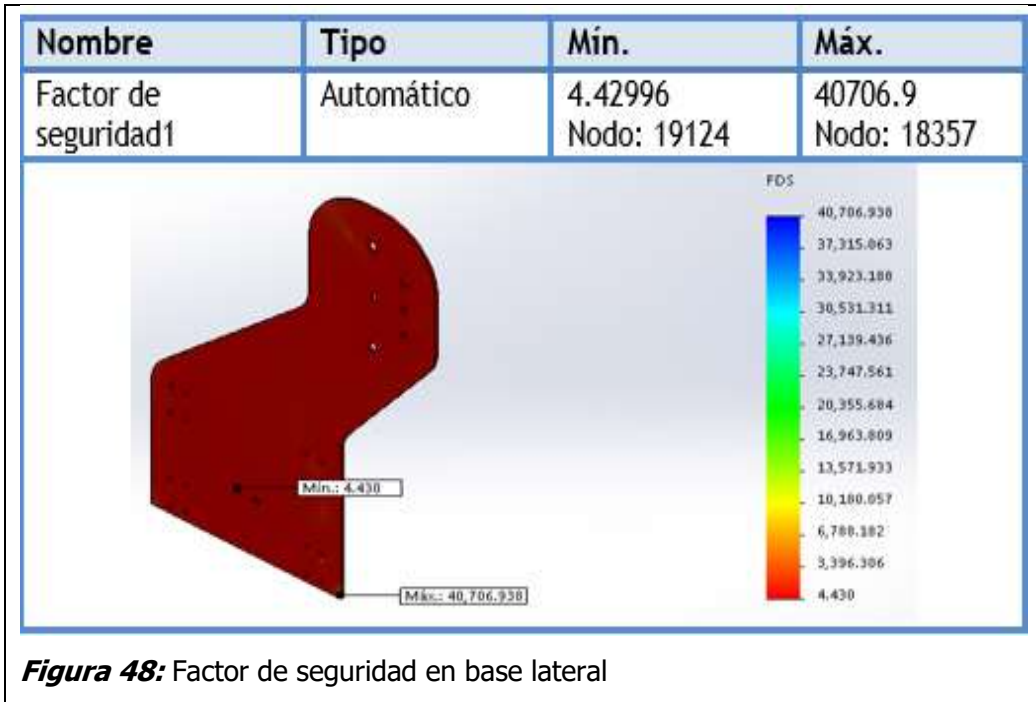
Figura 44: cargas y sujeciones

| Nombre de carga | Imagen de cargas | Detalles de carga |
|-----------------|------------------|--|
| Fuerza-1 | | Entidades: 2 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: 587.94, ---, -- - N |
| Fuerza-2 | | Entidades: 8 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: -333.54, ---, -- -- N |
| Fuerza-3 | | Entidades: 8 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: -432.97, ---, -- -- N |
| Fuerza-4 | | Entidades: 1 arista(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, 297.97, -- - N |

Figura 45: cargas y sujeciones

Resultados de estudios:





El análisis por elementos finitos software CAE o FEA permitió diseñar adecuadamente las bases laterales, además de aplicar las cargas ejercidas en dichos puntos de la base lateral, arrojó un adecuado factor de seguridad 4.4, el cual es muy beneficioso al demostrar que es factible en el diseño.

4.7. DISEÑO PARAMÉTRICO DE LAS PARTES O SISTEMAS CRÍTICOS DE LA FRESADORA CNC.

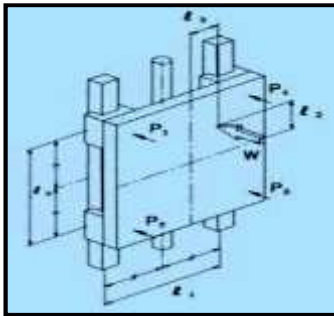
El cálculo analítico de los espesores y factores de seguridad de los ejes se programaron en una macro dentro del paquete de aplicación con la que cuenta el excel con la intención de realizar una primera aproximación de la geometría final de la máquina fresadora CNC. Esta aplicación permitió obtener los esfuerzos y el factor de seguridad, ingresando parámetros como, longitudes, fuerzas de avance, material. En la Figura se muestra esta aplicación con los datos finalmente optimizados.

Diseño de eje Z:

Comprobaciones de Diámetro Ejes guías

Esfuerzo de fluencia para acero
1018 = 370 N/mm²

Análisis de guías lineales en eje Z



| Reacciones (N), fuerza cortante (N) y momento flector (N.mm) | | | |
|--|---------|----|----------|
| RA | 172.27 | RB | -52.08 |
| V1 | 172.27 | M1 | 18776.90 |
| V2 | -298.22 | M2 | -5676.74 |
| V3 | 52.08 | M3 | 0.00 |

| Momento flector máximo, esfuerzo a la fluencia, esfuerzo máximo del material y diámetro guías | | |
|---|-------------------|----------|
| M máx. | N mm | 18776.90 |
| σ y | N mm ² | 370.00 |
| σ máx | N mm ² | 191.36 |
| S | mm ³ | 98.13 |
| ϕ dz | mm | 10.00 |
| Factor de seguridad | | 1.93 |

| Parámetros para la gráfica de momento flector y distancia | |
|---|-----------------|
| Distancia (m) | Momentos (N.mm) |
| 0 | 0 |
| 109 | 18776.90 |
| 191 | -5676.74 |
| 300 | 0.00 |

| PARAMETROS | UND | DATOS |
|-----------------------|-----|--------|
| Fuerza de avance (FC) | N | 240.37 |
| l0 | mm | 82 |
| l1 | mm | 132 |
| l2 | mm | 280 |
| l3 | mm | 0 |

| Cargas resultantes en los puntos críticos de las guías (N) | |
|--|---------|
| P1 | 470.48 |
| P2 | -350.30 |
| P3 | -350.30 |
| P4 | 470.48 |

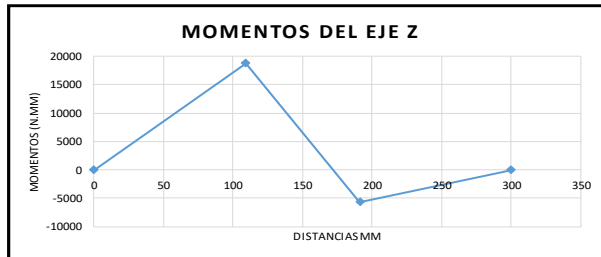
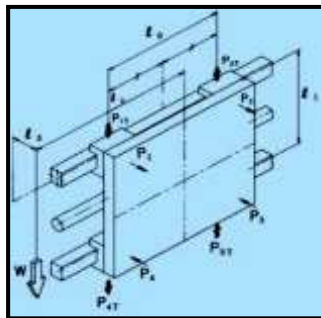


Figura 49: Análisis de momentos en eje Z

Diseño de eje Y:

Análisis de guías lineales en eje Y



| Reacciones (N), fuerza cortante (N) y momento flector (N.mm) | | | |
|--|---------|----|-----------|
| RA | 291.90 | RB | 291.90 |
| V1 | 291.90 | M1 | 154708.43 |
| V2 | 0.00 | M2 | 154708.43 |
| V3 | -291.90 | M3 | 0.00 |

| Momento flector máximo, esfuerzo a la fluencia, esfuerzo máximo del material y diámetro guías | | |
|---|-------------------|-----------|
| M máx. | N mm | 154708.43 |
| σ y | N mm ² | 370.00 |
| σ máx | N mm ² | 229.87 |
| S | mm ³ | 673.04 |
| ϕ dz | mm | 19.00 |
| Factor de seguridad | | 1.61 |

| Parámetros para la gráfica de momento flector y distancia | |
|---|-----------------|
| Distancia (m) | Momentos (N.mm) |
| 0 | 0 |
| 530 | 154708.43 |
| 670 | 154708.43 |
| 1200 | 0.00 |

| PARAMETROS | UND | DATOS |
|--------------------------|-----|--------|
| Fuerza de avance (Ff) | N | 558.66 |
| Peso conjunto eje Z (W1) | N | 120 |
| l0 | mm | 140 |
| l1 | mm | 200 |
| l2 | mm | 0 |
| l3 | mm | 140 |
| W (Ff + W1) | N | 678.66 |

| Cargas resultantes en los puntos críticos de las guías (N) | |
|--|---------|
| P1 | 237.53 |
| P2 | 237.53 |
| P3 | -237.53 |
| P4 | -237.53 |
| P1t = P4t | 169.67 |
| P2t = P3t | 169.67 |
| PT | 291.90 |

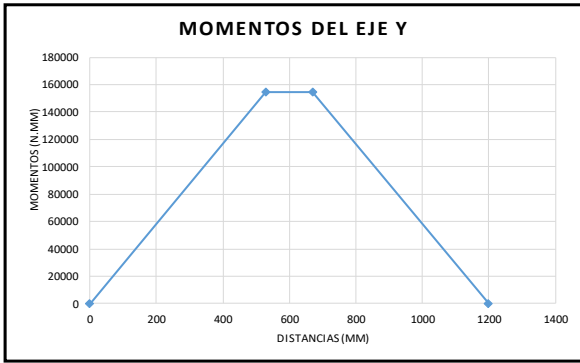
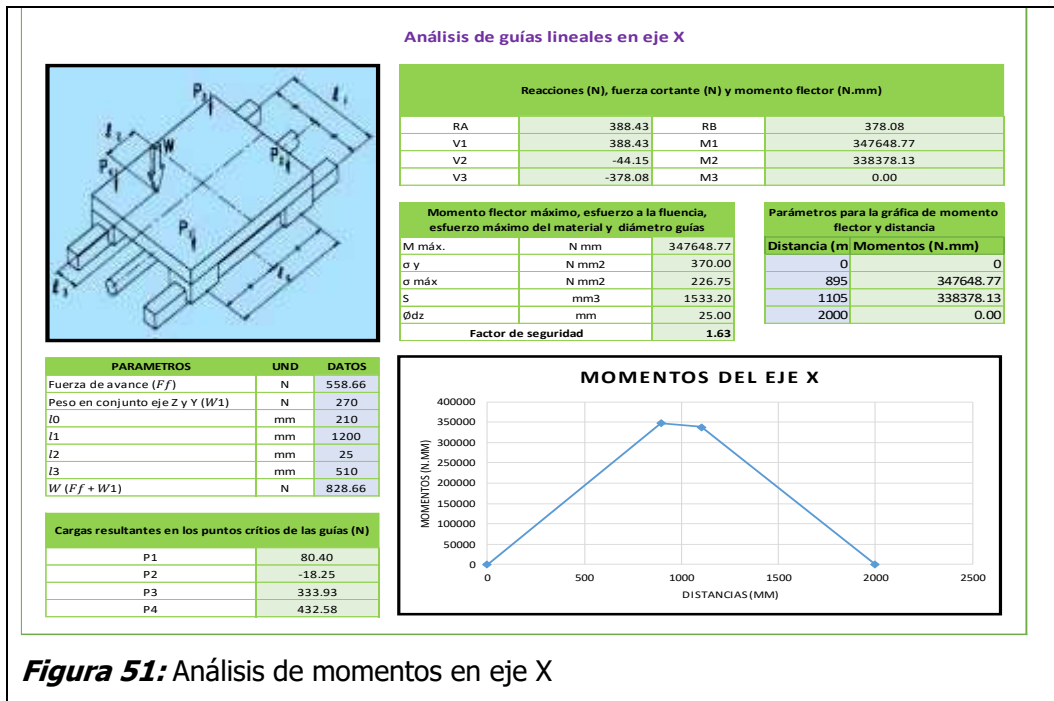


Figura 50: Análisis de momentos en eje Y

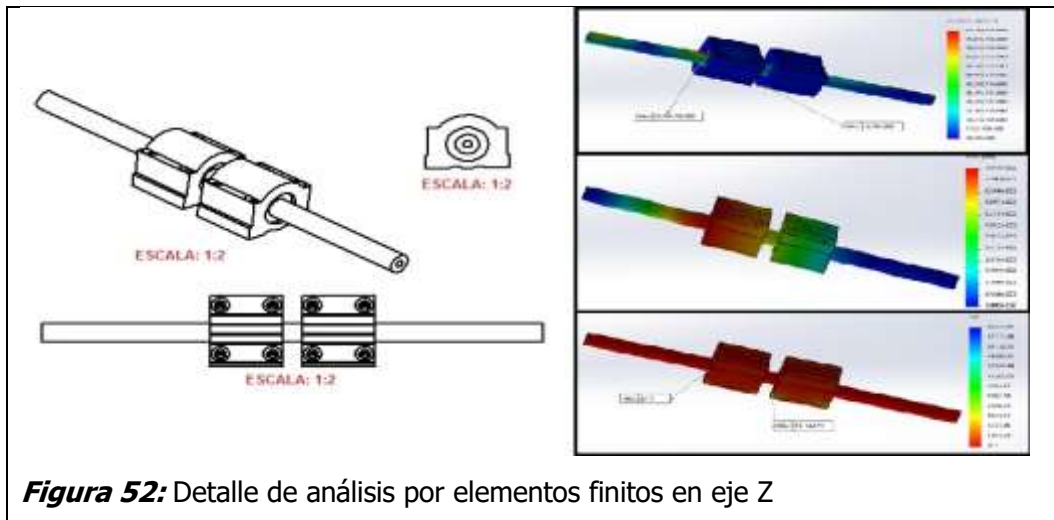
Diseño de eje X



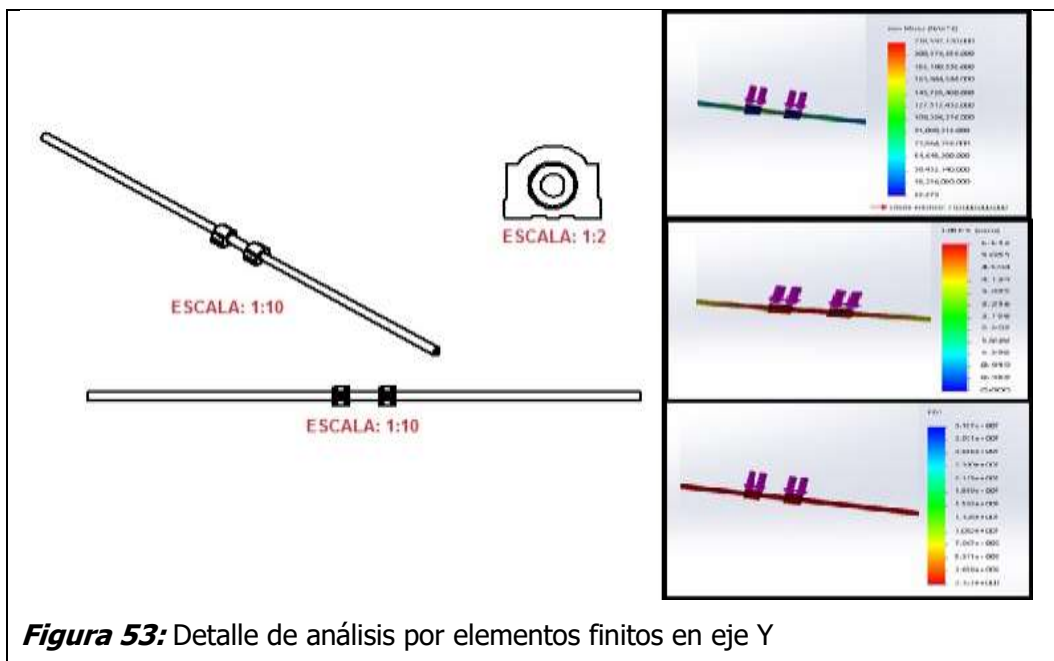
4.8. ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS EN PUNTOS CRÍTICOS DE LAS GUÍAS LINEALES EN LOS 3 EJES EN SOFTWARE CAE O FEA.

Se hizo un análisis estático en los puntos críticos de los ejes (X, Y y Z), para así hallar sus respectivas resistencias, desplazamientos y su factor de seguridad según cargas aplicadas en las guías.

Simulación de análisis estático en eje Z



Simulación de análisis estático en eje Y:



Simulación de análisis estático en eje X:

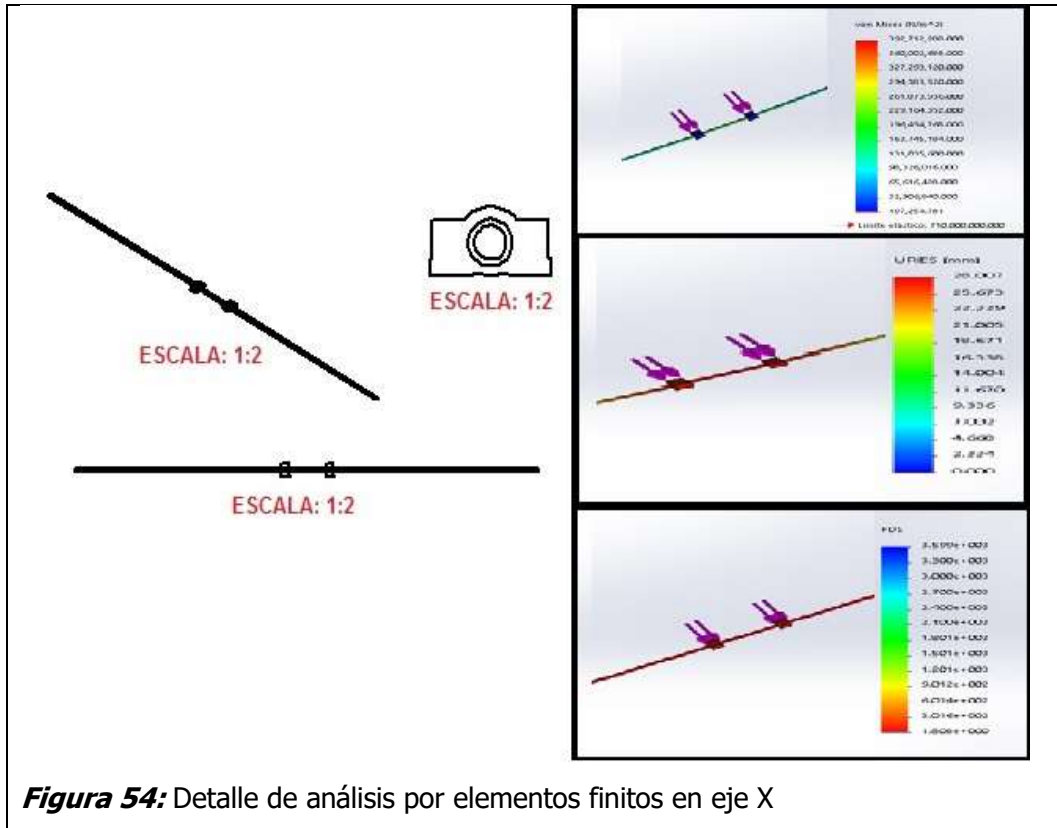


Figura 54: Detalle de análisis por elementos finitos en eje X

4.9. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS ELECTROMECAÑICOS Y ESTRUCTURALES ESTÁNDAR.

Dado los cálculos previamente realizados se optó por utilizar partes que cumplan con los requerimientos, para lo cual se determinó lo siguiente:

- **Rodamientos lineales de bolas:**

Para la selección de rodamientos se tomo en cuenta los diámetros $d_z(12\text{ mm})$, $d_y(20\text{ mm})$ y $d_x(16\text{ mm})$, para lo cual se seleccionó el rodamiento LBBR 3 a 50 mm el cual se usó para los 3 ejes.







| Rodamientos lineales a bolas | | | | | | |
|---|------|-------------|-------------------------------------|-----------------|-----------|-----------|
| | Tipo | Tamaño (mm) | Máx. carga (N) dinámica/estática | Comentarios | Serie ISO | Núm. pág. |
|  | LBBR | 3 a 50 | 6 950 / 6 300 | | 1 | 9 |
|  | LBCR | 5 a 80 | 37 500 / 32 000 | | 3 | 20 |
|  | LBCD | 12 a 50 | 11 200 / 6 950 | Autoalineante * | 3 | 21 |
|  | LBCT | 12 a 80 | 37 500 / 32 000 | | 3 | 22 |
|  | LBCF | 12 a 50 | 11 200 / 6 950 | Autoalineante * | 3 | 24 |
|  | LBHT | 20 a 50 | 17 300 / 17 000 | | 3 | 23 |

Figura 55: Rodamientos lineales de bolas
Fuente: <http://www.skf.com>

- **Unidades lineales para ejes:**

Para la selección de unidades lineales se te tomo en cuenta los diámetros $d_z(12\text{ mm})$, $d_y(20\text{ mm})$ y $d_x(16\text{ mm})$, para lo cual se seleccionó las siguientes unidades mostradas en la figura (50)

| Dimensiones | | Cargas básicas nominales | | Masa | | Designaciones | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|----|--------------------------|-------|-------|----|---------------|-------|-------|-----|----|----------------|------------------|-------|-------|------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|---------|
| F_w | A | A_1 | C_1 | D_x | H | H_1 | H_2 | H_3 | L | J | N^{D} | N_1^{H} | C | C_0 | Diseño LUHR LUJR | Unidad lineal sin retén | con retén de doble labio | con retenes de eje | |
| mm | | | | | | | | | | | | | N | kg | | | | | |
| 12 | 28 | 35 | 34 | 19 | 17 | 33 | 16 | 11 | 40 | 29 | 4,3 | M 5 | 695 | 510 | 0,08 | 0,10 | LUHR 12 | LUHR 12-2LS | LUJR 12 |
| 16 | 30 | 37 | 36 | 24 | 19 | 38 | 18 | 11 | 45 | 34 | 4,3 | M 5 | 930 | 630 | 0,10 | 0,12 | LUHR 16 | LUHR 16-2LS | LUJR 16 |
| 20 | 30 | 39 | 38 | 28 | 23 | 45 | 22 | 13 | 53 | 40 | 5,3 | M 6 | 1 160 | 800 | 0,14 | 0,18 | LUHR 20 | LUHR 20-2LS | LUJR 20 |
| 30 | 50 | 59 | 58 | 40 | 30 | 60 | 29 | 18 | 67 | 53 | 6,6 | M 8 | 3 150 | 2 700 | 0,37 | 0,44 | LUHR 30 | LUHR 30-2LS | LUJR 30 |
| 40 | 60 | 71 | 70 | 52 | 39 | 76 | 38 | 22 | 87 | 69 | 8,4 | M 10 | 5 500 | 4 500 | 0,74 | 0,86 | LUHR 40 | LUHR 40-2LS | LUJR 40 |
| 50 | 70 | 81 | 80 | 62 | 47 | 92 | 46 | 26 | 103 | 82 | 10,5 | M 12 | 6 950 | 6 300 | 1,19 | 1,37 | LUHR 50 | LUHR 50-2LS | LUJR 50 |

Figura 56: Unidades lineales para ejes
Fuente: <http://www.skf.com>

- **Usillo de bolas:**

Para el diseño de la fresadora CNC se escogió la opción más ventajosa que se muestra en la figura la cual cumple con los requisitos calculados anteriormente.

| Díámetro nominal | Paso | Tuercas | | Número de circuitos de bolas | Juego estándar | Reducción de juego a petición | Inercia | Grasa | Peso | Eje del husillo | | Grasa | Designación |
|------------------|-------|--|---|------------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|-------|-----------------|----------------------|--------------------|----------------|
| d_0 | P_h | Capacidad de carga básica dinámica C_d | Capacidad de carga básica estática C_{0d} | | | | | | | Masa | Inercia | | |
| mm | mm | kN | | | mm | | kgmm ² | cm ³ | kg | kg/m | kgmm ² /m | cm ³ /m | |
| 6 | 2 | 1,9 | 2,2 | 1x2,5 | 0,05 | 0,02 | 7,7 | 0,1 | 0,025 | 0,18 | 0,7 | 0,7 | SH 6x2 R |
| 8 | 2,5 | 2,2 | 2,7 | 3 | 0,07 | 0,03 | 1,12 | 0,1 | 0,025 | 0,32 | 2,1 | 1,1 | SD/BD 8x2,5 R |
| 10 | 2 | 2,5 | 3,6 | 3 | 0,07 | 0,03 | 1,7 | 0,1 | 0,03 | 0,51 | 5,2 | 1,4 | SD/BD 10x2 R |
| 4 | 4,5 | 5,5 | 3 | | 0,07 | 0,03 | 2,7 | 0,3 | 0,04 | 0,43 | 3,8 | 1,3 | SD/BD 10x4 R |
| 4 | 4,9 | 6,6 | 3 | | 0,07 | 0,03 | 7 | 0,4 | 0,066 | 0,71 | 10,8 | 1,6 | SD/BD 12x4 R |
| 12,7 | 12,7 | 6,6 | 8,9 | 2x3,5 | 0,07 | 0,03 | 20 | 1,1 | 0,15 | 0,71 | 16,2 | 1,6 | SH 12,7x12,7 R |
| 14 | 4 | 6 | 9,1 | 3 | 0,07 | 0,03 | 8 | 0,6 | 0,083 | 1,05 | 22 | 1,7 | SD/BD 14x4 R |
| 16 | 2 | 3,3 | 6,2 | 3 | 0,07 | 0,03 | 9,2 | 0,6 | 0,1 | 1,4 | 39,7 | 1,7 | SD/BD 16x2 R |
| | 5 | 7,6 | 10,7 | 3 | 0,07 | 0,03 | 22,7 | 0,9 | 0,136 | 1,3 | 33,9 | 2,1 | SD/BD 16x5 R |

Figura 57: selección de usillo de bolas
Fuente: <http://www.skf.com>

- **Rodamientos de una hilera de bolas de contacto angular:**

Con el valor de la carga dinámica básica requerida, se procede a seleccionar la carga máxima para el rodamiento axial del husillo, el cual llega a ser el mismo para los 3 ejes, carga dinámica máxima = 7.02 KN

| Dimensiones principales | | | Capacidad de carga básica | | Carga límite de fatiga | Velocidades nominales | | Masa | Designaciones ¹⁾ | Rodamiento de diseño básico |
|-------------------------|----|----|---------------------------|-------|------------------------|-------------------------|------------------|-------|--|-----------------------------|
| d | D | B | C | C_0 | P_u | Velocidad de referencia | Velocidad límite | | Rodamiento de emparejamiento universal | |
| mm | | | kN | | kN | r. p. m. | | kg | - | |
| 10 | 30 | 9 | 7,02 | 3,35 | 0,14 | 30 000 | 30 000 | 0,03 | 7200 BECBP | 7200 BEP |
| 12 | 32 | 10 | 7,61 | 3,8 | 0,16 | 26 000 | 26 000 | 0,036 | 7201 BECBP | 7201 BEP |
| | 37 | 12 | 10,6 | 5 | 0,208 | 24 000 | 24 000 | 0,06 | # | 7301 BEP |
| 15 | 35 | 11 | 8,8 | 4,65 | 0,196 | 26 000 | 26 000 | 0,045 | * 7202 BECBP | # |
| | 35 | 11 | 8,32 | 4,4 | 0,183 | 24 000 | 24 000 | 0,045 | # | 7202 BEP |
| | 42 | 13 | 13 | 6,7 | 0,28 | 20 000 | 20 000 | 0,08 | 7302 BECBP | 7302 BEP |

Figura 58: Rodamientos de una hilera de bolas de contacto angular
Fuente: <http://www.skf.com>

- **Motor PaP nema 34:**

En este cuadro se muestra un motor de codificación 34HST9805-37B2 que cumple con el requerimiento calculado de torque y presenta una corriente nominal de 2A ideal para el diseño en cuestión.

