

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA

CONSTRUCCION DE UNA FRESADORA CNC DE MODO EDUCATIVO

SZUMSKI, Ricardo Sebastián – LU: 126458

Ingeniería Electromecánica

Tutor:

Zambrano, Daniel, UADE

Febrero 01, 2016



UADE

**UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS**

*Dedico este trabajo a mis Padres,
a mis hermanos y por sobre todo a un gran amigo
que sin él no podría haber desarrollado este proyecto,
gracias Sebastian Schroh.*

INDICE

1.	7
1.1. Resumen	7
1.2. Abstract.....	7
1.3. Introducción	8
2.	9
2.1. Estado del Arte: Historia de las Maquinas-Herramientas.....	9
2.2. Historia del Sistema de CN.....	9
2.3. CNC, Control Numérico Computarizado	9
2.4. Descripción de una Fresadora CNC	10
2.5. CAD, Diseño Asistido Por Computadora.....	12
2.6. CAM, Sistema de Manufactura Asistido por Computadora.....	12
2.7. CAD/CAM.....	13
2.8. Antecedentes.....	13
2.8.1. E.M.U. (Establecimientos Metalúrgicos Unidos).....	14
3.	19
3.1. Objetivos Generales.....	19
3.2. Objetivos Específicos	19
3.3. Dificultades en la Industria Actual	20
3.4. Tipos de Automatización.....	20
3.5. Ofrecimientos del CN.....	21
3.6. El CN y las series de Producción.....	23
3.7. Fabricación de las MHCN	24
3.8. Factor Maquina.....	25
3.9. Descripción de los Componentes de una Fresadora CNC	26
3.10. Fresadoras según el número de ejes.....	27
3.11. Velocidad de rotación de la fresa.....	28
3.12. Componentes Generales para el armado de una Fresadora CNC	29
3.13. Mecánicos	30

3.14. Eléctricos	32
3.15. Motor de paso a paso de reluctancia variable	34
3.16. Motor de paso Hibrido.....	35
3.17. Motor de paso Bipolar	36
3.18. Motor de paso Unipolar	37
3.19. Control de Velocidad de un motor PAP	38
3.20. Selección del motor apropiado	40
3.21. Fuerza Motriz.....	40
3.21. a. ¿Qué es un router, fresadora o rebajadora?	40
3.22. Electrónicos	41
3.23. Microcontroladores	43
3.24. Programación	44
3.24. a. Lenguaje de Máquina	44
3.24. b. Código G	45
3.24. c. Códigos M	46
3.25. Introducción a la programación	46
3.25. a. Puntos significativos en la programación de un CNC.....	46
3.25. b. Origen de la Pieza	48
3.25. c. Desplazamientos Lineales	49
3.25. d. Desplazamientos Circulares	50
3.25. e. Compensación de la Herramienta	51
3.25. f. Coordenadas Absolutas e Incrementales	52
3.25. g. Elección del Origen Pieza	54
3.25. h. Fundamentos de Programación.....	55
3.25. i. Movimiento rápido de posicionamiento (G00).....	55
3.25. j. Corte correcto por interpolación (G01).....	56
3.25. k. Corte circular por interpolación circular (G02, G03)	56
3.25. m. Compensación del Diámetro de la Herramienta (G49, G41 y G42).....	58
3.25.n. Compensación de la posición longitud de la herramienta (G43, G44 y G49)	59

4.....	61
4.1. Diseño de la Máquina	61
4.2. Selección de materiales.....	62
4.3. Mecánica.....	64
4.3.1. Cuerpo de la Máquina	64
4.3.2. Diseño de la mesa de trabajo.....	64
4.3.3. Calculo de la fuerza de corte.....	65
4.3.4. Calculo de la Velocidad de Corte	67
4.3.5. Calculo de la Velocidad de Corte	68
4.3.6. Diseño de la estructura vertical “Z” o carro “Z”	69
4.3.7. Flecha o Ejes Guías de la Coordenada “Z”	70
4.3.8. Diseño de la estructura horizontal “X” o carro “X”.....	73
4.3.9. Flecha o Ejes Guías de la Coordenada “X”	75
4.3.10. Rodamientos y Acoples	77
4.3.11. Tornillos/Varillas Roscadas	85
4.4. Eléctricos	106
4.4.1. Selección del motor apropiado.....	106
4.4.2. Fuente de Poder.....	110
4.4.3. Conexionado de Encendido de Fuente.....	110
4.5. Fuerza Motriz.....	111
4.5.1. Cabezal porta Herramientas	111
4.6. Electrónicos	111
4.6.1. Controladores Lógicos-Programables.....	112
4.7. Programación y Software	118
4.7.1. Programación de Arduino	118
4.7.2. Software	119
5.....	131
5.1. Pruebas.....	131
5.2. Plano	131

5.3.1. Parámetros de pieza para simulación 133

5.3.2. Simulación de Desbaste 134

5.3.3. Creación de códigos de maquina 135

5.4. Resultado 135

6. 137

6.1. Conclusiones 137

6.2. Recomendaciones 138

6.3. Simbología 139

6.4. Bibliografía 142

6.5. Referencias 144

1.

1.1. Resumen

El desarrollo de tecnologías y la investigación, surge como tema en creciente importancia en nuestro país y alrededor del mundo. La introducción del *Control Numérico Computarizado* (CNC), ha ampliado exponencialmente las aplicaciones de las máquinas industriales mediante la automatización programable de la producción y el logro de movimientos imposibles de efectuar manualmente, como círculos, líneas diagonales y otras figuras más complicadas que posibilitan la fabricación de piezas con perfiles sumamente complejos.

Se propone la reproducción y el funcionamiento de una “Fresadora CNC” implementando lo aprendido a lo largo de la carrera.

El propósito de este trabajo es investigar y entregar todos los aspectos técnicos de diseño e implementación, con el fin de ser una guía en el desarrollo de aplicaciones de naturaleza similar al de la maquinaria propuesta como base de este trabajo. El resultado tangible de este trabajo, que es la construcción, permite contar con una gran herramienta a futuro en el área de mecanizado computarizado.

Para este trabajo se generará el diseño mecánico, eléctrico, electrónico y programación con el cual se construirá un prototipo de fresadora dado que es la que presenta ventajas en cuanto a su construcción y de generación de piezas frente a un torno el cual solo puede mecanizar figuras por medio de revolución, y ésta da la posibilidad de crear diversas figuras en relieve.

1.2. Abstract

The development of technologies and researches emerges as a subject of increasing importance not only in our country, but around the world and is the reason for this assignment. We propose the replica and operation of a ‘CNC Milling Machine’ applying the knowledge acquired throughout the course of studies.

The aim of this investigation is to research and deliver every technical aspect of the design and implementation of this machine so as to become a guide in the development of machines which are similar to the one used as the basis of this paper. The concrete result of this assignment, the

built of a milling machine, allows users to have an outstanding tool in the computer aided machining area within future basis.

The mechanical, electrical and electronic design such as the programming with which the prototype of the milling machine is being built is going to be generated by the members of this group, given the fact that this type of machine presents advantages regarding its construction and the production of its components. This advantages and the operability are confronted with a lathe tool which is only capable of mechanizing figures by revolutions; contrary to the milling machine which can create several embossed figures.

1.3. Introducción

El presente trabajo tiene por finalidad la integración de las materias estudiadas generando el diseño e implementación del desarrollo para una máquina de control de mecanizados, demostrando que con los conocimientos adquiridos por la carrera un ingeniero puede desarrollar este tipo de tecnologías. En este caso, las máquinas de Control Numérico Computarizado (CNC) pretenden lograr:

- Diseñar la estructura mecánica de la máquina, la cual soportara los componentes mecánicos/eléctricos estáticos/móviles que la integran.
Se debe dejar en claro que la construcción de la máquina, es decir, la parte mecánica no es un objetivo secundario del trabajo, está incluido en un todo con la parte eléctrica, electrónica y la programación.
- Optimizar la distribución de los componentes de tal manera que facilite el trabajo.
- Implementar un sistema de sensores (finales de carrera) que puedan asegurar el correcto funcionamiento y operación de la máquina.
- Utilizar una interfaz mediante algún software para la comunicación entre la información fuente y el prototipo de máquina fresadora CNC.

2.

2.1. Estado del Arte: Historia de las Maquinas-Herramientas

Desde que el hombre utilizó sus primeras herramientas de corte pasaron millones de años y unos 10 siglos desde que creó sus primeras máquinas herramientas. Recién en el siglo XX tanto las herramientas de corte como las máquinas que las utilizan tuvieron sus más importantes desarrollos y mejoras. Pero en los últimos 10 años ambas comenzaron a presentar variantes y alternativas que prometen producir grandes cambios comparables con los de la revolución industrial.

2.2. Historia del Sistema de CN

Mucho antes que la Fuerza Aérea Norteamericana llevara a cabo sus estudios sobre CN, se realizaron varios intentos en formas convencionales de control. El CN en su forma actual (CNC) no se desarrolló hasta mitad de este siglo. Durante la segunda guerra mundial hubo rumores de que los alemanes estaban investigando sobre un sistema electromecánico que usaba entrada numérica para operar máquinas herramientas. Aproximadamente al mismo tiempo John Parsons de Michigan, concibió un sistema para controlar numéricamente, un copiado para fabricar plantillas de inspección para palas de helicóptero. En 1946 presentó su idea a la USAF y 2 años después firmó un contrato para investigar su factibilidad. A la vez, se firmó un contrato con el *Massachusetts Institute of Technology* (M.I.T.) para desarrollar un prototipo de fresadora controlada por CN. Dos años después se prolongó el contrato. En 1952 el Laboratorio de Servomecanismos del M.I.T., hizo una demostración del prototipo y puede decirse que comenzó una segunda revolución industrial. Inmediatamente después de haberse desarrollado el primer sistema controlado por CN, la investigación se orientó hacia el problema de la preparación de datos. Una vez que el sistema electromecánico se perfeccionó, los productores desearon poder transmitir sus ideas directamente a la herramienta cortante, enfrentándose al problema de cómo definir esas abstracciones de manera de hacerlas "entendibles" por la máquina.

2.3. CNC, Control Numérico Computarizado

Con el avance de los CNC, se redujo costos y permitió obtener productos antes muy difíciles o imposibles de realizar en calidad y cantidad suficientes por ser sus procesos demasiados

complejos de controlar para un operador. Pero el factor que condicionó todo automatismo en las máquinas-herramientas fue el aumento de la productividad. Posteriormente aparecieron otros como la precisión, la rapidez y la flexibilidad. A la aplicación de los equipos CNC se sumó un nuevo paso de la revolución informática que abrió enormes posibilidades para el diseño desarrollo y fabricación de productos a menores costos; los procesos CAD de diseño y CAM de fabricación, asistidos por computadora.

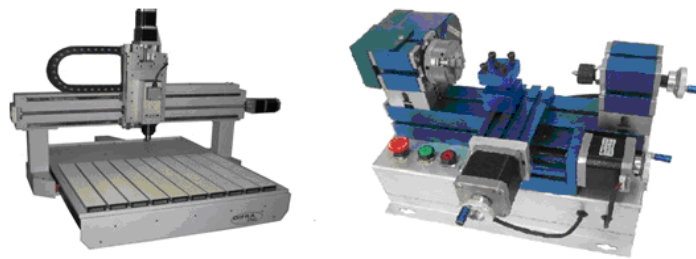


Figura 1. Izquierda Fresadora CNC, Derecha Torno CNC

2.4. Descripción de una Fresadora CNC

Básicamente, las fresadoras CNC son muy similares a las convencionales y poseen las mismas partes móviles, es decir, la *mesa*, *el cabezal de corte*, *el husillo* y *los carros de desplazamiento lateral y transversal*. Sin embargo, no presentan palancas ni manivelas para accionar estas partes móviles, sino una *pantalla* inserta en un panel repleto de controles y una *caja metálica* donde se alojan los componentes eléctricos y electrónicos que regulan el funcionamiento de motores destinados a efectuar el mismo trabajo que hacían las palancas y manivelas de las viejas máquinas. Entre estos componentes se encuentra el CNC, que es una *computadora* principalmente responsable de los movimientos de la fresadora a través del correspondiente software. La combinación de electrónica y motores o servomotores de accionamiento es capaz de lograr todas las operaciones de fresado posibles.

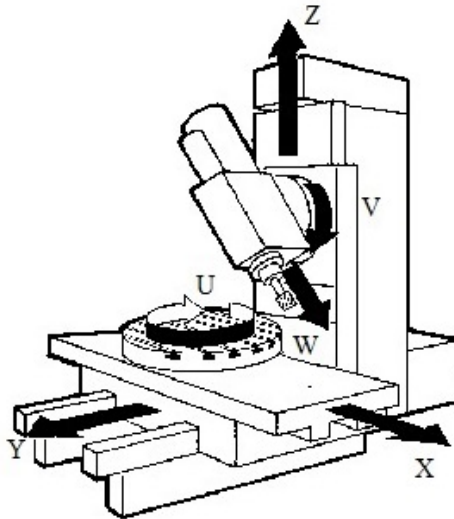


Figura 2. Movimientos de los Ejes principales y Auxiliares de una Fresadora

La Figura 2 esquematiza una fresadora CNC típica con todos los ejes posibles de trabajo; los ejes principales: **[X, Y, Z]**. Si la fresadora dispone de una mesa fija, estos tres desplazamientos son ejecutados por el cabezal, y ejes complementarios **[U, V, W]**, cuya trayectoria no sea únicamente lineal, sino también rotatoria. Posee un software que contiene números, letras y otros símbolos - por ejemplo, los **códigos G** y **M**- que se codifican en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones capaz de desarrollar una tarea concreta. Los **“códigos G”** son funciones de movimiento de la máquina (movimientos rápidos, avances, avances radiales, pausas, ciclos), mientras que los **“códigos M”** son las funciones misceláneas que se requieren para el maquinado de piezas, pero no son de movimiento de la máquina (arranque y paro del husillo, cambio de herramienta, refrigerante, paro de programa, etc.). De esto se desprende que para operar y programar este tipo de máquinas se requieren conocimientos básicos en operaciones de mecanizado en equipo convencional, conocimientos elementales de matemática, dibujo técnico y manejo de instrumentos de medición. En la actualidad el uso de programas CAD (diseño asistido por computadora) y CAM (fabricación asistida por computadora) es un complemento casi obligado de toda máquina CNC, por lo que, generalmente, la manufactura de una pieza implica la combinación de tres tipos de software:

1. **CAD:** realiza el diseño de la pieza.
2. **CAM:** calcula los desplazamientos de los ejes para el maquinado de la pieza y agrega las velocidades de avance, velocidades de giros y diferentes herramientas de corte.
3. **Software de control** (incluido con la máquina): recibe las instrucciones del CAM y ejecuta las órdenes de desplazamiento de las partes móviles de la fresadora de acuerdo con dichas instrucciones.

2.5. CAD, Diseño Asistido Por Computadora

Los sistemas CAD pueden utilizarse para generar modelos de un determinado producto en el que se representan todas sus características como tamaño, contorno y formas de cada componente. Estos datos son almacenados en la computadora como dibujos bidimensionales y tridimensionales, luego el diseñador puede manipularlos y modificar las ideas del diseño con facilidad para avanzar en el desarrollo del producto, o incluso simular el funcionamiento de un producto o pieza.

2.6. CAM, Sistema de Manufactura Asistido por Computadora

El sistema de manufactura asistido por computadora o CAM ofrece importantes ventajas frente a otros métodos de control, se reducen los costos de mano de obra pero además se logra una precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo. Los equipos CAM se basan en una serie de códigos numéricos almacenados en archivos para controlar las tareas de fabricación. Este control numérico por computadora se obtiene describiendo las operaciones de la maquina en termino de códigos especiales y de la geometría de forma de los componentes creando archivos informáticos o programas de piezas común un software especial.

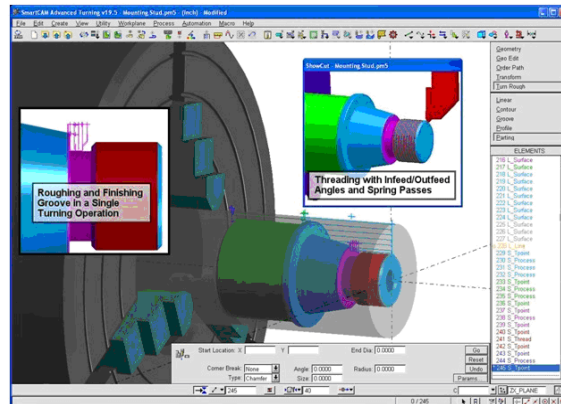


Figura 3. Simulación de mecanizado en un Torno mediante el uso del sistema CAM

2.7. CAD/CAM

Cuando los equipos CAM están conectados a los sistemas CAD de diseño conforman un sistema integrado CAD/CAM. Un diseñador puede utilizarlo para crear rápidamente un prototipo y analizar la viabilidad de un producto y un fabricante para producir con precisión un componente complejo. Las prestaciones que ofrecen los sistemas CAD/CAM están en constante expansión, también permiten la elección del material más adecuado para cada producto o pieza y el empleo de una variedad de máquinas CNC para producirlos.

Una tendencia que aprovecha al máximo el potencial del sistema CAD/CAM es la integración de todas las áreas de producción de la empresa para incrementar su productividad y competitividad.

2.8. Antecedentes

Existen cientos de miles de referencias tanto en nivel nacional como internacional de la implementación de *Control Numérico Computarizado* y *Centros Integrados de Mecanizado*, casi desde el comienzo de sus necesidades las grandes empresas han implementado el uso de estas máquinas. Se puede nombrar desde las Pymes hasta todo tipo de industria y gremios conocidos como el automotor (General Motors Company, Ford Company), alimentaria (Coca-Cola Co., Danone), mecánica (SKF, Magneti-Marelli), instrumentos de medición y precisión (Mitutoyo) y hasta herramientas (Baco, Robust, Crosmaster, etc.).

Por este motivo se dará un ejemplo sobre una empresa nacional **E.M.U. (Establecimientos Metalúrgicos Unidos)** y una internacional **HUNDEGGER**, la cual explican en su historia la

necesidades de mejorar sus tiempos de producción y precisión para entrar en un mercado el cual lo exige, ha implementado el uso de las maquinas especializadas para este tipo de producción.

2.8.1. E.M.U. (Establecimientos Metalúrgicos Unidos)

Reseña Histórica

Inicialmente fundada en 1930 con el objetivo de mecanizar en tornos tipo revolver conexiones de bronce para calefones y grifería, la empresa focalizó con el tiempo su producción en el mecanizado de piezas pequeñas ya sean a partir de barras para tornería automática o piezas de mediano y gran tamaño de fundición de hierro e inyección de aluminio.

Actualmente es uno de los mayores proveedores argentinos de productos mecanizados para la industria automotriz. Nuestro personal es altamente especializado, contando con un 70 % de personal técnico y profesionales de la ingeniería que participan activamente con nuestros clientes en los desarrollos de productos y servicios.

Contamos con un importante parque de maquinarias, como ser tornos automáticos mono y multi-husillos, fresas, rectificadoras tangenciales y sin centros, tornos a control numérico mono y bi-husillos, y centros de mecanizado verticales y horizontales a CNC. Apoyamos este equipamiento con una sala de metrología climatizada con máquinas de medición por coordenadas 3D para realizar los protocolos de medición, laboratorio de ensayos de materiales y oficina de Ingeniería de productos y proceso con CAD / CAM / CAE con interfase con nuestros clientes.

Inicialmente fundada en 1930 con el objetivo de mecanizar en tornos tipo revolver conexiones de bronce para calefones y grifería, la empresa focalizó con el tiempo su producción en el mecanizado de piezas pequeñas ya sean a partir de barras para tornería automática o piezas de mediano y gran tamaño de fundición de hierro e inyección de aluminio.

Actualmente es uno de los mayores proveedores argentinos de productos mecanizados para la industria automotriz. Nuestro personal es altamente especializado, contando con un 70 % de personal técnico y profesionales de la ingeniería que participan activamente con nuestros clientes en los desarrollos de productos y servicios.

Contamos con un importante parque de maquinarias, como ser tornos automáticos mono y multi-husillos, fresas, rectificadoras tangenciales y sin centros, tornos a control numérico mono y bi-husillos, y centros de mecanizado verticales y horizontales a CNC.

Apoyamos este equipamiento con una sala de metrología climatizada con máquinas de medición por coordenadas 3D para realizar los protocolos de medición, laboratorio de ensayos de materiales y oficina de Ingeniería de productos y proceso con CAD / CAM / CAE con interfase con nuestros clientes.

Nuestra Historia

- 1930 Se establece un pequeño taller de tornería en el límite de la ciudad.
- 1946 Se compran los primeros tornos automáticos CVA-8 (primeros en el País).
- 1960 Continúan las ampliaciones sobre las calles Cochrane y Bazurco. Se incorpora el primer torno multi-husillos Acme Gridley, para la producción de niples para la marca Alemite con exclusividad en el país.
- 1980 Se completa la edificación totalizando 2140 m² de superficie cubierta.
- 1981 Se obtiene la licencia de 3M para la aplicación del parche adhesivo autofrenante Scotch Grip a tornillos.
- 1989 Se adquiere la Planta N°2 para la aplicación de acabados superficiales Xylan , Dacromet , Polyseal mediante un proceso de Dip-spinning.
- 1992 Reemplazo de 14 tornos automáticos por nuevas unidades de última generación MAS A20B/A50 y agregado del sector de rectificación
- 1994 Se edifican 1200 m² sobre Cochrane para instalar nuevas máquinas a CNC (tornos y centros de mecanizado). Totalizando 3544 m² de superficie cubierta.
- 1995 Instalación de un nuevo torno multi-husillo ZPS Say 6/25PLC y 4 centros de mecanizado horizontal a CNC.
- 1996 Se obtiene el certificado de Tüv Essen para el Sistema de Calidad según la Norma ISO 9002/94. Se instala la sala de metrología.

- 1997 Se incorporan 3 centros de mecanizado horizontal CNC y dos tornos CNC totalizando para el mecanizado 17 equipos a CNC, 3 tornos automáticos multi-husillos y 29 mono-husillos. Certificación QS-9000/95 (5° proveedor argentino en obtener dicho certificado).
- 1998 Construcción de una nueva planta de mecanizado en la localidad de Vicente López. Incorporación de 5 tornos bi-husillos a CNC, un centro de mecanizado horizontal de 5 ejes a CNC y 4 tornos a CNC mono-husillos.
- 1999 Se instala una celda de mecanizado de cubos de rueda. La Empresa totaliza a dicho año 32 equipos a Control Numérico Computado.
- 2001 Incorporación de tres tornos a CNC nuevos de 25HP y 1 metro entre puntas.
- 2002 Unificación de plantas productivas, nuevo lay-out. Representaciones comerciales en Brasil y USA. Certificación de la Norma ISO 14001. Obtención de la nueva versión Q1 2002 de Ford. Incorporación de centro de mecanizado Mazak de 4 ejes, 800 mm. de pallet y 80 herramientas.
- 2003 Incorporación de un centro de torneado vertical y tres centros de mecanizados (horizontal/vertical Hitachi y Mazak) de gran porte. Implementación y certificación del Sistema de Gestión de Calidad conforme a ISO TS-16949:2002.
- 2004 Incorporación de dos centros de mecanizado horizontales Mazak H400 y OKK un torno CNC de 4 ejes. Nuevas oficinas de Calidad Central, Producción, Programación y Logística. Nueva sala de metrología y laboratorio, incorporación de nueva máquina de medir a CNC marca Mitutoyo de gran porte.
- 2005 Incorporación de 2 centros de mecanizados CNC KIA V50 y VX500, centro Mazak VQ15-20, 2 centros Miyano TSV35, 2 centros Mazak H400, laminadora Zurzolo LRP15, 2 tool Setter (Leadwell y Zoller). Fresadora para matricera con regleta digital y regletas digitales para torno matricera. En el departamento de Calidad, medidor de ultrasonido y proyector de perfiles digital Mitutoyo.
- 2006 Incorporación de Centro de mecanizado horizontal CNC Leadwell LCV760 con cambiador de pallet, torno KIA LM21 con sub husillo y herramientas motorizadas, 2

centros Mazak H400. Para el área logística, incorporación de un apilador Eterna de 1,5ton y un auto elevador Toyota. En el área calidad, adquisición de un rugosímetro Mitutoyo.