Electrical Specifications:

| 型号 Series Model | 步距角 Step Angle (°) | 电机长度 Motor Length (mm) | 电机额定电流 Rated Current (A) | 电机相电阻 Phase Resistance (Ω) | 电机相电感 Phase Inductance (mH) | 保持转矩 Holding Torque (Nm Max) | 启动转矩 Start Torque (Nm Max) | 额定转矩 Rated Torque (Kg·m) | 电机效率 Motor Efficiency (%) | 重量 Weight (g) |
|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------|
| 34ES4840 | 1.8 | 48 | 4.0 | 0.8 | 1.8 | 220 | 5.5 | 0.85 | 8 | 2.0 |
| 34ES4850 | 1.8 | 48 | 5.0 | 0.8 | 1.0 | 220 | 5.5 | 0.85 | 8 | 2.0 |
| 34ES4827 | 1.8 | 48 | 2.7 | 1.2 | 3.5 | 220 | 5.5 | 0.85 | 8 | 2.0 |
| 34ES7840 | 1.8 | 78 | 4.0 | 0.7 | 3.0 | 300 | 6.5 | 1.05 | 8 | 2.5 |
| 34ES7850 | 1.8 | 78 | 5.0 | 0.7 | 1.8 | 300 | 6.5 | 1.05 | 8 | 2.5 |
| 34ES7827 | 1.8 | 78 | 2.7 | 1.8 | 5.8 | 300 | 6.5 | 1.05 | 8 | 2.5 |
| 34ES9840 | 1.8 | 98 | 4.0 | 0.65 | 4.1 | 490 | 9.5 | 1.35 | 8 | 3.0 |
| 34ES9850 | 1.8 | 98 | 5.0 | 0.65 | 2.4 | 490 | 9.5 | 1.35 | 8 | 3.0 |
| 34EST985-2782 | 1.8 | 98 | 2.0 | 3.2 | 11 | 400 | 9.5 | 1.35 | 8 | 3.0 |
| 34ES1850 | 1.8 | 114 | 5.0 | 0.75 | 3.2 | 580 | 12.5 | 1.8 | 8 | 3.5 |
| 34ES1827 | 1.8 | 114 | 2.7 | 2.0 | 11.5 | 580 | 12.5 | 1.8 | 8 | 3.5 |
| 34ES1456 | 1.8 | 114 | 5.6 | 0.55 | 5.5 | 840 | 13.5 | 2.0 | 4 | 3.5 |

Figura 59: selección de motor PaP nema 34

Fuente: <http://www.longs-motor.com>

- **Acoplamiento de desplazamiento lateral**

Para los torques de los motores PaP, $T_z = 2.6 N.m$, $T_y = 1.62 N.m$ y $T_x = 2.25 N.m$, se seleccionó el acople modelo OFP 2530 para todos los ejes.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

| Modelo | Par | Par apriete | Velocidad máxima | Desalineamientos máximos admisibles | | | Constantes elásticas torsionales Ncm/rad | Masa gr | Inercia gcm ² |
|----------|-----|-------------|------------------|-------------------------------------|-------------|--------------|---|------------|-----------------------------|
| | Ncm | Ncm | r.p.m. | Angular grad. | Axial mm | Radial mm | | | |
| OFP 1922 | 180 | 180 | 2.500 | ±2 | ±0,2 | ±2,8 | 23 | 30 | 254 |
| OFP 2530 | 340 | 310 | 2.500 | ±2 | ±0,2 | ±2,8 | 23 | 30 | 254 |

MODELO OFP 1922

MODELO OFP 2530

Figura 60: Acoplamiento de desplazamiento lateral

Fuente: www.disai.net

- **Tubo cuadrado LAC:**

Para la construcción de la estructura de la máquina se utilizará tubos cuadrados, como se muestra en la figura para tener una firmeza adecuada de la máquina CNC.

| Dimensión Exterior | | Espesores (mm) | | | | | |
|--------------------|-----------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Pulgadas (") | Milímetros (mm) | 1.5 | 1.8 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 |
| - | 25 x 25 | x | | x | | | |
| 3/4 x 3/4 | - | x | | | | | |
| 1 x 1 | - | x | x | x | | | |
| - | 30 x 30 | x | | x | | | |
| 1 1/4 x 1 1/4 | - | x | x | x | | | |
| 1 1/2 x 1 1/2 | - | x | x | x | x | x | |
| - | 40 x 40 | x | | x | | | |
| - | 45 x 45 | | | x | | | |
| - | 50 x 50 | | | x | | | |
| 2 x 2 | - | x | x | x | x | x | x |
| 2 1/2 x 2 1/2 | - | | | x | x | x | |
| 3 x 3 | - | | | x | x | x | x |
| - | 100 x 100 | | | x | | | |
| 4 x 4 | - | | | x | x | x | |

Figura 61: selección de tubo cuadrado LAC

Figura: <http://www.sider.com.pe>

- **Plancha de acero normalizado:**

Para el diseño de las partes de fresadora CNC se consideró la utilización una plancha de acero de 4mm

NORMAS TÉCNICAS:

| DESIGNACIÓN | NORMAS TÉCNICAS |
|-------------|-----------------|
| Estructural | ASTM A36 |

DIMENSIONES NOMINALES:

| BOBINAS LAMINADAS EN CALIENTE BLAC A36 | PLANCHAS DELGADAS LAMINADAS EN CALIENTE PDLAC A36 |
|--|---|
| 1.5 x 1200 mm | 1.5 x 1200 x 2400 mm |
| 1.8 x 1200 mm | 1.8 x 1200 x 2400 mm |
| 1.9 x 1200 mm | 1.9 x 1200 x 2400 mm |
| 2.0 x 1200 mm | 2.0 x 1200 x 2400 mm |
| 2.2 x 1200 mm | 2.2 x 1200 x 2400 mm |
| | 2.3 x 1200 x 2400 mm |
| | 2.5 x 1200 x 2400 mm |
| | 2.9 x 1200 x 2400 mm |
| | 4.0 x 1200 x 2400 mm |
| | 4.5 x 1200 x 2400 mm |
| | 5.9 x 1200 x 2400 mm |

PROPIEDADES MECÁNICAS:

| CALIDAD | NORMA | LÍMITE DE FLUENCIA, Kg/mm ² (MPa) | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, Kg/mm ² (MPa) | ALARGAMIENTO EN 200mm (%) |
|-------------|----------|--|---|---------------------------|
| Estructural | ASTM A36 | 25.50 [250], mín. | 40.80 [400] - 56.10 [550] | 20 mín. (*) |

(*) Se acepta hasta el 18% mínimo, considerando que las planchas son de ancho mayor a 600mm.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES:
Según JIS G3193

| ESPESOR NOMINAL (mm) | TOLERANCIAS (MM) | | | |
|----------------------|------------------|-----------|-----------|---------|
| | APLANADO | ANCHO | LONGITUD | ESPESOR |
| 1.8 - 1.9 | 16 máx. | +30 -0 | +20 -0 | ±0.19 |
| 2.0 - 2.4 | 16 máx. | | | ±0.20 |
| 2.5 - 3.0 | 16 máx. | | | ±0.22 |
| 4.0 - 4.5 | 14 máx. | | | ±0.45 |
| 5.9 | 13 máx. | | ±0.50 | |

Figura 62: selección de plancha de acero normalizado

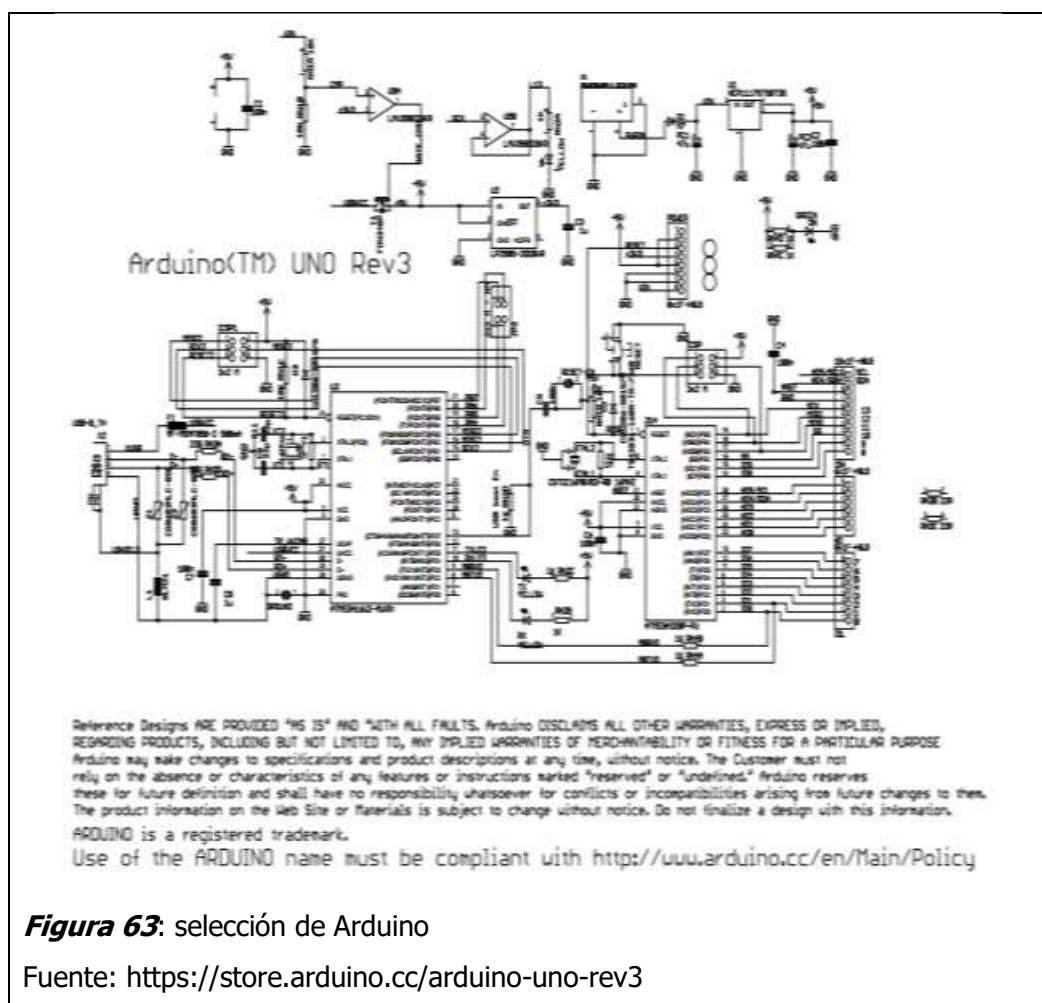
Fuente: <http://www.acerosarequipa.com>

4.10. SELECCIÓN DE LAS PARTES ELECTRÓNICAS DEL SISTEMA DE CONTROL.

Dado los cálculos previamente realizados se optó por utilizar partes que cumplan con los requerimientos, para lo cual se determinó lo siguiente:

- **Arduino uno rev 3.0:**

Como motherboard programable se estableció el uso de este componente por ser amigable en el uso de su programación, tener facilidad de adquisición en el mercado y por su bajo costo.



- **Shield grbl CNC:**

Este dispositivo fue elegido como un complemento para ayudar a facilitar el la programación grbl de los componentes controladores de motores PaP.

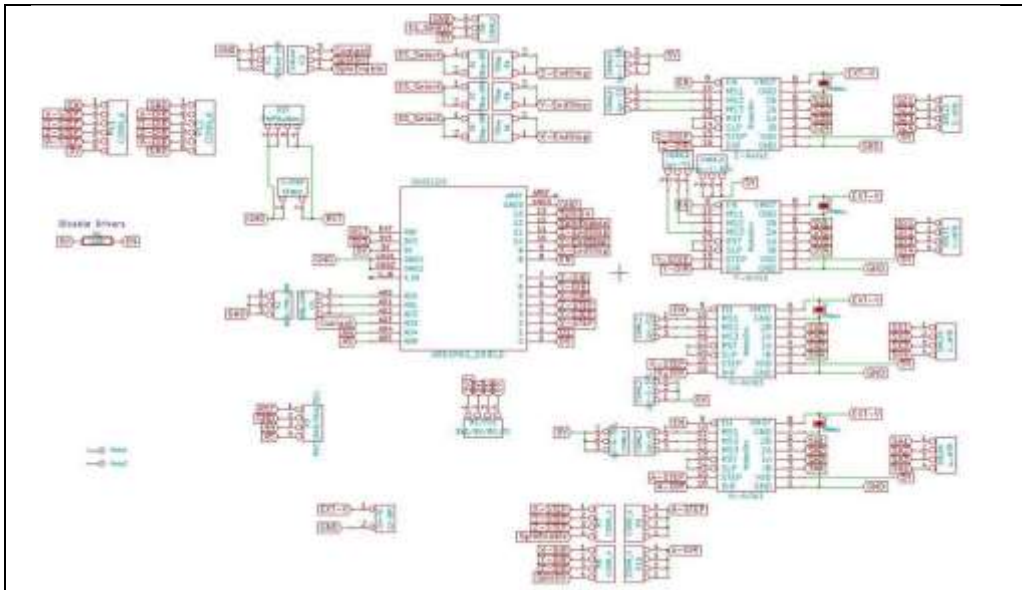


Figura 64: selección de Shield grbl CNC

Fuente: <http://blog.protoneer.co.nz/arduino-cnc-shield/>

- **Driver DVR 8825:**

Dado los cálculos realizados y el motor seleccionado se escogió dicho driver que llega a soportar la corriente nominal de dos amperios a la que trabaja el motor nema 34 ya mencionado.

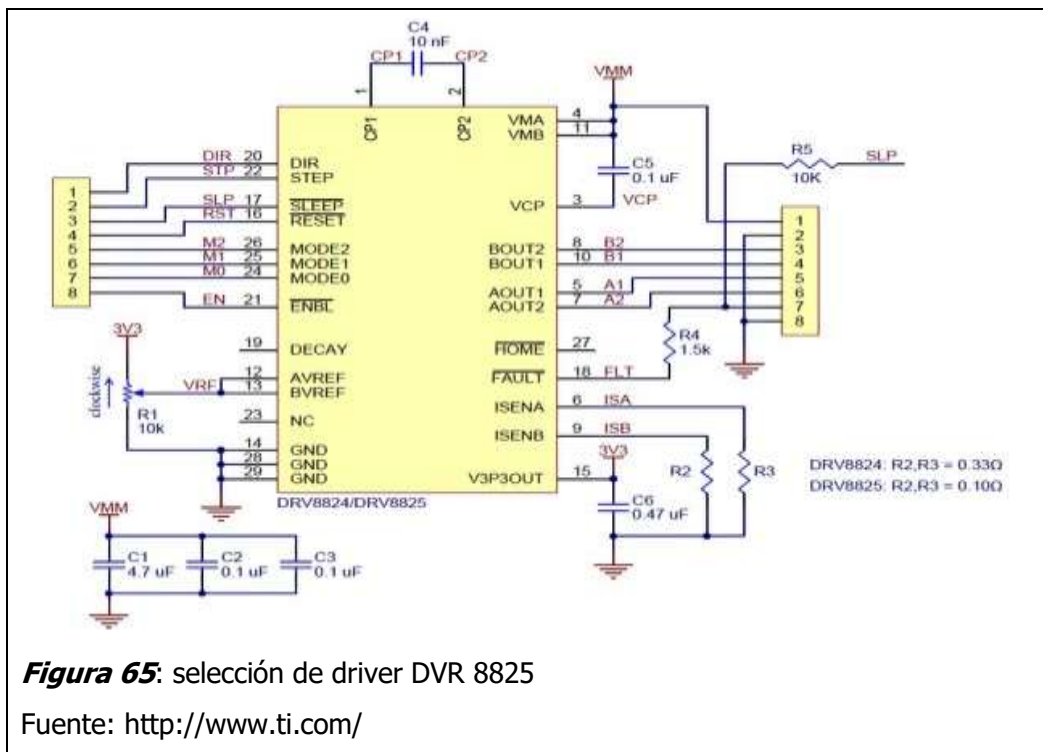


Figura 65: selección de driver DVR 8825

Fuente: <http://www.ti.com/>

4.11. SECUENCIA DE PROGRAMACIÓN.

Cargar firmware de GRBL en Arduino

GRBL está listo para la producción en poca potencia. Podemos usarlo para todo nuestro fresado, ejecutándolo desde nuestros ordenadores portátiles utilizando un script de consola simple (incluido) para transmitir el código G

Antes de cualquier conexión, se debe verificar que el Arduino Uno este correctamente acoplado al CNC-SHIELD.

GRBL es un programa multiplataforma por lo que se puede ser utilizado tanto en Windows, Mac o Linux.

Para cargar el firmware al Arduino, se lo debe conectar a cualquier puerto USB de su computadora y luego determinar el puerto COM que ha sido asignado al Arduino.

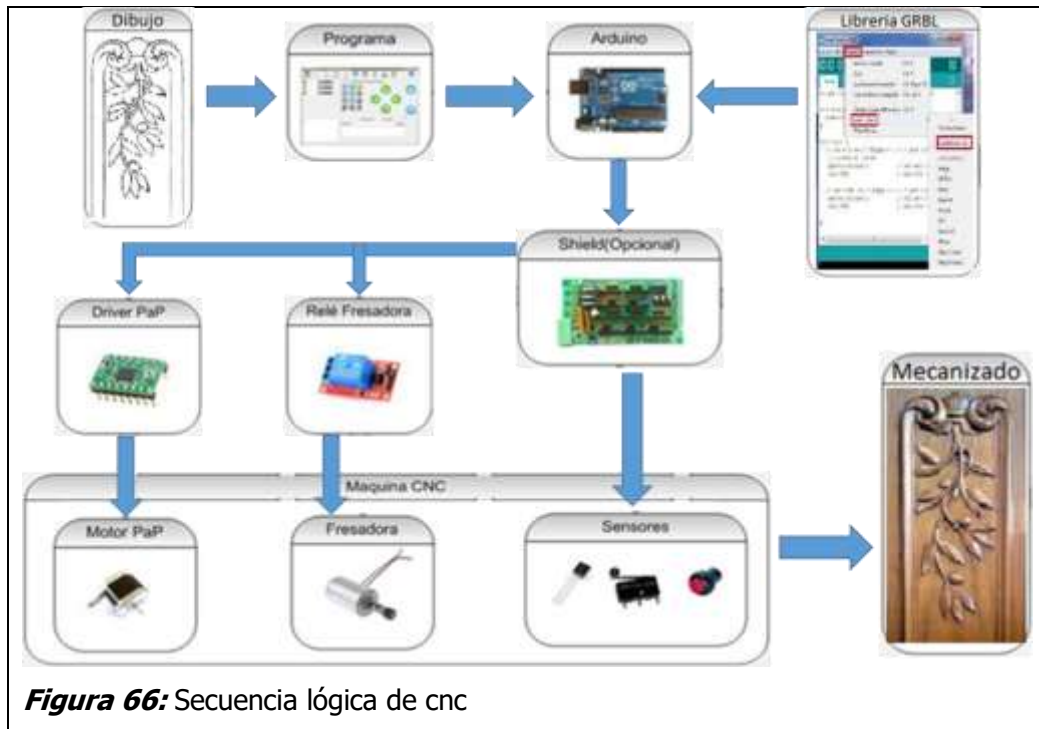
Interfaz gráfica de usuario: Universal Gcode Sender

UGS es un software diseñado para enviar código G a dispositivos de control numérico de 3 ejes. Aunque no es el más inteligente, dispone de herramientas más que suficientes para enviar a la máquina cualquier programa en código G.

UGS interpreta directamente el G-CODE, pero para configurar la CNC, el intérprete incluye una serie de comandos especiales tal como se muestran en la figura 147 de los anexos.

Maquinado

Tiene como objeto llevar a cabo el arranque de material, esto se consigue gracias a las herramientas de corte que se colocan en el husillo de la máquina y al código CNC final que es el encargado de ordenar a la máquina las trayectorias y operaciones que debe realizar para alcanzar la pieza deseada.



4.12. PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL USANDO SOFTWARE ESPECIALIZADO (SOFTWARE CAE O FEA).

Se realizó la programación y simulación del funcionamiento de la fresadora CNC, los cuales se mostrarán en los anexos finales.

4.13. ELABORACIÓN DE PLANOS

Se realizó los planos de cada material a utilizar en el diseño de la fresadora CNC, los cuales se mostrarán en los anexos finales.

4.14. ANÁLISIS ECONÓMICO (VAN-TIR-ROI).

4.14.1. Costos de inversión

Los costos para la fabricación de la máquina fresadora CNC con un volumen de trabajo de hasta 1700 x 1000 x 50 mm, fueron cotizados en base a precios de importación de Alibaba Group y precios locales de Siderurgica del Peru S.A.A. Todos los datos de costos se muestran en las tablas siguientes.

Tabla 25*Costos estructurales*

| ESTRUCTURA Y EJES DE FRESADORA | CANTIDAD | COSTO UNIT. | SUB TOTAL S/. |
|-----------------------------------|----------|----------------|------------------|
| Guía Lineal Circular eje X | 4 | 50 | 200 |
| Guía Lineal Circular eje Y | 1 | 50 | 50 |
| Guía Lineal Circular eje Z | 1 | 30 | 30 |
| Plancha Delgada LAC | 1 | 15 | 15 |
| | | Total: | 295 |

Fuente: Siderurgica del Peru S.A.A.

Tabla 26*Costo de componentes eléctricos y electrónicos*

| COMPONENTES ELECTRICOS Y ELECTRONICOS | CANTIDAD | COSTO UNIT. | SUB TOTAL S/. |
|---|----------|----------------|------------------|
| Sensor Final de Carrera Mecánico | 6 | 3 | 18 |
| Arduino Uno | 1 | 25 | 25 |
| Shield CNC | 1 | 20 | 20 |
| Driver PaP DRV8825 | 4 | 10 | 40 |
| Fuente de Alimentación DC | 1 | 80 | 80 |
| Cables | 5 | 1.5 | 7.5 |
| Conectores hembra y macho | 8 | 2 | 16 |
| Estaño | 2 | 0.5 | 1 |
| Caja porta componentes | 1 | 5 | 5 |
| | | Total: | 212.5 |

Fuente: Alibaba Group

Tabla 27*Costo de componentes mecánicos*

| COMPONENTES MECANICOS | CANTIDAD | COSTO UNIT. | SUB TOTAL S/. |
|-------------------------------------|----------|----------------|------------------|
| Motor PaP | 4 | 50 | 200 |
| Husillo de Bolas eje X | 2 | 170 | 340 |
| Husillo de Bolas eje Y | 1 | 130 | 130 |
| Husillo de Bolas eje Z | 1 | 80 | 80 |
| Perfil Cuadrado LAC | 1 | 12 | 12 |
| Rodamiento Lineal con Soporte | 16 | 15 | 240 |
| Acople de Aluminio | 4 | 10 | 40 |
| Bloque de Aluminio para Tuerca | 8 | 15 | 120 |
| Soporte Guía Lineal Circular | 16 | 10 | 160 |
| Chumacera | 2 | 8 | 16 |
| Perfil de Aluminio | 1 | 60 | 60 |
| Plataforma de Aluminio Acanalado | 1 | 300 | 300 |
| | | Total: | 1698 |

Fuente: Alibaba Group

Tabla 28*Costo de consumibles*

| CONSUMIBLES: | CANTIDAD | COSTO UNIT. | SUB TOTAL S/. |
|-------------------|----------|----------------|------------------|
| Disco de Corte | 1 | 3 | 3 |
| Disco de Desbaste | 1 | 5 | 5 |
| Pintura | 1 | 20 | 25 |
| Soldadura | 1 | 7 | 7 |
| | | Total: | 40 |

Fuente: Siderurgica del Peru S.A.A.

Tabla 29*Costos totales*

| DESCRIPCION | COSTO S/. |
|--|----------------|
| Ingeniería de diseño | 800 |
| Costos estructurales | 295 |
| Costos de consumibles | 40 |
| Costos de Componentes | 1881 |
| Costos de habilitado, soldadura e inyectado de poliuretano | 300 |
| Operario | 800 |
| Sub-total | 4145.5 |
| IGV (18%) | 746.19 |
| Total | 4891.69 |

4.14.2. Análisis de ganancia por grabados en madera**Tabla 30***Ganancia por grabado en madera mensual*

| DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD |
|--|----------------------|----------|
| Área útil de Trabajo | m ² | 1.7 |
| Costo de grabado en madera por m ² | Soles/m ² | 100 |
| Costo de grabado en madera | Soles | 170 |
| Grabados mensuales | Grabados | 6 |
| Costo del grabado en madera por mes | S/mes | 1020 |

4.14.3. Cálculo de valor actual neto y tasa interna de retorno

Tabla 31

Flujo de fondos VAN y TIR

| Descripción | Flujo de Fondos |
|------------------------------|---------------------|
| Inversión | -4891.69 |
| Mes 1 | 1020 |
| Mes 2 | 1020 |
| Mes 3 | 1020 |
| Mes 4 | 1020 |
| Mes 5 | 1020 |
| Mes 6 | 1020 |
| Tasa de Interés (Mensual) | 4.00% |
| VAN | S/.10,264.91 |
| TIR | 7% |

De esto se deduce que el proyecto es positivo ya que la tasa interna de retorno es del 7% lo cual se verificara con el ROI en la fórmula 61.

4.14.4. Periodo de retorno de inversión (ROI)

$$ROI = \frac{\text{unidad neta o ganancia obtenida}}{\text{inversion}} * 100 \quad (61)$$

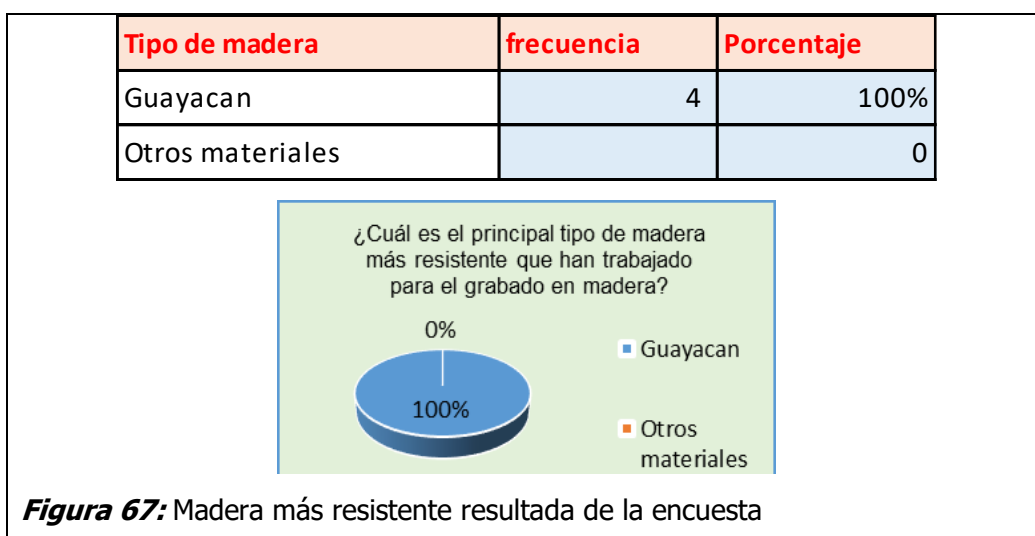
Reemplazando:

$$ROI = \frac{1020}{4183.69} * 100$$
$$ROI = 20.85 \%$$

Entonces se puede deducir q la inversión tuvo una rentabilidad del 20.85% mensual, para lo cual el tiempo estimado de retorno es en 6 meses.

4.15. Análisis de encuestas

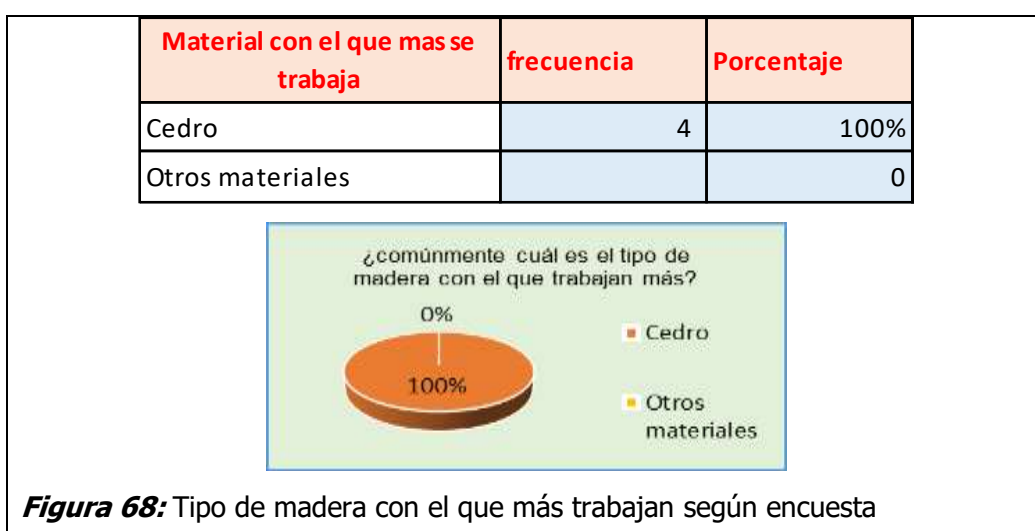
Pregunta 1. ¿Cuál es el principal tipo de madera más resistente que han trabajado para el grabado en madera?



Análisis:

De la figura N°60, observamos que el 100% de los encuestados coincidieron que el guayacán ha sido la madera más dura con la que han trabajado.

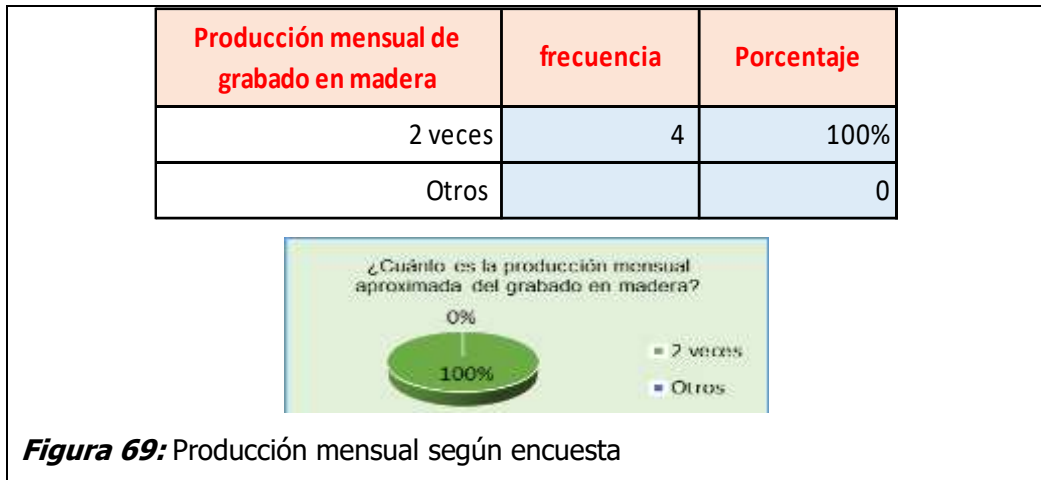
Pregunta 2. ¿Comúnmente cuál es el tipo de madera con el que trabajan más?



Análisis:

De la figura N°61, observamos que el 100% de los encuestados afirmaron que el cedro ha sido la madera más común con la que han trabajado.

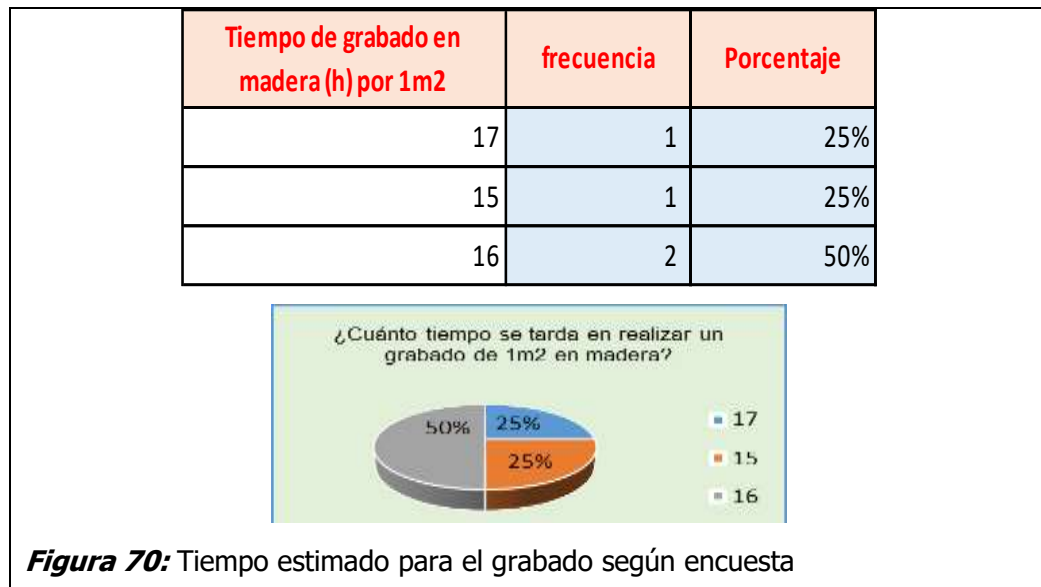
Pregunta 3. ¿Cuánto es la producción mensual aproximada del grabado en madera?



Análisis:

De la figura N°62, observamos que el 100% de los encuestados afirmaron que solo se realizan 2 trabajos en el mes.

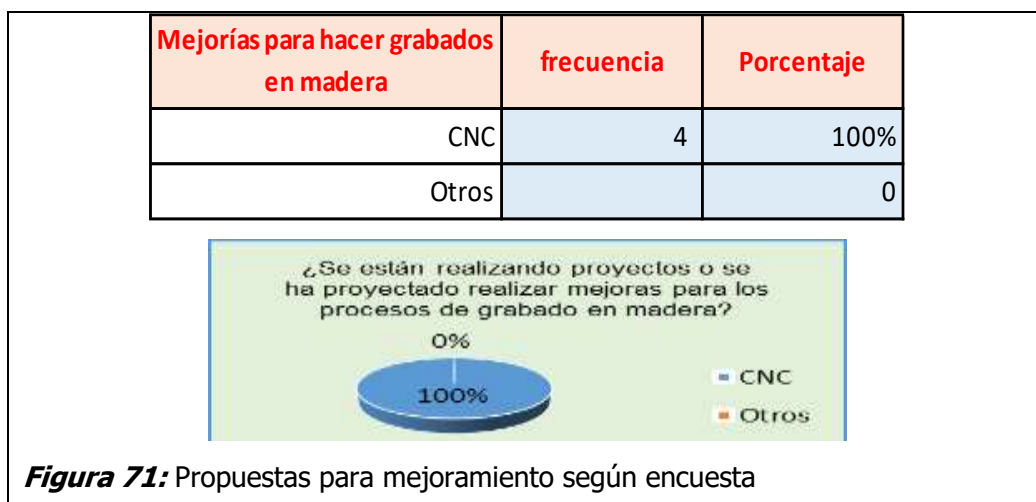
Pregunta 4. ¿Cuánto tiempo se tarda en realizar un grabado de 1m² en madera?



Análisis:

De la figura N°63, observamos que un 50% de los encuestados coincidieron que se invierte 15 horas en realizar un grabado mientras que 25% de los encuestados dijeron que se toman 15 y 17 horas respectivamente para el grabado en madera.

Pregunta 5. ¿Se están realizando proyectos o se ha proyectado realizar mejoras para los procesos de grabado en madera?



Análisis:

De la figura N°64, observamos que el 100% de los encuestados afirmaron que se están proyectando en mejorar los procesos de grabado con equipos automatizados.

Pregunta 6. ¿Cuáles son los costos del grabado de 1m² en madera?

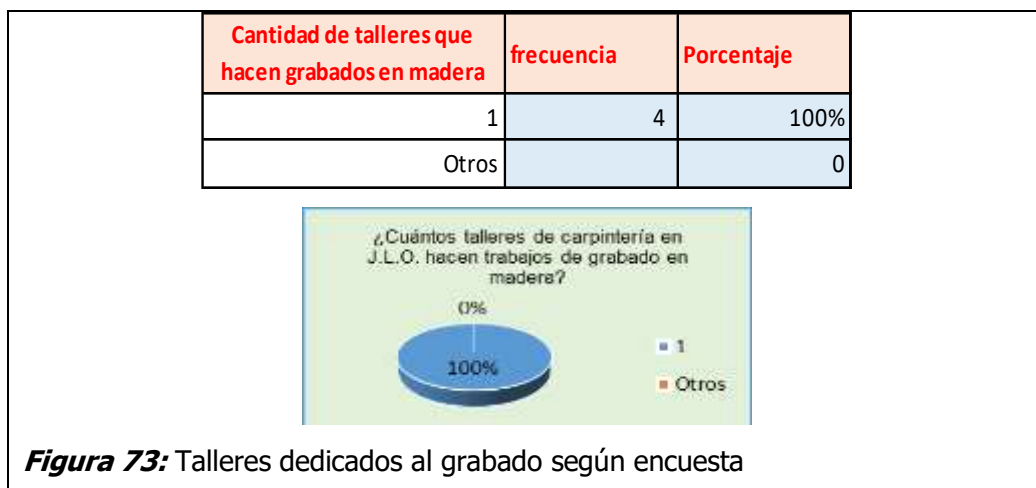


Análisis:

De la figura N°65, observamos que el 50% de los encuestados coincidieron que los costos de grabado en madera son de S/150.00

mientras que un 25% de los encuestados afirmaron que los costos de grabado son de S/140.00 y S/160.00 respectivamente.

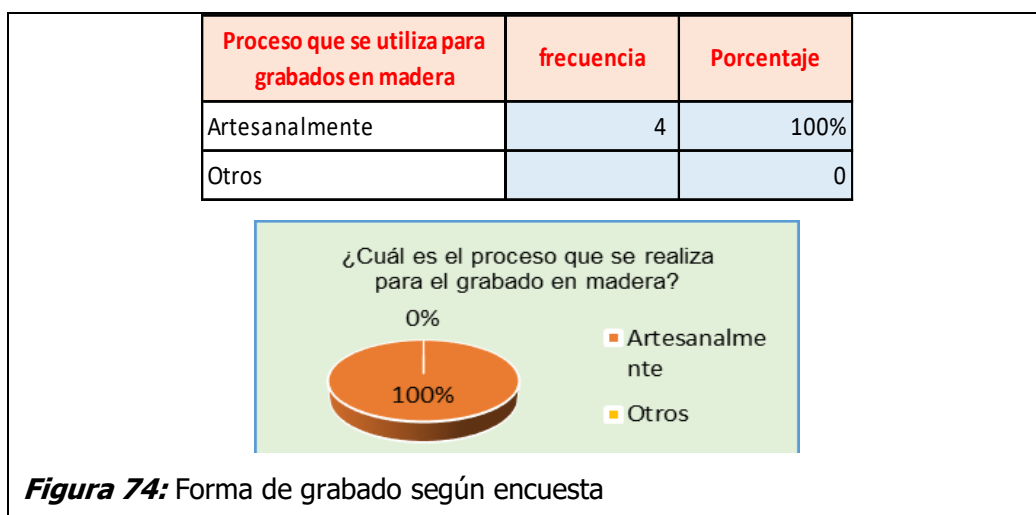
Pregunta 7. ¿Cuántos talleres de carpintería en J.L.O. hacen trabajos de grabado en madera?



Análisis:

De la figura N°66, observamos que el 100% de los encuestados coincidieron que solo hay un taller que realiza grabados en madera.

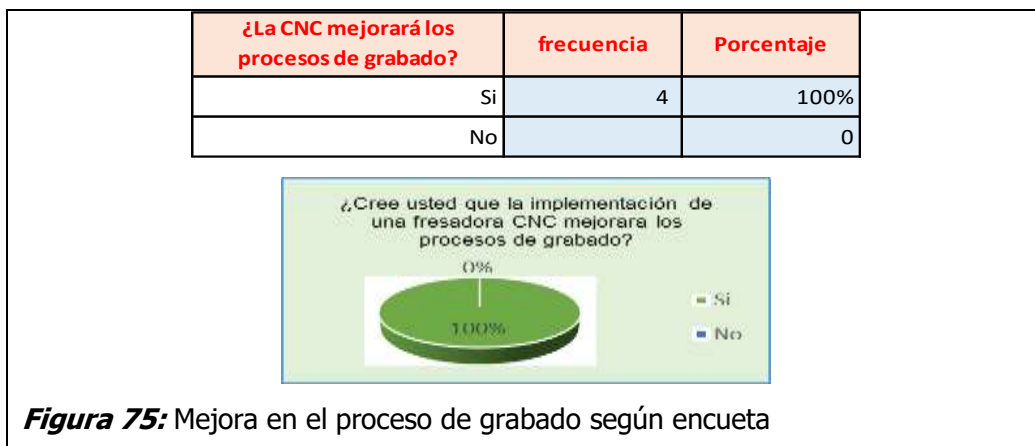
Pregunta 8. ¿Cuál es el proceso que se realiza para el grabado en madera?



Análisis:

De la figura N°67, observamos que el 100% de los encuestados afirmaron que los trabajos realizados para el grabado en madera se vienen realizando artesanalmente.

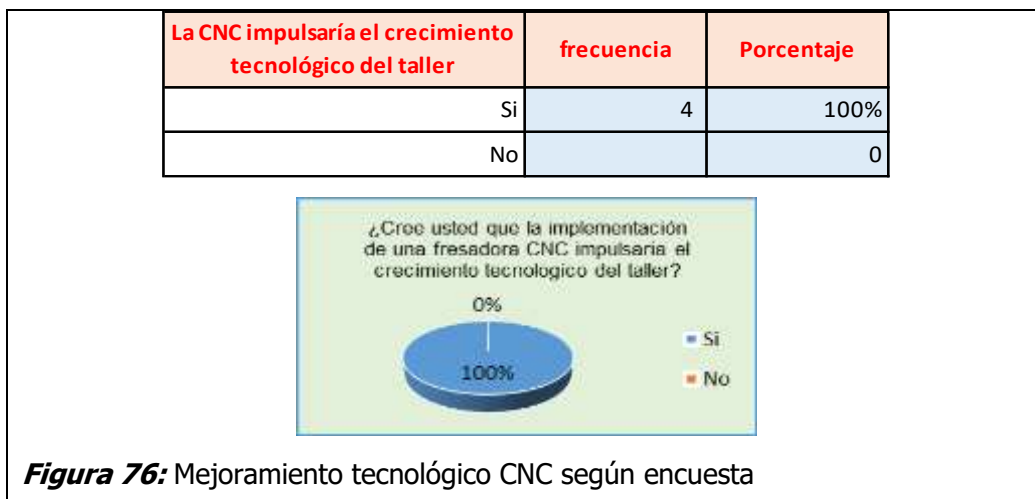
Pregunta 9. ¿Cree usted que la implementación de una fresadora CNC mejorara los procesos de grabado?



Análisis:

De la figura N°69, observamos que el 100% de los encuestados estuvieron de acuerdo en que la implementación de una CNC mejoraría los procesos de grabado.

Pregunta 10. ¿Cree usted que la implementación de una fresadora CNC impulsaría el crecimiento tecnológico del taller?



Análisis:

De la figura N°69, observamos que el 100% de los encuestados coincidieron en que la implantación impulsaría en crecimiento tecnológico en el taller.

CAPÍTULO V
ANÁLISIS E
INTERPRETACIÓN DE
RESULTADOS

5.1. CARGAS Y ESFUERZO PARA EL DISEÑO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

5.1.1. Parámetros del fresado

Se hallaron los parámetros resultantes del Fresado, los cuales se observan en la tabla (32), también se encontró la Fuerza de corte (F_c), el cuál sirvió para hallar las reacciones en los puntos críticos de la máquina.

Tabla 32

Parámetros Resultantes del Fresado

| PARAMETROS | RESULTADOS | UNIDADES |
|--------------------------------------|------------|-------------------|
| Velocidad del husillo (n) | 7519 | rpm |
| Avance de mesa (V_f) | 6316 | mm/min |
| Profundidad de corte radial (ae) | 9.53 | mm |
| Espesor medio de la viruta (hm) | 0.20 | mm |
| Fuerza de corte específica (kc) | 600.92 | N/mm ² |
| Potencia neta (P_c) | 1.21 | KW |
| Par de apriete (M_c) | 1.53 | Nm |
| Área de corte (A_c) | 0.40 | mm ² |
| Fuerza de corte (F_c) | 240.37 | N |

5.1.2. Parámetros del taladrado

Se hallaron los parámetros resultantes del Taladrado, los cuales se observan en la tabla (33), también se encontró la Fuerza de avance (F_f), el cuál sirvió para hallar las reacciones en los puntos críticos de la máquina.

Tabla 33

Parámetros Resultantes del Taladrad

| PARAMETROS | RESULTADOS | UNIDADES |
|-------------------------------------|------------|-------------------|
| Velocidad del husillo (n) | 4010 | rpm |
| Avance por diente (f_z) | 0.08 | mm |
| Avance de mesa (V_f) | 962.4 | mm/min |
| Fuerza de corte específica (kc) | 703.83 | N/mm ² |
| Consumo de potencia (P_c) | 1.49 | KW |
| Fuerza de avance (F_f) | 558.66 | N |
| Par de apriete (M_c) | 3.55 | Nm |

5.1.3. Dimensiones de las plataformas en los ejes Z, Y, X

Las dimensiones de las plataformas son medidas que se estimaron y que están dentro de las condiciones de diseño para lograr una buena consistencia en la máquina.