Se comenzó a trabajar en la administración y Planta con un nuevo sistema informático para el control de Proceso y nuevo sistema para liquidación de sueldos. En septiembre se adquirió un lote lindante donde se construirán 460 metros cuadrados totalizando 3910 metros cuadrados cubiertos destinados a producción y nuevo depósito de materias primas. Se recertificaron el Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001 en su versión del 2004 y la Norma ISO/TS 16949:2002 con el Tüv Rheinland.

- 2007 Durante el receso por vacaciones anuales se rehicieron 1000 m2 de piso de planta con nueva tecnología cementicia. En el mes de abril se prevé terminar con la ampliación de la Planta. Se incorporarán 1 Centro de mecanizado horizontal rápido (50m/min) KIA HS400 de 400mm. de pallet, 2 centros Horizontales HX630 y HS630 de alta precisión y rapidez de 50m/min KIA de 630mm de pallet, 1 centro Horizontal Mazak HTC400, otra máquina de medir CMM Mitutoyo BND 7106.
- 2008 Incorporación de Centro de mecanizado horizontal Mazak HTC400 y vertical VTC16. Construcción de depósito en altura Mecalux.
- 2009 Se incorpora al sector de Logística auto elevador Toyota 2.500kg. y 7 metros de alzada. Nuevo sistema de Logística según MMOG de Ford, con lectora de códigos de barras integrado al sistema de control de la producción y entregas. En Calidad Central, un redondímetro Mitutoyo, y en Planta un compresor Sullair de 40HP con secador SRD 10/20.
- 2010 Se cumplen 80 años de vida de la Compañía. Retrofitting balanceadora electrónica computada Cobi. Se incorpora centro Toyoda FA450 de 400 mm. de pallet. Torno CNC Nomura con husillo móvil.
- 2011 Adquisición de 3 Centros de Mecanizado Horizontales (Mazak FH480, 2 Mori Seiki SH63), un Torno Vertical CNC Leadwell VTL600, un medidor CMM de Producción Carl Zeiss, nuevo Tool Setter CNC Zoller, nuevo Sistema de Control de Gestión Administrativa Integral y de Mantenimiento.

Incorporación de Torno Hyundai-Kia SKT200TTSY de 250 mm volteo y 12 ejes

- 2012 Adquisición y puesta en marcha de:
Brazo de medición CMM Tesa longitud 1.20m para uso en línea producción.
Espectrómetro OXFORD digital Base Hierro y Aluminio para análisis químico de metales 52 elementos.
- 2013 Implementación de sistema de información en tiempo real con ayuda visual digital de producción. Se han agregado los siguiente equipamientos: Compresor Sullair SEnergy 20HP ultra silencioso, Microdurómetro digital de 10kg de carga, durómetro portátil, 3 centros de mecanizado horizontales 400mm pallet WIA HS400i. Adquisición de una MARCADORA LASER. Nueva balaceadora motorizada Vertical Cobi Digital.
- 2014 Adquisición de un nuevo centro de mecanizado horizontal de 400 mm de pallet KIA HS4000i.

3.

3.1. Objetivos Generales

Considerando la información otorgada al lector sobre que son las Maquinas-Herramientas, las Herramientas de Corte, sistemas de diseño CAD y CAM, etc., podemos proceder a explicar los objetivos generales del trabajo.

En el siguiente informe se explicara como reproducir una Fresadora CNC con la finalidad de integrar todos los elementos aprendidos durante la carrera y poder aplicarlos al desarrollo y construcción de tecnologías emergentes y nuevas tecnologías.

Cuando se decidió la construcción de la máquina, se consideró el armado integro de la misma, desde la parte mecánica constructiva, la selección de materiales electrónicos, eléctricos y de fuerza motriz, los conexionados y todos los elementos de seguridad que estos conllevan para asegurar un trabajo sin riesgos eléctricos.

3.2. Objetivos Específicos

- Que se comprenda el concepto de Control Numérico Computarizado y lo identifique en el contexto cotidiano.
- Adoptar una nueva terminología en el ámbito de la producción, en la industrialización y automatización de los procesos.
- Que el lector sepa que esta tecnología está al alcance de todos y se puede fabricar de manera casera teniendo en cuenta ciertos parámetros constructivos y conocimientos.
- Identificar las partes de una máquina herramienta de control numérico.
- Que el lector comprenda la importancia de lo que representa el tiempo y la calidad en la industria y como un Control Numérico Computarizado puede ofrecerlo.
- Poner en práctica los conocimientos teóricos de programación CNC en un caso real.
- Identificar el lenguaje de programación CNC necesario para realizar el recorrido de una pieza con interpolaciones lineales dentro de su trayectoria.
- Plantear un procedimiento de programación CNC para piezas con interpolaciones lineales.

3.3. Dificultades en la Industria Actual

Como se ha visto, las tendencias de globalización y segmentación internacional de los mercados son cada vez más acentuadas. Y como estrategia para enfrentar este nuevo escenario, la automatización representa una alternativa que es necesario considerar.

Los países de mayor desarrollo, poseen una gran experiencia en cuanto a automatización se refiere y los problemas que ellos enfrentan en la actualidad son características distintas a los nuestros. Por lo cual es necesario precisar correctamente ambas perspectivas.

Entre los problemas industriales de estos países desarrollados podemos mencionar:

- Existe cada vez una mayor exigencia en la precisión
- Los diseños son cada vez más complejos
- La diversidad de productos hace necesario la tendencia a estructuras de producción más flexibles.
- Se tiende a incrementar los tiempos de inspección
- Los costos de fabricación de moldes es mayor y se hace necesario minimizar errores.
- El tiempo de entrega de los productos tiende a ser cada vez más reducido.

La formación de instructores es cada vez más difícil, pues se hace necesario personal cada vez más experimentado.

El entorno del ambiente industrial se encuentra frecuentemente con situaciones tales como:

- Escasez de mano de obra calificada.
- Producción masiva de múltiples modelos de un mismo producto,
- Ambiente de producción y taller poco atractivo.

Estos aspectos son más fáciles de encontrar en sociedades industriales, que en países subdesarrollados.

3.4. Tipos de Automatización

Existen cinco formas de automatizar en la industria moderna, de modo que se deberá analizar cada situación a fin de decidir correctamente el esquema más adecuado.

Los tipos de automatización son:

- Control automático de procesos

- El procesamiento electrónico de datos
- La automatización fija
- El control numérico computarizado
- La automatización flexible.

Un mayor nivel de flexibilidad lo poseen las máquinas de control numérico computarizado. Este tipo de control se ha aplicado con éxito a maquinas-herramientas de control numéricos (MHCN), entre las MHCN podemos mencionar:

- Fresadoras CNC
- Tornos CNC
- Máquinas de Electroerosión
- Máquinas de corte por Hilo, etc.

3.5. Ofrecimientos del CN

Las maquinas con CN han sido ampliamente aceptadas en todo el mundo, y esta aceptación ha sido un resultado de su exactitud, confiabilidad, respetabilidad y productividad.



Figura 4. Ofrecimientos de las maquinas CN

Exactitud: Las maquinas herramienta con CN nunca hubieran sido tan bien aceptadas por la industria, si no hubieran sido capaces de maquinarse a tolerancias muy cerradas. Al tiempo que el CN se estaba desarrollando, la industria estaba buscando una forma para mejorar las tasas de producción y lograr más exactitud en sus productos.

Las maquinas herramienta con CN modernas son capaces de producir piezas tan exactas dentro de tolerancias de 0.0001 a 0.0002 de pulgadas (0.0025 a 0.0050 mm.) Las maquinas herramientas han sido mucho mejor construidas y los sistemas de control electrónico aseguran la exactitud dentro de las tolerancias permitidas por los dibujos de ingeniería.

Confiabilidad y Respetabilidad: La respetabilidad y confiabilidad son muy difíciles de separar porque muchas de las mismas variables afectan a ambas. La respetabilidad de una máquina-herramienta significa comparar cada pieza producida en la máquina para ver cómo se compara a otras en tamaño y exactitud. La respetabilidad de las maquinas con CN debe ser al menos la mitad de la tolerancia más pequeña permitida para la pieza.

Para mantener la respetabilidad de una máquina-herramienta es importante que se establezca para cada máquina un programa de mantenimiento regular.

Cuidar que la colocación y sujeción de la pieza sea lo más precisa posible, ya que una parte mal sujeta y posicionada resultara en desecho.

Productividad: La meta de la industria ha sido siempre producir mejores productos a precios competitivos o menores para ganar más mercados.

Día a día la competencia en los mercados es más agresiva por esta razón, los fabricantes deben continuar reduciendo los costos de producción y construir productos de mejor calidad y deben conseguir un rendimiento mayor por trabajador, la mayor producción por máquina y mayor rendimiento y productividad por cada peso de capital invertido. Estos factores justifican el uso del CN y la automatización de las fábricas.

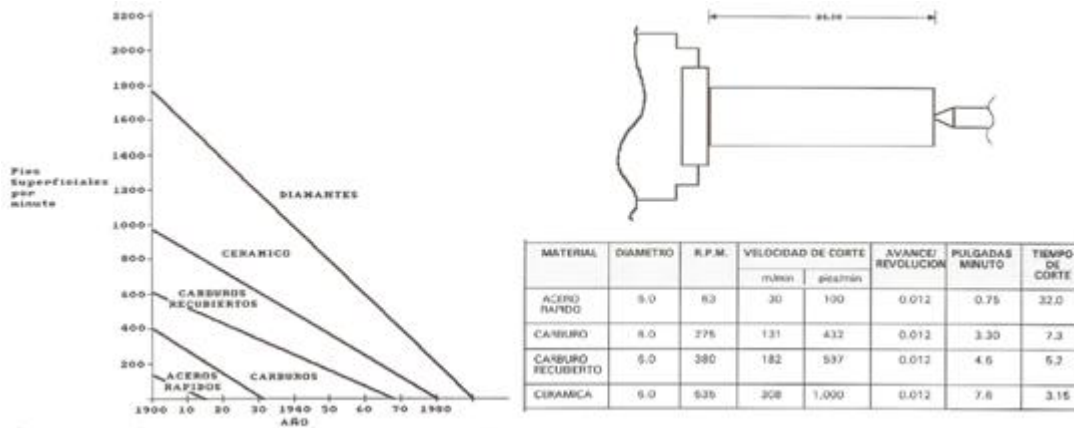


Figura 5. a) Grafica de Cantidad de Desbaste vs. Tiempo en Años, b) Dibujo de una pieza acotada, c) Tabla 2. Parámetros característicos para el mecanizado.

Con las maquinas con CN se han eliminado los errores humanos provocados por la fatiga del operador, de esta manera, ahora es posible organizar la repetitividad en el maquinado de varias piezas que imponen el mercado industrial no solo a nivel nacional sino a nivel mundial.

3.6. El CN y las series de Producción

En este punto se hará referencia única y exclusivamente a la aplicación del CN aplicado a las maquinas-herramientas, ya que es en este campo donde el CN ha tenido su más amplia aplicación. Sin embargo, debo aclarar que el CN se está aplicando a una gran variedad de procesos industriales.

A continuación se verá la creación al número de piezas que se ha fabricado donde incide primordialmente la aplicación del CN .La pregunta es, ¿Por qué el número de piezas?, por que como prioridad la cantidad de piezas nos dará la pauta para seleccionar el equipo adecuado. Como es sabido las cuatro variables fundamentales que inciden en un automatismo son: productividad, precisión, rapidez y flexibilidad, de aquí que dependiendo de la serie de fabricación será el automatismo a elegir.

1. Grandes series (mayor de 10000 piezas)

Cuando se tiene que fabricar grande series es necesario recurrir a las maquinas transfer construidas por varios automatismos que trabajan en forma sincronizada.

2. Series medias (entre 50 y 10000 piezas)

Operaciones a utilizar para resolver este tipo de fabricación.

- i) Maquinas copiadoras.
- ii) Controles programados
- iii) Maquinas con CNC

Como ya se ha mencionado, la utilización de un automatismo depende de la precisión, flexibilidad y rapidez exigida.

Estudios experimentales han comprobado que las maquinas con CN son recomendadas cuando las series de fabricación se mantengan entre 5 y 1000 piezas que deberán ser repetidas durante el año. En este rango el CN presenta grandes ventajas.

3. Series menores de 5 piezas

Cuando las piezas son muy difíciles de mecanizar en máquinas convencionales, aun en estas series tan pequeñas el CN es factible su utilización ya que en locaciones resulta más barato mecanizar una pieza muy compleja en una maquina con CN que en una convencional. Pero si las piezas son muy complejas, la solución para la fabricación de estas series son las maquinas convencionales.

De lo anterior deducimos que cuando el número de piezas por fabricar se mantenga dentro de los límites medios, es decir entre 5 y 1000 piezas aproximadamente el CN representa la solución ideal debido a las ventajas ya citadas.

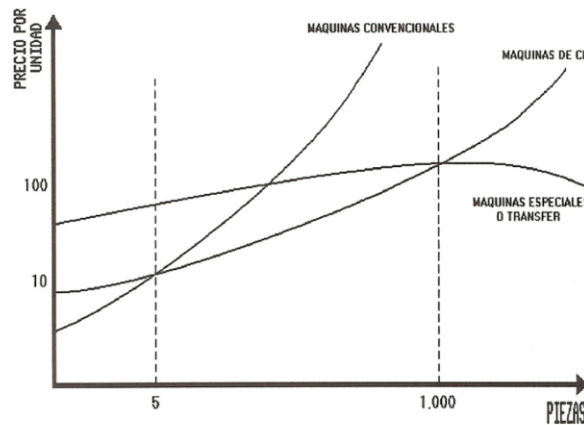


Figura 6. Grafica de Precio Unitario vs. Cantidad de piezas

3.7. Fabricación de las MHCN

El diseño adecuado de las estructuras de las maquinas-herramientas requiere el análisis de factores como materiales de las estructuras así como sus formas, esfuerzos, peso, consideraciones de fabricación y rendimiento.

El mejor enfoque para obtener lo último en exactitud de las maquinas-herramientas es el empleo del bastidor del tipo caja, que tiene una rigidez estática mucho mejor, porque se reduce mucho la necesidad de tener acceso manual a la zona de trabajo.

El empleo de una estructura del tipo caja con paredes delgadas puede proporcionar bajo peso para una rigidez dada el principio del diseño con peso ligero, ofrece alta rigidez dinámica por que se suministra una alta frecuencia natural de la estructura mediante la combinación de una elevada

resistencia estática con un peso reducido, en vez de emplear una masa grande, esto es para la herramienta y el centro de control numérico. Pero para la fabricación de equipos es necesario que sean robustos y que estén fijos para evitar vibraciones para que la pieza a fabricar salga lo más perfecta posible, ya que la vibración provoca movimientos y esto es algo que no se desea.

- Las ventajas del control numérico computarizado es la facilidad de operación, programación más sencilla, mayor exactitud, adaptabilidad y menos costos de mantenimiento, la combinación del diseño asistido por computadora, mayor productividad, etc.
- La desventaja es que las condiciones que influyen en las decisiones con la automatización son los crecientes costos de producción, alto porcentaje de piezas rechazadas, demoras en la producción, escasez de mano de obra, condiciones peligrosas de trabajo, los factores que se deben estudiar con cuidado son el alto costo inicial del equipo, los problemas de mantenimiento y el tipo de producto.

3.8. Factor Maquina

La máquina-herramienta seleccionada debe ser capaz de llevar a cabo el trabajo de mecanizado bajo requerimientos de precisión y economía preestablecidos.

El diseño de las maquinas-herramientas se basa en tres condiciones:

- Rigidez mecánica.
- Estabilidad Dinámica.
- Rigidez Térmica.

La rigidez mecánica es la capacidad de la máquina para soportar los esfuerzos o sollicitaciones externas. Esta consideración está presente de forma esencial en el diseño de la cimentación, bancada y estructura de la máquina.



Figura 7. Características para una Operación de Mecanizado

El volumen de viruta extraído por unidad de tiempo o de avance (volumen de viruta removida) es un parámetro productivo que depende de la potencia que la máquina-herramienta puede proporcionar para el giro de su husillo principal.

Para la programación es esencial conocer las prestaciones posibles de la transmisión de par de giro básico. Dependiendo de la configuración del motor y de la caja reductora se pueden seleccionar un conjunto limitado (valores fijos) o ilimitados (dentro de un rango) de velocidades de giro.

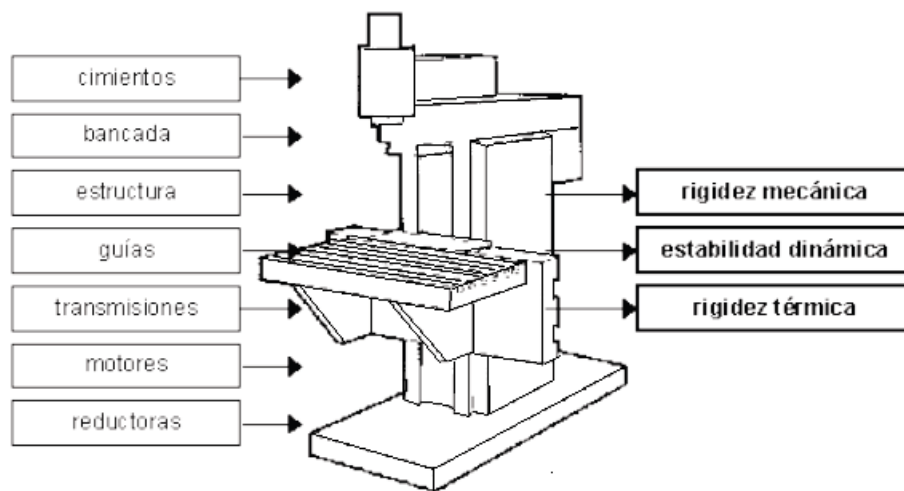


Figura 8. Factores de una Máquina-Herramienta

3.9. Descripción de los Componentes de una Fresadora CNC

Una máquina de control numérico utiliza muchos componentes tanto mecánicos como eléctricos o electrónicos, por lo que a seguir se va a describir los componentes principales que debe tener una **Fresadora CNC**.

Nos encargaremos de los componentes y la descripción de los mismos, la forma de uso conjunta y el cálculo de los mismos se verá en el capítulo siguiente.

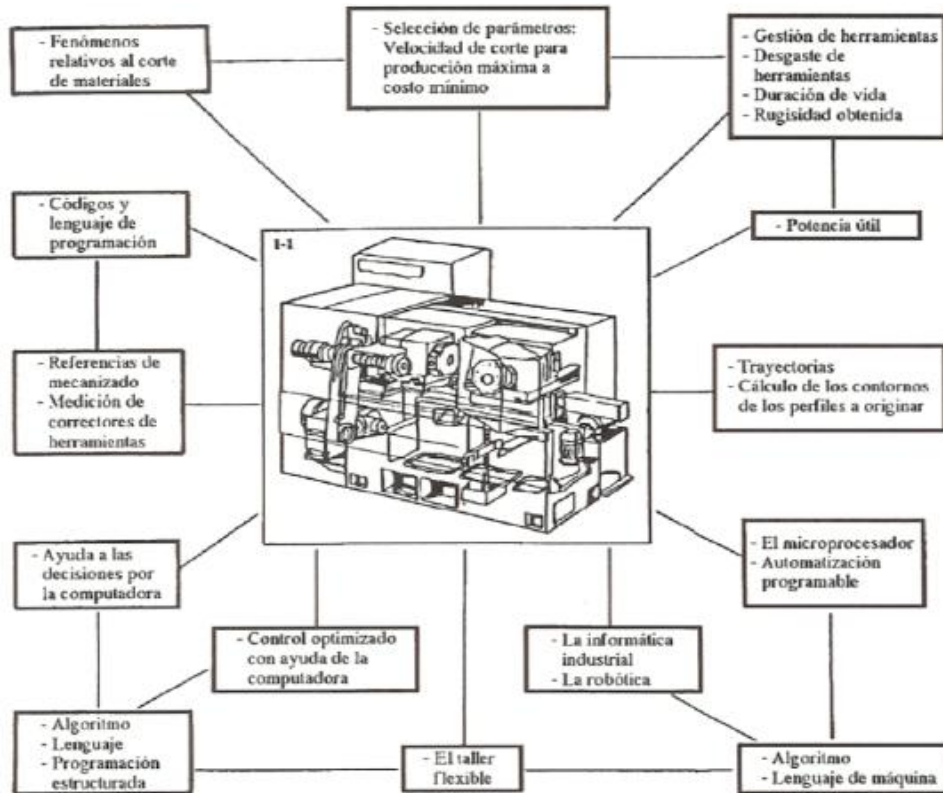


Figura 9. Factores de la máquina-herramienta con control numérico

3.10. Fresadoras según el número de ejes

Las fresadoras pueden clasificarse en función del número de grados de libertad que pueden variarse durante la operación de arranque de viruta.

- Fresadora de tres ejes. Puede controlarse el movimiento relativo entre pieza y herramienta en los tres ejes de un sistema cartesiano.
- Fresadora de cuatro ejes. Además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes, se puede controlar el giro de la pieza sobre un eje, como con un mecanismo divisor o un plato giratorio. Se utilizan para generar superficies con un patrón cilíndrico, como engranajes o ejes estriados.
- Fresadora de cinco ejes. Además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes, se puede controlar o bien el giro de la pieza sobre dos ejes, uno perpendicular al

eje de la herramienta y otro paralelo a ella (como con un mecanismo divisor y un plato giratorio en una fresadora vertical); o bien el giro de la pieza sobre un eje horizontal y la inclinación de la herramienta alrededor de un eje perpendicular al anterior. Se utilizan para generar formas complejas, como el rodete de una *turbina Francis*.

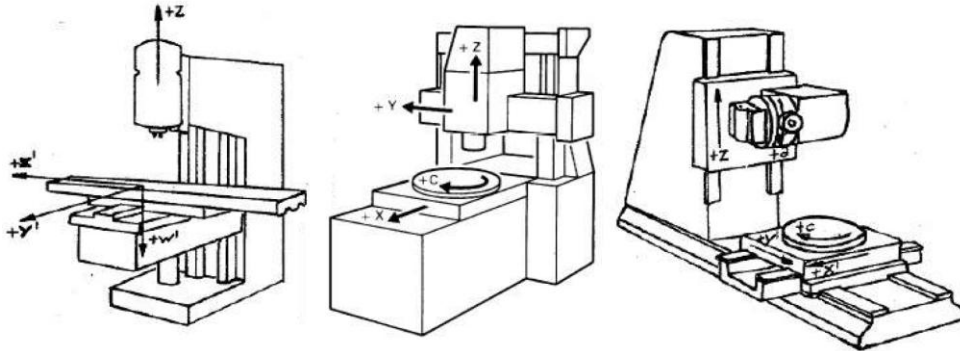


Figura 10. De izquierda a derecha, fresadora de 3, 4 y 5 ejes.

3.11. Velocidad de rotación de la fresa

La velocidad de rotación n de la fresa debe ser la correspondiente a la velocidad de corte v del material trabajado y al material de la fresa, para lo cual la fresadora tiene dispuesto un sistema de transmisión que varía la velocidad de acuerdo a la necesidad de cada caso.