Para el eje Z, tenemos en total 4 distancias (l_0, l_1, l_2 y l_3), y una fuerza perpendicular a la plataforma de trabajo, en el caso de l_3 es igual a cero porque el Dremel se encuentra trabajando a la mitad de la plataforma.

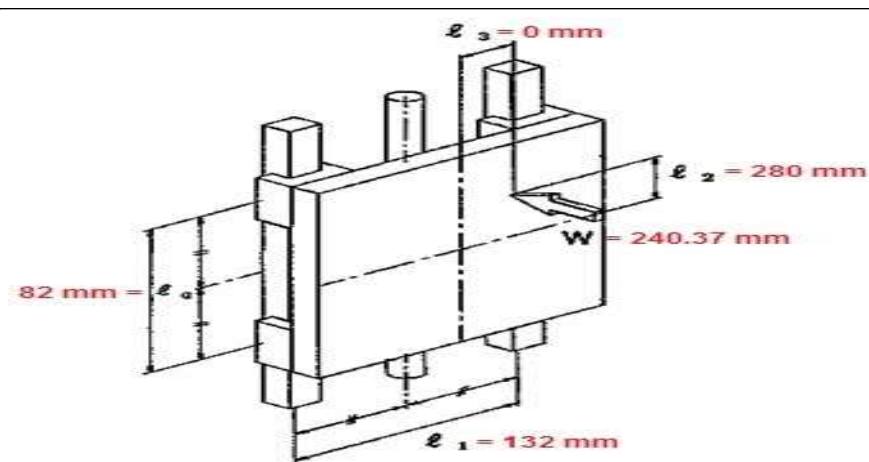


Figura 77: DIMENSIONES EN EJE Z

En el eje Y, también se cuenta con 4 distancias (l_0, l_1, l_2 y l_3), y una fuerza paralela a la plataforma de trabajo, para l_2 es igual a cero ya que el Dremel se encuentra trabajando a la mitad de la plataforma.

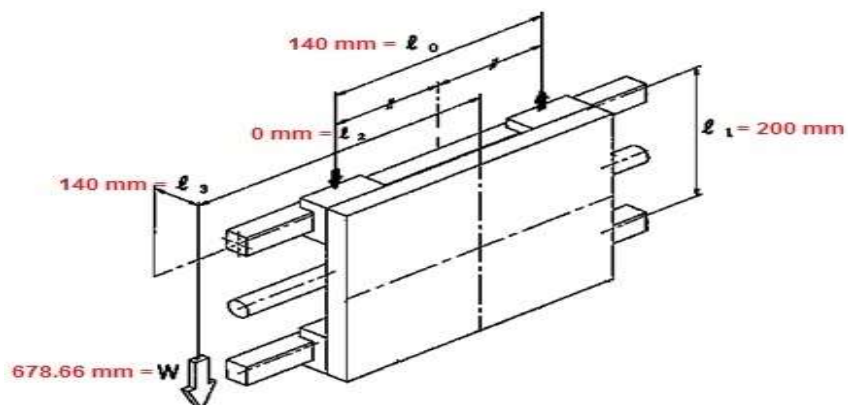
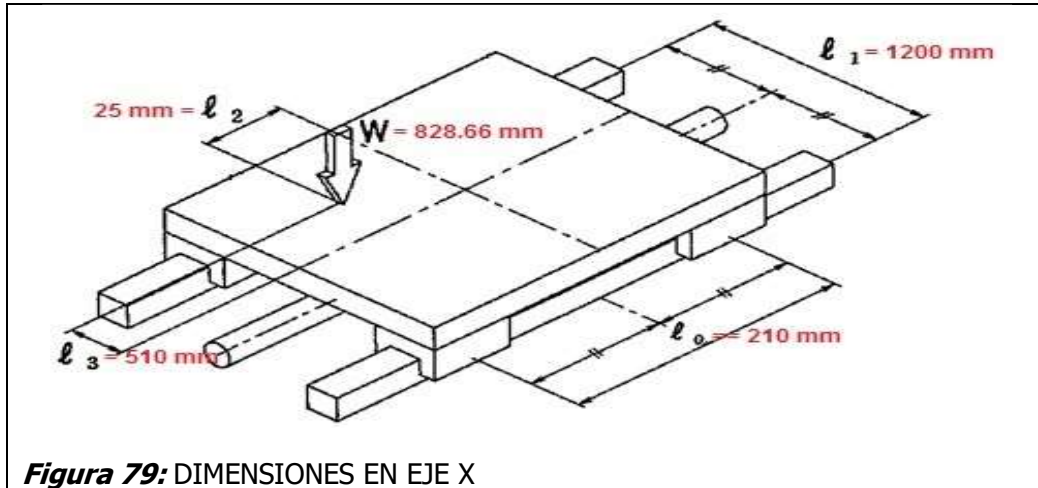


Figura 78: DIMENSIONES EN EJE Y

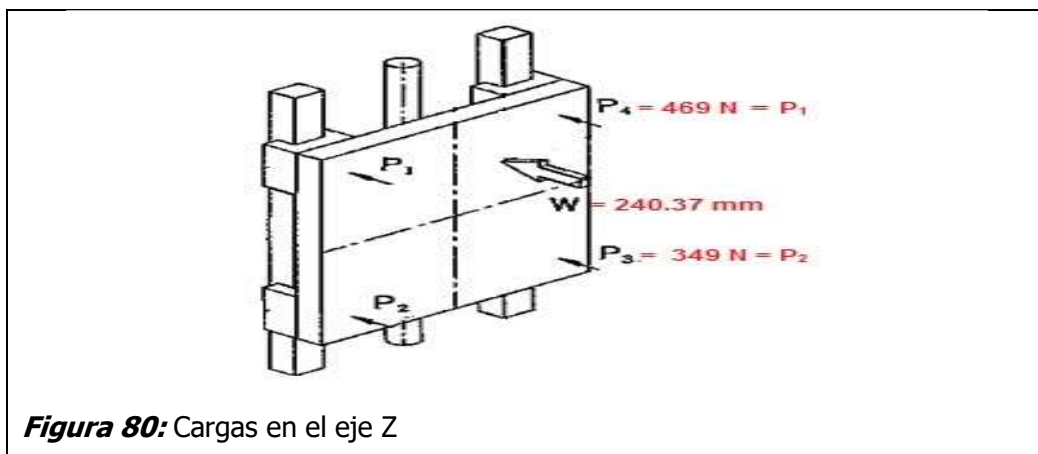
En X, nuevamente se trabaja con 4 distancias (l_0, l_1, l_2 y l_3), y una fuerza perpendicular a la plataforma de trabajo, esta es la plataforma con más carga de trabajo ya que soporta las fuerzas de los demás ejes.



5.1.4. Cargas resultantes en los puntos críticos de las guías

Después de haber aplicado momentos estáticos con las distancias y las fuerzas de corte y avance halladas, se muestra en los siguientes cuadros y gráficas las reacciones en los puntos críticos de las guías (Z, Y, X).

Para el eje Z, se observa que para calcular la mayor reacción se toma la fuerza de fresado y no la fuerza de taladrado, ya que se necesita tomar los valores más altos para la selección de las guías, siendo así una fuerza perpendicular a la plataforma y paralela a sus reacciones.



| PARAMETROS | RESULTADOS | UNIDADES |
|------------|------------|----------|
| P_1, P_4 | 469 | N |
| P_2, P_3 | -349 | N |

En el eje Y, se calculó la mayor reacción tomando la fuerza de taladrado y no la fuerza de fresado, ya que se utiliza los valores más altos para la selección de las guías, trabajando con una fuerza paralela a la plataforma y perpendicular a sus reacciones.

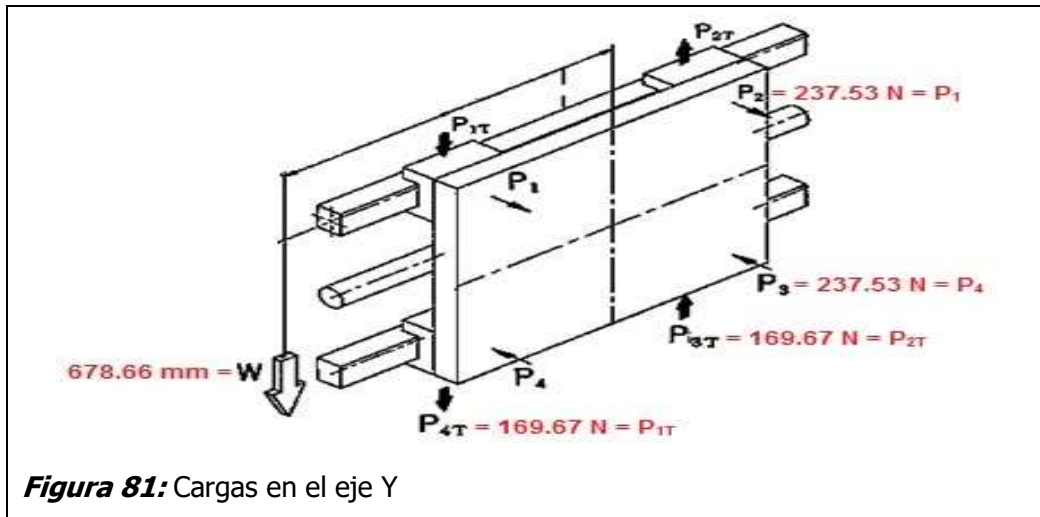


Figura 81: Cargas en el eje Y

| PARAMETROS | RESULTADOS | UNIDADES |
|------------------|------------|----------|
| P_1, P_2 | 237.53 | N |
| P_4, P_3 | -237.53 | N |
| P_{1T}, P_{4T} | 169.67 | N |
| P_{2T}, P_{3T} | 169.67 | N |
| P_T | 291.9 | N |

En Z, se halló la mayor reacción trabajando con la fuerza de taladrado y no la fuerza de fresado, ya que se necesitan los valores más altos para la selección de las guías, utilizando una fuerza perpendicular a la plataforma y paralela a sus reacciones.

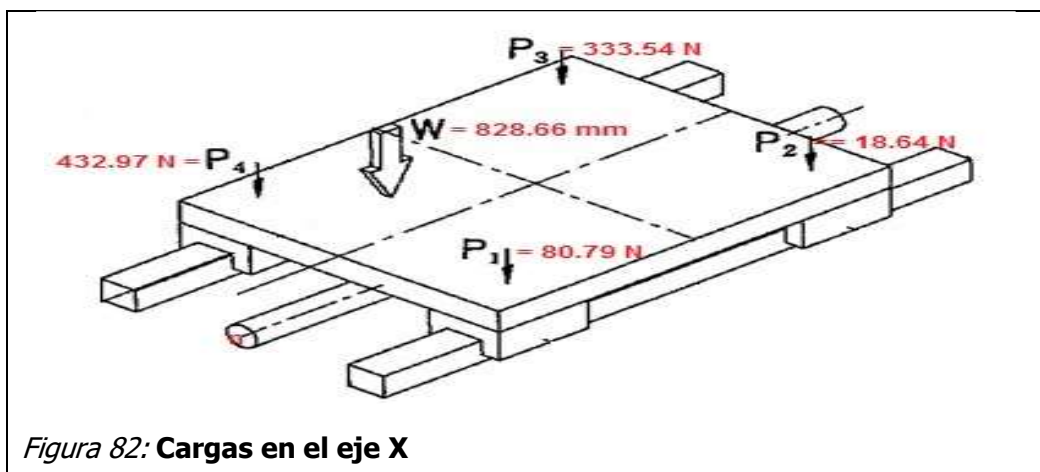


Figura 82: Cargas en el eje X

| PARAMETROS | RESULTADOS | UNIDADES |
|------------|------------|----------|
| P_1 | 80.79 | N |
| P_2 | -18.64 N | N |
| P_3 | 333.54 | N |
| P_4 | 432.97 | N |

5.2. SIMULACION EN LOS PUNTOS CRÍTICOS DE LAS GUÍAS LINEALES DE LOS 3 EJES EN SOFTWARE CAE O FEA.

Análisis en el eje Z:

Se modeló siguiendo las especificaciones gráficas calculadas, tomando el diámetro de (10 mm) para el eje de husillo de bolas. Se procedió a usar el mallado basado en curvatura del software CAE o FEA como se muestran en las figuras.

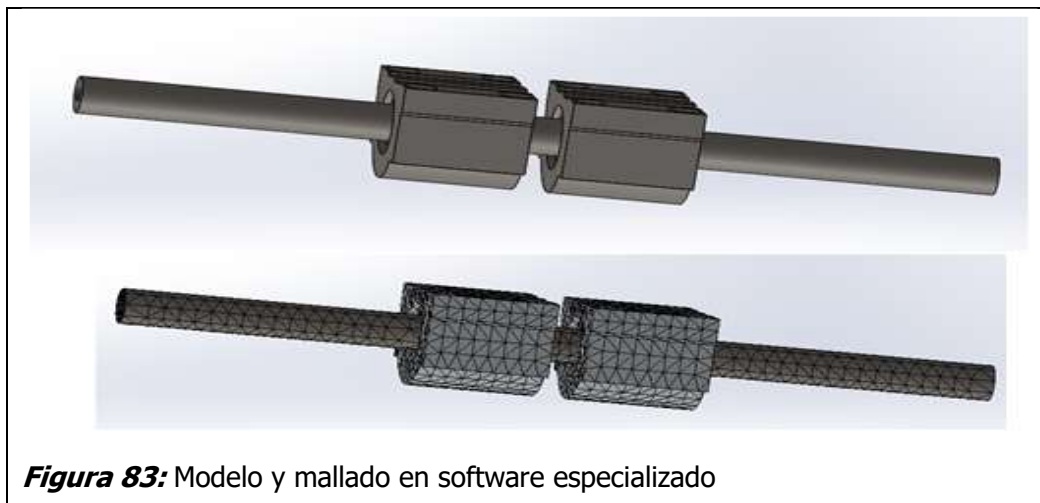
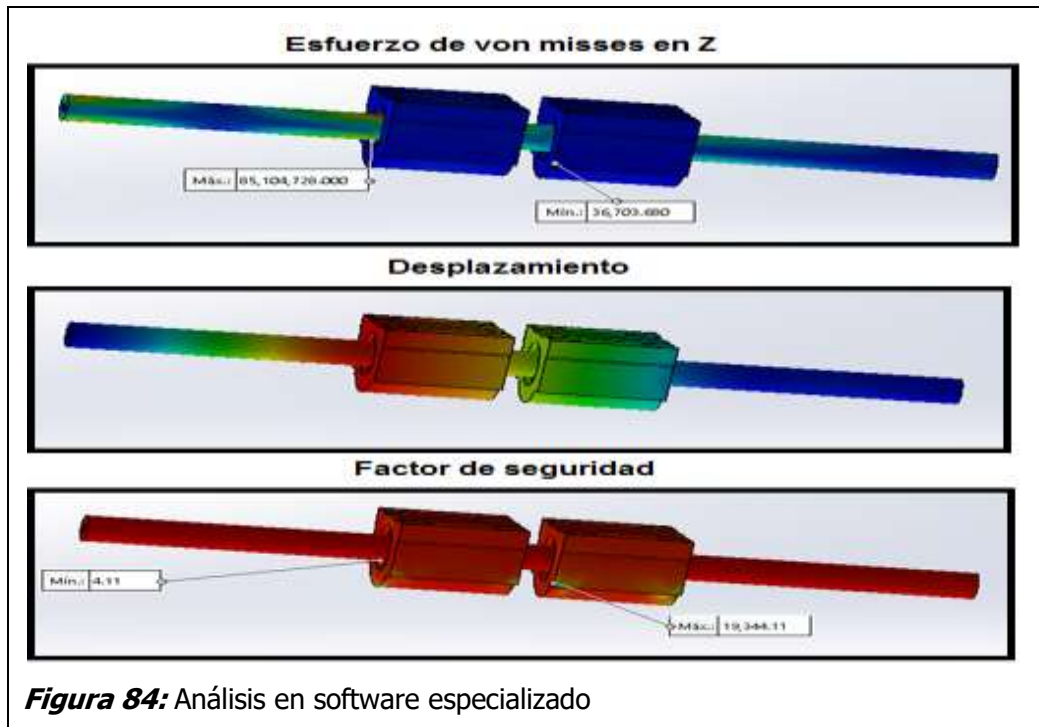


Figura 83: Modelo y mallado en software especializado

Para el análisis por elementos finitos en los puntos críticos de las guías, se aplicaron fuerzas perpendiculares en el eje (Z). Gracias al método de formulación de desplazamientos de elementos finitos se logró calcular los esfuerzos de Von Mises (85.36 MPa) máximo siendo inferior al límite de fluencia con un valor de (370 MPa), los desplazamientos (0.079) mm máximo y el factor de seguridad (4.1), lo cual me indica que los ejes si son factibles para realizar este tipo de trabajos.



Análisis en el eje Y:

Se modeló respetando las especificaciones gráficas halladas, tomando el diámetro (19 mm) para el eje de husillo de bolas. Se trabajó con el mallado basado en curvatura software CAE o FEA como se observan en las figuras.



Para el análisis por elementos finitos en los puntos críticos de las guías, se utilizaron fuerzas perpendiculares en el centro de los ejes (Y). A través del método de desplazamientos de elementos finitos se logró calcular los esfuerzos de Von Mises (218 MPa) el cual es un resultado

inferior al límite de fluencia con (370 MPa), los desplazamientos (1.35 mm) y un factor de seguridad (1.7), lo cual indica que los ejes van a trabajar sin ningún problema.

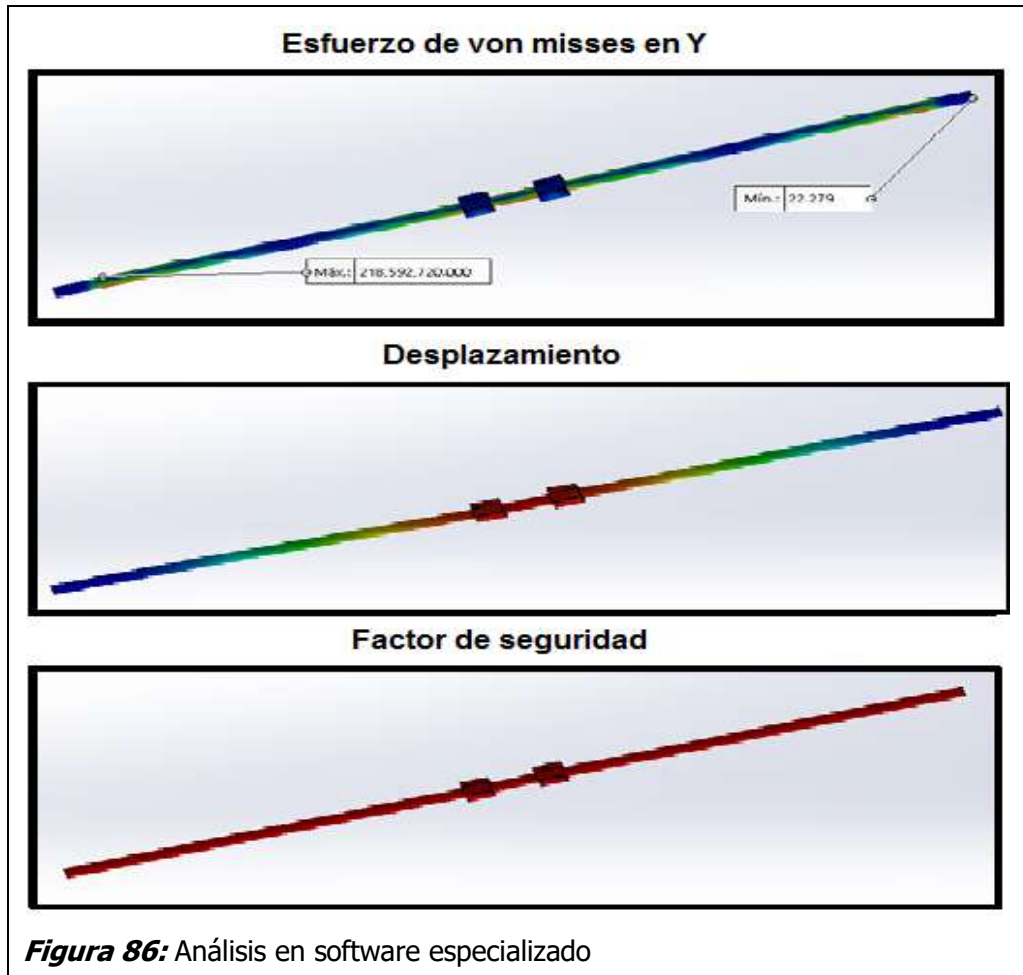


Figura 86: Análisis en software especializado

Análisis en el eje X:

Se modeló utilizando las especificaciones gráficas halladas, tomando el diámetro (25) para el eje de husillo de bolas. Se procedió a usar el mallado basado en curvatura software CAE o FEA como se visualiza en las figuras.

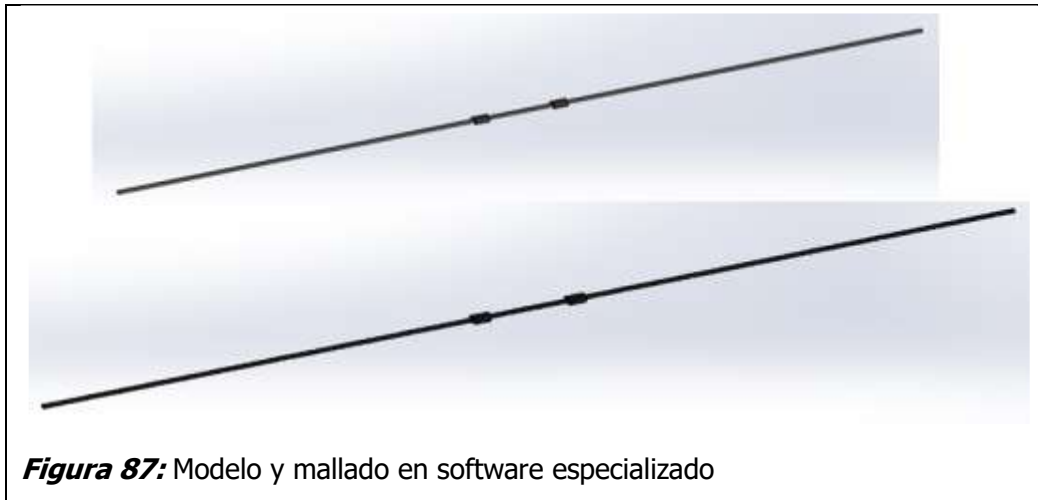


Figura 87: Modelo y mallado en software especializado

En este análisis por elementos finitos en los puntos críticos de las guías, se utilizaron fuerzas perpendiculares en el centro de los ejes (X). Aplicando el método de formulación de desplazamientos de elementos finitos se logró calcular los esfuerzos de Von Mises (176.1 MPa) demostrando ser inferior al límite de fluencia (370 MPa), los desplazamientos (2.1 mm) y el factor de seguridad (1.8), lo cual me indica que los ejes si van a soportar dichas cargas y van a ejercer un buen trabajo.