Las velocidades de rotación y de corte ya fueron introducidas en la (1) y (2) respectivamente, la primera a la velocidad angular ω en rad/s y la segunda a la velocidad tangencial en m/s de la misma, estando relacionadas por las siguientes expresiones:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (1)$$

$$v = \omega \frac{d}{2} = \omega r \quad (2)$$

De la (1) y (2) se puede escribir:

$$\omega = \frac{2\pi n r}{60} = \frac{\pi n d}{60} \quad (3)$$

Operando la (3), se puede escribir:

$$n = \frac{60 v}{\pi d} \quad (4)$$

MATERIAL	VELOCIDAD DE CORTE		VELOCIDAD DE AVANCE
	Desbastado V	Acabado V	Va (mm/min.)
Cobre y Aluminio	60-80	80-100	80-120
Bronce Común	25-28	35-40	90
Bronce Endurecido	20-25	30-35	45
Acero dulce ...Kz=40-50 Kg./mm ²	16-20	25-30	60
Acero...Kz=60 Kg./mm ²	15-18	22-25	40
Acero mediano ...Kz=70 Kg./mm ²	12-16	18-22	30
Acero duro ...Kz=80 Kg./mm ²	10-15	16-18	25
Acero muy duro ...Kz=90 Kg./mm ²	9-13	14-16	22
Acero muy duro ...Kz=100 Kg./mm ³	8-12	13-15	20
Fundición Común	12-15	18-20	45
Fundición Dura	17-20	12-15	18

Tabla 1. Velocidades de corte y avance dependiendo el material a trabajar

Existen distintas tablas que dan los valores de ks , v y Va , según el material a trabajar y del tipo de material con el cual está construida la fresa, una de las cuales se da a continuación a modo de ejemplo.

3.12. Componentes Generales para el armado de una Fresadora CNC

Para el armado de una fresadora, hay que tener en cuenta varios aspectos: constructivos/mecánicos, eléctricos, fuerza motriz, electrónicos y programación.

Teniendo en cuenta estos elementos se puede desarrollar una maquina compleja que realice trabajos de manera automática.

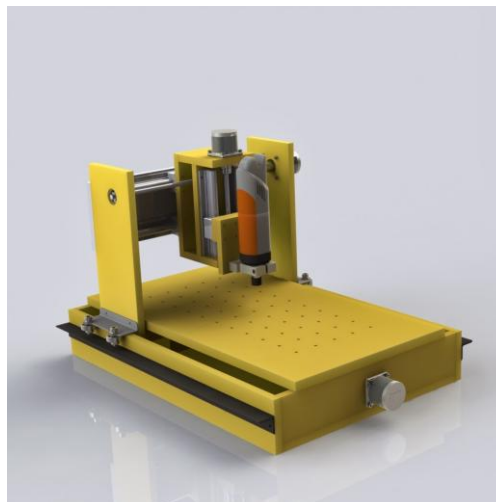


Figura 11. Grafica representativa de una fresadora CNC casera, dibujada en un programa 3D

3.13. Mecánicos

Los componentes mecánicos principales de una maquina fresadora son:

Cuerpo de la maquina: Es la estructura de la máquina, la cual soportara todo tipo de esfuerzo mecánico realizado por esta; este puede ser acero o aluminio en placas, planchas y/o perfiles, en plástico o madera.

Varillas Roscadas: Este elemento mecánico permite poner en cuadra la máquina, y a su vez sirven de guías para los ejes sobre los cuales se desplazara cada uno de los cuerpos asignados al X, Y, Z.



Figura 12. Barilla roscada tipo triangular o Whitworth

Rodamientos: Son los elementos mecánicos que permiten la sincronización (o la mejora de la misma) junto con la varilla roscada, en el traspaso del momento del torque motor al movimiento lineal del eje al cual esta acoplado; reduciendo esfuerzos de roce e inercia, ayudando a la mejora de la máquina.

Existen 4 tipos de rodamientos comunes utilizados por esta máquina, los cuales son:

- **Rodamientos Rígidos a Bolilla:** Son usados en una gran variedad de aplicaciones. Son fáciles de diseñar, no separables, capaces de operar en altas e incluso muy altas velocidades y requieren poca atención o mantenimiento en servicio, se usan para esfuerzos del tipo axiales puros (se consideran las cargas del peso muy inferiores a lo que el elemento puede soportar); estas características, unidas a su ventaja de precio, hacen a estos rodamientos los más populares de todos los rodamientos.



Figura 13. Rodamiento a bolillas

- **Rodamientos Rígidos a Rodillos:** Los rodamientos de rodillos cilíndricos son muy rígidos, soportan elevadas cargas radiales, más aun si se los inclina para dividir los esfuerzos. Si poseen jaula, son más adecuados para elevadas velocidades de giro que las ejecuciones sin jaula. Los rodamientos tienen un conjunto de rodillos cilíndricos reforzado y, por ello, tienen las máximas capacidades de carga.

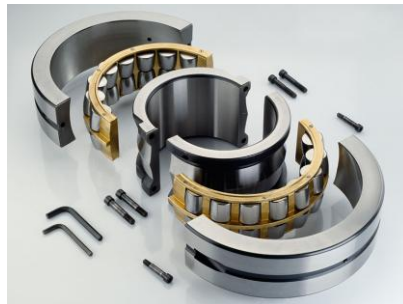


Figura 14. Rodamiento a rodillos

- **Rodamiento Lineales:** Son elementos que se componen de soportes, segmentos móviles y obturaciones con soporte cerrado o abierto. Posee segmentos compuestos por: la parte superior del segmento, la placa soporte, los elementos rodantes (bolas) y la parte inferior del segmento con pistas de rodadura para las bolas.

Compensan los errores de alineación del eje mediante los segmentos móviles, que permiten desviaciones del eje de hasta un máximo de 40 minutos; no tienen reducción de la capacidad de carga a causa de la presión en los bordes, dentro de la inclinación tolerada del eje, por lo que soportan cargas mucho mayores que los rodamientos lineales a bolas no auto-alineables.



Figura 15. Rodamientos a lineales a bolillas

- Rodamiento de Bolas Recirculantes:** Un eje roscado proporciona un camino de rodadura helicoidal a unos rodamientos de bolas que actúan como un tornillo de precisión. Como el movimiento se realiza por rotación, no por deslizamiento, el rozamientos es menor, la fricción del conjunto es baja. Y como el esfuerzo se reparte entre varias bolas, es capaz de aplicar o resistir altas cargas de empuje. Se pueden fabrican con unas tolerancias estrechas y por tanto son adecuados para su empleo donde se necesita una alta precisión. El conjunto de bolas actúa como la tuerca mientras el eje roscado es el tornillo.

En contraste con los husillos convencionales, los husillos a bolas tienden a ser bastante voluminoso, debido a la necesidad de disponer un espacio en el mecanismo para recircular las bolas. Para mantener su precisión inherente y garantizar una larga vida útil, se necesita tener gran cuidado para evitar la contaminación con polvo y partículas abrasivas. Esto se puede lograr mediante el uso fuelles de caucho o cuero para encerrar completamente o parcialmente las superficies de trabajo.



Figura 16. Rodamientos con bolillas recirculantes

3.14. Eléctricos

Los componentes eléctricos principales de una maquina fresadora son:

Fuente de Poder: la fuente de alimentación o fuente de poder es el dispositivo que convierte la corriente alterna (CA), en una o varias corrientes continuas (CC), que alimentan los distintos circuitos del aparato electrónico al que se conecta, en nuestro caso los motores paso a paso.



Figura 17. Fuente de corriente alterna a corriente continua

Motor Paso a Paso: Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° . Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

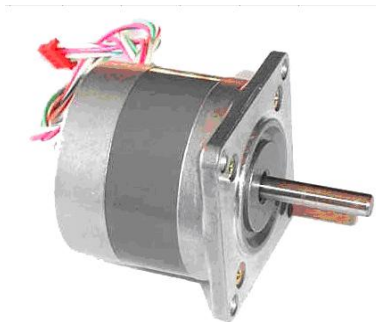


Figura 18. Motor paso a paso Bipolar

Ventajas:

- Los motores de pasos no tiene escobillas, por lo cual no demanda mayor mantenimiento.
- Facilitan un diseño efectivo y un bajo costo.
- Presentan alta confiabilidad, pero dependen de la carga.

- Posicionamiento en lazo abierto, pues en condiciones de carga ideales, su giro es confiable.
- Puede mantenerse estacionarios, es decir pueden detener un torque externo, dentro de los límites de carga.
- Limite conocido al “error de posición dinámica”
- Arranca con carga
- Respuesta favorable a un escalón de arranque, respuesta rápida.

Desventajas:

- Desplazamiento dependiente de la construcción del motor.
- Necesitan de un control cuando se mantiene energizada la bobina para evitar sobrecalentamiento del bobinado.
- Fuerza limitada, en comparación a servomotores o motores de corriente continua de igual tamaño.
- Perdida de pasos cuando se excede la carga nominal.

3.15. Motor de paso a paso de reluctancia variable

Para proceder con el diseño de la mesa, se necesitan establecer el tipo de motores de pasos a utilizar para mover los carros. Para esto debemos conocer los tipos de motores, los más convenientes para este caso serán los motores de reluctancia variable, estos tiene multipolar de hierro y un estator devanado laminado, y rota cuando los dientes del rotor son atraídos a los dientes del estator electromagnéticamente energizados. La inercia del rotor de un motor de paso de reluctancia variable es pequeña y la respuesta es muy rápida pero la inercia permitida de la carga es pequeña. Cuando los devanados no están energizados, el par estático de este tipo de motor es cero. Poseen de 3 a 5 bobinados conectados por un terminal común.

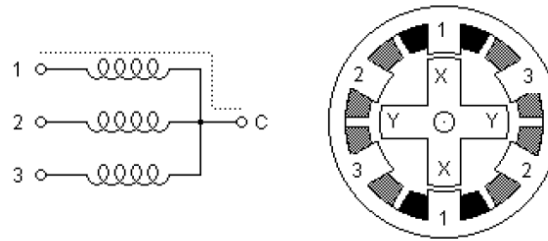


Figura 19. Equivalente de circuito de un motor PAP

En la figura se muestra un motor de reluctancia variable de treinta grados por paso. El rotor de este motor tiene cuatro dientes y el estator tiene seis polos. El diente del rotor “X” se encuentra magnetizado por la bobina 1. El motor gira en sentido horario cuando 1 se desactiva y 2 se activa, entonces los dientes del rotor Y es atraído por la bobina 2. La secuencia de activación de un motor de reluctancia variable de 30° por paso, con giro en sentido horario, para una vuelta completa, es decir 12 pasos, sería:

BOBNA	Pasos												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
2	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
3	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0

Tabla 2. Secuencia inductiva de los devanados de un motor PAP

3.16. Motor de paso Híbrido

Se caracteriza por tener varios dientes en el estator y en el rotor, el rotor con un imán concéntrico magnetizado axialmente alrededor de su eje. Este tipo de motor tiene una alta precisión y alto par y se puede configurar para suministrar un paso angular tan pequeño como 1.8°. Su estructura básica es:

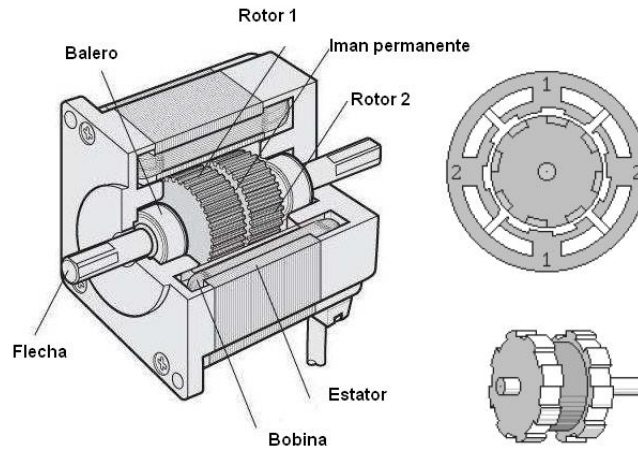


Figura 20. Parte interior de un motor PAP Híbrido

3.17. Motor de paso Bipolar

Estos tienen generalmente 4 cables de salida. Para ser controlados requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Presentan un buen torque, pero el bobinado tiende a calentarse excesivamente pues manejan corrientes elevadas (alrededor de 3 o 4 Amperes por bobina).

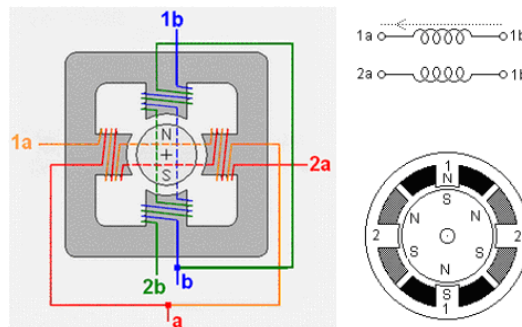


Figura 21. Equivalente de circuito y distribución de un motor PAP Bipolar

La figura muestra un motor de pasos bipolar treinta grados por paso, en el cual, como se puede ver, el rotor tiene polaridades fijas mientras que los cuatro dientes del estator deben cambiar su polaridad para atraer al rotor. La secuencia de activación de un motor bipolar de 30° por paso, con giro en sentido horario, para una vuelta completa, es decir 12 pasos, será:

BOBINA	Pasos												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
2	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
3	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
4	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0

Tabla 3. Secuencia inductiva de los devanados de un motor PAP Bipolar

3.18. Motor de paso Unipolar

Estos motores suelen tener 5 o 6 cables de salida dependiendo de su conexión interna. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar que un motor bipolar. El torque obtenido por este tipo de motores no supera al bipolar, pero la facilidad de su manejo compensa esta deficiencia, además, puede manejar corrientes altas pero el bobinado, al ser dividido, no se calienta tanto como en el motor bipolar.

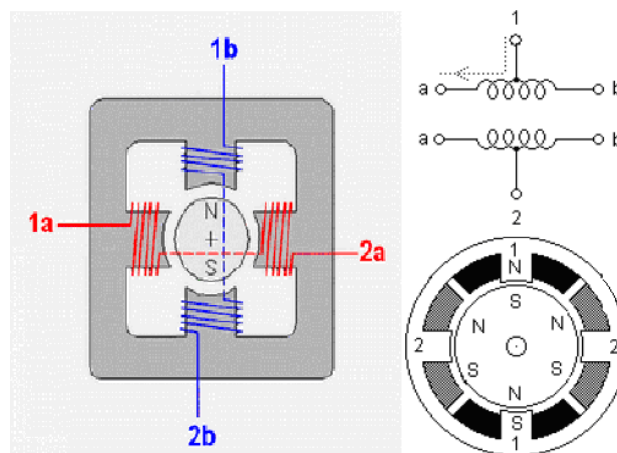


Figura 22. Equivalente de circuito y distribución de un motor PAP Bipolar

Se muestra un motor de pasos bipolar treinta grados por paso, en el cual, como se puede observar, el rotor tiene polaridades fijas, mientras que los cuatro dientes del estator deben cambiar su polaridad para atraer al rotor, igual que en un motor bipolar, pero este caso, las bobinas tiene un común, el cual facilita el control del cambio de dirección de la corriente en el devanado, así se pueden unir los comunes y conectarlos a **Vcc**, con lo cual la secuencia de activación de un motor bipolar de 30° por paso, con giro en sentido horario, para una vuelta completa, es decir 12 pasos, será:

	Pasos												
BOBINA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0

Tabla 4. Secuencia inductiva de los devanados de un motor PAP Unipolar de medio paso

Además este tipo de conexión nos permite elevar el torque de retención de un motor unipolar, lo cual se logra energizando dos bobinas a la vez. Esto se conoce como secuencia de paso completo, será:

	Pasos												
BOBINA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
2	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
3	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
4	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0

Tabla 5. Secuencia inductiva de los devanados de un motor PAP Unipolar de paso completo

3.19. Control de Velocidad de un motor PAP

Se puede modificar la velocidad de los motores paso a paso variando el tiempo de transición entre paso y paso.

Generalmente la velocidad de los PAP, siempre va relacionado con el Torque dinámico o de trabajo del motor, se observa en la gráfica (Figura 23.a) las características del Torque **Pull In** de un motor PAP demuestra la habilidad del motor de arranque sin error y que no es otra cosa que la relación entre par en función del número de paso; en cambio las características de la curva de Torque **Pull On** muestra la habilidad del motor en mantener su rotación en un valor de torque particular sin pérdida de sincronización.

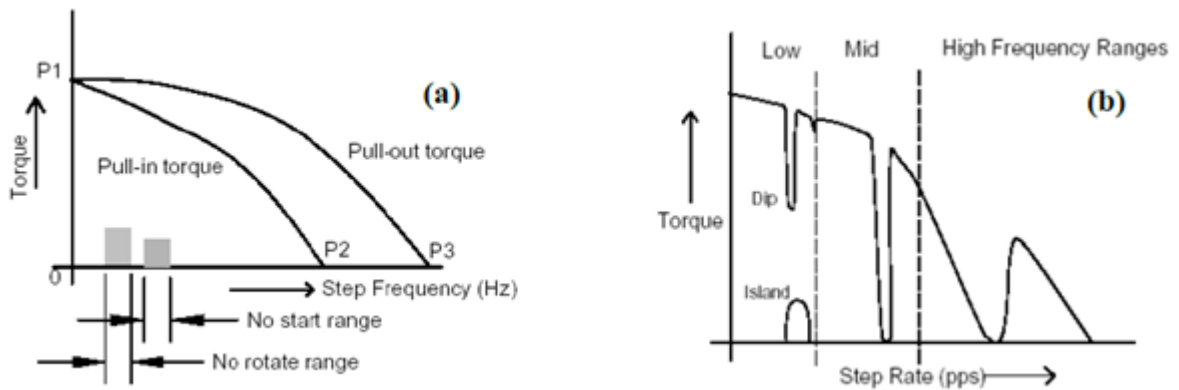


Figura 23. Curvas de arranque de un PAP Bipolar, Torque vs. Frecuencia y Torque vs. Pasos

El parámetro principal que gobierna la curva torque-velocidad es la relación L/R de los devanados. Donde L es la inductancia y R es la resistencia que decide la máxima frecuencia de operación del motor, donde la ecuación es:

$$R = R_{devanado} + R_{externa} \quad (28)$$

R : determina la resistencia total del devanado.

Cabe destacar que debido a que los motores paso a paso son dispositivos mecánicos y como tal deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta. En tal sentido el motor debe alcanzar el paso antes que la próxima secuencia de pulsos comience. Si la frecuencia del pulso es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas:

- Puede que no realice ningún movimiento en absoluto.
- Puede comenzar a vibrar pero sin llegar a girar.
- Puede girar erráticamente,
- Puede llegar a girar en sentido opuesto.

Para obtener un arranque suave y preciso, es recomendable empezar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentando hasta la velocidad deseada sin superar máxima tolerada. El giro en reversa debería también ser realizado previamente bajo la velocidad de giro y luego cambiar el sentido de rotación.

3.20. Selección del motor apropiado

Existen muchos factores al momento de elegir un motor de pasos para una aplicación:

- Tipo de motor
- Torque requerido por el sistema
- Complejidad del controlador
- Características físicas del motor
- Stock nacional, debido a las limitantes en tecnología del país residente

Analizando estos factores, los motores que mejor se adaptan a nuestros requerimientos, y que sobre todo se pueden encontrar en el mercado nacional son los motores unipolares y bipolares.


	UNIPOLAR	BIPOLAR
TORQUE	Presentan un buen torque pero menor que el de un bipolar de igual tamaño	Presentan un torque 30% mayor al de un unipolar
CONTROL	Fácil	Complejos con respecto al unipolar
COSTO	Costo bajo debido a la simplicidad de control	Costo alto, debido a la necesidad de drivers

Tabla 6. Comparativa entre un motor PAP Unipolar y un Bipolar

3.21. Fuerza Motriz

3.21. a. ¿Qué es un router, fresadora o rebajadora?

Un router es una máquina eléctrica rotativa en la que se coloca la herramienta de corte (llamada fresa o broca para router), su nombre correcto en español es rebajadora, también conocida como fresadora. Con su movimiento giratorio y el movimiento que le damos al router, va dando forma a la superficie de madera u otro material que estés utilizando en tu proyecto.



Figura 24. Fresadora de Mano o Router marca Bosch

Para la selección de un router se debe considerar algunas características:

1. Potencia: Para fresar maderas blandas y aglomerados, bastará una potencia de unos 500 watts. Para fresar otros materiales como maderas duras, plásticos, acrílicos, etc., será necesaria más potencia (a partir de unos 800 watts).
2. Velocidad: Generalmente estas herramientas incluyen varias velocidades, para adaptarlas al tipo y dureza del material que estemos trabajando.
3. Longitud de carrera: Es decir, la profundidad de corte.
4. Diámetro del mandril: El mandril en un router o fresadora es el orificio en donde se colocan las fresas. Hay algunos en los que es posible adaptar varias fresas.
5. Peso: Cuanto menos peso, más manejable será la máquina, entre mayor peso, más estable. Tú decides.
6. Tipos de fresas o brocas para router: Existe una amplia variedad, cada una de diferente forma y medida – según la moldura que queramos hacerle al material que vamos trabajar. Algunas fresas o brocas para router son conocidas por términos como: “pecho paloma,” “romana,” “recta,” etc.



Figura 25. Sistema de sujeción con variador de altura del Router marca Dremel

3.22. Electrónicos

Los componentes electrónicos principales de una maquina fresadora son:

Placas PCB: En electrónica, un circuito impreso o PCB (del inglés *Printed Circuit Board*), es un medio para sostener mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos, a través de rutas o pistas de material conductor, grabados en hojas de cobre laminadas sobre un sustrato

no conductor. Placas compuestas por un polímetro y revestido por una o ambas caras de cobre u otro material electro conductor.

Existen varios tipos de placa, las más comunes son:

De baquelita: El material del que está hecha es eso, baquelita. De color amarillo o blanco opaco es el tipo más barato. Por contra, tenemos que es bastante frágil y nos podemos encontrar con que se parte al intentar cortarla si no ponemos bastante cuidado.

De fibra de vidrio: Está hecha de eso mismo, de color generalmente verde translucido. Es ligeramente más cara que la anterior pero bastante mejor en cuanto a tenacidad se refiere, es decir, es más difícil que se parta si la cortas mal.

Fotosensibilizadas: Pueden estar hechas de cualquiera de los materiales anteriormente descritos pero con la peculiaridad de que llevan una capa de material fotosensible nos permitirá “calcar” las pistas directamente sobre la placa mediante luz ultravioleta, ahorrándonos tener que hacerlo a mano.

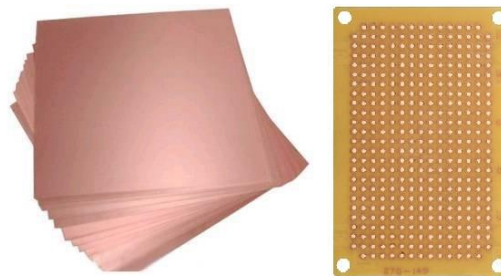


Figura 26. Izquierda, Placas PCB vírgenes. Derecha, placas PCB pre agujereadas.

ProtoBoard: Es una especie de tablero con orificios, en la cual se pueden insertar componentes electrónicos y cables para armar circuitos. Como su nombre lo indica, esta tableta sirve para experimentar con circuitos electrónicos, con lo que se asegura el buen funcionamiento del mismo.



Figura 27. Panel de ensayo Protoboard.

3.23. Microcontroladores

Microcontroladores: Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador, dispone normalmente de:

- Procesador o CPU
- Memoria RAM para contener los datos
- Memoria para el programa tipo RAO/PROM/EPROM/EEPROM
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior
- Diversos módulos para el control periféricos (temporizadores, puertas serie y paralelo, conversores: Analógico/Digital, Digital/Analógico, etc.)
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema

Ventajas:

- Aumento de prestaciones: Un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- Aumento de la fiabilidad: Al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el volumen, la mano de obra y los stocks.
- Reducción del tamaño en el producto acabado: La integración del microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.

- Reducción del tamaño en el producto acabado: La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y los stocks.
- Mayor Flexibilidad: Las características de control están en el programa de instrucciones.

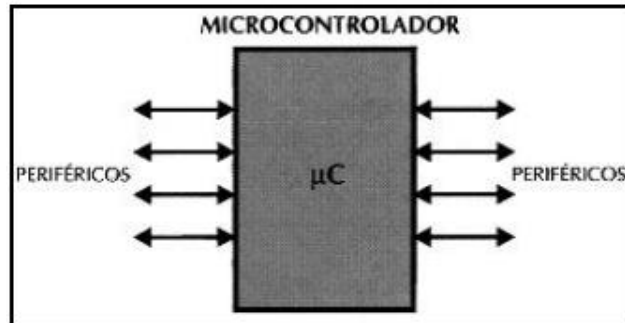


Figura 28. Diagrama de flujo de microcontrolador hacia periféricos

El microcontrolador es un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que gobierna. En este caso el controlador recibe el nombre de controlador empotrado. Es posible seleccionar la capacidad de las memorias, el número de líneas de E/S la cantidad y potencia de los elementos auxiliares, la velocidad de funcionamiento, etc. Por todo ello, un aspecto destacado del diseño es la selección del microcontrolador.