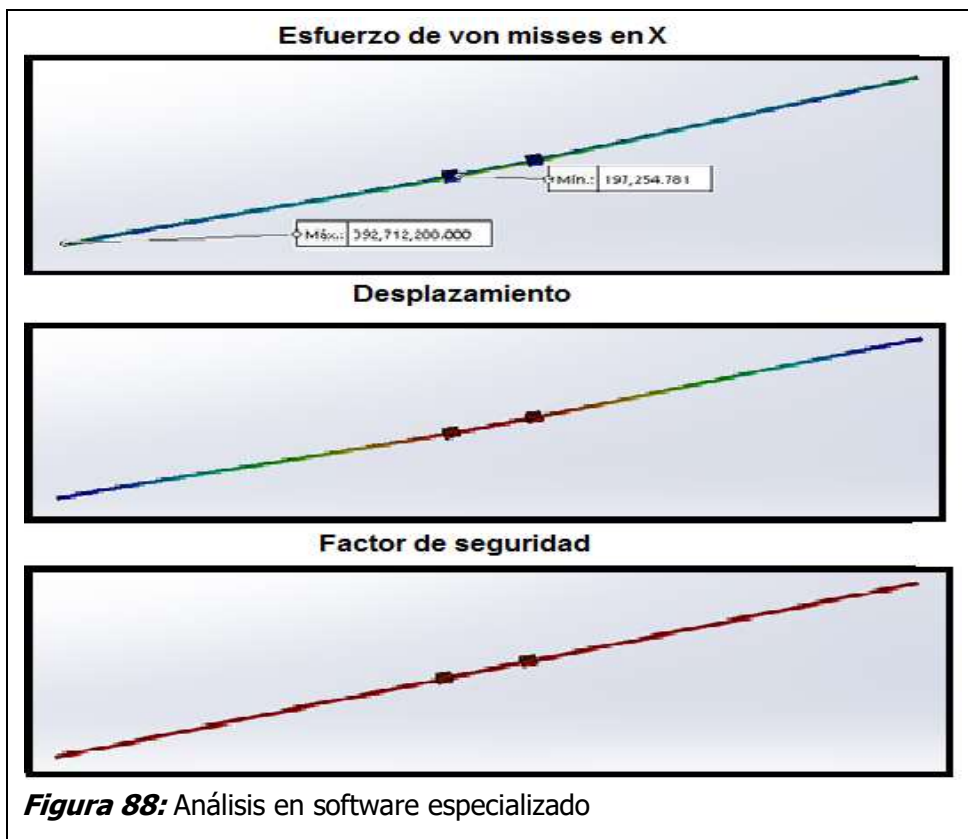


Figura 88: Análisis en software especializado

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

1. 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 mostrados en la tabla (8), además de satisfacer las necesidades requeridas de la empresa.
2. El cálculo manual inicial fue beneficioso ya que se pudo hallar con éxito los diámetros de las guías en los tres ejes X, Y, Z (24.3mm, 18.55mm, 9.18mm respectivamente), y diámetros de tornillos de (12mm, 12mm, 10mm respectivamente) para la máquina fresadora CNC.
3. El análisis por elementos finitos software CAE o FEA permitió diseñar adecuadamente las guías lineales en los tres ejes, además de aplicar las cargas ejercidas en dichos elementos a la realidad manteniendo al mismo tiempo un adecuado factor de seguridad (1.8, 2.4 y 4 respectivamente).
4. El estudio paramétrico de la variación de distancias respecto a sus ejes con los parámetros de velocidad de corte, fuerzas de corte específica, diámetro de la herramienta de la fresa y el taladro, mostró ser una herramienta muy útil para la obtención de momentos flectores máximos y así obtener el diámetro de las guías seleccionando el acero AISI 1018 con un esfuerzo de fluencia (370 N.mm^2). La influencia de estos parámetros que podía inferirse en forma empírica, pero pudo expresarse en forma cuantitativa en términos de la física.
5. El GRBL es un programa muy completo que nos ayuda a leer códigos G complejos en los trabajos de mecanizado muy extensos pues este programa funciona como OS para el reconocimiento de los drivers motores y demás componentes.

6. La fresadora CNC, es un sistema mecánico diseñado a bajo costo como se mostró en la tabla (25) ya que dio como resultado de costo de total S/4891.69, por lo que es favorable para el taller EL NAZARENO S.R.L. que se dedican a grabados de piezas, logrando obtener la ventaja de reducir tiempos de entrega con un grado confortable de precisión en sus trabajos.
7. Se concluye que el proyecto es factible dado que el VAN es positivo (10264.91) con un periodo de retorno estimado de 6 meses, además el TIR fue del (7%), siendo mayor que la tasa de interés bancaria (4.0%), lo que demuestra que la inversión es rentable. Del ROI (20.85%) se afirma la idea de una buena rentabilidad económica.

6.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer grabados con el volumen máximo de trabajo diseñado para la CNC de 1700 x 1000 x150 mm en XYZ.

Esta máquina ha sido diseñada sólo para hacer trabajos en madera y materiales más blandos que esta, no para trabajar con metales ni cerámicos o materiales con mayor dureza.

Al momento de reemplazar los rodamientos, husillos, motores u otros elementos; de preferencia que sean de la misma marca y que cumplan con las mismas especificaciones técnicas, ya que estas han sido diseñadas con parámetros establecidos en la elaboración de la CNC.

La máquina CNC está diseñada sólo para trabajar como fresadora y taladro, mas no para otras utilidades.

Trabajar con una tensión de 220 v en corriente alterna.

Realizar mantenimiento preventivo cada año.

CAPÍTULO VII
REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- bermaq. (2015). *fn-c-p*.
- BOSCH. (2016). *Herramientas eléctricas profesionales*.
- CAICEDO GUERRA, E. D. (2017). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA*. MEXICO.
- CAICEDO GUERRA, E. D. (2017). *Diseño e implementación de una máquina router cnc de 4 ejes para el tallado de modelos 3D en madera*. MEXICO.
- CAICEDO GUERRA, E. D. (2017). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA ROUTER CNC DE 4 EJES PARA EL TALLADO DE MODELOS 3D EN MADERA* .
- Dieter, G. E. (2012). *Engineering design*.
- Eggert, R. J. (2010). *Engineering Design*.
- Elías, C. (2011). *El arte de la madera, una formación en peligro de extinción*. LA CORUÑA.
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna 3ra*.
- Inventables. (2016). *x-carve*.
- Luis Felipe Loaiza Ojeda, G. R. (2012). *Diseño y Construcción de un prototipo de Fresadora CNC para piezas de madera para el A.E.I.R.N.N.R. Loja*.
- machines, a. p. (2015). *euro-px*.
- Santos, Á. A. (2016). *Diseño de una Fresadora Router CNC*.
- SKF. (s.f.). *Husillos de bolas laminados de precisión*.
- Steve Alexander Palma Chauca, R. C. (2012). *PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN DE MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA OPTIMIZAR LA OPERACIÓN DE CORTES RECTOS EN LA MANUFACTURA DE MUEBLES EN MELAMINA*. lima.
- THK. (s.f.).
- THK. (2009). *Guías de movimiento lineal*.
- Ulrich, K. &. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*.
- Valdés, T. S. (2014). *TALLADO EN MADERA DE LINARES*,. Linares.
- Vilca, Y. N. (2016). *Producción artesanal en el Perú*. Lima.

CAPÍTULO VIII

ANEXOS

ANEXO 01

Entrevista para el dueño del taller

ENTREVISTA N°01

OBJETIVO: Recopilar información general sobre los procesos realizados

ENTREVISTADO:

Cuestionario:

1. ¿Cree usted que es necesario el empleo de nuevas tecnologías en el proceso de grabado de madera y sus derivados?

SI..... NO.....

2. ¿Estaría de acuerdo a invertir en la adquisición de una máquina CNC, que mejore su producción?

SI..... NO.....

3. ¿Estaría ud. en la capacidad de operar una máquina herramienta CNC?

SI..... NO.....

4. En caso de responder no a la pregunta 3. ¿Estaría de acuerdo en recibir una capacitación del funcionamiento de la máquina herramienta CNC?

SI..... NO.....

5. ¿Cómo calificaría del 1 al 10 la idea de construir una máquina herramienta CNC que mejoren el proceso de grabado y tallado en madera, en nuestro medio?

- Excelente..... (9-10)
- Buena..... (7-8)
- Regular..... (4-6)
- Malo..... (1-3)

6. ¿Cuántos trabajadores realizan un grabado en madera de 1m²?

| | | | |
|--|--------|--|-------------------------------|
| | Solo 1 | | 2 |
| | 3 | | Más de 4 especifique cantidad |

7. ¿Cuántos trabajadores de su taller se dedican a este trabajo?

| | | | |
|--|--------|--|-------------------------------|
| | Solo 1 | | 2 |
| | 3 | | Más de 4 especifique cantidad |

8. ¿Cuántos grabados en madera realiza al año en su taller?

| | |
|--|---------------------|
| | Menor a 10 grabados |
| | 10 a 20 grabados |
| | 20 a 30 grabados |
| | 30 a 40 grabados |
| | 40 a 50 grabados |
| | Más de 50 grabados |

9. ¿Cuánto tiempo se utiliza para el grabado en madera de 1m² completamente terminado?

| | | | |
|--|----------------|--|-------------------|
| | Menor a 1 hora | | De 9 a 11 horas |
| | De 1 a 3 horas | | De 11 a 13 horas |
| | De 3 a 5 horas | | De 13 a 15 horas |
| | De 5 a 7 horas | | De 15 a más horas |
| | De 7 a 9 horas | | |

10. ¿Cuánto es su ganancia media aproximada en grabados de madera anual?

| | |
|--|----------------------|
| | Menor a 2000 soles |
| | De 2000 a 3000 soles |
| | De 3000 a 4000 soles |
| | De 4000 a 5000 soles |
| | De 5000 a 6000 soles |
| | Mayor a 6000 soles |

ANEXO 02

Encuesta para el trabajador de carpintería

ENCUESTA N° 01

OBJETIVO: Recopilar información general sobre la producción del grabado de madera en carpinterías

ENTREVISTADO:

CARGO:

Cuestionario:

- 1. ¿Cuál es el principal tipo de madera más resistente que han trabajado para el grabado en madera?**
- 2. ¿comúnmente cuál es el tipo de madera con el que trabajan más?**
- 3. ¿Cuánto es la producción mensual aproximada del grabado en madera?**
- 4. ¿Cuánto tiempo se tarda en realizar un grabado de 1m² en madera?**
- 5. ¿Se están realizando proyectos o se ha proyectado realizar mejoras para los procesos de grabado en madera?**
- 6. ¿Cuáles son los costos del grabado de 1m² en madera?**
- 7. ¿Cuántos talleres de carpintería en J.L.O. hacen trabajos de grabado en madera?**

8. ¿Cuál es el proceso que se realiza para el grabado en madera?
9. ¿Cree usted que la implementación de una fresadora CNC mejorara los procesos de grabado?
- SI..... NO.....
10. ¿Cree usted que la implementación de una fresadora CNC impulsaría el crecimiento tecnológico del taller?
- SI..... NO.....

ANEXO 03
GUÍAS DE ANÁLISIS DE DOCUMENTOS

| ÍTEM | FINALIDAD | APLICACIÓN |
|-----------------|---|--|
| Normal AISI 304 | Finalidad estructural; equipos para la industria química y naval; válvulas y piezas de tuberías; industria frigorífica; instalaciones criogénicas; almacenes de agua; tanques de almacenamiento de cerveza. | La estructura y componentes estarán compuestos de acero inoxidable AISI304. |
| ISO 9001 | Es una norma internacional que se aplica a los sistemas de gestión de calidad (SGC). | Se usara para determinar la calidad de la máquina a diseñar y el producto. |
| OHSAS 18001 | Seguridad y Salud Ocupacional para cada empleado y empleador, La Seguridad y Salud en el lugar de trabajo son claves para cualquier organización. | Se tendrá en cuenta dicha normal para el diseño de la máquina en cuanto a la salud ocupacional del operario. |



Figura 89: Caracterización de la Madera
Fuente: <http://www.conafor.gob.mx>

D Información del producto

Fórmula de cálculo

Vida nominal

$$L_{10} = \left(\frac{C_a}{F_m} \right)^3$$

Capacidad de carga requerida

$$C_{req} = F_m (L_{10})^{1/3}$$

donde

L_{10} = vida útil [millón de revoluciones]

C_a = capacidad de carga dinámica básica [N]

C_{req} = capacidad de carga dinámica requerida [N]

F_m = carga cúbica media [N]

Carga media equivalente

- Ciclo de servicio con carga escalonada

$$F_m = \frac{(F_1^3 L_1 + F_2^3 L_2 + F_3^3 L_3 + \dots)^{1/3}}{(L_1 + L_2 + L_3 + \dots)^{1/3}}$$

donde

L_n = periodo de carga n (→ diagrama 2)

F_n = carga durante periodo n (→ diagrama 2)

F_n puede ser un valor fijo, o F_n se puede calcular mediante la siguiente fórmula para F_m

- Ciclo de servicio con variación de carga continua

$$F_m = \frac{F_{min} + 2F_{mib}}{3}$$

donde

F_{min} = carga mínima (→ diagrama 3)

F_{mib} = carga máxima (→ diagrama 3)

Velocidad crítica del eje del husillo (sin valor de seguridad)

$$n_{cr} = 49 \times 10^6 \frac{f_1 d_2}{l^2}$$

donde

n_{cr} = velocidad crítica [rpm]

d_2 = diámetro de raíz [mm]

l = longitud libre, o distancia entre los dos rodamientos de apoyo [mm]

f_1 = factor de corrección de montaje

0,9 ●●●● fijo, libre

3,8 ●●●●● fijo, soporte radial

5,6 ●●●●●● fijo, fijo

Nota: por lo general, se recomienda aplicar un factor de seguridad de 0,8 al valor calculado de velocidad crítica n_{cr} , del eje del husillo.

Límite de velocidad del mecanismo (velocidad máxima aplicada durante periodos muy breves)

Con recirculación mediante inserciones/tubos (SD/BQ/SH-SDS/BDS/SHS-SX/BX -SND/BNQ/PND-SN/BN/PN):

$$n_{d0} < 50\,000$$

Con recirculación a través de la brida (SL/TL-SLQ/TLQ):

$$n_{d0} < 90\,000$$

Si $n_{d0} > 50\,000$ o $90\,000$ respectivamente, consulte a SKF

donde

n = velocidad rotacional [rpm]

d_0 = diámetro nominal del eje del husillo [mm]

La aceleración máxima admisible es de $4\,000 \text{ rad/s}^2$

Resistencia al pandeo, con factor de seguridad 3

$$F_c = \frac{34 \times 10^3 F_3 d_2^4}{l^2}$$

donde

F_c = resistencia al pandeo [N]

d_2 = diámetro de raíz [mm]

l = longitud libre, o distancia entre los dos rodamientos de apoyo [mm]

F_3 = factor de corrección de montaje

0,25 ●●●● fijo, libre

2 ●●●●● fijo, soporte radial

4 ●●●●●● fijo, fijo

Diagrama 2

Carga media equivalente

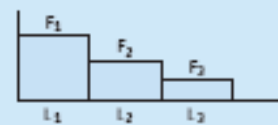


Diagrama 3

Carga media equivalente



Fig. 11



Rotación Traslación

Fig. 12



Traslación Rotación

Fig. 13

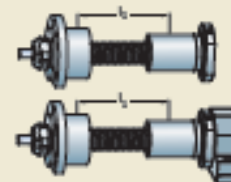


Fig. 14

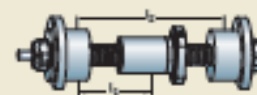


Figura 90: Husillos de bolas laminados de precisión
Fuente: <http://www.skf.com>

Husillos de bolas laminados de precisión



Figura 91: Husillos de bolas laminados de precisión
Fuente: <http://www.skf.com>

Unidades y rodamientos lineales para ejes

prelubricados de fábrica SKF



Figura 92: Rodamientos lineales
Fuente: <http://www.skf.com>

Rodamientos



Figura 93: catálogo de rodamientos
Fuente: <http://www.skf.com>

LONGS MOTOR English Deutsch Español

Home Page About us Products News Services Contact us

Through Hole Shaft Key Way Shaft Flat Shaft **Shaft Mode** Screw Thread Shaft

Home > Products > Hybrid Stepper Motor

34HS (86BYGH 1.8°)

Model: 34HS

| | | |
|---------------------------|-------|-------------------|
| Step Accuracy | ----- | ±5% |
| Temperature Rise | ----- | 80℃ Max. |
| Ambient Temperature Range | ----- | -20℃~+50℃ |
| Insulation Resistance | ----- | 100MΩ Min. 50V DC |
| Dielectric Strength | ----- | 500V AC 1minute |

Products

- Hybrid Stepper Motor
- Hybrid Linear Stepper Motor
- Hybrid Gearbox Stepper Motor
- Stepper Motor Driver
- Brushless DC Motor
- Brushless DC Motor Driver
- Power Supply
- CNC Router

Contact Us

Lida Industrial Zone, Changde Road
 No. 1, Qiduyuan Area, Changzhou
 City: Jiangsu Province, P.R. China
 TEL: 0086-519-85139166
 0086-519-85139166
 FAX: 0086-519-85136737
 EMAIL: mary@longs-motor.com
 chenry@longs-motor.com

Details

Product Picture:

Figura 94: Motor PaP
 Fuente: <http://www.longs-motor.com>

ACOPLAMIENTOS **OLDHAM-FLEX**

ACOPLAMIENTOS DE DESPLAZAMIENTO LATERAL

- Gran capacidad de absorción de desalineaciones radiales
- No produce errores cinemáticos en la transmisión
- Elimina cargas sobre los ejes
- Protección mecánica ante pares excesivos
- Disco recambiable

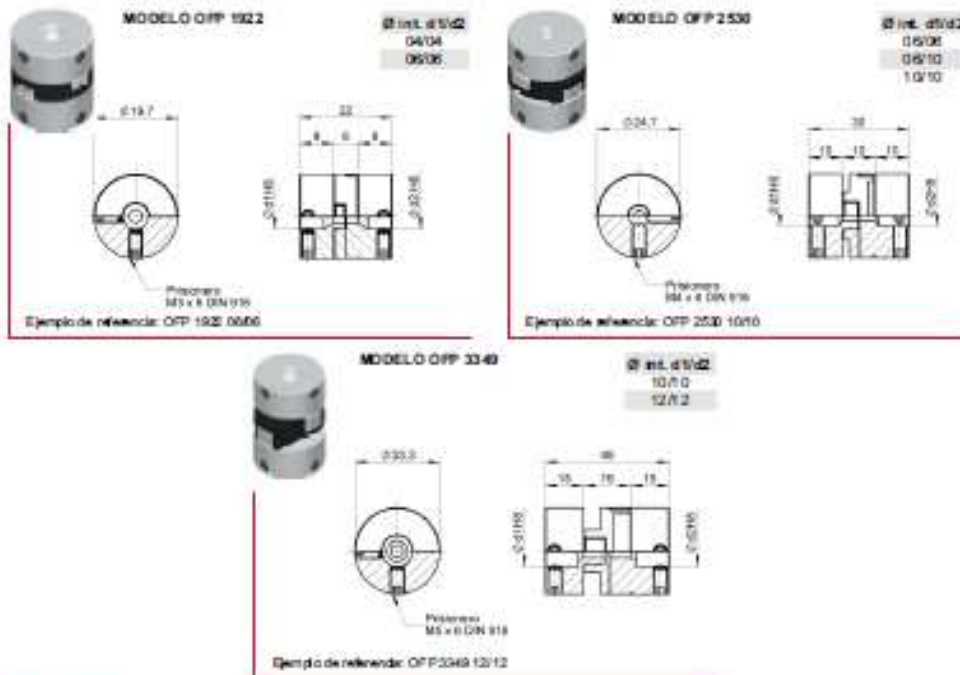


Los OLDHAM-FLEX se basan en la utilización de un disco flexible que puede desplazarse radialmente en relación a los dos ejes, permitiendo compensar grandes errores de alineación radial entre ejes. Los cubos se mecanizan en aleación de aluminio templado. Los discos son de acero al carbono de excelentes características mecánicas y bajo coeficiente de rozamiento. Debido al desgaste, el acoplamiento puede presentar juego a partir de 10^7 revoluciones en condiciones normales de desalineación, lo cual puede subsanarse substituyendo el disco. Los OLDHAM-FLEX, al disponer de cubos de fijación con agujero pasante,

permite el montaje y sustitución del disco. Las desalineaciones radiales no producen errores cinemáticos apreciables en la transmisión. Las desalineaciones angulares sí pueden producir pequeños errores de forma similar a una junta universal tipo "Cardan". Resultan apropiados para acoplamientos lentos de ejes de potencias de, hasta, válvulas, etc. Nunca deben utilizarse para ejes en velocidad ni por pares.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

| Modelo | Par Nom | Par Máx. admisible | Velocidad máxima (r.p.m.) | Desalineación máxima admisible | | | Constante elástica torsional Nominal | Masa (gr) | Inercia (gdin ²) |
|----------|---------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|------------|-------------|--------------------------------------|-----------|------------------------------|
| | | | | Angular (gr/d) | Axial (mm) | Radial (mm) | | | |
| OFF 1922 | 160 | 130 | 2.500 | ±2 | ±0,2 | ±2 | 11 | 15 | 6,8 |
| OFF 2530 | 340 | 310 | 2.500 | ±2 | ±0,2 | ±2,8 | 23 | 30 | 254 |
| OFF 3349 | 800 | 570 | 2.500 | ±2 | ±0,3 | ±3,5 | 32 | 90 | 12,83 |



GUB, S.R.L.



www.gub.it - info@gub.it - Tel: (0034) 972 90 017 - Fax: (0034) 972 160 230

Figura 95: Acoplamientos de desplazamiento lateral
 Fuente: www.disai.net

DRV8825 Stepper Motor Controller IC

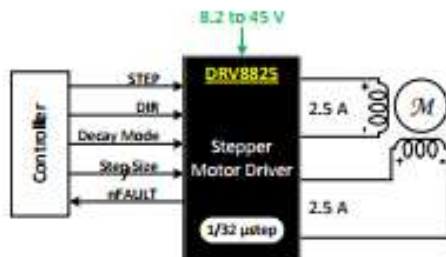
1 Features

- PWM Microstepping Stepper Motor Driver
 - Built-In Microstepping Indexer
 - Up to 1/32 Microstepping
- Multiple Decay Modes
 - Mixed Decay
 - Slow Decay
 - Fast Decay
- 8.2-V to 45-V Operating Supply Voltage Range
- 2.5-A Maximum Drive Current at 24 V and $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Simple STEP/DIR Interface
- Low Current Sleep Mode
- Built-In 3.3-V Reference Output
- Small Package and Footprint
- Protection Features
 - Overcurrent Protection (OCP)
 - Thermal Shutdown (TSD)
 - VM Undervoltage Lockout (UVLO)
 - Fault Condition Indication Pin (nFAULT)

2 Applications

- Automatic Teller Machines
- Money Handling Machines
- Video Security Cameras
- Printers
- Scanners
- Office Automation Machines
- Gaming Machines
- Factory Automation
- Robotics

4 Simplified Schematic



3 Description

The DRV8825 provides an integrated motor driver solution for printers, scanners, and other automated equipment applications. The device has two H-bridge drivers and a microstepping indexer, and is intended to drive a bipolar stepper motor. The output driver block consists of N-channel power MOSFET's configured as full H-bridges to drive the motor windings. The DRV8825 is capable of driving up to 2.5 A of current from each output (with proper heat sinking, at 24 V and 25°C).

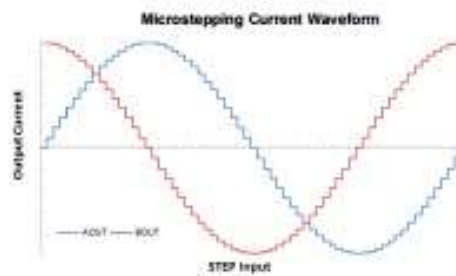
A simple STEP/DIR interface allows easy interfacing to controller circuits. Mode pins allow for configuration of the motor in full-step up to 1/32-step modes. Decay mode is configurable so that slow decay, fast decay, or mixed decay can be used. A low-power sleep mode is provided which shuts down internal circuitry to achieve very low quiescent current draw. This sleep mode can be set using a dedicated nSLEEP pin.

Internal shutdown functions are provided for overcurrent, short circuit, under voltage lockout and over temperature. Fault conditions are indicated via the nFAULT pin.

Device Information⁽¹⁾

| PART NUMBER | PACKAGE | BODY SIZE (NOM) |
|-------------|-------------|-------------------|
| DRV8825 | HTSSOP (28) | 9.70 mm × 8.40 mm |

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.



⚠ An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

Figura 96: DRV8825 Stepper
Fuente: <http://www.ti.com>

Introduction

The Atmel[®] picoPower[®] ATmega328/P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR[®] enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega328/P achieves throughputs close to 1MIPS per MHz. This empowers system designer to optimize the device for power consumption versus processing speed.