3.24. Programación

3.24. a. Lenguaje de Máquina

El lenguaje máquina comprende todo el conjunto de datos que el control necesita para la mecanización de la pieza.

Las maquinas necesitan ser programadas para poder realizar las tareas designadas, para ello se necesitan programas de diseño, de simulación, interfases gráficas, etc.; por lo que para esta sección queda a criterio del usuario la elección de los mismos dado los requisitos y/o limitaciones que posea para la creación de este sistema asistido por computadora.

Como cualquier programa de computadora, los programas de Control Numérico Computarizado (CNC) funcionan por una serie de comandos y ordenes que están representados por un lenguaje de programación específico dependiendo de la aplicación que se desee implementar, en el caso

del Control Numérico Computarizado, el lenguaje que se utiliza está basado en una combinación de letras y números que representan las operaciones que se desean realizar en una operación de mecanizado que involucre la utilización de una máquina-herramienta como la fresadora.

LETRA	FUNCIÓN
N	Número de bloque o línea
G	Funciones preparatorias
M	Función auxiliar o misceláneas
T	Identificación de herramienta
F	Velocidad de avance
S	Velocidad del husillo
X	Coordenadas de eje X
Y	Coordenadas de eje Y
Z	Coordenadas de eje Z
I	Coordenada circular ligada a X
J	Coordenada circular ligada a Y
K	Coordenada circular ligada a Z
D	Corrector de herramienta

Tabla 7. Funciones preparatorias de las maquinas CNC

3.24. b. Código G

La función G marcadas en la tabla, son funciones las cuales muestran la condición de sus respectivas funciones G cuando la fuente de poder es activa, o después de que la maquina es reseteada. Esta es la condición inicial de la unidad de CNC.

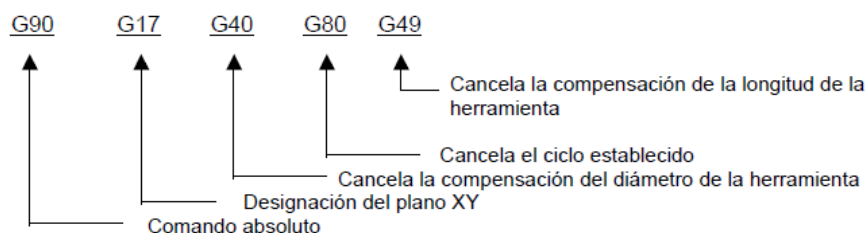


Figura 29. Secuencia de lectura de códigos para maquinas CNC

La función G puede ser clasificada dentro de los siguientes tipos de acuerdo a sus operaciones.

Función G no modal: Función G, la cual es significativa únicamente para el bloque comando.

Función G modal: Función G, la cual permanece activa hasta que sea comandada otra función G del mismo grupo.

En la tabla, en el grupo 00 no son funciones modales, mientras que las demás funciones que se encuentran en un grupo distinto si lo son.

Cuando se comanda una función G modal, esta función se puede omitir en los siguientes bloques, y permanecerá vigente hasta que se comande otra función G del mismo grupo.

En suma, se pueden comandar múltiples funciones G en el mismo bloque, si estas son de diferentes grupos, ahora bien, si varían funciones G del mismo grupo son comandadas en un mismo bloque, la función G que esta comandada al final del bloque será la efectiva.

3.24. c. Códigos M

Un valor numérico de dos dígitos siguientes la dirección “M”. Las funciones; pueden ser clasificadas dentro de los siguientes tres tipos de acuerdo a sus operaciones:

1. Función M, la cual comienza a trabajar simultáneamente con el movimiento de los ejes en el bloque (W en la mesa).
2. Función M, la cual comienza a trabajar después de que el movimiento de los ejes en el bloque es completado (A la mesa). Ej.: M05 la rotación del husillo principal se detiene después del movimiento de los ejes.
3. La función M, la cual comanda independientemente al bloque (S en la mesa). Ej.: Con la función M57, el modelo de la herramienta registrado permanece residente hasta que es cancelado por M02 o M30.

3.25. Introducción a la programación

3.25. a. Puntos significativos en la programación de un CNC

En las maquinas-herramientas CNC, las trayectorias están controladas mediante sistemas de coordenadas. Las posiciones precisas de las herramientas y las piezas dentro de la máquina-herramienta se establecen a partir de unos puntos de origen.

Además de estos orígenes de coordenadas, las maquinas-herramientas CNC disponen de un cierto número de puntos de referencia de forma que entre todos ellos posibilitan el funcionamiento y la programación de los movimientos.

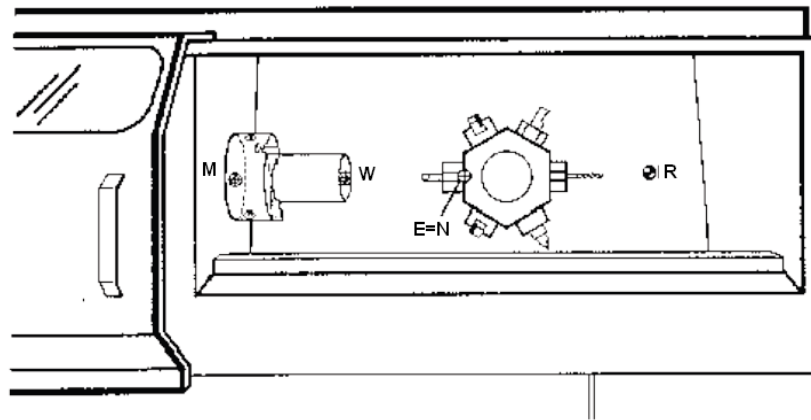


Figura 30. Origen y Puntos de referencia de una MHCN

La Figura 30 da una idea general sobre los puntos de orígenes de referencia que se explican con detalle a continuación.

Los puntos de origen representados son:

- El origen de máquina M
- El origen de pieza o punto cero W

Los puntos de referencia representados son:

- El punto de referencia de máquina R
- Los puntos de referencia de la herramienta, punto de reglaje de la herramientas E y punto de montaje de la herramienta N

La fijación de una pieza a la máquina CNC se puede comparar con la ubicación del plano de la pieza dentro del sistema de coordenadas. Cada máquina-herramienta CN dispone de un sistema de coordinas. Cada máquina-herramienta CNC dispone de un sistema de coordenada; dicho sistema se define mediante los posibles movimientos y el sistema de medida que llevan asociados dichos movimientos.

El cero maquina está estableciendo por el fabricante de la misma. Es el origen del sistema de coordenadas de la máquina y es el punto de comienzo para todo el resto del sistema de coordenadas y puntos de referencia de la máquina. En la Figura 31, se ve un ejemplo de la posible localización de los puntos de origen de máquina.

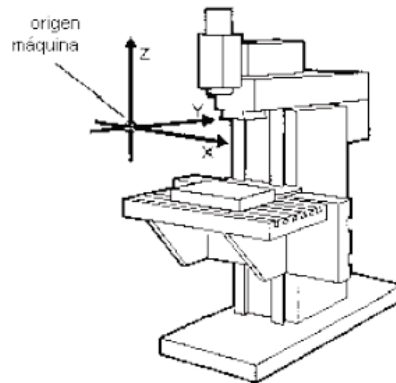


Figura 31. Posición del origen máquina en fresadoras CN

3.25. b. Origen de la Pieza

Las ilustraciones muestran cómo es posible simplificar la coordenada de la pieza eligiendo una posición favorable del sistema de coordenadas.

La Figura 32.a. presenta un cuadrado posicionado en un punto arbitrario del sistema de coordenadas. La Figura 32.b. muestra el mismo cuadrado con dos de sus bordes coincidiendo con los ejes X e Y. Así, los valores de las coordenadas pueden tomarse directamente de las dimensiones del plano de la pieza y de esta forma chequearse más fácilmente, evitando cálculos adicionales.

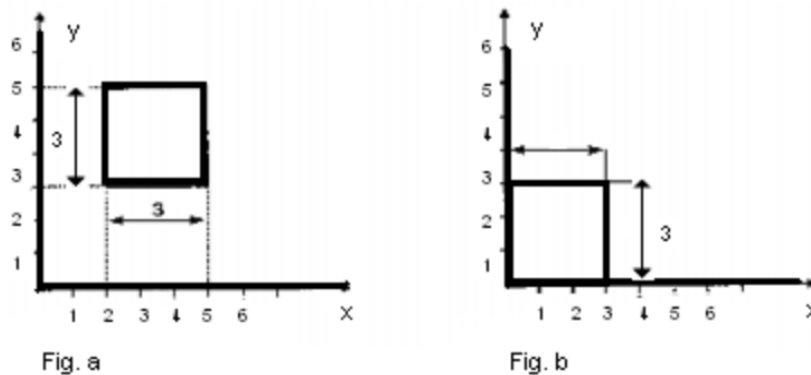


Figura 32. Posiciones favorables del sistema de referencia

El punto de referencia de máquina “W”, determina el sistema de coordenadas de la pieza en relación con el origen máquina. El origen de coordenadas de la pieza lo elige el programador y se introduce en el sistema CNC al preparar la máquina. A veces, el cero pieza también es llamado “*punto cero de programación*”.

La posición del cero pieza debe elegirse de forma que:

1. Los valores de las coordenadas puedan extraerse del plano de la pieza, tan directamente como sea posible
2. La orientación al sujetar y soltar la pieza, al preparar y comprobar el sistema de medición de los desplazamientos, puedan establecerse fácilmente.

3.25. c. Desplazamientos Lineales

En un sistema de coordenadas tridimensionales los 3 ejes X, Y y Z forman 3 diferentes planos fundamentales

- a) Plano X-Y
- b) Plano X-Z
- c) Plano Y-Z

Estos planos se caracterizan por el hecho de que el tercer eje, en cada caso, es perpendicular al plano, por ejemplo, el eje Z es perpendicular al plano X-Y, etc.

Cuando la herramienta se desplaza desde un punto inicial hasta un punto objetivo o destino dado y este desplazamiento se realiza a lo largo de una recta, se tiene una interpolación lineal.

En el caso de sistemas de control de 2 ejes, esto implica que las velocidades de la herramienta en los dos ejes están operando conjuntamente para obtener como resultado el desplazamiento recto de la herramienta (Figura 33.a).

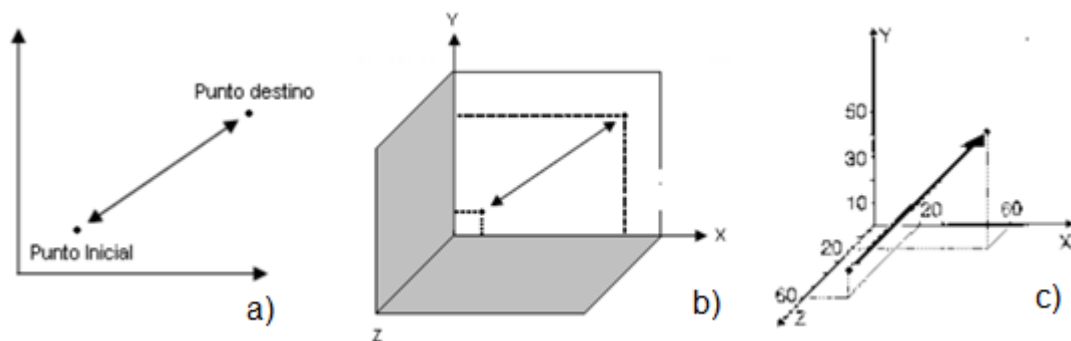


Figura 33. a) Desplazamiento lineal 2D, b) plano X-Y, c) Desplazamiento lineal tridimensional

3.25. d. Desplazamientos Circulares

Para ser capaces de describir círculos en un sistema de coordenadas bidimensionales se requiere establecer el centro del círculo y un radio (Figura 34. a.).

Para determinar círculos en un sistema de coordenadas tridimensionales e necesario además especificar el plano del círculo (Figura 34. b. y c.).

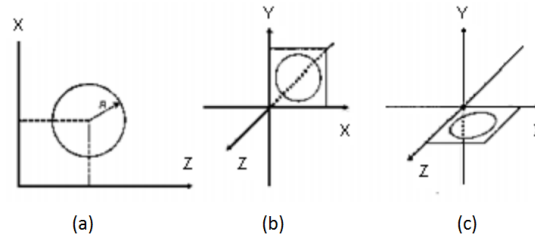


Figura 34. Desplazamientos circulares 2D, en el plano X-Y y 3D

Si la herramienta se desplaza de un punto inicial hasta un punto final dado mediante una trayectoria circular, nos encontramos ante lo que se llama interpolación circular.

Los arcos de circunferencia se pueden recorrer en el sentido horario (Figura.35 Izquierda) o en el sentido anti horario (Figura. 35 Derecha).



Figura 35. Izq. Arco sentido horario, Der. Arco sentido anti-horario

Si el sistema de control tiene más de 2 ejes se requiere la entrada del plano en el que se encuentra el arco de circunferencia: por ejemplo, en los planos X-Y, Y-Z o X-Z (Figura 36).

Una vez elegido el plano del arco, el mecanizado se puede realizar en varias pasadas de profundidad. La interpolación circular a velocidad rápida no es posible normalmente.

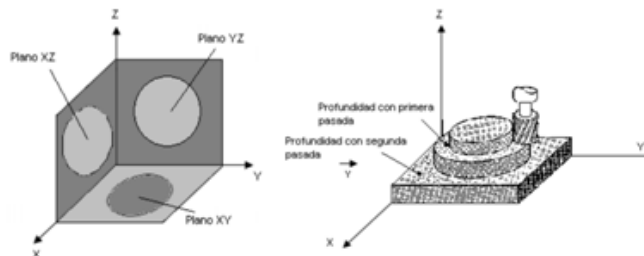


Figura 36. Izq. Círculos X-Y, X-Z e Y-Z, Der. Profundidades de pasada en el plano X-Y

3.25. e. Compensación de la Herramienta

Para fresar un contorno, la fresa debe ser guiada de forma que sus filos sigan el contorno (Figura 37). Esta trayectoria del centro de la fresa es equivalente a una “trayectoria equidistante”.

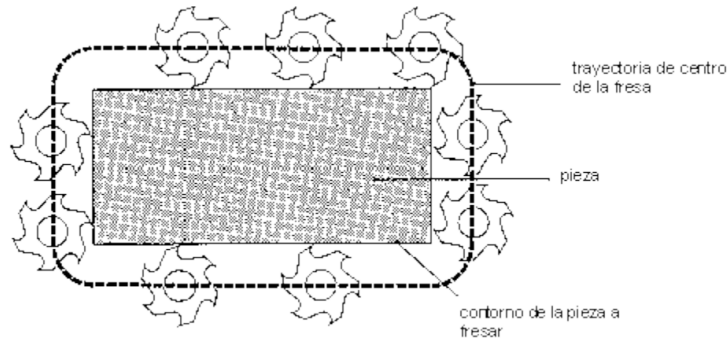


Figura 37. Trayectoria de fresa con compensación

Esta ruta de la herramienta se denomina “trayectoria equidistante”. Sigue el contorno de acabado a una distancia uniforme que depende del radio de la fresa.

En la mayoría de los sistemas CNC modernos, la trayectoria equidistante se calcula automáticamente mediante la compensación del radio de la herramienta. Esta compensación requiere la entrada dentro del almacén de datos de herramientas del programa CN de los siguientes datos:

- La dimensión del radio de la fresa (Figura 38):

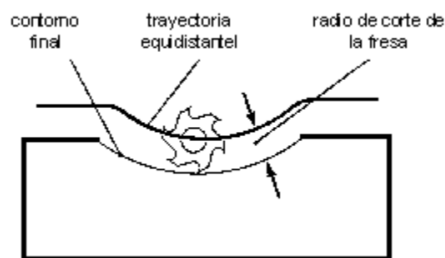


Figura 38. Compensación de radio de corte

- A qué lado del contorno de acabado programado (referido a la dirección de mecanizado se sitúa la herramienta (Figura 39).

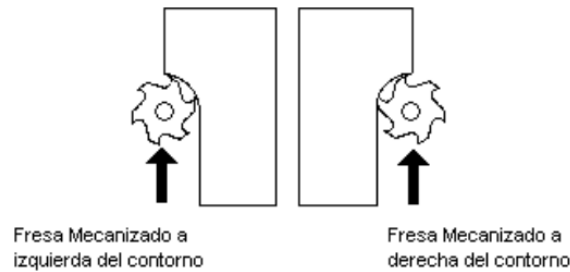


Figura 39. Trayectoria de fresa a izquierda y derecha

En el torneado, el radio de la fresa se reemplaza por la punta radial de la herramienta de torner. Durante la programación del contorno de acabado se asume la punta de la herramienta es un punto agudo en contacto con la pieza. Sin embargo, en la realidad la punta de la herramienta está redondeada y el control debe compensar el espacio entre la punta teórica de la herramienta y el filo cortante de la misma, calculando la apropiada trayectoria equidistante.

No hay trayectoria equidistante para el rincón ya que puede ser fresado completamente sin dañar el contorno. Respecto a la esquina, la trayectoria equidistante consiste en un arco de círculo alrededor de la misma. Algunos controles extienden la trayectoria hasta la intersección (Figura 40).



Figura 40. Cálculo de puntos auxiliares en trayectorias equidistantes

3.25. f. Coordenadas Absolutas e Incrementales

La introducción menciona la acotación absoluta y relativa. La información dimensional en el plano de la pieza puede establecerse básicamente en el sistema de acotación absoluta o incremental.

Los datos en la acotación siempre hacen referencia a un punto de referencia fijo en el plano. Este punto tiene la función de ser coordenada cero. Las líneas de acotación son paralelas a los ejes

coordenados y siempre comienzan en el punto de referencia. Las cotas absolutas también se llaman “cotas de referencia”.

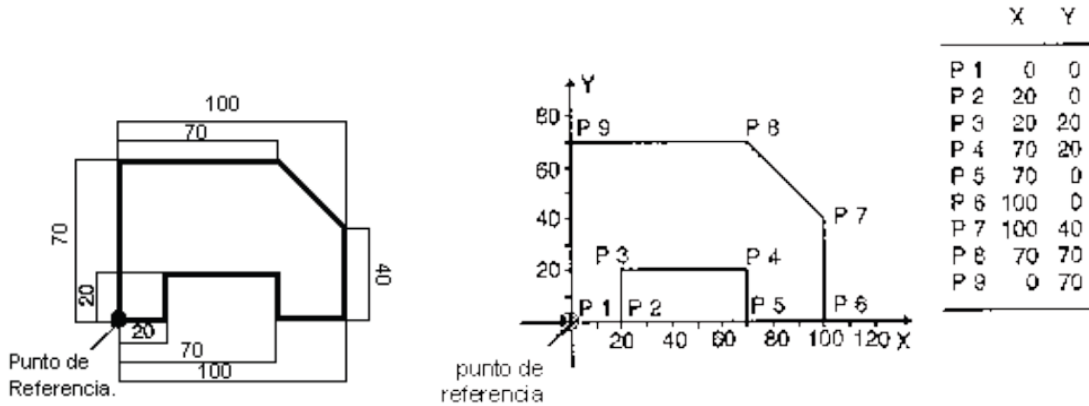


Figura 41. Coordenadas Absolutas

Al usar cotas incrementales, cada medida hace referencia a la posición anterior (Figura 41); las cotas incrementales son distancias entre puntos adyacentes. Estas distancias se convierten en coordenadas incrementales al tomar las coordenadas del último punto como origen de coordenadas para el siguiente punto.

No siempre es necesaria la acotación de los planos exclusivamente en cotas absolutas o incrementales. La razón es que muchos controles permiten el cambio arbitrario entre dimensiones absolutas e incrementales durante la programación.

Sin embargo, cuando se describen contornos y posiciones, casi siempre es preferible usar cotas absolutas porque:

- La acotación incorrecta de un punto individual no afecta al resto de las cotas, es más fácil detectar errores en el sistema absoluto.
- La programación por dimensiones incrementales es ventajosa cuando se repiten varias veces algún contorno parcial dentro de una pieza porque así se puede utilizar la sección de programa asociada al contorno parcial sin recalcularse las coordenadas.

3.25. g. Elección del Origen Pieza

Cuando se programa el contorno de una pieza, los datos dimensionales sobre el plano se convierten en coordenadas. Se puede comparar el plano de la Figura 42 con las dos tablas de coordenadas Tabla 1 y 2.

La primera tabla hace referencia al punto 1 como cero pieza. Todos los valores de las coordenadas se corresponden con las cotas.

La segunda tabla hace referencia al punto 2 como cero pieza. Todos los valores de las coordenadas deben ser transformados.

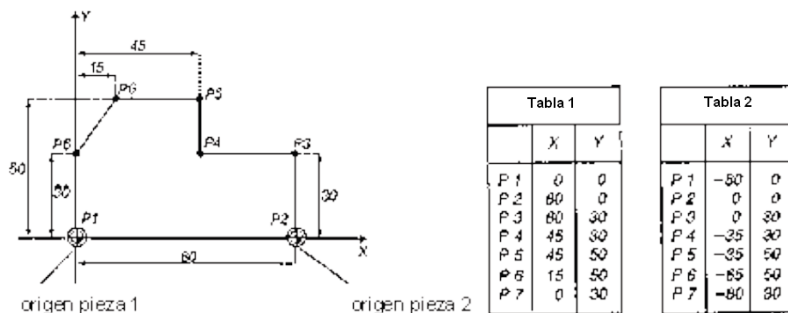


Figura 42. Ejemplo de plano pieza

El diseño debería acotar los planos de forma que se simplificase la conversión de cotas a coordenadas. Se debería prestar especial atención a que el tipo de acotación y la elección del correspondiente cero pieza causasen la mínima necesidad de modificaciones (Figura 43). La conversión de cotas a coordenadas provoca frecuentemente errores de programación.

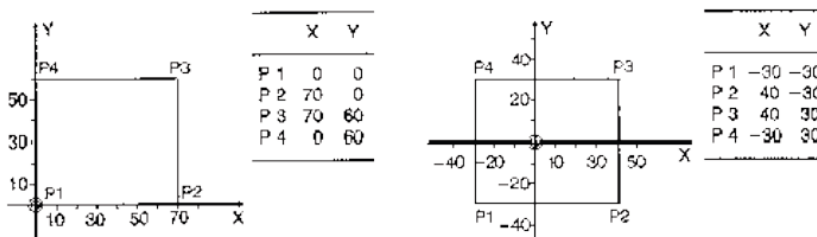


Figura 43. Origen de piezas sin conversión de cotas y con conversión de cotas

En piezas simétricas la programación puede generalmente simplificarse, debido a que el control tiene funciones espejo para reproducir la geometría de la pieza. En lugar de situar el cero pieza en una esquina, se posicionara en el centro de la pieza y la acotación en el plano se dispondrá consecuentemente.

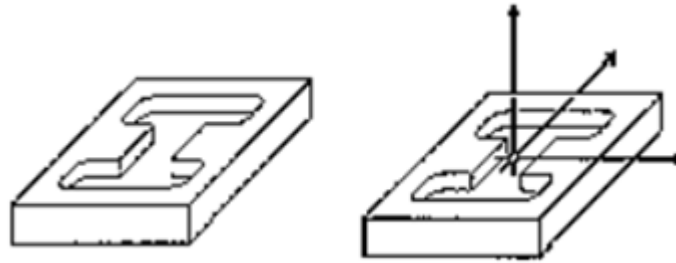


Figura 44. Origen de pieza simétrica

3.25. h. Fundamentos de Programación

A continuación se explica de manera detallada las clases y semánticas de dirección de la función G, tales como: movimiento rápido de posicionamiento (G00), corte recto por interpolación lineal (G01), corte circular por interpolación circular (G02 y G03), temporizador (G04), retorno automático al origen (G28), compensación del diámetro de la herramienta (G40, G41 y G42), compensación de la posición de la herramienta (G43, G44 y G49) y la fijación de un ciclo de maquinado (G73 a G80).

Además se explica cómo realizar un programa, que maneje programa principal y subprogramas (M98 y M99), para que finalmente se den sugerencias para la elaboración de un programa, considerando además los métodos de montaje de las piezas de trabajo, la selección de las herramientas de corte, las condiciones de corte, procedimientos de maquinado, y otros.

3.25. i. Movimiento rápido de posicionamiento (G00)

El posicionamiento (G00) es una función, la cual permite a la herramienta un movimiento rápido de la posición actual (punto de inicio) a la posición comandada (punto final). Como se muestra en la Figura 45, el comando de posicionamiento designa el comando de movimiento para cada eje mediante la dirección “X, Y, Z” en seguida de G00.

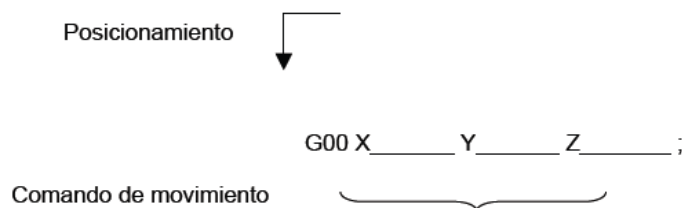


Figura 45. Método de comando G00

3.25. j. Corte correcto por interpolación (G01)

La interpolación lineal (G01) es una función la cual le da a la herramienta una alimentación de corte de a posición actual a la posición comandada a lo largo de una línea recta.

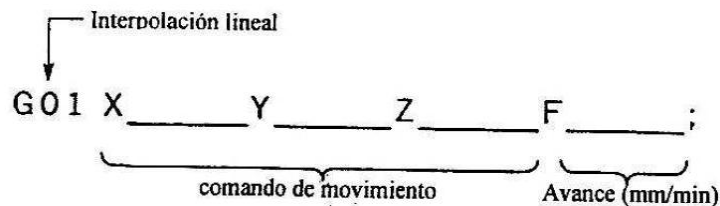


Figura 46. Método comando G01

En la interpolación lineal, un corte lineal sobre una superficie paralela puede ser ejecutado mediante el comando de movimiento de un solo eje, que para una superficie inclinada se ejecuta por el comando de movimiento de un solo eje, mientras que para una superficie inclinada se ejecuta por el comando de movimiento de dos ejes, como lo muestra el ejemplo del programa; además, G01 y la función F son modales y por lo tanto pueden ser omitidos cuando el corte lineal es continuamente comandado(a menos de que la velocidad de avance sea modificada).

El comando de movimiento simultáneo de tres ejes es comandado cuando una pieza de trabajo con una forma tridimensional es maquinada, (tal como una superficie de forma libre). Sin embargo, en operaciones ordinarias, la forma de la pieza de trabajo es maquinada por los comandos de movimiento de los ejes, X e Y, y el taladro es desarrollado por el comando del movimiento del eje Z.

3.25. k. Corte circular por interpolación circular (G02, G03)

La interpolación circular es una función la cual proporciona a la herramienta una alimentación de corte desde la posición actual hasta la posición comandada a lo largo de un arco circular. El corte circular en la dirección del sentido horario, es mediante el comando G02 y en sentido anti horario el comando G03.

La interpolación circular se ejecuta en un plano establecido, por lo tanto, cuando es seleccionado el plano G17 (plano X-Y), el valor del comando está dado por la dirección “X, Y” e “I, J”. Para G18 (plano Z-X), el valor del comando se da por dirección “X, Z” e “I, K”, y para G19 (plano Y-Z), este valor está dado por la dirección “Y, Z” e “J, K”.

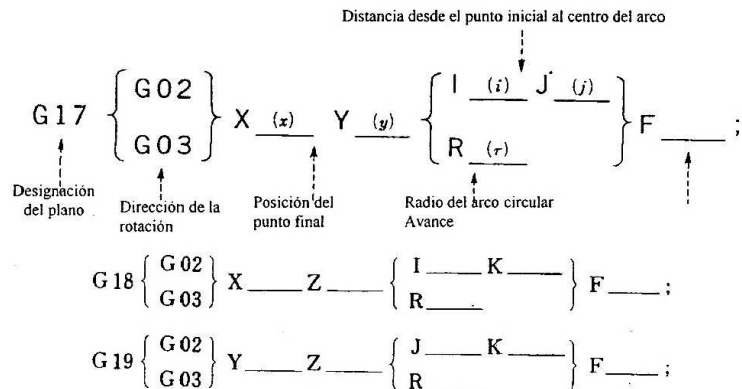


Figura 47. Método Comando G02 y G03

Para ubicar el centro del arco circular en la interpolación circular, hay dos métodos de comando: uno de ellos es aquel el cual comanda la distancia del punto inicial del arco a su centro mediante la dirección “I, J, K” (de ahora en adelante referido como comando I-J-K), y el otro que comanda el radio del arco circular por la dirección “R” (de ahora en adelante referido como comando R). El comando I-J-K y el comando R siempre están dados en un valor incremental.

También, para la interpolación circular mediante el comando R, se pueden considerar dos rutas de la herramienta A y B, tal como se muestra en la Figura 48. Por lo tanto con el objeto de diferenciar entre la ruta A y la B, a uno de los comandos se le agrega el signo (-) al radio del arco circular en el comando R cuando el ángulo del arco es de 180° o mayor.

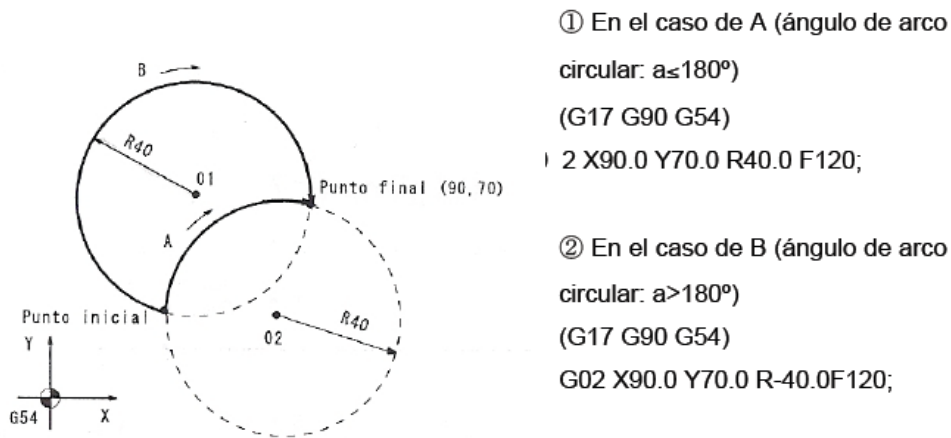
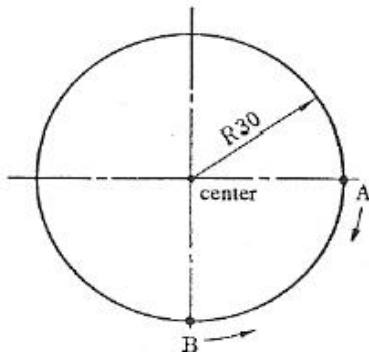


Figura 48. Ejemplo del programa G02

La Figura 49 muestra un ejemplo de un programa del maquinado de un círculo completo. El ciclo completo de maquinado no puede ser comandado por el comando R.



- ① Machining of an entire circle in the clockwise direction using the point A as the start point
(G17 G90 G54)
G02 I-30.0 F120 ;
- ② Machining of an entire circle in the counterclockwise direction using the point B as the start point
(G17 G90 G54)
G03 J30.0 F120 ;

Figura 49. Ejemplo de programa G03

3.25. l. Retorno Automático al Origen (G28)

El retorno de la herramienta desde su posición actual hasta el punto de referencia de la máquina, es llamado retorno al origen. La función que puede comandar este retorno al origen en un programa es el comando G28. El retorno automático al origen comanda un punto intermedio enseguida de G28, tal como se muestra la Figura 50. Cuando el bloque G28 es ejecutado, la herramienta retorna desde su posición actual hasta el punto de referencia de la maquina a través del punto intermedio con movimiento rápido.

Retorno automático al origen (o retorno comando para mover al punto intermedio automático al punto de referencia).

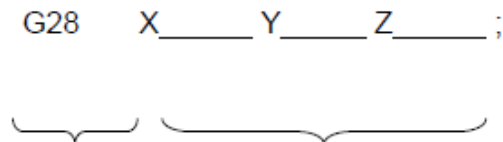


Figura 50. Método de comando G28

Para el caso del comando incremental, cuando el comando esta dado con la posición actual de la herramienta como el punto intermedio, esta retorna en forma directa y automática al punto de referencia de la máquina. G28 es una función G de una sola actuación (one-shot), incluso cuando el bloque G28 es ejecutado, ósea que la información modal previa permanece efectiva.

3.25. m. Compensación del Diámetro de la Herramienta (G49, G41 y G42)

Cuando es ejecutado el maquinado de un contorno en una pieza de trabajo, la ruta de la herramienta debe ser tal que dicha herramienta sea compensada por la magnitud de tu radio, como se muestra en la Figura 51. La función que logra esta compensación automática es llamada

compensación de diámetro de la herramienta. La programación que utiliza esta compensación se explica a continuación.



Figura 51. Compensación de la ruta de la herramienta

3.25.n. Compensación de la posición longitud de la herramienta (G43, G44 y G49)

La función que compensa el movimiento en el eje Z, mediante la cantidad de compensación colocada en el dispositivo de CN se llama compensación de la longitud de herramienta. Cuando se utiliza esta compensación se tiene la ventaja de que un programa puede hacerse sin considerar la longitud de la herramienta, cuando se utilizan varias herramientas de longitudes diferentes.

La programación que utiliza la compensación de la longitud de la herramienta, se describe con:

- **Modo de comando de la compensación de la longitud de la herramienta**

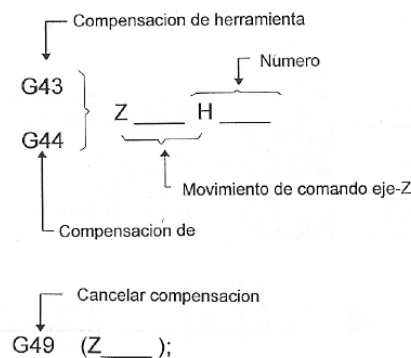


Figura 52. Método comando G42, G43 y G49

Para el comando de la compensación de la longitud de la herramienta + (G43), la cantidad de la compensación es compensada al lado positivo (suma) con respecto al comando de movimiento del eje Z.

Mediante el comando G49, se cancela la compensación de la longitud de la herramienta comandada por G43 y G44 (relevada).

- **Compensación de la longitud de la herramienta en el comando absoluto**

Como ya se mencionó, el comando absoluto da el comando de movimiento dentro del sistema de coordenadas de trabajo establecido. Por lo tanto, para la compensación de la longitud de la herramienta en el comando absoluto, se utilizan los métodos de ajuste de la compensación de la longitud de la herramienta mostrados en las Figuras 53 Izq. y Der., debido a la relación entre el origen del eje Z en el sistema de coordenadas de trabajo y la cantidad que se fija en el dispositivo de CN.

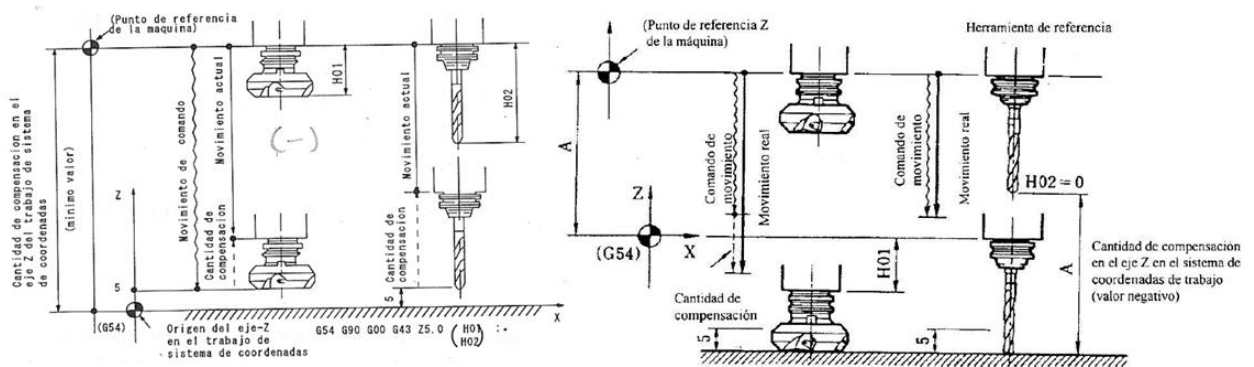


Figura 53. Izq. Cuando la distancia desde la punta de la herramienta hasta la superficie de referencia de la pieza de trabajo es usada como la cantidad de compensación, Der. Cuando la diferencia entre la herramienta de referencia y las otras herramientas es usada como la cantidad de compensación

La Figura 53, muestra el método en el cual se designa la primera herramienta como referencia, y utiliza la diferencia de longitud entre esta y las otras herramientas como la cantidad de compensación. En este caso, se mide la distancia desde la punta de corte de la herramienta de referencia hasta la superficie de referencia de la pieza de trabajo, y este valor se utiliza como la cantidad de compensación para el eje Z en el sistema de coordenadas de trabajo. También se fija a 0 (cero) la cantidad de compensación para la herramienta de referencia.

4.

En este capítulo se presentara todos las consideraciones para la construcción de una maquina Fresadora CNC, tal así como la elección de materiales, cálculos de los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos necesarios para la construcción de la misma y recomendaciones que se fueron encontrando a medida que se fue construyendo, para que cualquiera que desee reproducirla conozca de ante mano parámetros más sensibles a tener en cuenta.

4.1. Diseño de la Máquina

La base del diseño de la fresadora son variadas y existe desde la creación de la misma, mejoras continuas en el campo de la producción en serie desde ese entonces, por lo que no se hará el estudio del diseño particularmente sino que se realizará el estudio de factibilidad de un tipo de diseño dadas las características de la máquina y los materiales a utilizar para su fabricación.

En este caso se eligió el modelo muy popular en el trabajo con maderas o mármoles para grabados, calados o recortados; el modelo de referencia será de la marca **AMAN**, modelo **AMAN-3040CH80** con 3 ejes.



Figura 54. Modelo de Fresadora AMAN-3040CHS0 con 3 Ejes

Se aclara que solo el diseño fue tenido en cuenta, las dimensiones y/o materiales serán de elección propia. Para este caso se ha elegido realizarla en madera y componentes en aluminio, ya que los costos de realizar una copia fiel superan el presupuesto; esto no quiere decir que no se pueda hacer si se tiene recursos para la construcción de la misma en, por ejemplo, aluminio. En el caso de elegir otro tipo de materiales debe de tenerse en cuenta como varían los cálculos estructurales y de potencia eléctrica de los motores para poder mover los mismos.

4.2. Selección de materiales

La selección de un material para construir una parte de máquina o un elemento estructural es una de las decisiones más importantes que debe tomar el diseñador. La selección real de un material para una aplicación de diseño particular puede ser fácil, M. F. Ashby ha desarrollado un método sistemático poderoso que se basa en el empleo de gráficas de selección de materiales. Este método también ha sido implementado en un paquete de software llamado CES Edupack.

Por ejemplo, considerando las propiedades de rigidez del material, se muestra una gráfica de barras sencilla con el módulo de Young E sobre el eje Y . Cada línea vertical representa el rango de valores de E de un material particular. Sólo se etiquetan algunos de los materiales. Ahora, puede desplegarse más información si el eje x representa otra propiedad de material, por ejemplo la densidad. La Figura 55, que se conoce como una gráfica de “burbuja”, representa el “**módulo de Young E** ” graficado contra la densidad ρ .

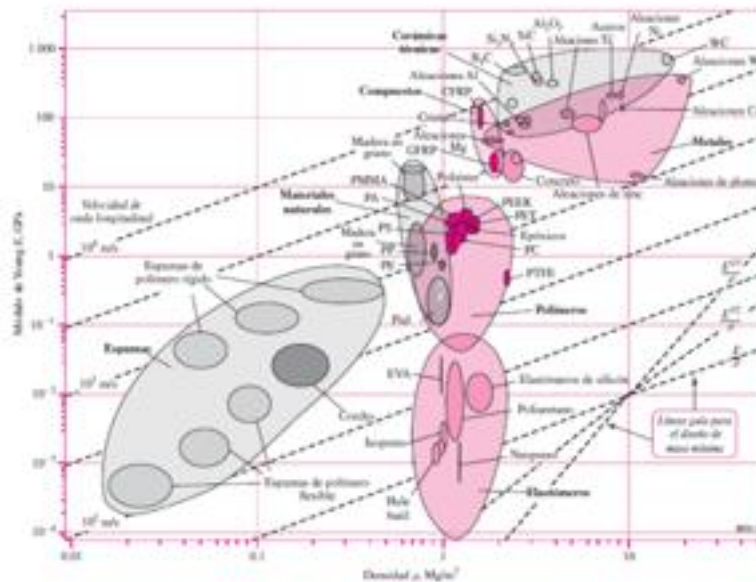


Figura 55. Módulo de Young E versus densidad ρ de diferentes materiales.

Los rangos lineales de cada propiedad de material graficada adecuadamente en dos dimensiones forman elipses o burbujas. Esta gráfica es más útil que las dos gráficas de barras por separado de cada propiedad. Ahora, también se observa cómo se relacionan la rigidez/peso de diferentes materiales.

Una vez obtenidos los parámetros dimensionales de la maquina se procede a la selección del material. Este debe ser robusto y liviano a la vez, de fácil soldabilidad y mecanizabilidad, por eso se ha elegido el **FibroFacil**. Este es un tablero de fibras de madera unidas por adhesivos; las fibras de madera se obtienen mediante un proceso termo-mecánico y se mezclan con adhesivos que polimerizan mediante altas presiones y temperaturas, obteniendo grandes placas planas de distintos formatos y espesores.

(Para mas informacion: <http://www.theflooringco.com.ar/images/novel/ficha-tecnica-mdf-masisa.pdf>).

Propiedades	Método Ensayo	Unidad	Tolerancia	Espesor mm					
				2,7 - 3	5,5	9	12	15	18 - 25
Densidad	E N 323	Kg/m ³	± 30	850	780	760	750	740	730
Resistencia a la Tracción	E N 319	N/mm ²	± 0,2	1	1	1	1	0,9	0,8
Resistencia a la Flexión	E N 310	N/mm ²	± 5,0	55	48	45	44	42	40
Módulo	E N 310	N/mm ²	± 300	4.000	3.500	3.000	3.000	3.000	2.600
Hinchamiento Espesor 24 hr.	E N 317	%	Máx.	35/td>	28	14	11	8,5	8,5
Humedad	E N 322	%	± 3	7 ±3	7 ±3	7 ±3	7 ±3	7 ±3	7 ±3
Extracción Tornillo Cara	E N 320	N	Mín.	N/A/td>	N/A	N/A	N/A	950	950
Extracción Tornillo Borde	E N 320	N	Mín.	N/A/td>	N/A	N/A	N/A	950	950

Tabla 10. Características físico-mecánicas: FibroFácil Standard

Las características que lo hacen único en su clase, su particular perfil de densidad, permite un importante ahorro de pintura y un menor desgaste de herramientas. Las propiedades de este elemento se encuentran tabulados por el fabricante (Tabla 18.) el cual nos muestra los valores de espesor de la placa seleccionada y sus propiedades.

La amplia variedad de tableros (gruesos, delgados, desnudos y recubiertos) y su gran versatilidad, hacen que FibroFácil sea la respuesta a las necesidades para el diseño.

4.3. Mecánica

4.3.1. Cuerpo de la Máquina

El cuerpo principal de nuestra máquina debe ser de un material resistente y a la vez liviano, debiendo soportar su propio peso sin generar alteraciones de forma por ejemplo δ expresa el Pandeo, como hemos visto anteriormente ,también habrá elementos que los relacionen entre ellos (ej.: tornillos y/o bulones, pegamentos, soldaduras, etc.), elementos que relacionen los movimientos individuales o en conjunto de estas piezas principales (ej.: espárragos roscados, engranes, rodamientos, varillas, etc.).

En una máquina de estas características, se debe de tener en cuenta que esta produce movimientos traslacionales de una herramienta de corte, la cual debe tener una precisión para el cumplimiento de su tarea, por lo cual para lograr la combinación de movimientos con acciones de mecanizado hay que saber que componentes se necesitan para generarlos y que los mismos trabajen de manera eficiente.

4.3.2. Diseño de la mesa de trabajo

El tipo de mesa a utilizar tomando en cuenta el tamaño útil de la mesa será de

EJE	Dimensión Real (mm.)	Dimensión Útil (mm.)
X	880	580
Y	650	610
Z	160	110

Tabla 12. Dimensiones de la mesa d trabajo de la maquina

Especificaciones Técnicas del DREMEL 4000

- Potencia nominal de entrada 175 W
- Tensión 230 V
- Peso 0,66 kg
- Longitud 22 cm
- Velocidad en vacío 5.000 - 35.000 rpm
- Tecnología de la batería: n.a.

- Ajuste de velocidad Completamente variable
- Sistema de cambio rápido de accesorios Sí: EZ Twist
- Presión acústica 77,9 dB(A)
- Potencia sonora 88,9 dB(A)
- Vibración 2,6 - 11,4 m/s²

4.3.3. Calculo de la fuerza de corte

Como la manufactura es un proceso de fresado, se tendrá en cuenta las formas de cálculo del mismo. Los parámetros de inicio para el cálculo son:

- a (mm.) = 2 Profundidad de corte medida en milímetros
- b (mm.) = 3 Ancho del fresado (tamaño de útiles comerciales)
- V' (cm³/kW min) = 0,006 Cantidad admisible de viruta

La herramienta de corte seleccionada de acuerdo al proceso y el tipo de maquina utilizada en la manufactura y su disponibilidad en el mercado será el adecuado para producir el correcto desbaste. Proponiendo un husillo con una potencia de 0,13 kW y n=21500 RPM de velocidad.