Feature

High Performance, Low Power Atmel[®]AVR[®] 8-Bit Microcontroller Family

- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions
 - Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 32KBytes of In-System Self-Programmable Flash program Memory
 - 1KBytes EEPROM
 - 2KBytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data Retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Atmel[®] QTouch[®] Library Support
 - Capacitive Touch Buttons, Sliders and Wheels
 - QTouch and QMatrix[®] Acquisition
 - Up to 64 sense channels

Figura 97: ATmega 328
Fuente: <http://www.atmel.com>

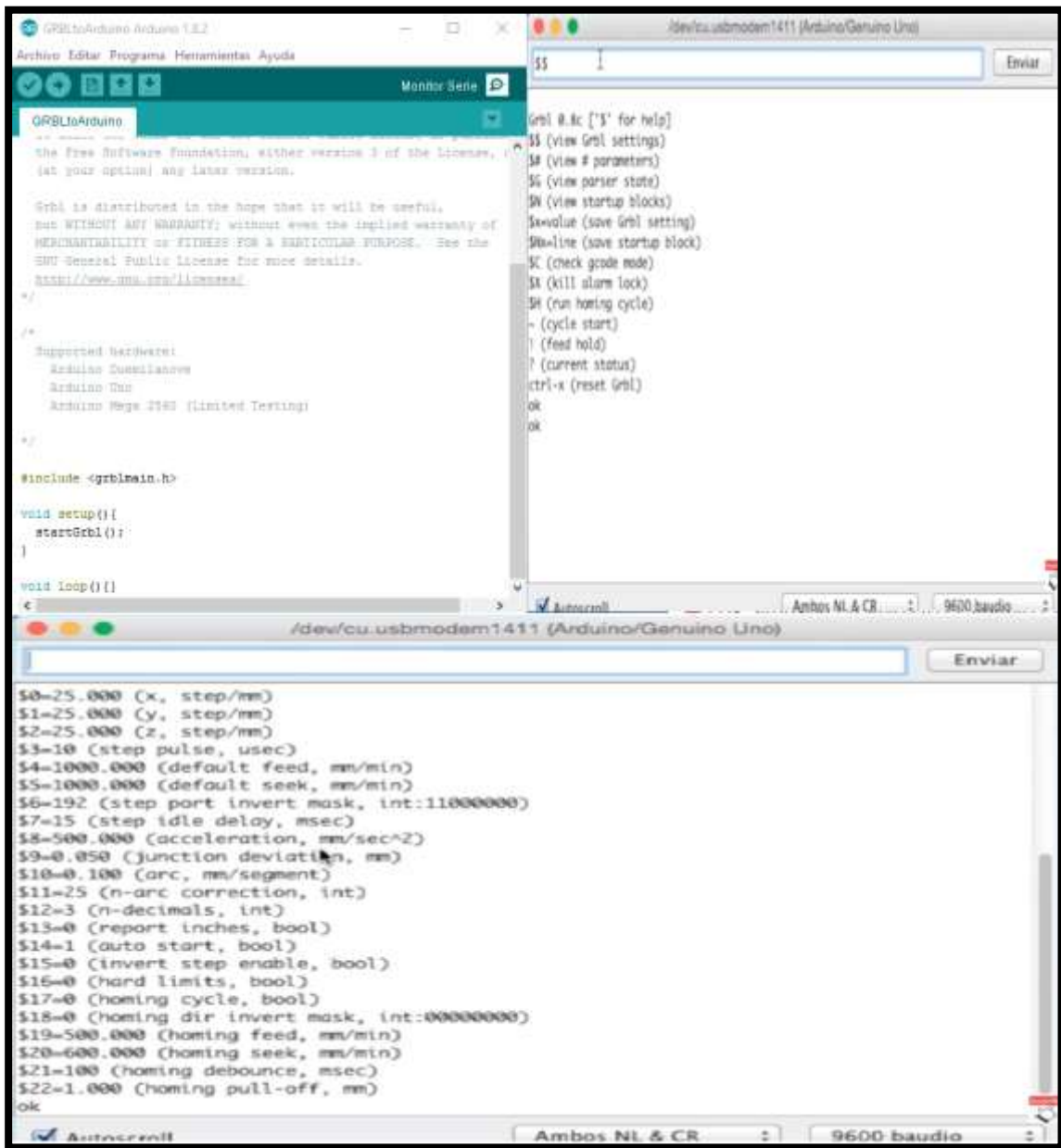


Figura 98: Pantallazo de programación

```

73 // will not be affected by pin sharing.
74 // NOTE: Defaults are set for a traditional 3-axis CNC machine. Z-axis first to clear, followed by X & Y.
75 #define HOMING_CYCLE_0 (1<<Z_AXIS) // REQUIRED: First move Z to clear workspace.
76 #define HOMING_CYCLE_1 ((1<<X_AXIS)|(1<<Y_AXIS)) // OPTIONAL: Then move X,Y at the same time.
77 // #define HOMING_CYCLE_2 // OPTIONAL: Uncomment and add axes mask to enable
78
79 // Number of homing cycles performed after when the machine initially jogs to limit switches.
80 // This help in preventing overshoot and should improve repeatability. This value should be one or
81 // greater.
82 #define N_HOMING_LOCATE_CYCLE 1 // Integer (1-128)
83
84 // After homing, Grbl will set by default the entire machine space into negative space, as is typical
85 // for professional CNC machines, regardless of where the limit switches are located. Uncomment this
86 // define to force Grbl to always set the machine origin at the homed location despite switch orientation.
87 // #define HOMING_FORCE_SET_ORIGIN // Uncomment to enable.
88
89 // Number of blocks Grbl executes upon startup. These blocks are stored in EEPROM, where the size
90 // and addresses are defined in settings.h. With the current settings, up to 2 startup blocks may
91 // be stored and executed in order. These startup blocks would typically be used to set the g-code
92 // parser state depending on user preferences.
93 #define N_STARTUP_LINE 2 // Integer (1-2)
94
95 // Number of floating decimal points printed by Grbl for certain value types. These settings are
96 // determined by realistic and commonly observed values in CNC machines. For example, position
97 // values cannot be less than 0.001mm or 0.0001in, because machines can not be physically more
98 // precise this. So, there is likely no need to change these, but you can if you need to here.
99 // NOTE: Must be an integer value from 0 to ~4. More than 4 may exhibit round-off errors.
100 #define N_DECIMAL_COORDVALUE_INCH 4 // Coordinate or position value in inches
101 #define N_DECIMAL_COORDVALUE_MM 3 // Coordinate or position value in mm
102 #define N_DECIMAL_RATEVALUE_INCH 1 // Rate or velocity value in in/min
103 #define N_DECIMAL_RATEVALUE_MM 0 // Rate or velocity value in mm/min
104 #define N_DECIMAL_SETTINGVALUE 3 // Decimals for floating point setting values

```

Figura 99: Pantallazo de programación

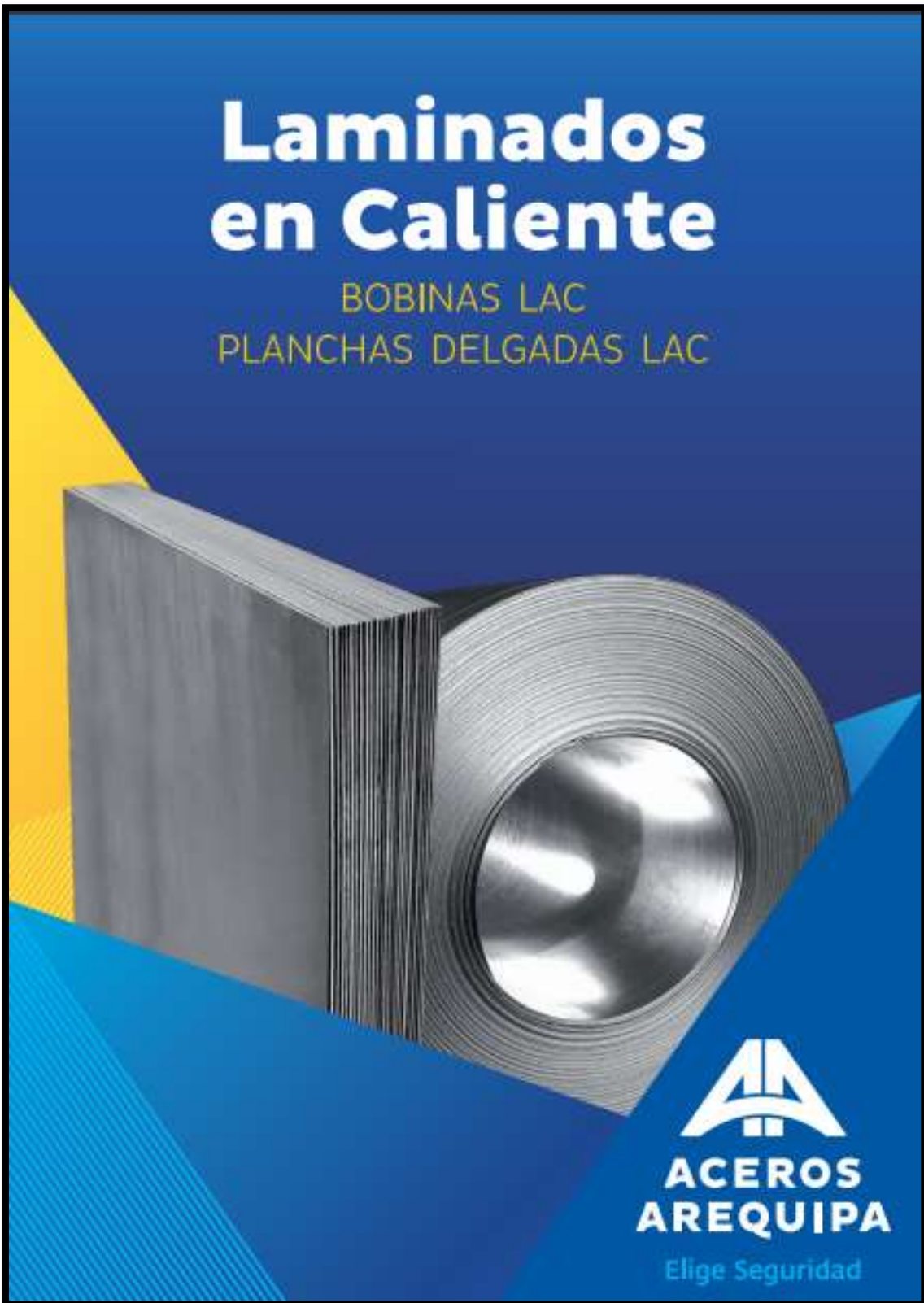


Figura 100: Aceros Arequipa
Fuente: <http://www.acerosarequipa.com>



Tubo LAC



5m

Figura 101: Tubo cuadrado LAC
Fuente: <http://www.sider.com.pe>

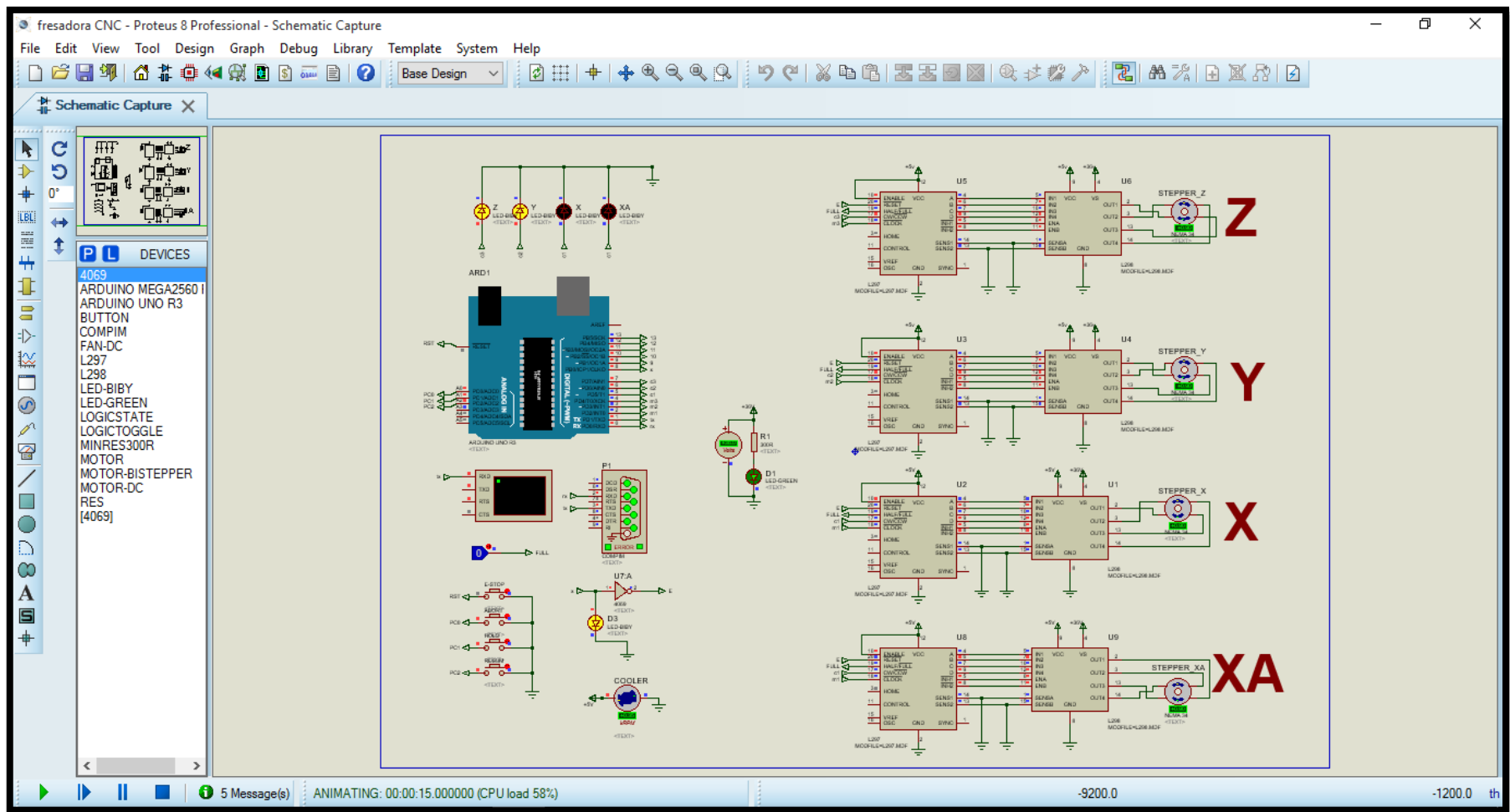


Figura 102: Simulación en Proteus

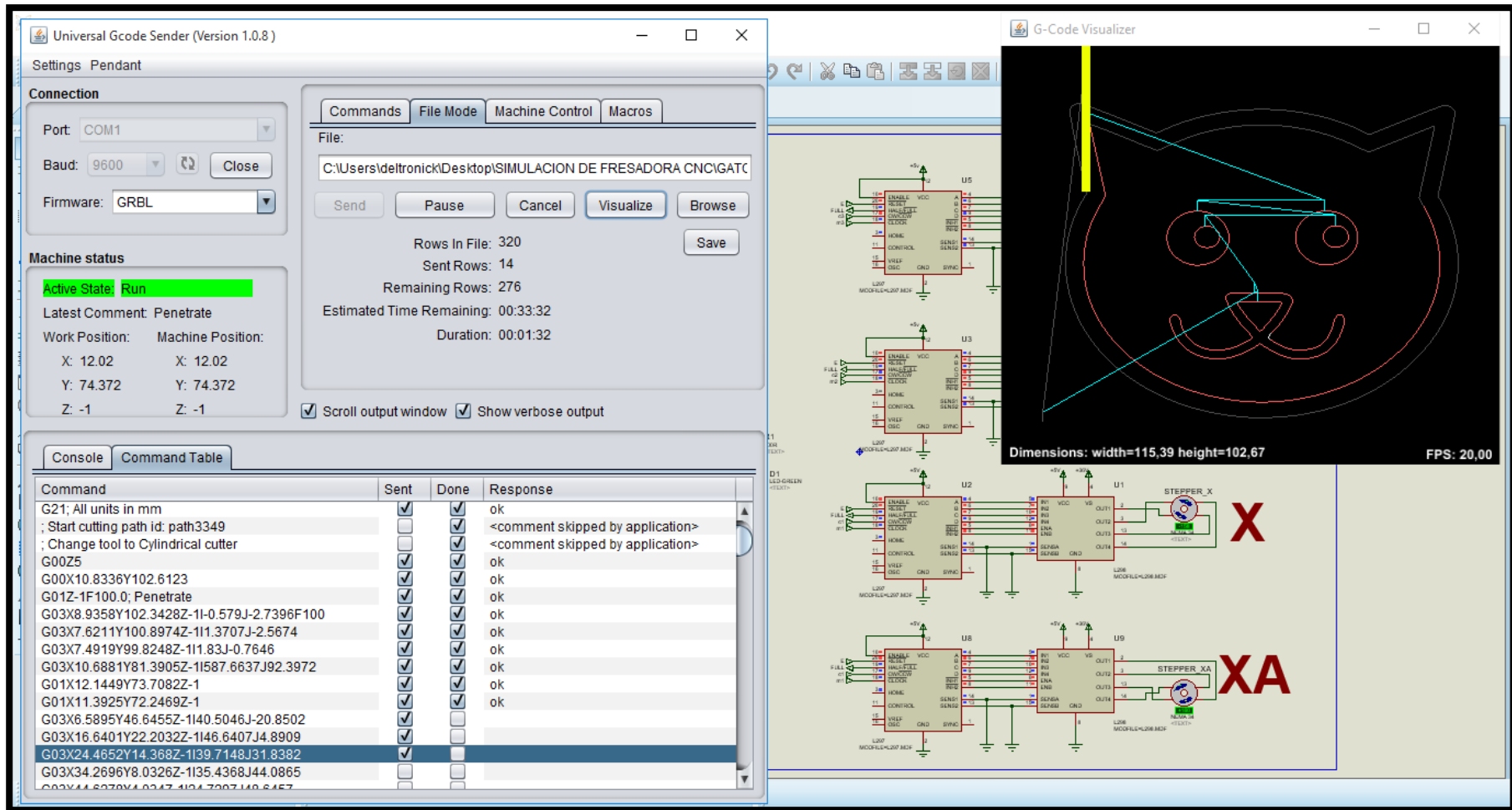
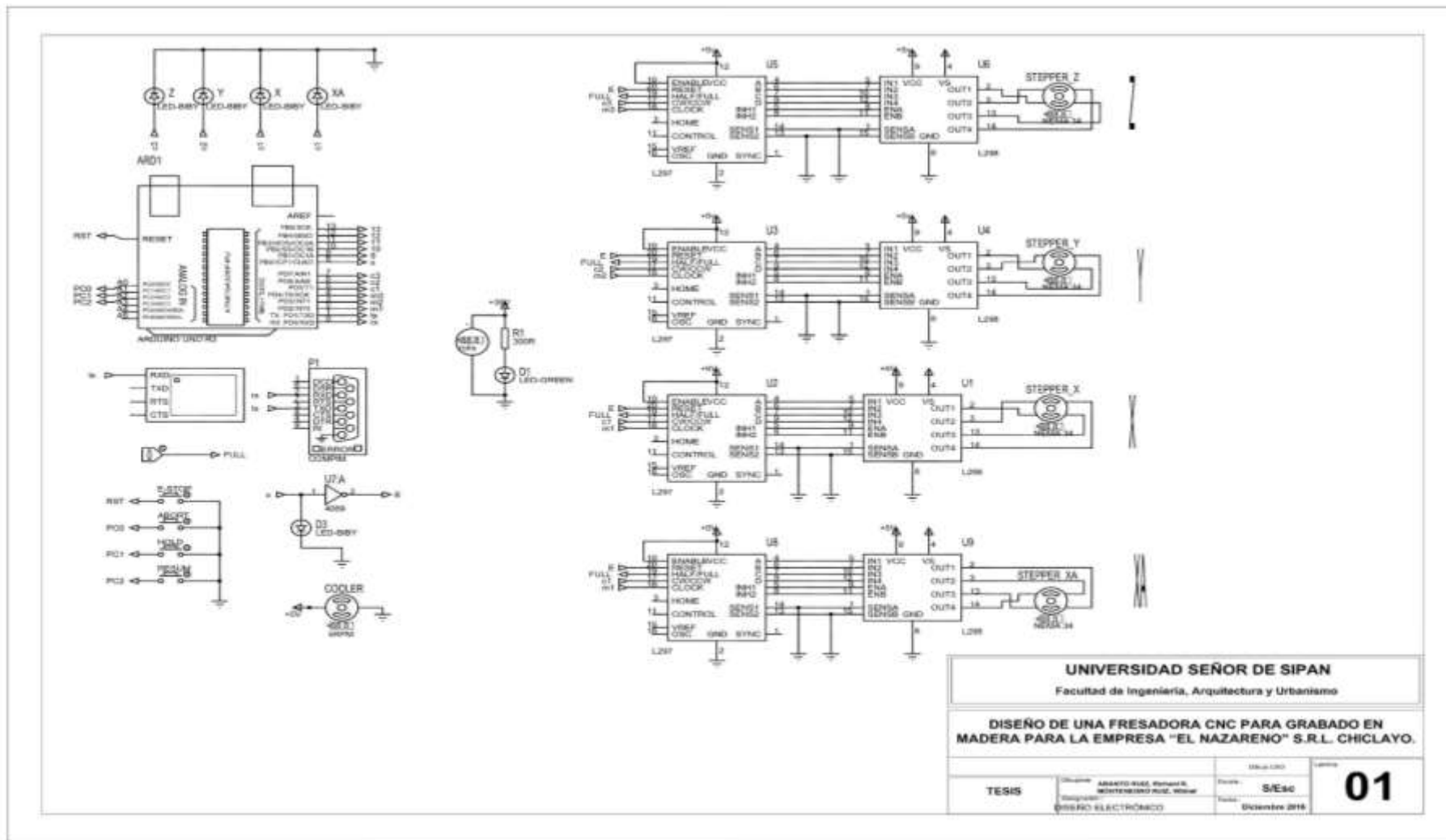
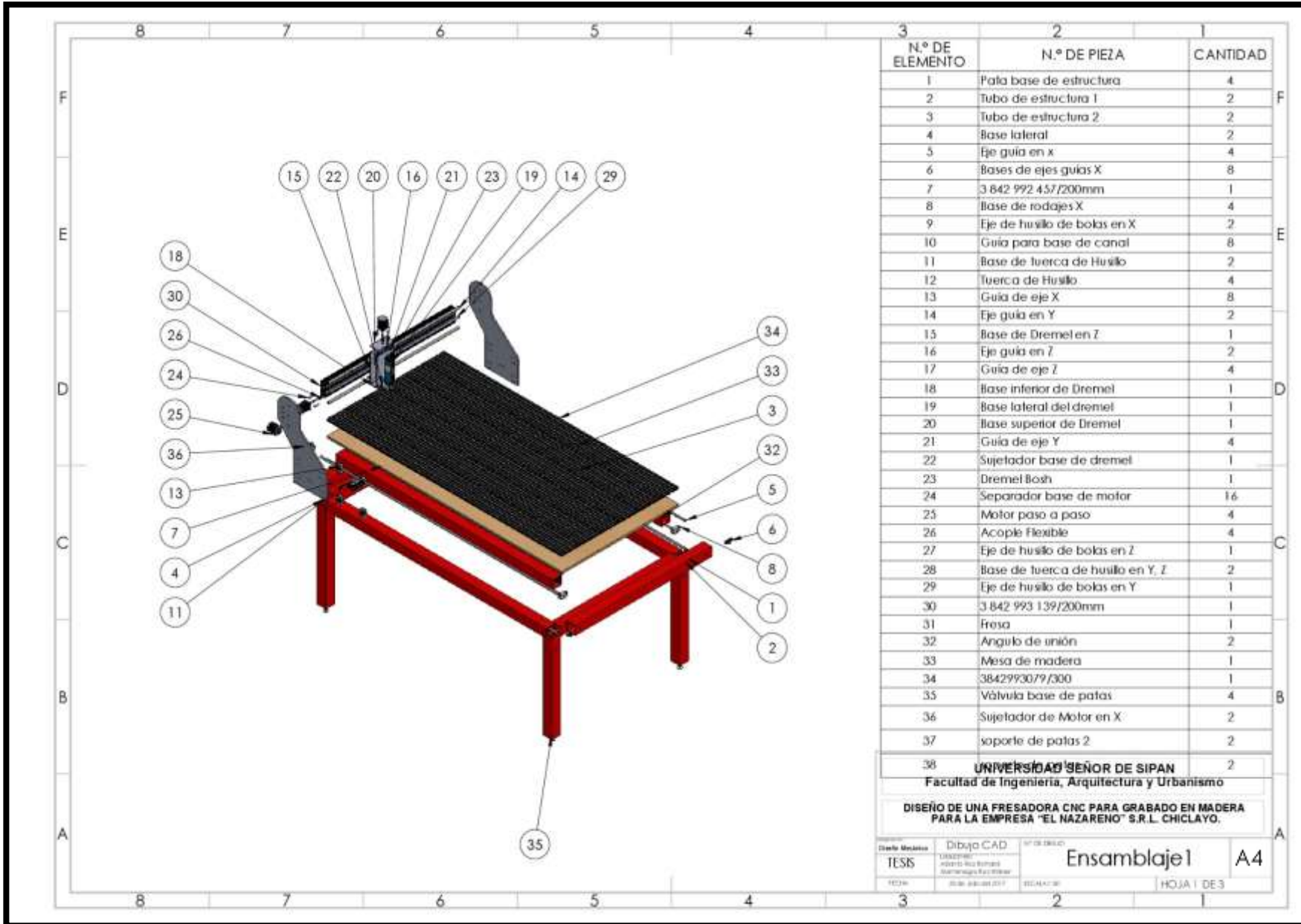