La cantidad máxima de viruta en centímetros cúbicos por minuto, se calcula con la siguiente expresión:

$$V = V' \cdot P \quad (7)$$

- V' (cm³/kW min) = 0,006 Cantidad admisible de viruta
- P (kW) = 0,13 Potencia de la herramienta (dato de fabricante)

$$V = \left(0,006 \frac{cm^3}{kW \cdot min}\right) \cdot (0,13 kW) = 0,00078 \frac{cm^3}{min}$$

La velocidad de avance S' en milímetros por minuto se calcula con la siguiente expresión:

$$S' = \frac{1000 \cdot V}{a \cdot b} \quad (8)$$

- V (cm³/min.) = 0,0078 Cantidad máxima de viruta
- a (mm.) = 2 Profundidad de corte medida en milímetros
- b (mm.) = 3 Ancho del fresado

$$S' = \frac{(1000) (0,78 \text{ mm}^3/\text{min})}{2 \text{ mm.} \cdot 3 \text{ mm.}} = 130 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

El avance s' en milímetros por revolución se calcula con la siguiente expresión:

$$s' = \frac{S'}{n} \quad (9)$$

S' (mm/min.)= 130

Velocidad de Avance

n = 21500

Velocidad de la Herramienta

$$s' = \frac{130 (\text{mm}/\text{min})}{21500 \text{ rev min}} = 0,00605 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

El área de corte en milímetros cuadrados se calcula con la siguiente expresión:

$$A_c = \frac{s' \cdot b}{2} \quad (10)$$

s' (mm/rev)= 0,000605

Avance

b (mm.)= 3

Ancho del fresado

$$A_c = \frac{0,00605 (\text{mm. rev}) \cdot 3 \text{ mm}}{2} = 0,009 \frac{\text{mm.}^2}{\text{rev}} \text{ ó solo } 0,009 \text{ mm.}^2$$

El espesor de la viruta en milímetros se calcula con la siguiente expresión:

$$e = \frac{S'}{Z \cdot n} \cdot \frac{a}{b}^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

S' (mm/min.)=130

Velocidad de Avance

Z =8

Numero de Filos de la fresa

n (RPM)=21500

Velocidad de la Herramienta

a (mm.)= 2

Profundidad de corte

b (mm.)=3

Ancho del Fresado

$$e = \frac{130 \text{ mm. min}}{21500 \text{ RPM} \cdot 8} \cdot \frac{2}{3}^{\frac{1}{2}} = 0,00062 \frac{\text{mm.}}{\text{rev}} \text{ ó solo } 0,00062 \text{ mm.}$$

La constante de proporcionalidad se calcula con la siguiente expresión:

$$K = K_{so} \cdot e^{-Zi} \quad (12)$$

$K_{SO} = 19$ Presión específica de corte para plásticos (Tabla 20), se escogen los valores para plásticos por ser los materiales más cercanos FibroFacil
 e (mm.) = 0,00062 Espesor de la viruta
 $Z_i = 0,3$ Factor de corrección (Tabla 20)

MATERIAL	K_{SO} en N/mm^3	Z_i
Cobre	78	0,3
Bronce	124	0,3
Latón	54	0,3
Plásticos	19	0,3

Tabla 13. Tabla de presión específica de corte K_{SO} para fresado

$$K = (19 \text{ N } mm.^3) \cdot 0,00062 \text{ mm.}^{-0,3} = 174,2 \frac{N}{mm.^2}$$

Finalmente la fuerza de corte se calcula con la siguiente expresión:

$$F_c = K \cdot A_c \quad (13)$$

K (N/mm^2) 174,2 Constante de proporcionalidad
 A_c (mm^2) 0,009 Área de corte

$$F_c = (174,2 \text{ N } mm.^2) \cdot 0,009 \text{ mm.}^2 = 1,57 \text{ N}$$

4.3.4. Calculo de la Velocidad de Corte

La velocidad de corte se calcula con la siguiente expresión:

$$V_c = \frac{\pi \cdot b \cdot n}{1000} \quad (14)$$

b (mm.) = 3 Ancho del fresado
 n (RPM) = 21500 Velocidad del Herramienta

$$V_c = \frac{\pi \cdot 3 \text{ mm.} \cdot (21500 \text{ rev.})}{1000} = 202,63 \frac{mm.}{min}$$

Sin embargo esta velocidad es teórica, se recomienda valores alrededor de los 1500 mm/min, con esta velocidad debe ser calibrada durante las pruebas de funcionamiento del CNC y la velocidad de corte en metros por segundo será:

$$V_c = 202,63 \text{ mm. min} \cdot \frac{1 \text{ m.}}{1000 \text{ mm.}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sg.}} = 0,0034 \frac{\text{m.}}{\text{sg}}$$

4.3.5. Cálculo de la Velocidad de Corte

La potencia de corte se calcula con la siguiente expresión:

$$P_c = F_c \cdot V_c \quad (15)$$

F_c (N) = 1,57 Fuerza de corte

V_c (m/s) = 0,0034 Velocidad de la Herramienta

$$P_c = 1,57 \text{ N} \cdot (0,0034 \text{ m sg}) = 0,0053 \text{ W.}$$

Si se considera el rendimiento (η) de un motor al 80%, la potencia eléctrica (P_e) necesaria en el cabezal de la herramienta deberá ser:

$$P_e = \frac{P_c}{\eta} \quad (17)$$

$$P_e = \frac{0,0053 \text{ W.}}{0,8} = 0,0066 \text{ W.}$$

Además si se toma en cuenta un factor de seguridad de 1.5 en el mecanizado, se obtiene:

$$P_e = \frac{P_c}{\eta} \cdot F_s \quad (18)$$

$$P_e = \frac{0,0066 \text{ W.}}{0,8} \cdot 1,5 = 0,01 \text{ W.}$$

Es la potencia mínima en la herramienta para satisfacer el trabajo de fresado y dado que se ha seleccionado un husillo de, la demanda de potencia queda satisfecha.

4.3.6. Diseño de la estructura vertical “Z” o carro “Z”

El carro Z tiene la disposición física que se indica en la Figura 56, las medidas de d_1 , d_2 , d_3 y d_4 son tomadas de los planos mecánico del Anexo I. Se ha dispuesto una altura de 330 mm tomando en cuenta la altura máxima y la base de la mesa de trabajo.

Cuando el sistema de fuerzas es aplicado, se pueden utilizar las ecuaciones que se indican a continuación para calcular las cargas en cada parte del carro Z.

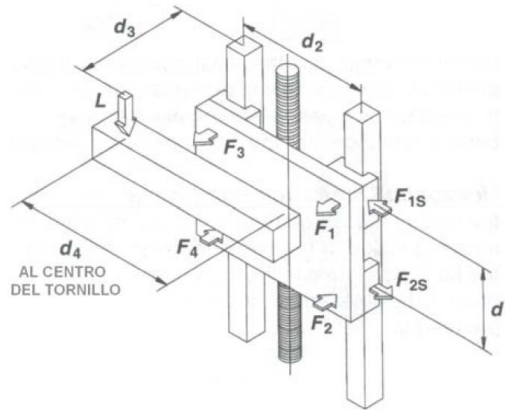


Figura 56. Traslación vertical con carga vertical

Esta configuración es para aplicaciones verticales. Es importante considerar la orientación de la carga aplicada con respecto al sistema de guías, esto significa que estas ecuaciones pueden usarse aun cuando la orientación de la carga no es vertical, con tal que la carga conserve la relación con las guías. Las ecuaciones para el efecto son:

En donde:

L : Fuerza ejercida por la carga en Newton, dada la fuerza del material W_1 y la fuerza ejercida por el peso de la herramienta W_2 .

d : Dimensiones del carro vertical en milímetros $d_1= 330$ mm. , $d_2= 170$ mm., $d_3= 155$ mm., $d_4= 0$ mm.

F_1, F_2, F_3, F_4 : Correspondientes a las fuerzas de reacción ejercidas $F_{1s}, F_{2s}, F_{3s}, F_{4s}$ sobre la estructura del carro en Newton

$$F_1 = F_3 = \frac{L}{2} \cdot \frac{d_3}{d_1} \quad (19)$$

$$F_2 = F_4 = - \frac{L}{2} \cdot \frac{d_3}{d_1} \quad (20)$$

$$F_{3s} = F_{4s} = - \frac{L}{2} \cdot \frac{d_4}{d_2} \quad (21)$$

La fuerza ejercida por la carga se calcula con la siguiente expresión:

$$L = W_1 + W_2 \quad (22)$$

$W_1 = 0,16 \text{ Kg.}$ Fuerza de corte

$W_2 = 0,55 \text{ Kg.}$ Peso del husillo

$$L = 0,16 \text{ Kg.} + 0,55 \text{ Kg.} = 0,71 \text{ Kg.}$$

El valor de esta fuerza en Newton será:

$$L = 0,71 \text{ Kg.} \cdot \frac{9,8 \text{ N}}{1 \text{ Kg.}} = 6,96 \text{ N.}$$

Como la carga del peso de la herramienta esta paralela al tornillo y en el centro del carro Z; entonces, $d_4 = 0$, es decir que $F_{1s} = F_{3s} = F_{2s} = F_{4s} = 0$, es decir:

$$F_1 = F_3 = \frac{6,96 \text{ N}}{2} \cdot \frac{155}{330} = 1,63 \text{ N.}$$

$$F_2 = F_4 = - \frac{6,96 \text{ N}}{2} \cdot \frac{155}{330} = -1,63 \text{ N.}$$

De este cálculo se selecciona el mayor valor, o sea: $F = 1,63 \text{ N.}$

4.3.7. Flecha o Ejes Guías de la Coordenada “Z”

Como la herramienta va a trabajar por lo general en lo más bajo de su recorrido, se distribuyen las siguientes distancias, $d_1 = 330 \text{ mm}$, $d_2 = 170 \text{ mm}$ y $d_3 = 155 \text{ mm}$; además las fuerzas sobre los puntos B y C corresponden a $F = 1,63 \text{ N.}$ (Ecuación 57). Estos datos se presentan en la Figura 57 que corresponde al diagrama de cuerpo libre de fuerzas y de momentos para los ejes guías del carro “Z”.

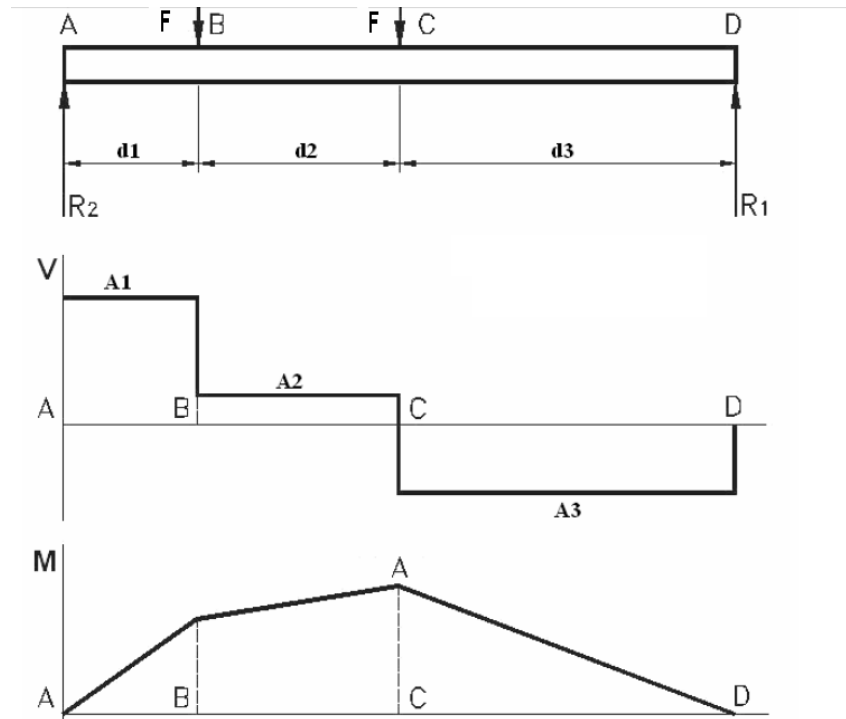


Figura 57. Diagrama del cuerpo libre, diagrama de fuerzas y diagrama de momentos para los ejes guías de la estructura vertical, coordenada “Z”

Con el diagrama de cuerpo libre de la Figura 56 se procede a calcular el momento flector máximo para los ejes, mediante la sumatoria de momentos flectores (Ecuación 24) y la sumatoria de fuerzas en el eje Y (Ecuación 62).

$$M_A = F \cdot d_1 + F \cdot (d_1 + d_2) - R_1 (d_1 + d_2 + d_3) = 0 \quad (24)$$

$$R_1 = \frac{F \cdot d_1 + F \cdot (d_1 + d_2)}{d_1 + d_2 + d_3} = \frac{F \cdot (2d_1 + d_2)}{d_1 + d_2 + d_3}$$

$$= \frac{1,63 \text{ N} \cdot 2 \times 110 + 100 \text{ mm.}}{110 + 100 + 130 \text{ mm.}} = 1,53 \text{ N.}$$

$$F_y = R_2 - F - F + R_1 = R_2 - 2F + R_1 = 0 \quad (25)$$

$$R_2 = -1,53 \text{ N.} + 2 \cdot 1,63 \text{ N.} = 1,73 \text{ N.}$$

El cálculo de las áreas siguientes servirá para la obtención del momento flector máximo:

$$A_1 = R_2 \cdot d_1 = 1,73 \text{ N} \cdot 110 \text{ mm.} = 190,3 \text{ N mm.}$$

$$A_2 = (R_2 - F) \cdot d_2 = (1,73 - 1,63)N \cdot 100 \text{ mm.} = 10 \text{ N mm.}$$

$$A_3 = (R_2 - 2F) \cdot d_3 = 1,73 - 2(1,63)N \cdot 130 \text{ mm.} = -198,9 \text{ N mm.}$$

$$A_3 = R_1 \cdot d_3 = 1,53 \text{ N} \cdot 130 \text{ mm.} = 198,9 \text{ N mm.}$$

(comprobando el punto anterior)

De las tres áreas se escoge la que corresponde al momento flector máximo de la estructura vertical “Z” $A=198,9 \text{ Nmm}$, según el diagrama de la Figura 57.

El esfuerzo normal máximo que soporta el material se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{M\acute{a}x} = \frac{S_y}{n} \quad (26)$$

$$S_y \text{ (N/mm}^2\text{)} = 9,55$$

Resistencia a la tracción (Tabla 21. Convertida en N/mm^2)

$$n=2$$

Factor de seguridad entre 1.5 y 2.5

El módulo de resistencia para el material seleccionado se calcula con la siguiente expresión.

$$W = \frac{M}{\sigma_{M\acute{a}x}} \quad (27)$$

$$M \text{ (Nmm)} = 198,9$$

Momento flector máximo

$$\sigma_{m\acute{a}x} \text{ (N/mm}^2\text{)} = 9,55$$

Esfuerzo normal máximo

$$W = \frac{198,9 \text{ N} \cdot \text{mm}}{9,55 \text{ N} \cdot \text{mm}^2} = 20,83 \text{ mm}^3$$

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
TABLEROS DE MADERA (TIPO) AGLOMERADA		
TIPO DURO		
Densidad	0.80-1.05	g/cm ³
Módulo de ruptura	200-530	kg/cm ²
Módulo de elasticidad con flexión	28000-70000	kg/cm ²
Resistencia a la tracción paralela a la superficie	20-175	kg/cm ²
Absorción de agua (inmersión 24 h.)	15 - 40	% peso
Hinchamiento	15 - 40	% vol.
Expansión lineal máxima	0.85	%

Tabla 14. Clasificación de los diferentes tipos de tableros y sus valores correspondientes

4.3.8. Diseño de la estructura horizontal “X” o carro “X”

Cuando una carga lateral se aplica al sistema de movimiento en el eje X, tal como se indica en la Figura 58, las cargas en las guías cambian de forma individual, requiriendo de las ecuaciones que se indican a continuación para el cálculo de los esfuerzos en los ejes.

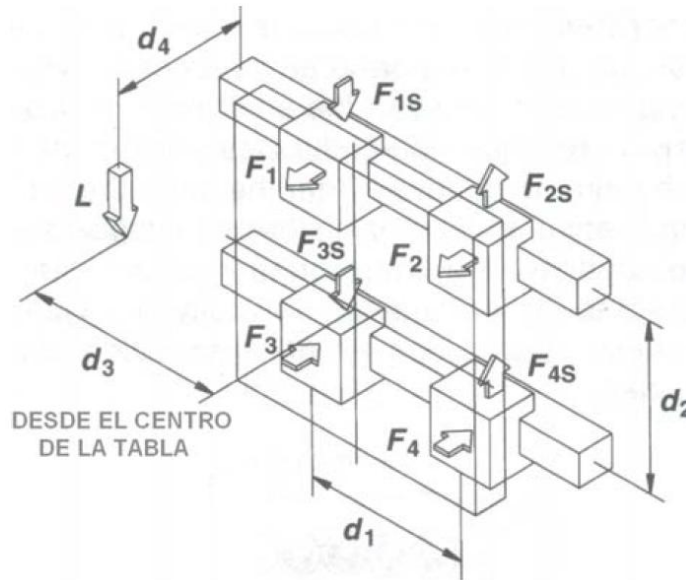


Figura 58. Traslación horizontal con carga lateral, coordenada “X”

Cada eje guía tendrá como resultante una carga normal y una carga lateral. La orientación de la carga aplicada con respecto al sistema de guías es de importante consideración. Esto significa que las ecuaciones siguientes pueden usarse, aun cuando la orientación de la carga no es horizontal, con tal que ésta conserve relación con las guías.

$$F_1 = F_2 = \frac{L}{2} \cdot \frac{d_4}{d_2} \quad (28)$$

$$F_3 = F_4 = - \frac{L}{2} \cdot \frac{d_4}{d_2} \quad (29)$$

$$F_{1s} = F_{3s} = \frac{L}{4} + \frac{L}{2} \cdot \frac{d_3}{d_1} \quad (30)$$

$$F_{2s} = F_{4s} = \frac{L}{4} - \frac{L}{2} \cdot \frac{d_3}{d_1} \quad (31)$$

L : Fuerza ejercida por la carga en Newton, dada la fuerza del material W_1 y la fuerza ejercida por el peso de la herramienta W_2 .

d: Dimensiones del carro vertical en milímetros $d_1= 170 \text{ mm.}$, $d_2= 330 \text{ mm.}$, $d_3= 0 \text{ mm.}$, $d_4= 155 \text{ mm.}$

F_1, F_2, F_3, F_4 : Correspondientes a las fuerzas de reacción ejercidas $F_{1s}, F_{2s}, F_{3s}, F_{4s}$ sobre la estructura del carro en Newton

La fuerza L ejercida por la carga se calcula con la siguiente expresión:

$$L = W_1 + W_2 \quad (32)$$

$W_1= 34,9 \text{ Kg.}$

Fuerza de corte

$W_2= 3,67 \text{ Kg.}$

Peso del carro vertical y la herramienta

$$L = 34,9 \text{ Kg.} + 3,67 \text{ Kg.} = 38,54 \text{ Kg.}$$

El valor de esta fuerza en Newton será:

$$L = 38,54 \text{ Kg.} \cdot \frac{9,8 \text{ N}}{1 \text{ Kg.}} = 377,66 \text{ N.}$$

Las distancias indicadas en la Figura 58 son tomadas del Anexo I y son $d_1= 170\text{mm}$, $d_2=330\text{mm}$, $d_3=0\text{mm}$ y $d_4=155\text{mm}$, entonces:

$$F_1 = F_2 = \frac{377,66 \text{ N.}}{2} \cdot \frac{155 \text{ mm}}{330 \text{ mm}} = 79,29 \text{ N.}$$

$$F_3 = F_4 = - \frac{377,66 \text{ N.}}{2} \cdot \frac{155 \text{ mm}}{330 \text{ mm}} = 79,29 \text{ N.}$$

La carga L que genera el carro vertical, está localizada en el centro del carro horizontal de la coordenada X, por tanto $d_3 = 0$.

$$F_{1s} = F_{3s} = \frac{377,66 \text{ N}}{4} + \frac{377,66 \text{ N}}{2} \cdot \frac{0\text{mm}}{170 \text{ mm}} = 94,415 \text{ N.}$$

$$F_{2s} = F_{4s} = \frac{377,66 \text{ N}}{4} - \frac{377,66 \text{ N}}{2} \cdot \frac{0\text{mm}}{170 \text{ mm}} = 94,415 \text{ N.}$$

De estas fuerzas calculadas se escoge la mayor, o sea $F= 94,415 \text{ N.}$

4.3.9. Flecha o Ejes Guías de la Coordenada “X”

Para este cálculo se toma el dato de la fuerza $F=94,415\text{N}$, y las distancias $L1=330\text{mm}$ y $L_T= 880$ mm indicadas en el Anexo I; la disposición de la fuerza F en los puntos B y C en la Figura 59 se da tomando en cuenta que la mitad de los ejes guías se concentrará el mayor esfuerzo. Para el cálculo de los ejes se tomara el momento flector máximo de la estructura “X”.

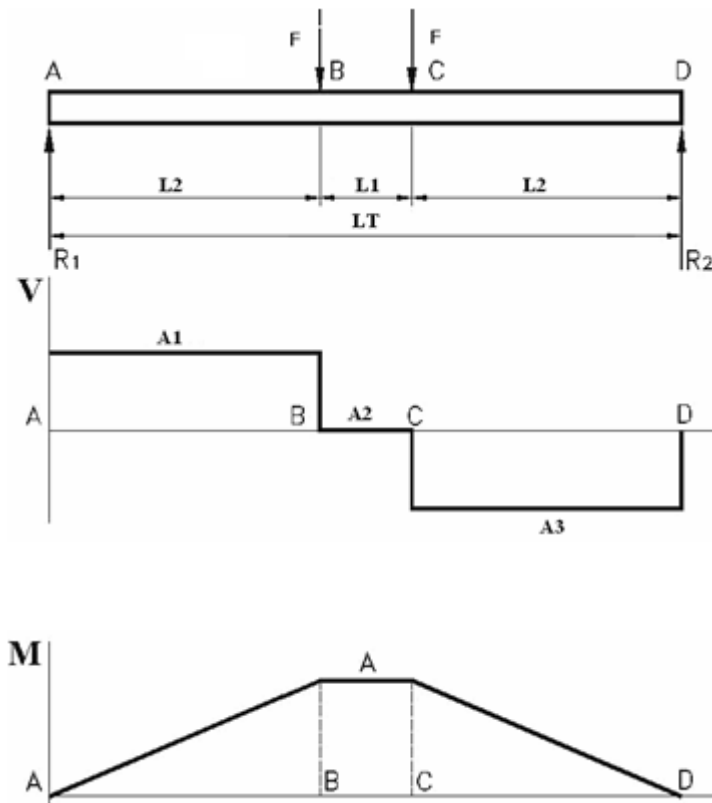


Figura 59. Diagrama del cuerpo libre, diagrama de fuerzas y diagrama de momentos para ejes guías de la estructura horizontal, coordenada “X”

El valor de L_2 se calcula con la siguiente expresión, y tomando en cuenta la disposición de las dimensiones de los ejes guías:

$$L_2 = \frac{L_T - L_1}{2} \quad (33)$$

$$L_2 = \frac{880 - 330 \text{ mm}}{2} = 250 \text{ mm}$$

Con el diagrama de cuerpo libre de la Figura 58 se procede a calcular el momento flector máximo para los ejes, mediante la sumatoria de momentos flectores y la sumatoria de fuerzas en el eje X.

$$M_A = F \cdot L_2 + F \cdot L_1 + L_2 - R_2 \cdot L_T = 0 \quad (34)$$

$$R_2 = \frac{F \cdot L_2 + F \cdot L_1 + L_2}{L_T} \quad (35)$$

$$= \frac{236,04 \text{ N} \cdot 20 + 100 \text{ mm}}{20 + 100 + 130 \text{ mm}} = 132,18 \text{ N.}$$

$$F_y = R_2 - F - F + R_1 = R_2 - 2F + R_1 = 0 \quad (36)$$

$$R_1 = 2F - R_2 \quad (74)$$

$$R_1 = -132,18 \text{ N.} + 2 \cdot 236,04 \text{ N.} = 339,9 \text{ N.}$$

$$A_1 = R_1 \cdot L_2 = 339,9 \text{ N} \cdot 20 \text{ mm.} = 6798 \text{ N mm.}$$

$$A_2 = (R_1 - F) \cdot L_1 = (339,9 - 236,04) \text{ N} \cdot 100 \text{ mm.}$$

$$= 10386,11 \text{ N mm.}$$

$$A_3 = (R_1 - 2F) \cdot d_3 = 339,9 - 2(236,04) \text{ N} \cdot 130 \text{ mm.}$$

$$= 17184,29 \text{ N mm.}$$

$$A_3 = R_2 \cdot L_2 = 132,18 \text{ N} \cdot 130 \text{ mm.} = 17184,29 \text{ N mm.}$$

(comprobando el punto anterior)

De los 3 esfuerzos se escoge la mayor $A=17184,29 \text{ Nmm.}$, es la que corresponde al momento flector máximo de la estructura “X” como se ve en el diagrama anterior.

El esfuerzo normal máximo que soporta el material se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{M\acute{a}x} = \frac{S_y}{n} \quad (37)$$

$S_y \text{ (N/mm}^2\text{)} = 276$

$n=2$

Resistencia a la fluencia en el acero SAE 1040

Factor de seguridad entre 1.5 y 2.5

El módulo de resistencia para el material seleccionado se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma_{M\acute{a}x} = \frac{9,55 \text{ N/mm}^2}{2} = 4,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

El módulo de resistencia para el material seleccionado se calcula con la siguiente expresión.

$$W = \frac{M}{\sigma_{M\acute{a}x}} \quad (38)$$

M (Nmm.) = 17184.29 Momento flector máximo

$\sigma_{m\acute{a}x}$ (N/mm²) = 138 Esfuerzo normal máximo

$$W = \frac{17184,29 \text{ N}\cdot\text{mm}}{4,77 \text{ N mm}^2} = 3602,57 \text{ mm}^3$$

4.3.10. Rodamientos y Acoples

4.3.10. a. Tipo de Rodamientos

Un rodamiento es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste por medio de la rodadura, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.

Los rodamientos son elementos que encontramos en la práctica totalidad de máquinas de control numérico. Esto se debe a su bajo coste, su bajo coeficiente de rozamiento y la práctica ausencia de holguras. Su principal función consiste en la sujeción de los husillos (ya sean convencionales o de bolas) así como dentro los motores para posicionar correctamente el rotor. Para el ámbito del control numérico estos rodamientos presentan un recubrimiento que protege las bolas, de forma que la suciedad generada al mecanizar no pueda entrar a la zona de rodadura.

4.3.10. b. Método de selección de rodamientos

Se cuenta con suficiente información respecto de la carga de cojinetes de bolas y de rodillos de contacto rodante a fin de desarrollar la carga radial constante equivalente que causara tanto daño al cojinete como la carga existente. Ahora se le da utilidad a esta información.

Un rodamiento con respecto a otro presenta propiedades y características que dependen de su diseño y que lo hacen más o menos adecuado para una determinada aplicación. La consideración más importante en la selección de un rodamiento es escoger aquel que permita a la máquina o mecanismo en la cual se instala, un funcionamiento satisfactorio.

Para facilitar el proceso de selección y lograr la determinación del rodamiento más apropiado para una tarea, los factores principales a ser considerados son los siguientes:

- Tipo de rodamiento
- Espacio disponible.
- Vida útil
- Magnitud, dirección y sentido de la carga.
- Desalineación.

4.3.10. c. Confiabilidad del cojinete

La ecuación (11-6) se resuelve para la confiabilidad R_D en términos de C_{10} , la clasificación básica de carga dinámica del cojinete seleccionado:

$$R = \exp \left(- \left\{ \frac{x_D \left(\frac{a_f F_D}{C_{10}} \right)^a - x_0}{\theta - x_0} \right\}^b \right) \quad (39)$$

La ecuación (11-7) se resuelve de la misma manera para R_D :

$$R \doteq 1 - \left\{ \frac{x_D \left(\frac{a_f F_D}{C_{10}} \right)^a - x_0}{\theta - x_0} \right\}^b \quad R \geq 0.90 \quad (40)$$

En cojinetes de rodillos cónicos u otros cojinetes que usan una distribución de **Weibull** con dos parámetros, la Ecuación (148) se convierte, para $x_0 = 0$, $\theta = 4.48$, $b = 32$, en

$$\begin{aligned} R &= \exp \left\{ - \left[\frac{x_D}{\theta (C_{10}/[a_f F_D])^a} \right]^b \right\} \\ &= \exp \left\{ - \left[\frac{x_D}{4.48 f_T f_v (C_{10}/[a_f F_D])^{10/3}} \right]^{3/2} \right\} \end{aligned} \quad (41)$$

y la Ecuación (148) se convierte en

$$R \doteq 1 - \left\{ \frac{x_D}{\theta [C_{10}/(a_f F_D)]^a} \right\}^b = 1 - \left\{ \frac{x_D}{4.48 f_T f_v [C_{10}/(a_f F_D)]^{10/3}} \right\}^{3/2} \quad (42)$$

F_v : Factor de Viscosidad

F_T : Factor de Temperatura

a_f : Factor de aplicación

X_D : Vida útil de diseño

R: confiabilidad

X: variante adimensional de la medida de la vida L/Lo

X_0 : valor garantizado o “mínimo” de la variante

θ : Parámetro característico que corresponde al valor 63.2121 del percentil de la

B: Parámetro de la forma que controla el sesgo

F_D : Carga Radial deseada

C_{10} : Carga Dinámica

C_0 : Carga Estática

Diámetro interior, mm	DE, mm	Radio del entalle, mm	Ancho, mm	Diámetro del hombro, mm		Clasificaciones de carga, kN			
				d_s	d_H	Ranura profunda		Contacto angular	
						C_{10}	C_0	C_{10}	C_0
10	30	9	0.6	12.5	27	5.07	2.24	4.94	2.12
12	32	10	0.6	14.5	28	6.89	3.10	7.02	3.05
15	35	11	0.6	17.5	31	7.80	3.55	8.06	3.65
17	40	12	0.6	19.5	34	9.56	4.50	9.95	4.75
20	47	14	1.0	25	41	12.7	6.20	13.3	6.55
25	52	15	1.0	30	47	14.0	6.95	14.8	7.65
30	62	16	1.0	35	55	19.5	10.0	20.3	11.0
35	72	17	1.0	41	65	25.5	13.7	27.0	15.0
40	80	18	1.0	46	72	30.7	16.6	31.9	18.6
45	85	19	1.0	52	77	33.2	18.6	35.8	21.2
50	90	20	1.0	56	82	35.1	19.6	37.7	22.8
55	100	21	1.5	63	90	43.6	25.0	46.2	28.5
60	110	22	1.5	70	99	47.5	28.0	55.9	35.5
65	120	23	1.5	74	109	55.9	34.0	63.7	41.5
70	125	24	1.5	79	114	61.8	37.5	68.9	45.5
75	130	25	1.5	86	119	66.3	40.5	71.5	49.0
80	140	26	2.0	93	127	70.2	45.0	80.6	55.0
85	150	28	2.0	99	136	83.2	53.0	90.4	63.0
90	160	30	2.0	104	146	95.6	62.0	106	73.5
95	170	32	2.0	110	156	108	69.5	121	85.0

Tabla 15. Dimensiones y clasificaciones de carga para cojinetes de bolas de contacto angular, de una fila, serie 02, de ranura profunda

4.3.10. d. Vida Útil

La falla principal de los rodamientos es la fatiga superficial que se produce en las pistas de rodadura y en los elementos rodantes. Esta falla se basa en las fórmulas de esfuerzo de contacto (Hertz). Se han desarrollado cálculos avanzados para estimar la magnitud de estas fuerzas y por otra parte se han desarrollado materiales que soporten estas cargas logrando prolongar la vida

útil. El cálculo de la vida útil es dependiente del rodamiento en particular, por lo que resulta un cálculo iterativo en el cual se escoge un rodamiento y se comprueba su vida útil, si el resultado es aproximadamente igual al seleccionado, el cálculo ha terminado, pero si la vida es menor o muy mayor de lo recomendado debe escogerse otro rodamiento y recalcularse la vida.

La vida nominal de un rodamiento según la normativa ISO 281:1990 es

$${}^{46}L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (43)$$

Si la velocidad es constante, suele ser preferible calcular la vida expresada en horas de funcionamiento utilizando la ecuación

$${}^{47}L_{10h} = \frac{10^6}{(60n)} L_{10} \quad (44)$$

L_{10} Vida nominal (con un 90 % de fiabilidad), millones de revoluciones

L_{10h} Vida nominal (con un 90 % de fiabilidad), horas de funcionamiento

C Capacidad de carga dinámica, kN

P Carga dinámica equivalente del rodamiento, kN

p Exponente de la ecuación de la vida

- 3 para los rodamientos de bolas
- 10/3 para los rodamientos de rodillos
- n Velocidad de giro, rpm

Para los rodamientos modernos de alta calidad, la vida nominal se puede desviar significativamente de la vida útil real. La vida útil en una aplicación depende de una variedad de factores, tales como la lubricación, el grado de contaminación, la desalineación, el montaje adecuado y las condiciones ambientales. Por este motivo, la normativa ISO 281:1990/Amd 2:2000 contiene una fórmula de la vida modificada para complementar la vida nominal. Este cálculo de la vida usa un factor de ajuste para tener en cuenta las condiciones de lubricación y contaminación del rodamiento y el límite de fatiga del material. El factor de ajuste de la vida a_{SKF} aplica el concepto de carga límite de fatiga P_u . Asimismo, con el fin de reflejar las condiciones de funcionamiento de la aplicación, el factor de ajuste de la vida a_{SKF} hace uso de las condiciones de

lubricación (relación de viscosidad k) y del factor η_c (Tabla 25) para el nivel de contaminación. La relación de la viscosidad viene dada por la expresión:

$$48k = \frac{v}{v_1} \quad (45)$$

- k Relación de viscosidad
- v Viscosidad real de funcionamiento del lubricante, mm²/s
- v_1 Viscosidad nominal dependiendo del diámetro medio del rodamiento y de la Velocidad de giro, mm²/s

Los valores de v_1 y v se obtienen por diagramas.

Condición	Factor η_c	
	dm < 100 mm	dm > 100 mm
Limpieza extrema Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante Condiciones de laboratorio	1	1
Gran limpieza Aceite filtrado a través de un filtro extremadamente fino Condiciones típicas de rodamientos engrasados de por vida y obturados	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal Aceite filtrado a través de un filtro fino Condiciones típicas de los rodamientos engrasados de por vida y con placas de protección	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera Contaminación ligera del lubricante	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminación típica Condiciones típicas de los rodamientos sin obturaciones integrales, filtrado grueso, partículas de desgaste y entrada de partículas del exterior	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminación alta Entorno del rodamiento muy contaminado y disposición de rodamientos con obturación inadecuada	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminación muy alta	0	0

Tabla 16. Valores orientativos del factor de ajuste η_c para diferentes grados de contaminación

La ecuación para la vida nominal SKF cumple con la normativa ISO 281:1990/AMD 2:2000

$${}^{49}L_{10} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (46)$$

- a_1 Factor de ajuste de la vida para una mayor fiabilidad
- a_{SKF} Factor de ajuste de la vida SKF

Los valores del factor a_1 se muestran en la Tabla 24.

Clases de máquinas	L10h horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos para uso médico.	300 a 3 000
Máquinas usadas intermitente o por cortos periodos: Máquinas-herramienta portátiles, aparatos elevadores para talleres, máquinas para la construcción.	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos periodos o intermitentemente: Ascensores, grúas para mercancías embaladas.	8 000 a 1 2000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas: Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias.	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: Máquinas-herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipo de imprenta, separadores y centrifugos.	20 000 a 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: Cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil.	40 000 a 50 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para trasatlánticos.	60 000 a 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para la línea de eje de trasatlánticos.	» 100 000

Tabla 17. Valores requeridos de la vida nominal L10h para diferentes clases de maquinas

La Tabla 17 contiene valores recomendados para la vida útil que debería tener un rodamiento para las aplicaciones que se detallan.

Fiabilidad %	Probabilidad de fallo n %	Vida nominal L_{nm}	a_1
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0.62
96	4	L_{4m}	0.53
97	3	L_{3m}	0.44
98	2	L_{2m}	0.33
99	1	L_{1m}	0.21

Tabla 18. Valores del factor de ajuste de la vida útil a_1

4.3.10. f. Carga de los rodamientos

Este es el factor a considerar para determinar el tamaño del rodamiento a utilizar.

Generalmente, cuando las dimensiones principales son iguales, los rodamientos de rodillos pueden soportar mayores cargas de rodamientos de bolas, y los rodamientos llenos de elementos rodantes pueden soportar mayores cargas que los rodamientos con jaula correspondientes.

En particular, la carga equivalente sobre el rodamiento se obtiene de fórmulas como la siguiente:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (47)$$

F_r Es la carga radial que se aplica sobre el rodamiento.

F_a Es la carga axial que se aplica sobre el rodamiento.

X e Y son valores dimensionales que varían para cada tipo de rodamiento.

4.3.10. g. Selección del rodamiento para el tornillo de potencia horizontal

Considerando lo anteriormente anotado, procederemos a la selección del rodamiento para nuestra máquina.

1. En cuanto a la selección de tipo de rodamiento será considerado un rodamiento de bolas puesto que es el más indicado para aplicaciones que intervengan motores eléctricos pequeños, como es el caso de la máquina.

2. En cuanto al espacio disponible únicamente consideraremos como variable al diámetro interior del rodamiento puesto que las placas soporte del mismo ofrecen cantidad suficiente en la eventualidad de un maquinado para el diámetro exterior.

De esta manera el diámetro sería de 9 mm ya que las cargas son pequeñas. Observando el catálogo de SKF se ha seleccionado el rodamiento 609 que tiene las siguientes características

3. Para la vida útil consideraremos las recomendaciones que se indican en la Tabla 25.

Así tenemos que L_{10} deberá ser un valor entre 10000 y 25000 horas, puesto que nuestra máquina trabajara en jornadas de 8 hora de manera discontinua.

Este valor se lo debe calcular en base a las ecuaciones anotadas para selección de rodamientos.

$$L_{10} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

Entonces tenemos que la fuerza radial que soporta el rodamiento es de 5.5 N, debido al diagrama de corte y la fuerza axial es 0 N.

Para el rodamiento seleccionado tenemos las siguientes características que son recogidas en la Tabla 26.

Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga limite de fatiga Pu	Designación
			Dinámica C	Estática Co		
d	D	B	C	Co	Pu	609
mm			KN		KN	
9	24	7	3,9	1,66	0,071	

Tabla 19. Características del rodamiento SKF 609

Al no tener fuerza axial los valores de X e Y son 1 y 0 respectivamente por lo que tendríamos que la carga equivalente es igual a la carga de 6,029 N. De la Tabla 26 el valor de C para el rodamiento seleccionado es igual a 3.9. El valor de a_I se obtiene de la Tabla 26, si se considera una fiabilidad del 95% tenemos que $a_I = 0,62$.

Consideraremos un valor $\eta_c = 0,6$ por ser una contaminación con limpieza normal, una temperatura de funcionamiento de 25°C aproximadamente, un aceite ISO 100, entonces según tenemos que $v \approx 300 \text{ mm}^2/\text{s}$.

La velocidad de funcionamiento será de aproximadamente de 20 rpm por tanto si analizamos la y considerando las dimensiones anotadas en la Tabla 19 tenemos que $v_I = 900 \text{ mm}^2/\text{s}$, por lo tanto $k = 0,33$.

El valor lo obtenemos resultan ser $a_{SKF} \approx 0,9$

La vida nominal con las condiciones encontradas sería:

$$L_{10} = 0,62 \cdot 0,9 \frac{3,9^3}{6,029} ; L_{10} \approx 150000$$

Valor que supera las expectativas pero que es tomado como óptimo para la selección de los rodamientos.



Figura 79. Rodamientos Lineales utilizados en el proyecto

4.3.10. h. Selección del Acople

Los acoplamientos sirven para prolongar líneas de transmisión de ejes o para conectar tramos de diferentes ejes, estén o no alineados entre sí. Para llevar a cabo tales funciones se disponen de diferentes tipos de acoplamientos mecánicos.

Los acoplamientos se clasifican en los siguientes tipos:

- Acoplamientos Rígidos
- Acoplamientos flexibles
- Acoplamientos especiales o articulados

Analizando nuestro caso, se necesita un acoplamiento que sea capaz de transmitir el par torsional por parte de los motores y que no permita cierto grado de desalineación axial como torsional que podríamos tener, por lo que el acoplamiento más adecuado para esta aplicación es el de quijadas de goma. La selección de este acople flexible, el cual permita transmitir una torsión con una precisión razonable sin la necesidad de forzar al motor en la inercia de arranque.

La Tabla 27 nos da una guía para las diferentes aplicaciones.



Figura 60. Acople de goma entre eje de motor y eje de transmisión utilizado en el proyecto

4.3.11. Tornillos/Varillas Roscadas

4.3.11. a. Diseño de los Tornillos de Potencia

Para el diseño de los tornillos de potencias a emplearse en la maquina es pertinente primero conocer el método de cálculo que nos ayudara a la selección de dichos elementos.

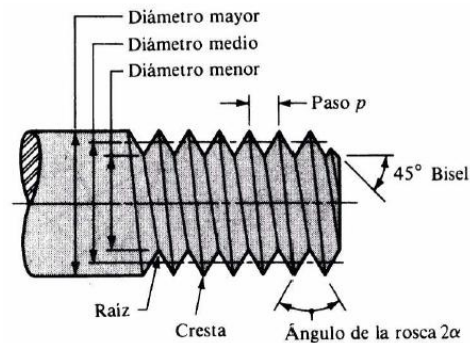


Figura 61. Nomenclatura para rosca de tornillo

En vista de lo antes mencionado, nos referiremos en primer lugar a la terminología que se usa para las roscas de tornillos:

- p , paso: es la distancia entre dos hilos adyacentes.
- l , avance: es la distancia que avanza una tuerca cuando se le da una vuelta. Existen roscas de tipo doble y triple, en las cuales se avanza dos o tres veces el paso respectivamente.
- λ , ángulo de avance: es el ángulo que forma una tangente a la hélice con un plano normal al eje del tornillo

Estos tres conceptos se pueden observar en la Figura 62 que se muestra a continuación:

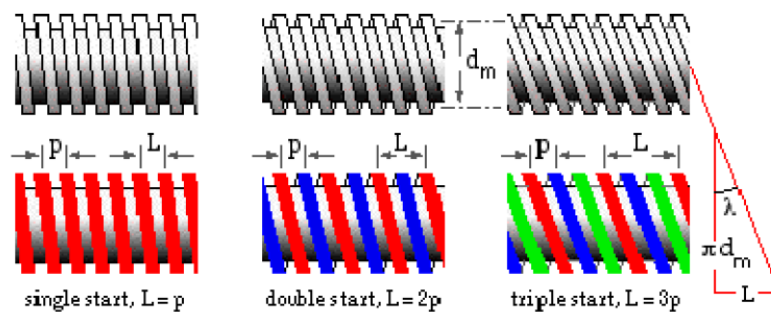


Figura 62. Paso y Avance en roscas

La tuerca husillo (Figura 63) es un tipo de mecanismo que está constituido por un tornillo (husillo) que al girar produce el desplazamiento longitudinal de la tuerca en la que va enroscado (movimiento rectilíneo).



Figura 63. Tuerca husillo

El husillo posee un número de entradas (N) o filetes de rosca característica, que es el número de hélices que se enroscan en paralelo sobre el núcleo del tornillo. Generalmente es 1, 2 o 3. El paso de rosca (p) es la distancia entre dos filetes consecutivos de una misma hélice.

Habitualmente se mide en milímetros (mm). El paso de rosca es igual a la longitud que avanza el husillo en cada vuelta. La longitud (L) que avanza la tuerca al girar el husillo se obtiene mediante la fórmula:

$$L = p \cdot N \quad (48)$$

La velocidad de avance se expresa, especialmente en máquinas-herramientas, en milímetros por minuto (mm/min) y calcula multiplicando el paso de rosca p (en mm/rev) por la velocidad de giro n (en rev/min o rpm).

$$A = p \cdot n \quad (49)$$

La longitud L es independiente del número de entradas (Z), porque el paso de rosca ya indica los mm de avance de la tuerca por cada revolución del husillo.

Existen diferentes tipos de rosca en función de la forma del perfil del filete, del número de filetes que tenga, del paso de la propia rosca, y del sentido de giro de avance del tornillo.

4.3.11. b. Tornillo de Potencia

Un tornillo de potencia sirve para convertir el movimiento circular en movimiento lineal, ya que de estos se puede obtener una gran ventaja mecánica por lo que son muy empleados para el desplazamiento tanto horizontal como vertical de cargas.

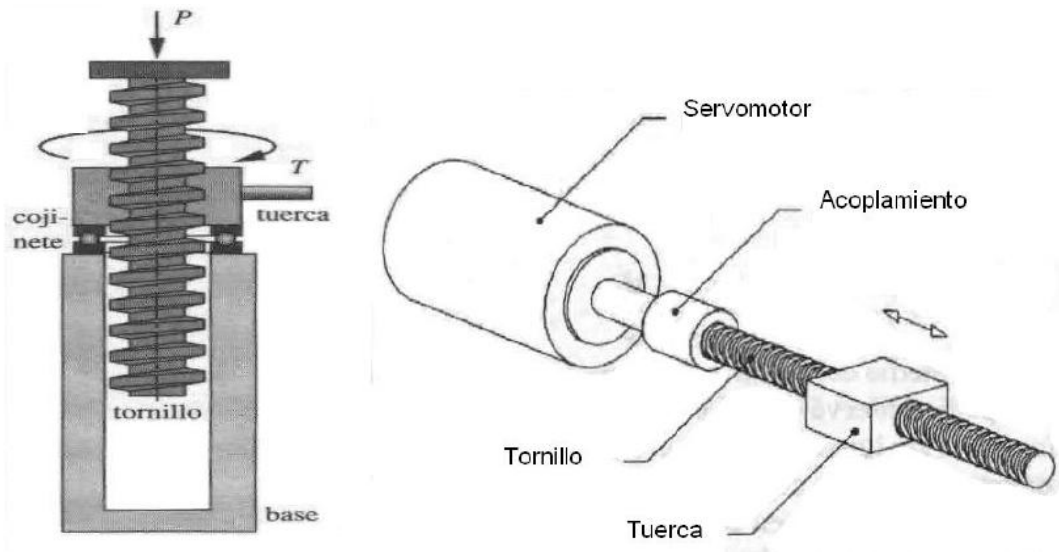


Figura 64. Izq. Tornillo de Potencia, Der. Tornillo impulsado por servomotor

Es necesario que exista alguna fricción sobre la superficie de carga, para evitar que el tornillo gire con la tuerca. Por otra parte, el tornillo podría girarse contra una tuerca fija para elevar la carga. De cualquier manera se causará una fricción significativa entre tornillo y tuerca, así como fricción entre tuerca y base, lo que condiciona su uso y obliga a la utilización de un cojinete de empuje, según se muestra. Si se emplea un cojinete de empuje simple (es decir, no giratorio) es posible que la interfaz del cojinete genere un par de torsión de fricción más elevado que la rosca. Para reducir dicho efecto en esta aplicación por lo general se recurre a cojinetes de empuje de bolas. Otra aplicación de los tornillos de potencia es en actuadores lineales que tienen motorizada la rotación de la tuerca para trasladar el tornillo o que motorizan la rotación de éste para trasladar la tuerca, como se puede observar en la Figura 64. Estos dispositivos son muy utilizados en máquinas herramienta para desplazar la mesa y la pieza de, en máquinas de ensamble para colocar piezas y en aeronaves para mover las superficies de control. Si la entrada giratoria

proviene de un solo motor o de un motor por pasos, en combinación con un tornillo de precisión, es posible conseguir un posicionamiento muy preciso.

4.3.11. c. Análisis de la flexión del tornillo de potencia

El análisis del tornillo a flexión se lo realizará únicamente para el tornillo horizontal puesto que este es el que soporta las cargas de los elementos montados superiormente. Para su análisis se lo ha considerado como si fuese un eje de determinado diámetro a el cual está sometido a flexión pura.

Debido a esta consideración tenemos que la expresión a usar para determinar el diámetro sería la siguiente:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (50)$$

σ : Esfuerzo a flexión

M : Momento Flector

c : Distancia del eje neutro a la fibra a analizar

I : Inercia

Para garantizar que el esfuerzo sea menor que el límite de fluencia del material se incluye un factor de seguridad, por lo que tendríamos la siguiente expresión:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} \quad (51)$$

Considerando que se trata de un elemento con sección circular, tenemos la expresión para la inercia como:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (52)$$

El análisis debemos orientarlo a la fibra extrema por lo tanto la distancia c será igual a:

$$c = \frac{d}{2} \quad (53)$$

Combinando las ecuaciones anteriormente anotadas se tiene para el esfuerzo a flexión lo siguiente:

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (54)$$

Puesto que el esfuerzo a flexión debe ser menor que el esfuerzo admisible, tenemos lo siguiente:

$$\frac{32M}{\pi d^3} \leq \sigma_{adm} \quad (55)$$

Por lo tanto para el diámetro mínimo requerido tenemos lo siguiente:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M \cdot n}{\pi \cdot S_y}} \quad (56)$$

Para el caso particular de nuestro tornillo de potencia horizontal tenemos los siguientes datos a emplear.

Material: acero A-36

Limite a la fluencia: 260 Mpa

Longitud: 755 mm con apoyos en los extremos a 10 mm cada uno

Factor de seguridad: 2.5

En primer lugar se debe calcular el momento flector, para ello debemos establecer las cargas que actúan sobre el eje. En este caso las cargas actuantes son las que componen el eje Z (Maquina, porta máquina, y porta carro sobre X) con un peso de 36 N.