Figura 103: Simulación en UGS

ANEXO 04

PLANOS DE FRESADORA CNC



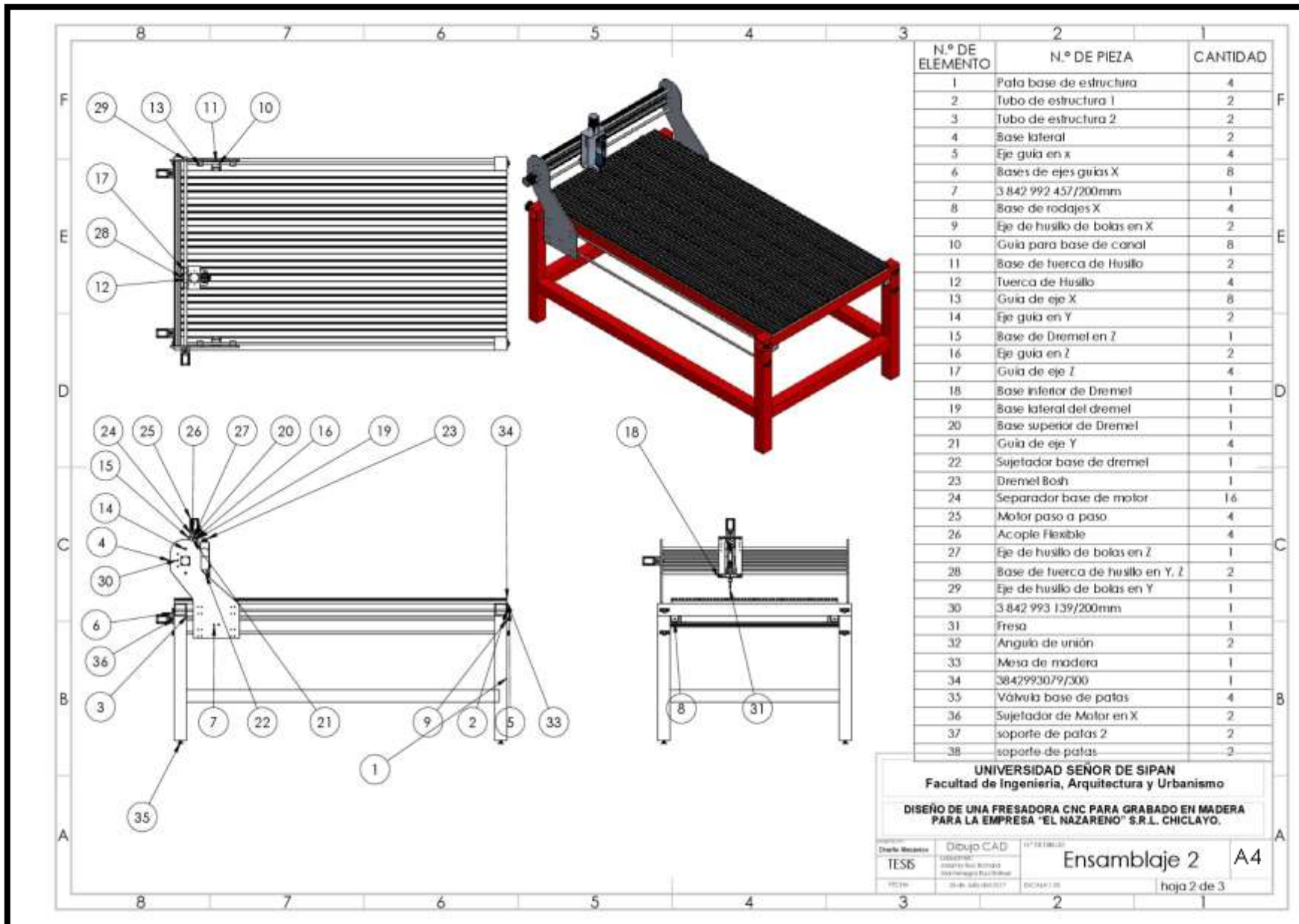


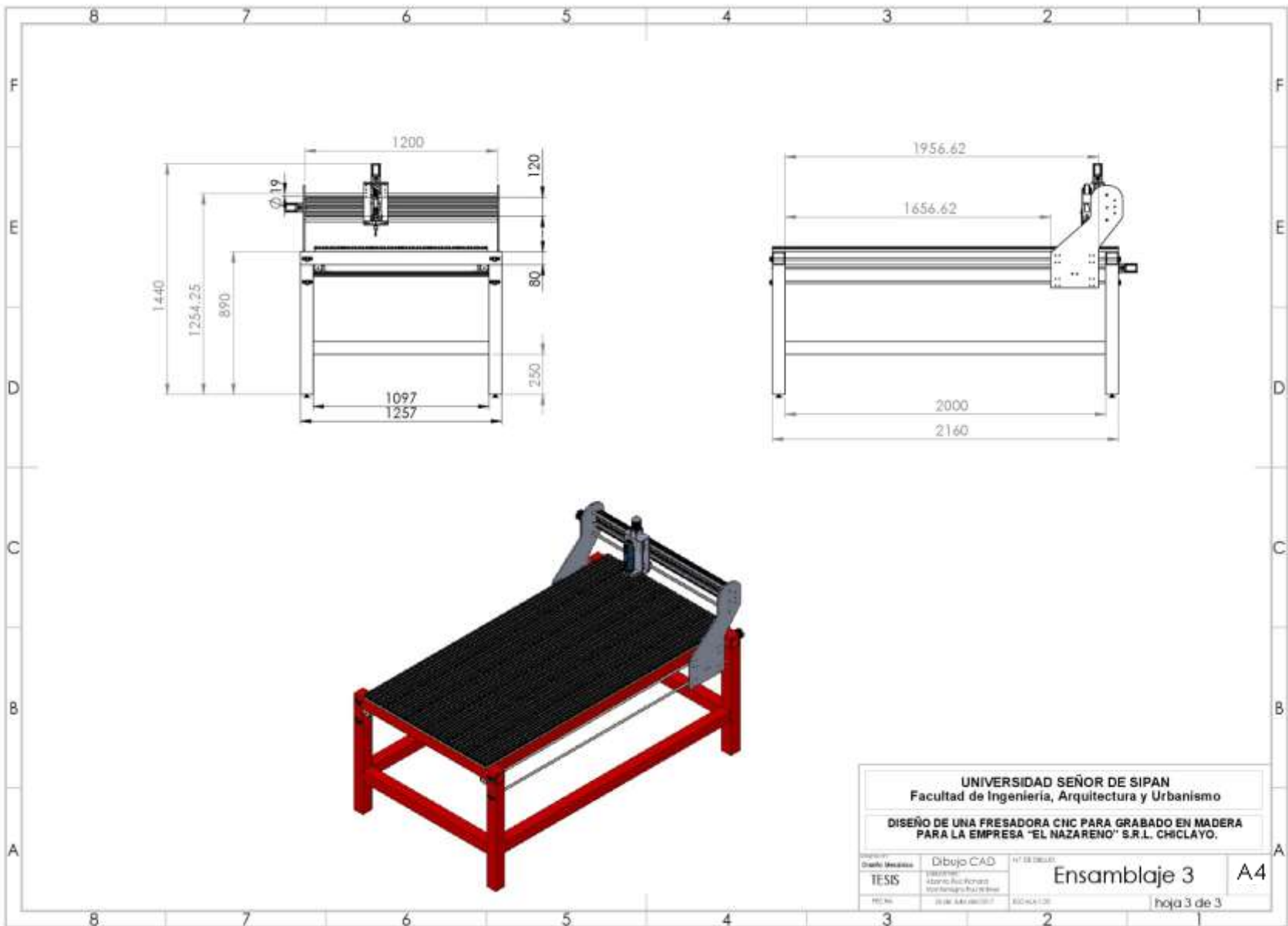
| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | CANTIDAD |
|-----------------|-----------------------------------|----------|
| 1 | Pata base de estructura | 4 |
| 2 | Tubo de estructura 1 | 2 |
| 3 | Tubo de estructura 2 | 2 |
| 4 | Base lateral | 2 |
| 5 | Eje guía en x | 4 |
| 6 | Bases de ejes guías X | 8 |
| 7 | 3 842 992 457/200mm | 1 |
| 8 | Base de rodajes X | 4 |
| 9 | Eje de husillo de bolas en X | 2 |
| 10 | Guía para base de canal | 8 |
| 11 | Base de tuerca de Husillo | 2 |
| 12 | Tuerca de Husillo | 4 |
| 13 | Guía de eje X | 8 |
| 14 | Eje guía en Y | 2 |
| 15 | Base de Dremel en Z | 1 |
| 16 | Eje guía en Z | 2 |
| 17 | Guía de eje Z | 4 |
| 18 | Base inferior de Dremel | 1 |
| 19 | Base lateral del dremel | 1 |
| 20 | Base superior de Dremel | 1 |
| 21 | Guía de eje Y | 4 |
| 22 | Sujetador base de dremel | 1 |
| 23 | Dremel Bosh | 1 |
| 24 | Separador base de motor | 16 |
| 25 | Motor paso a paso | 4 |
| 26 | Acople Flexible | 4 |
| 27 | Eje de husillo de bolas en Z | 1 |
| 28 | Base de tuerca de husillo en Y, Z | 2 |
| 29 | Eje de husillo de bolas en Y | 1 |
| 30 | 3 842 993 139/200mm | 1 |
| 31 | Fresa | 1 |
| 32 | Angulo de unión | 2 |
| 33 | Mesa de madera | 1 |
| 34 | 3842993079/300 | 1 |
| 35 | Válvula base de patas | 4 |
| 36 | Sujetador de Motor en X | 2 |
| 37 | soporte de patas 2 | 2 |

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN
 Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo

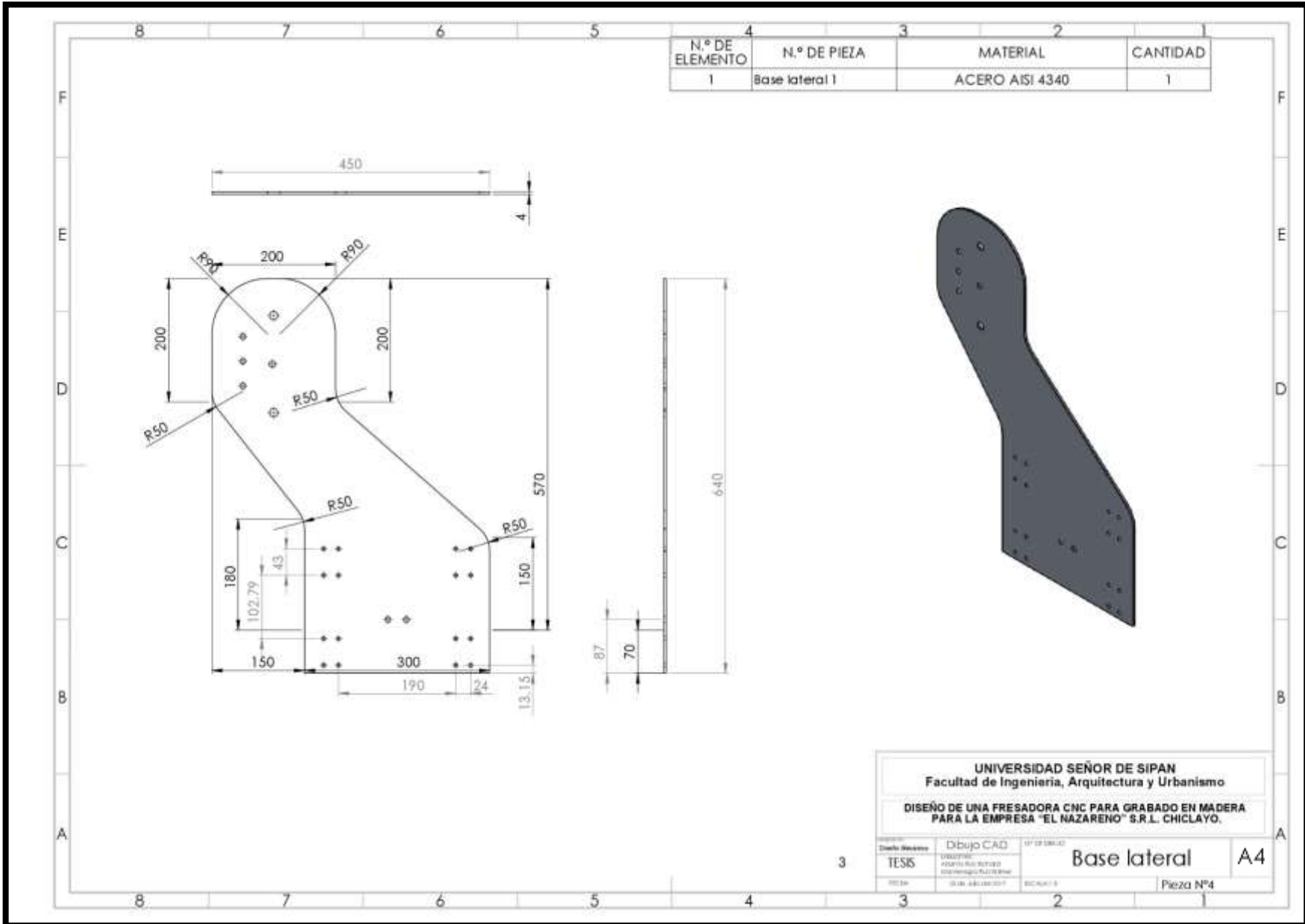
**DISEÑO DE UNA FRESADORA CNC PARA GRABADO EN MADERA
 PARA LA EMPRESA "EL NAZAREÑO" S.R.L. CHICLAYO.**

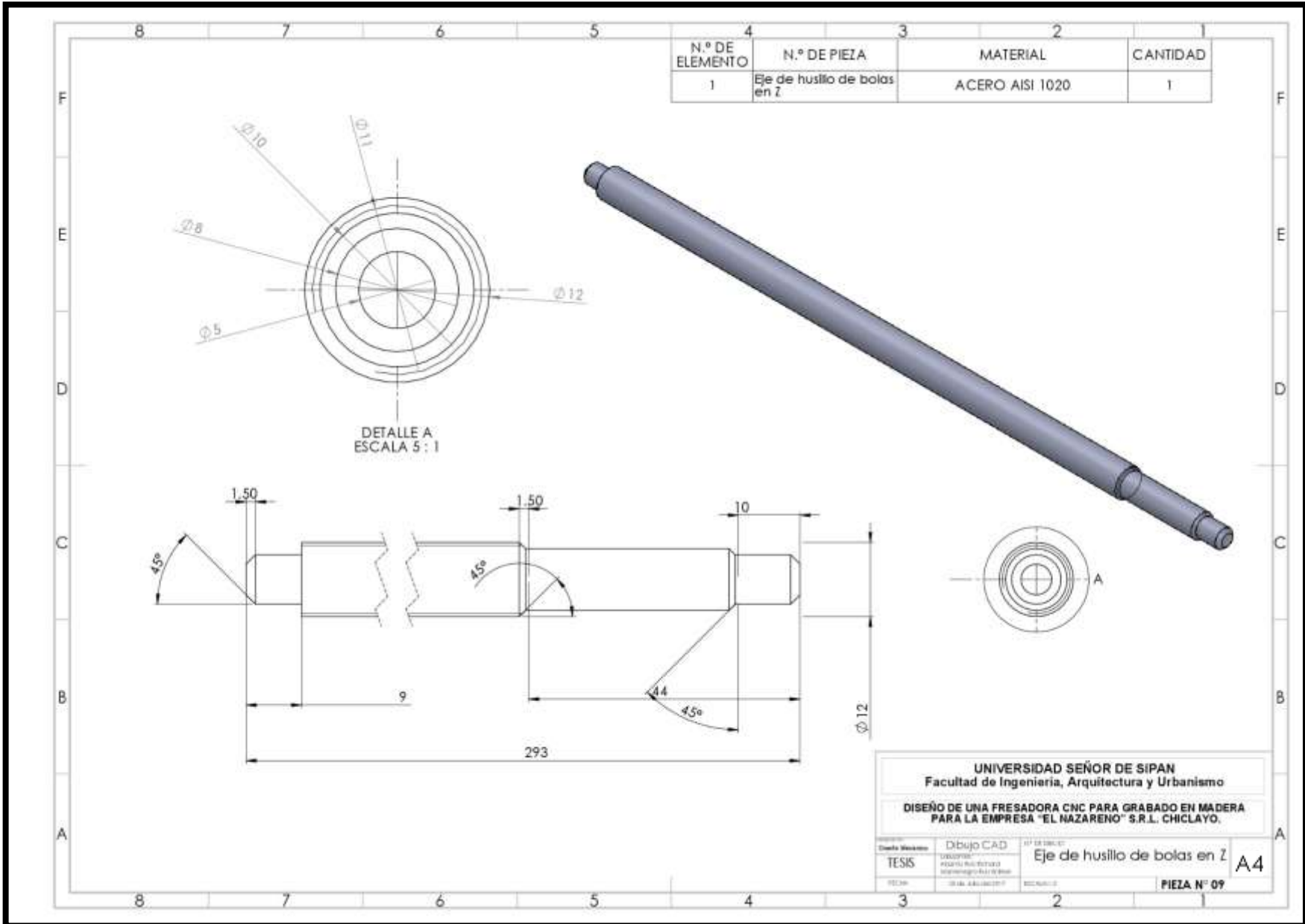
| | | | | |
|-----------------|----------------------------|--------------|--------------|----|
| Diseño Mecánico | Dibujo CAD | SE DE DISEÑO | Ensamblaje 1 | A4 |
| TESIS | UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN | 2023 | | |
| FECHA | 2023-08-01 | FECHA DE | HOJA 1 DE 3 | |

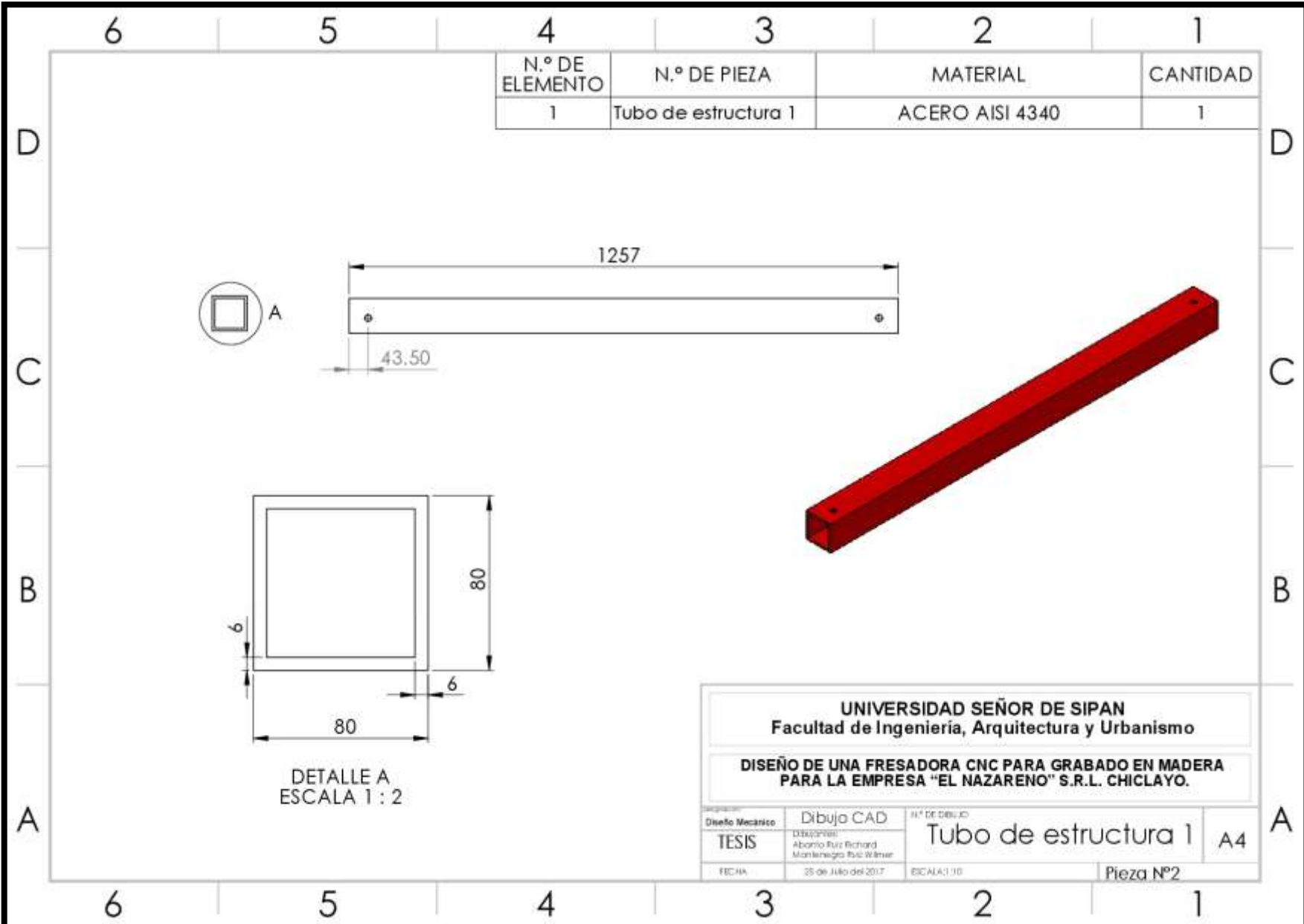




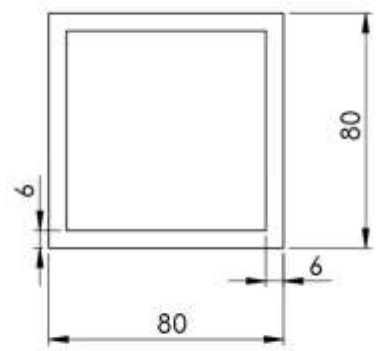
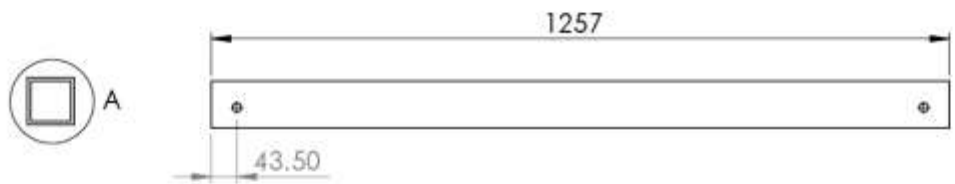
| | | |
|---|--|---|
| UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo | | |
| DISEÑO DE UNA FRESADORA CNC PARA GRABADO EN MADERA PARA LA EMPRESA "EL NAZARENO" S.R.L. CHICLAYO. | | |
| DISEÑO: TESIS | Dibujo CAD 19022184 Alvaro del Pozo 800 800 800 800 | N° DE DISEÑO: Ensamblaje 3 ESCALA 1:1 hoja 3 de 3 |



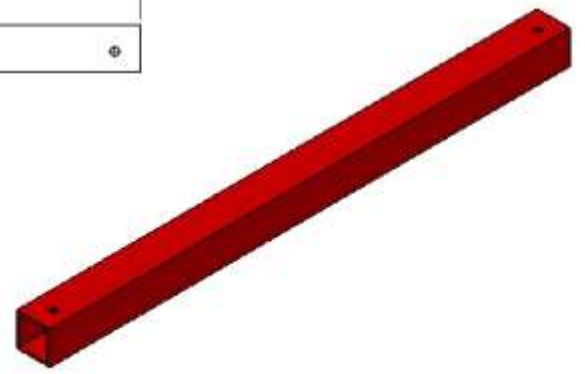




| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | MATERIAL | CANTIDAD |
|-----------------|----------------------|-----------------|----------|
| 1 | Tubo de estructura 1 | ACERO AISI 4340 | 1 |



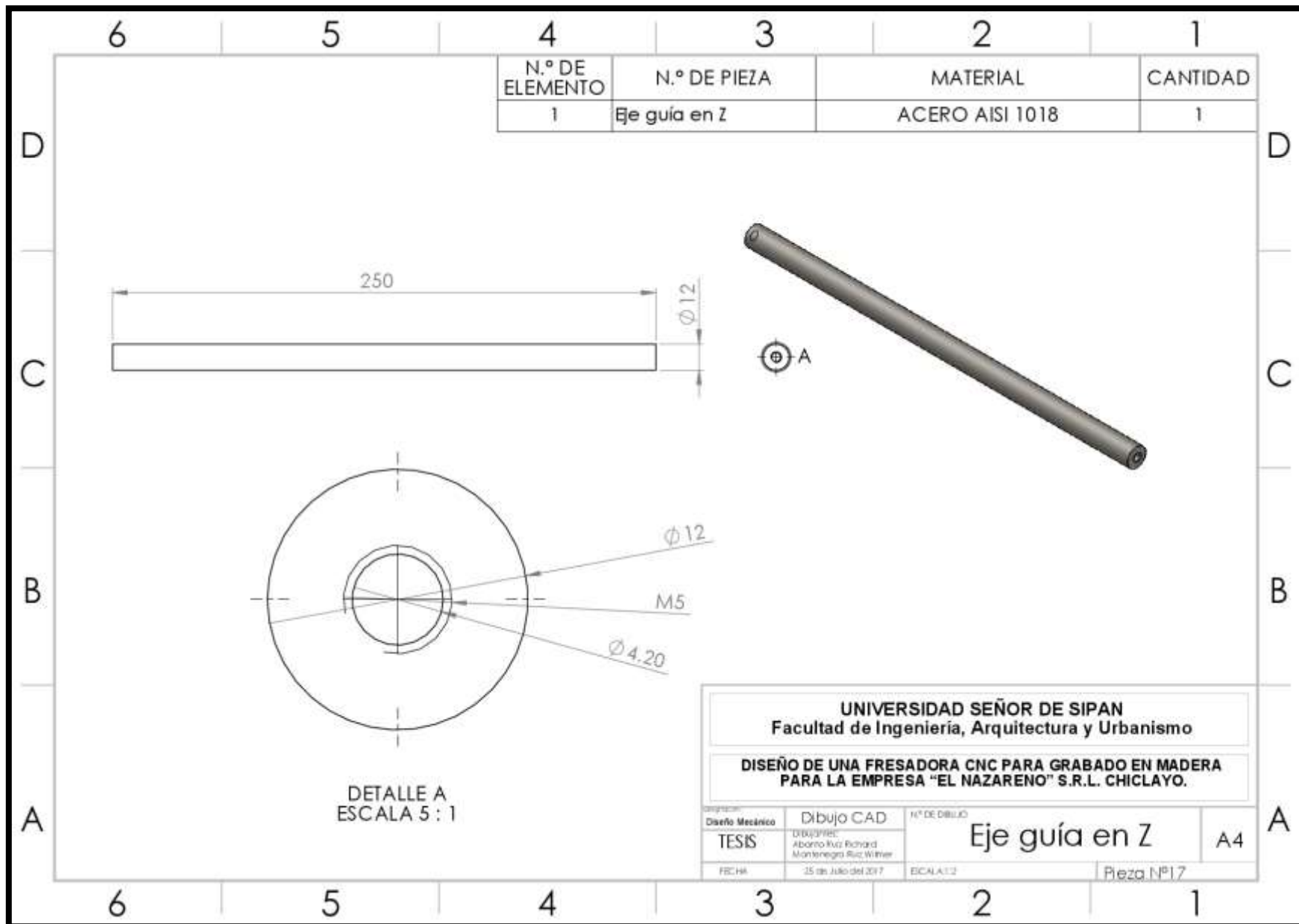
DETALLE A
ESCALA 1 : 2



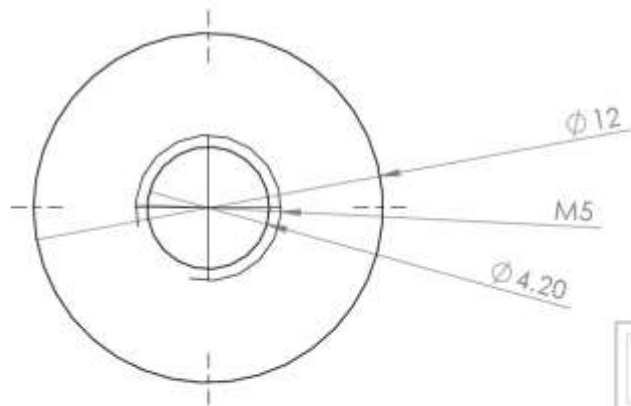
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo

**DISEÑO DE UNA FRESADORA CNC PARA GRABADO EN MADERA
PARA LA EMPRESA "EL NAZARENO" S.R.L. CHICLAYO.**

| | | | |
|-----------------|---|----------------------|-----------|
| Diseño Mecánico | Dibujo CAD | Nº DE DIBUJO | A4 |
| TESIS | DESIGNER Abanto Ruiz Richard Montenegro Ruiz Wilmar | Tubo de estructura 1 | |
| FECHA | 25 de Julio del 2017 | ESCALA: 1:10 | Pieza Nº2 |



| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | MATERIAL | CANTIDAD |
|-----------------|---------------|-----------------|----------|
| 1 | Eje guía en Z | ACERO AISI 1018 | 1 |

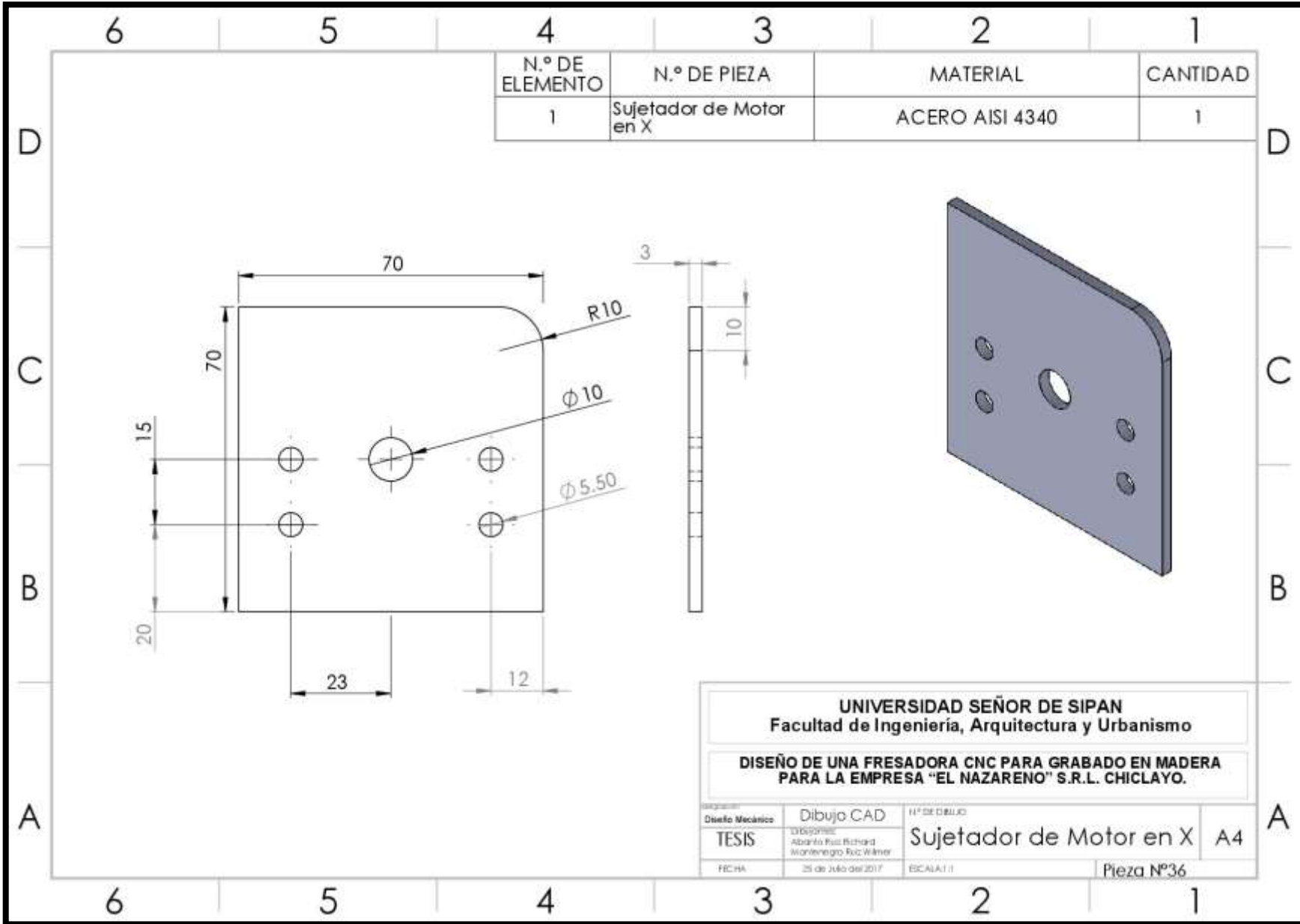


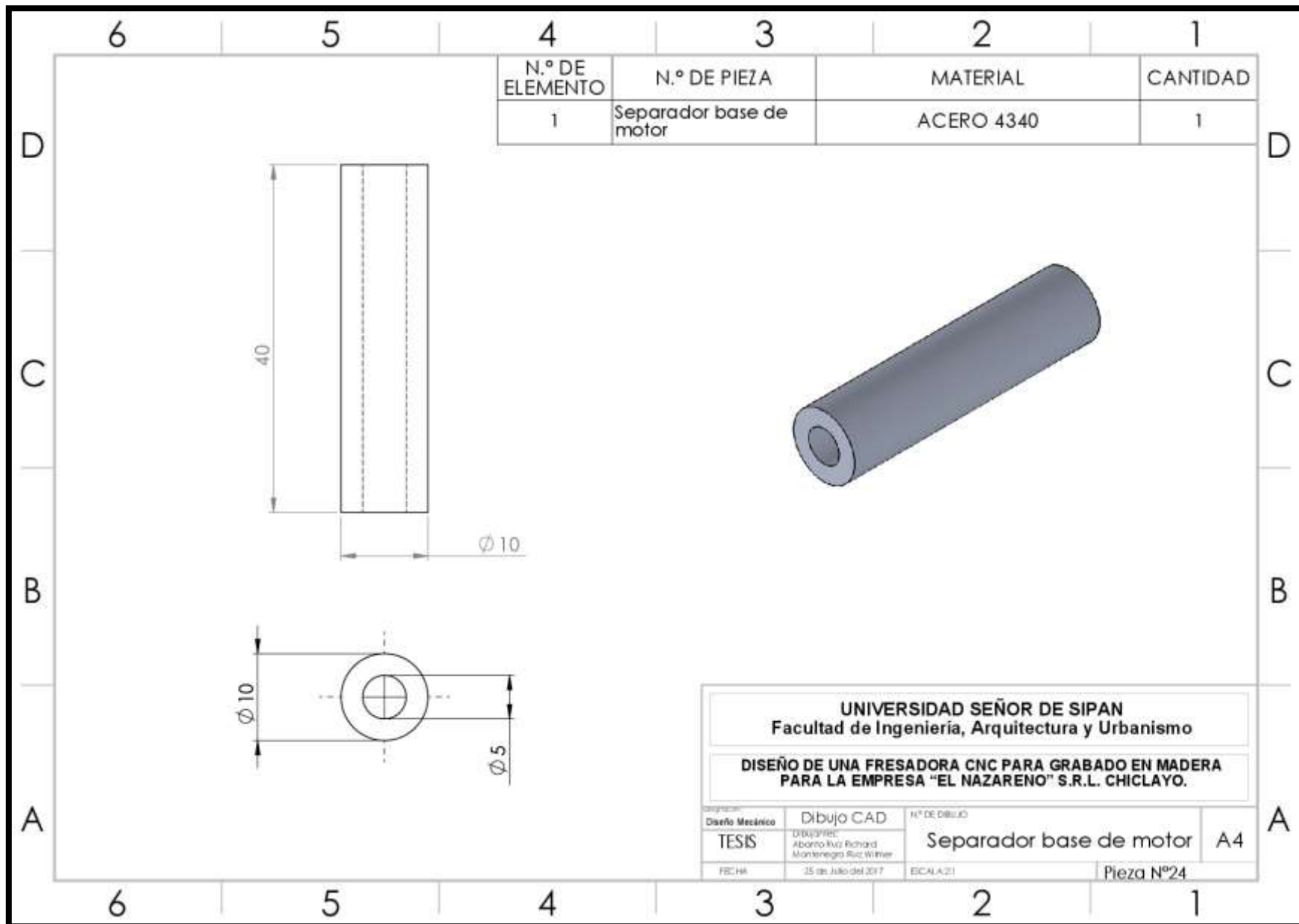
DETALLE A
ESCALA 5 : 1

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo

DISEÑO DE UNA FRESADORA CNC PARA GRABADO EN MADERA
PARA LA EMPRESA "EL NAZARENO" S.R.L. CHICLAYO.

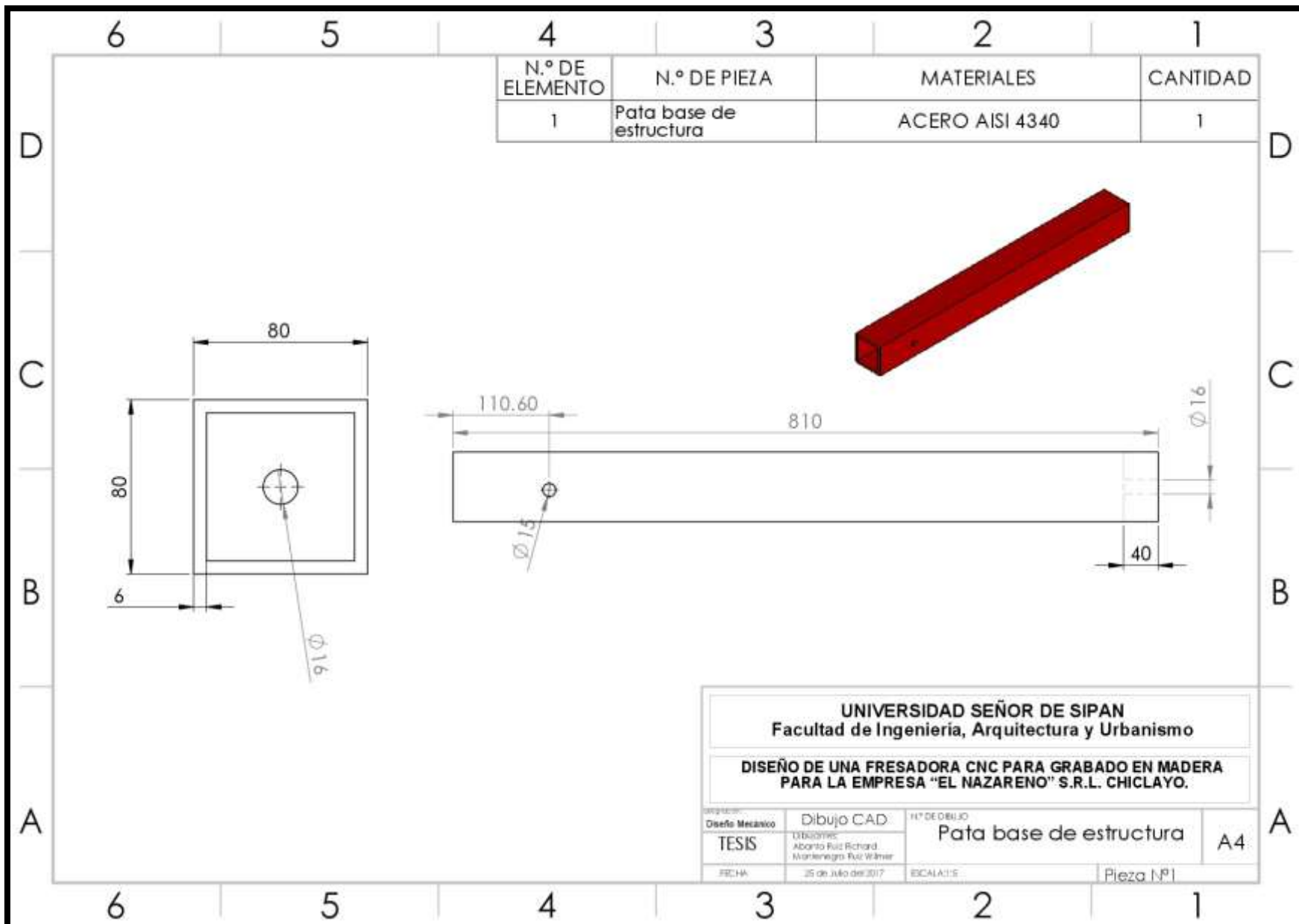
| | | | | |
|-------------------------------|--|--------------|---------------|----|
| Disciplina Diseño Mecánico | Dibujo CAD | Nº DE DIBUJO | Eje guía en Z | A4 |
| TESES | DRG03PFC Albarro Ruz Richard Montenegro Ruz Wilmer | | | |
| FECHA | 25 de Julio del 2017 | ESCALA: 1:1 | Pieza Nº17 | |





| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | MATERIAL | CANTIDAD |
|-----------------|-------------------------|------------|----------|
| 1 | Separador base de motor | ACERO 4340 | 1 |

| | | | |
|--|--|--|----|
| UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo | | | |
| DISEÑO DE UNA FRESADORA CNC PARA GRABADO EN MADERA PARA LA EMPRESA "EL NAZARENO" S.R.L. CHICLAYO. | | | |
| Profesor: Diseño Mecánico | Dibujo CAD DIBUJANTE: Albarino Riva Richard Montenegro Ruz Wilmer | N.º DE DIBUJO Separador base de motor | A4 |
| FECHA: 25 de Julio del 2017 | ESCALA: 2:1 | Pieza N°24 | |

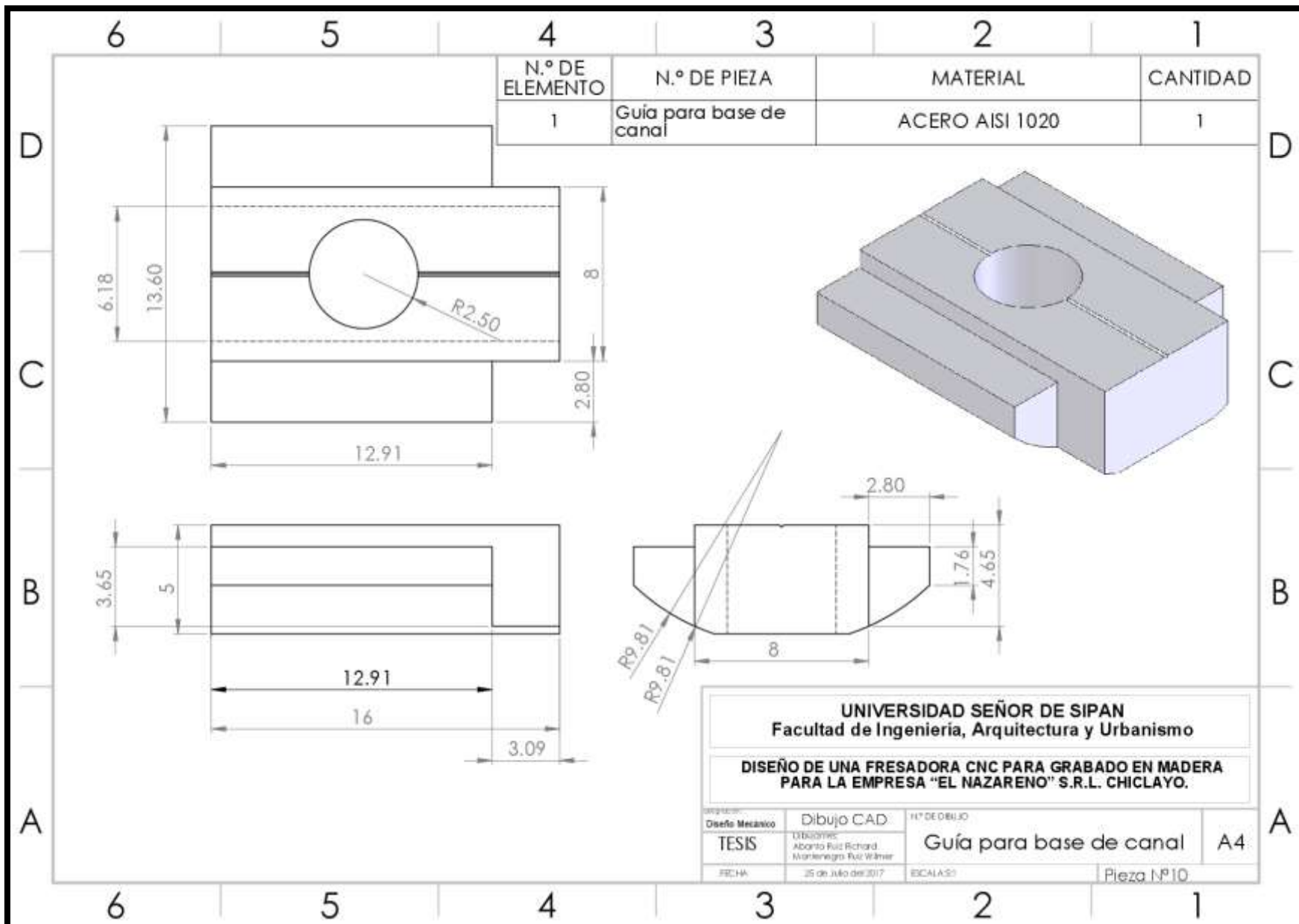


| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | MATERIALES | CANTIDAD |
|-----------------|-------------------------|-----------------|----------|
| 1 | Pata base de estructura | ACERO AISI 4340 | 1 |

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo

DISEÑO DE UNA FRESADORA CNC PARA GRABADO EN MADERA
PARA LA EMPRESA "EL NAZARENO" S.R.L. CHICLAYO.

| | | | |
|-------------------------------|---|---|-----------|
| Asignatura Diseño Mecánico | Dibujo CAD | Nº DE DIBUJO Pata base de estructura | A4 |
| TESES | 1186231916 Aberto Ruiz Richard Montenegro Ruiz Wainer | | |
| FECHA | 25 de Julio del 2017 | ESCALA: 1:5 | Pieza Nº1 |



| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | MATERIAL | CANTIDAD |
|-----------------|-------------------------|-----------------|----------|
| 1 | Guía para base de canal | ACERO AISI 1020 | 1 |

| | | | |
|--|--|-------------------------|-------------|
| UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo | | | |
| DISEÑO DE UNA FRESADORA CNC PARA GRABADO EN MADERA PARA LA EMPRESA "EL NAZARENO" S.R.L. CHICLAYO. | | | |
| DISEÑO MECÁNICO | DIBUJO CAD | Nº DE DIBUJO | A4 |
| TESIS | ABERTO RUI RICHARD, MONTENEGRO RUI WALTER | Guía para base de canal | |
| FECHA | 25 de Julio del 2017 | ESCALA: 1:1 | Pieza Nº 10 |