Este resultado corresponde dividir para tres puesto que dicha carga tendrá seis puntos de apoyo, entonces

$$P = \frac{35,966}{6} = 5,9943 \approx 6$$

La disposición de la carga se la considera como puntual y que actúa en el punto medio como se indica en la Figura 65.

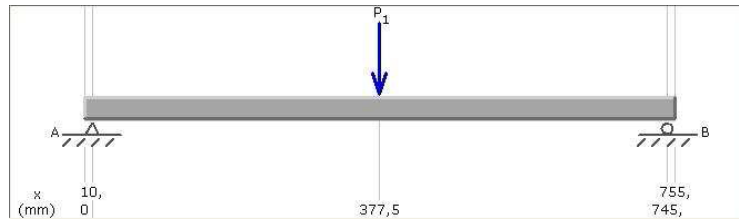


Figura 64. Diagrama de cargas

El diagrama de corte es que se muestra en la Figura 65

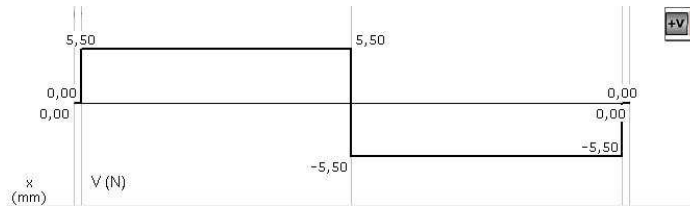


Figura 65. Diagrama de corte

El diagrama de momentos flectores es el que se muestra en la Figura 66

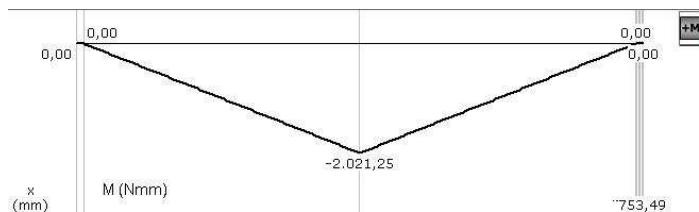


Figura 66. Diagrama del momento flector

Del diagrama de momento flector se tiene que el máximo tiene un valor de 2021.25 Nmm y podemos aplicar la fórmula para el diámetro:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M \cdot n}{\pi \cdot S_y}} \quad (57)$$

4.3.11. d. Análisis a fatiga del tornillo de potencia

El tornillo de potencia al estar en rotación continua, cambia el punto de aplicación de la fuerza, es decir en un instante se encuentra a tracción y a continuación a compresión, por lo que se hace necesario un análisis a fatiga del elemento mencionado, para ello es conveniente primero encontrar el esfuerzo medio y el esfuerzo amplitud a través de las siguientes expresiones:

Esfuerzo amplitud. Corresponderá al esfuerzo por flexión y por tanto:

$$\sigma_a = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (58)$$

Esfuerzo medio. Corresponderá al esfuerzo por la torsión y por tanto:

$$\sigma_m = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (59)$$

Empleando el criterio de Goodman modificado:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n} \quad (60)$$

Y se obtiene para el diámetro la siguiente expresión

$$\frac{32M}{\pi d^3 S_e} + \frac{16T}{\pi d^3 S_y} = \frac{1}{n} \quad (61) \quad d = \sqrt[3]{\frac{n(32MS_e + 16TS_y)}{\pi S_e S_y}} \quad (62)$$

La expresión para el límite a la fatiga S_e es la siguiente:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e \quad (63)$$

Dónde:

k_a Es el factor de modificación de la condición superficial

k_b Es el factor de modificación del tamaño

k_c Es el factor de modificación de la carga

k_d Es el factor de modificación de la temperatura

k_e Es el factor de modificación de efectos varios

S'_e Es el límite a la fatiga en viga rotatoria

Corresponde detallar entonces el procedimiento para la obtención de cada factor. El factor k_a se obtiene de la siguiente expresión, que debe ser complementada con la tabla del anexo A1

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (64)$$

Tipo de Manufactura	Factor a		Exponente b
	para S_{ut} en MPa	para S_{ut} en ksi	
Esmerilado	1.58	1.34	-0.085
Maquinado o estirado en frío	4.51	2.70	-0.265
Laminado en caliente	57.7	14.70	-0.718
Tal como sale de forja	272.0	39.90	-0.995

Tabla 21. Selección de los índices a y b para el cálculo del k_a

El factor k_b se obtiene de la siguiente expresión:

$$k_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 0.859 - 0.000837d & 51 \leq d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (65)$$

Tipo de sección	Diámetro Equivalente
Redonda flexión rotativa y/o torsión	d
Redonda, Flexión no rotativa	$0.37 d$
Rectángulo, Flexión no rotativa	$0.808 (b h)^{1/2}$

Tabla 22. Selección del diámetro equivalente dependiendo la sección y el esfuerzo aplicado

El factor k_c se obtiene cuando se realizan los ensayos de fática con carga de flexión rotatoria, axial (empujar y jalar) y de torsión, los límites de resistencia a la fatiga difieren con S_{ut} . Valores medios de factor de carga pueden ser:

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{Flexión} \\ 0.85 & \text{Axial} \\ 0.59 & \text{Torsión} \end{cases} \quad (66)$$

El factor k_d se obtiene cuando la temperatura de operación son menores que la temperatura ambiente, la fractura frágil es una posibilidad fuerte. Cualquier esfuerzo inducirá a una fluencia plástica en un material que opera a temperatura elevada, a estas temperaturas, el límite de fatiga se relaciona con la resistencia a la torsión e la misma forma que a temperatura ambiente por eso para hallar el factor de temperatura se efectúa convalidaciones experimentales adicionales establecidas en la siguiente relación:

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}} \quad (67)$$

Donde S_T es la resistencia estática a la rotura por tracción a una temperatura determinada y S_{RT} es la resistencia estática a la rotura por tracción a una temperatura de referencia.

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.00
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.028
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698

Tabla 23. Selección de coeficiente k_d respecto a la temperatura

El factor k_e depende de varios factores, en el presente proyecto lo consideraremos igual a 1.

El límite a la fatiga en viga rotatoria S_e' se obtiene a través de la siguiente relación:

$$S_e' = \begin{cases} 0.506S_{ut} \text{ kpsi o Mpa} & S_{ut} \leq 212 \text{ kpsi (1460 MPa)} \\ 107 \text{ Kpsi} & S_{ut} \leq 212 \text{ kpsi (1460 MPa)} \\ 740 \text{ MPa} & S_{ut} \geq 212 \text{ kpsi (1460 MPa)} \end{cases} \quad (68)$$

Para nuestro caso las condiciones están sobredimensionadas y la fatiga que debe soportar es mucho menor del que puede soportar por lo tanto se omiten cuentas, pero si se debe tener en cuenta si se realiza con otros materiales.

4.3.11. e. Análisis de la fuerza y del par de torsión del tornillo de potencia

En primer lugar se debe considerar el tipo de perfil de rosca con la que se va a trabajar, el mismo que puede ser cuadrada o ACME por lo general. Una rosca de tornillo se asemeja a un plano inclinado como se muestra en la Figura 67 Der., que se ha enroscado alrededor de un cilindro, creando una hélice, como se puede apreciar en la Figura 104 Izq.

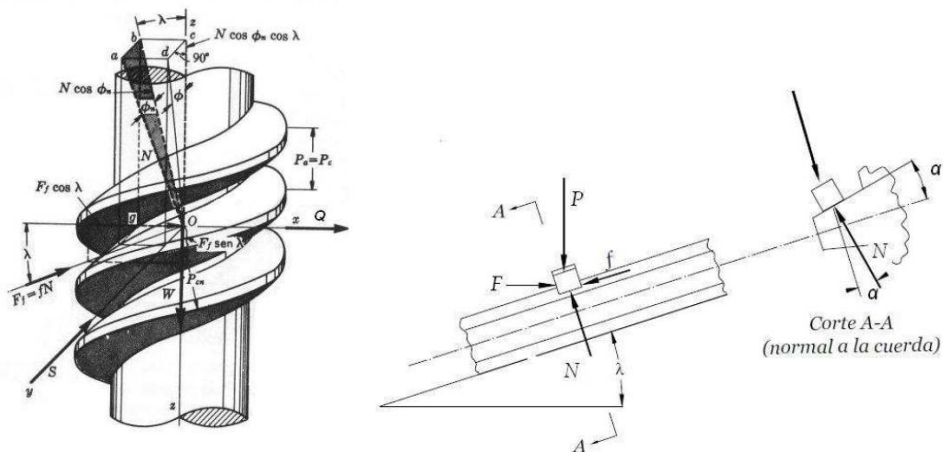


Figura 67. Izq. Análisis de fuerzas en un tornillo, Der- Equilibrio de fuerzas de un elemento de tuerca

P, es la carga generada por el peso.

N, es la fuerza normal.

f, es la fuerza de rozamiento.

F, es la fuerza generada por el par de torsión.

El ángulo de inclinación del plano se conoce como el ángulo de avance α .

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi d_p} \quad (69)$$

L: Avance de la rosca

d_p : Diámetro de paso

Regresando a la Figura 68, y puesto que el elemento se encuentra en equilibrio podemos plantear las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ F - N(\mu \cos \lambda + \cos \alpha \sin \lambda) &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ P + N(\mu \sin \lambda - \cos \alpha \cos \lambda) &= 0 \end{aligned} \quad (70)$$

Si se dividen las dos ecuaciones para eliminar N, tenemos:

$$F = P \frac{(\mu \cos \lambda + \cos \alpha \sin \lambda)}{(\cos \alpha \cos \lambda - \mu \sin \lambda)} \quad (71)$$

El par de torsión aplicado al segmento de la tuerca se representa por la siguiente expresión:

$$T = F \frac{d_p}{2} \quad (72)$$

Y como este es el par necesario para elevar la carga P entonces tenemos:

$$T = P \frac{d_p}{2} \frac{(\mu \cos \lambda + \cos \alpha \sin \lambda)}{(\cos \alpha \cos \lambda - \mu \sin \lambda)} \quad (73)$$

Se debe de tener en cuenta que en la expresión anterior no se considera el coeficiente de fricción por parte del collarín ($\mu_0 = 0$)

Si dividimos la ecuación anterior para $\cos \lambda$ tenemos:

$$T = P \frac{d_p}{2} \frac{(\mu + \cos \alpha \tan \lambda)}{(\cos \alpha - \mu \tan \lambda)} \quad (74)$$

Retomando la expresión del ángulo de avance antes anotada y reemplazando en la ecuación, tendríamos:

$$T = P \frac{d_p (\mu \pi d_p + L \cos \alpha)}{2 (\pi d_p \cos \alpha - \mu L)} \quad (75)$$

Generalmente en aplicaciones de tornillos de potencia, éstos requieren de una superficie de apoyo o collarín de empuje, como se puede observar en la Figura 69, entre el elemento que está fijo y el que gira; esta función la desempeña el cojinete de empuje de bolas y en muchos casos se emplea una arandela simple de empuje.

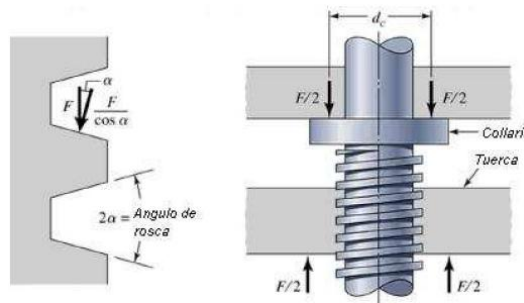


Figura 69. Tornillo con collarín.

Bajo estas consideraciones aparece un par de torsión extra que se debe vencer a la hora de levantar la carga y que viene dado por la siguiente expresión:

$$T_c = \mu_c P \frac{d_c}{2} \quad (76)$$

Por lo tanto el par de torsión total para elevar la carga a través de un tornillo de potencia con collarín viene dado por la siguiente expresión:

$$T = P \frac{d_p (\mu \pi d_p + L \cos \alpha)}{2 (\pi d_p \cos \alpha - \mu L)} + \mu_c P \frac{d_c}{2} \quad (77)$$

Para bajar la carga se debe considerar que la fuerza de rozamiento cambia de dirección así como la fuerza aplicada, por lo que la expresión resultaría:

$$T = P \frac{d_p (\mu \pi d_p - L \cos \alpha)}{2 (\pi d_p \cos \alpha + \mu L)} + \mu_c P \frac{d_c}{2} \quad (78)$$

Para el caso de las roscas cuadradas el ángulo α es igual a cero y por tanto las expresiones resultarían las siguientes.

Para el ascenso:

$$T = P \frac{d_p (\mu \pi d_p + L)}{2 (\pi d_p - \mu L)} + \mu_c P \frac{d_c}{2}$$

Para el descenso:

$$T = P \frac{d_p (\mu \pi d_p - L)}{2 (\pi d_p + \mu L)} + \mu_c P \frac{d_c}{2}$$

Ham y Ryan encontraron que los coeficientes son independientes de la carga, prácticamente independientes de la velocidad, disminuye con lubricantes pesados, presentan poca variación con diferentes combinaciones de materiales. Los coeficientes de fricción deslizante en tornillos de transmisión de potencia oscilan entre valores de 0.10 y 0.15. En la tabla 3.8 se muestran algunos coeficientes de fricción para pares de materiales comunes, en tanto que la tabla 3.9 contiene los coeficientes de fricción deslizante del collarín de empuje tanto al inicio como ya en operación para diferentes combinaciones de materiales.

Material del tornillo	Material de la tuerca			
	Acero	Bronce	Latón	Hierro fundido
Acero, seco	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acero, aceite para maquina	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronce	0.08-0.12	0.04-0.06		0.06-0.09

Tabla 24. Coeficientes de fricción para pares roscados

Combinación	Operando	Arrancando
Acero suave sobre fundición de hierro	0.12	0.17
Acero duro sobre fundición de hierro	0.09	0.15
Acero suave sobre bronce	0.08	0.10
Acero duro sobre bronce	0.06	0.08

Tabla 25. Coeficientes de fricción de materiales en transmisión de potencia

Para el diseño del tornillo de potencia vertical tenemos lo siguiente

- Rosca ACME
- Diámetro nominal 1/2 pulgada
- Paso 1/10 pulgada
- Carga a elevar de 1.6 N
- Coeficiente de fricción para el par roscado de 0.16 (Tabla XX)

El diámetro de raíz se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$d_r = d - p/2$$

$$d_r = 0.5 - 0.1/2$$

$$d_r = 0.45 \text{ plg} \quad (79)$$

Es necesario el diámetro medio o de paso que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$d_p = \frac{d + d_r}{2}$$

$$d_p = \frac{0.5 + 0.45}{2}$$

$$d_p = 0.475 \text{ plg} = 12.065 \text{ mm} \quad (80)$$

Al no tener collarín la ecuación para el par se reduce a:

$$T = P \frac{d_p (\mu \pi d_p + L)}{2 (\pi d_p - \mu L)}$$

$$T = 1.6 \frac{12.065 (0.16 \cdot \pi \cdot 12.065 + 0.10)}{2 (\pi \cdot 12.065 - 0.16 \cdot 0.1)}$$

$$T = 1.57 \text{ Nmm}$$

Este valor será el par requerido para elevar el carro vertical. Para el diseño del tornillo de potencia horizontal tenemos lo siguiente

- Rosca ACME

- Diámetro nominal ½ pulgada
- Paso 1/10 pulgada
- Carga a desplazar de 11 N
- Coeficiente de fricción para el par roscado de 0.16 (Tabla 3.8)

El diámetro de raíz se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$d_r = d - p/2$$

$$d_r = 0.5 - 0.1/2$$

$$d_r = 0.45 \text{ plg}$$

Es necesario el diámetro medio o de paso que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$d_p = \frac{d + d_r}{2}$$

$$d_p = \frac{0.5 + 0.45}{2}$$

$$d_p = 0.475 \text{ plg} = 12.065 \text{ mm}$$

La carga de 11N es perpendicular al tornillo de potencia por lo que para introducirlo en la ecuación del par requerido se debe multiplicar este valor por el coeficiente de rozamiento entre el acero y el bronce del bocín cuyo valor es de 0.23 (Tabla XX), así la carga P resultaría igual a 2.53 N y el par necesario sería

$$T = P \frac{d_p (\mu \pi d_p + L)}{2 (\pi d_p - \mu L)}$$

$$T = 2.53 \frac{12.065 (0.16 \cdot \pi \cdot 12.065 + 0.10)}{2 (\pi \cdot 12.065 - 0.16 \cdot 0.1)}$$

$$T = 2.52 \text{ Nmm}$$

Este valor corresponde al par requerido para desplazar el carro

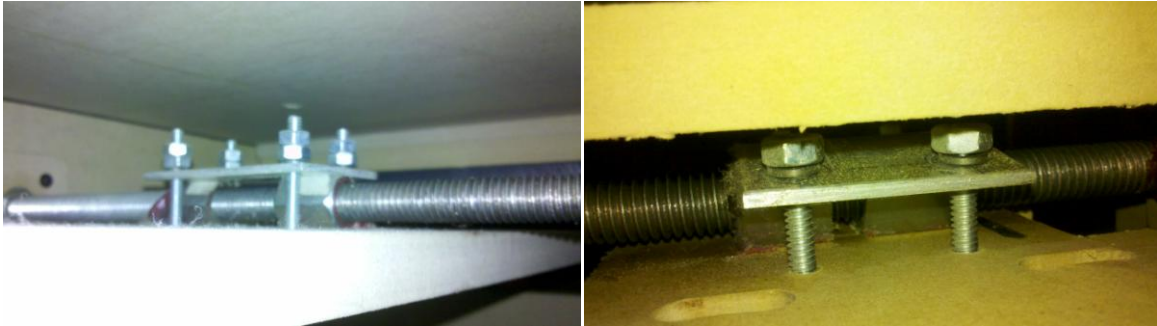


Figura 70. Acople entre tornillo de potencia y carro móvil usada en el proyecto

4.3.11. f. Diámetro del eje guía del carro Z

$$\phi = \frac{32 \cdot W}{\pi}^{\frac{1}{2}} \quad (81)$$

$$W \text{ (mm}^3\text{)} = 20,83$$

Modulo de Resistencia del material

$$\phi = \frac{32 \cdot 20,83 \text{ mm}^3}{\pi}^{\frac{1}{2}} = 14,56 \text{ mm.}$$

Considerando que en el mercado no existe tal diámetro, se escoge uno de 15 mm de amplia comercialización en nuestro medio.

4.3.11. g. Calculo del tornillo de potencia para el carro “Z”

El peso total para el cálculo del tornillo se calcula con la siguiente expresión:

$$F = W_1 + W_2 + W_3 \quad (82)$$

$$W_1 \text{ (Kg.)} = 0,55$$

Peso de la herramienta

$$W_2 \text{ (Kg.)} = 3,457$$

Peso de la estructura en la que esta acoplada la herramienta

$$W_3 \text{ (Kg.)} = 0,16$$

Fuerza de corte

$$F = 0,55 + 3,457 + 0,16 \text{ Kg} \cdot 9,8 \text{ m s}^2 = 40,85 \text{ N.}$$

El área transversal del tornillo de potencia trapecial se calcula con la siguiente expresión:

$$A = \frac{F}{\sigma} \quad (83)$$

$F (N.)= 40,85$ Peso total para el cálculo del tornillo del eje Z

$\sigma (N/mm^2)= 666,85$ Esfuerzo admisible del material (Acero SAE 1040)

$$A = \frac{40,58 N.}{666,85 N \text{ mm}^2} = 0,061 \text{ mm}^2$$

4.3.11. h. Diámetro del tornillo de potencia

$$\phi = \frac{4 \cdot A}{\pi}^{\frac{1}{2}} (84)$$

$A (mm^2)=0,061$

Área transversal del tornillo de potencia

$$\phi = \frac{4 \cdot 0,061}{\pi}^{\frac{1}{2}} = 0,27 \text{ mm.}$$

El tornillo será construido de 15 mm de diámetro para el acoplamiento (tornillo-tuerca).

Como vemos el valor adoptado es inmensamente mayor, este está sobredimensionado ya que al comprar la varilla para toda la maquina ha sobrado tramos los cuales se utilizaron para el resto de los ejes.

4.3.11. i. Calculo de torque y potencia para el tornillo del carro “Z”

El valor del peso total para el cálculo del tornillo, en Newton será:

$$F = 40,85 \text{ N.}$$

Las dimensiones típicas de construcción del tornillo de potencia son:

$d_e (mm)=15$ Diámetro exterior del tornillo

$d_m (mm)= 14$ Diámetro medio del tornillo

$p (mm)= 1,5$ Paso

$\mu = 0,15$ Coeficiente de Fricción

El torque necesario para que suba el carro Z se calcula con la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \frac{p + \pi \cdot \mu \cdot d_m}{d_m \cdot \pi + \mu \cdot p} (85)$$

$F (N)= 40,58$ Peso total para el cálculo del tornillo

$d_m (mm)=14$ Diámetro medio del tornillo

$p (mm)=1,5$ Paso del tornillo

$\mu=0,15$

Coeficiente de fricción en el tornillo

$$\tau = \frac{40,58 \text{ N} \cdot 14\text{mm}}{2} \cdot \frac{1,5\text{mm} + \pi \cdot 0,15 \cdot 14\text{mm}}{14\text{mm} \cdot \pi + 0,15 \cdot 1,5\text{mm}} = 52,03 \text{ Nmm.}$$

De los cuales se toma el mayor, es decir $\tau= 52,03 \text{ Nmm.}$, que es el torque que se requiere para mover la carga, además de la fricción entre el tornillo y la tuerca.

4.3.11. j. Potencia necesaria para impulsar el tornillo

$$P = 2\pi f \tau \quad (86)$$

$f \text{ (rad/seg)}=314.15$

Velocidad angular dada por la frecuencia eléctrica

$\tau \text{ (Nm)}=0,05203$

Torque para mover el carro Z

$$P = 2\pi \cdot 314,15 \frac{\text{rad}}{\text{sg}} \cdot 0,05203\text{Nm.} = 102.7 \text{ Watts}$$

4.3.11. k. Diámetro del eje guía del carro X

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot S}{\pi}} \quad (87)$$

$S \text{ (mm}^3\text{)} = 124.52$

Módulo de Resistencia del material

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 (124.52 \text{ mm}^3)}{\pi}} = 10.82 \text{ mm}$$

Considerando que en el mercado no existe tal diámetro, se escoge uno de 12 mm de amplia comercialización en nuestro medio.

4.3.11. l. Calculo del tornillo de potencia para el carro “X”

El peso total para el cálculo del tornillo se calcula con la siguiente expresión:

$$F = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \quad (88)$$

Dónde:

$W_1 \text{ (Kg.)}= 0,55$

Peso de la herramienta

W_2 (Kg.)= 3,457 Peso de la estructura en la que esta acoplada la herramienta

W_3 (Kg.)=0,16 Fuerza de corte

W_4 (Kg.)= 1,5 Peso de la estructura transversal

$$F = 0,55 + 3,457 + 0,16 + 1,5 \text{ Kg} \cdot 9,8 \text{ m s}^2 = 55,55 \text{ N}.$$

El área transversal del tornillo de potencia trapezoidal se calcula con la siguiente expresión:

$$A = \frac{F}{\sigma} \quad (89)$$

F (Kg.)= X Peso total para el cálculo del tornillo del eje Z

σ (Kg. /mm²)= X Esfuerzo admisible del material (Acero SAE 1045)

$$A = \frac{55,55 \text{ N}}{666,85 \text{ N mm}^2} = 0,083 \text{ mm}^2$$

4.3.11. m. El diámetro del tornillo de potencia se calcula con la siguiente expresión

$$\phi = \frac{4 \cdot A}{\pi}^{\frac{1}{2}} \quad (90)$$

A (mm²)= Área transversal del tornillo de potencia

$$\phi = \frac{4 \cdot 0,083 \text{ mm}^2}{\pi}^{\frac{1}{2}} = 0,325 \text{ mm}.$$

El diámetro en milímetros será: 0,325 mm

Hay que tomar en cuenta que con este diámetro es muchísimo menor de lo que puede soportar; sin embargo este diámetro ya fue seleccionado para el eje X, y dado que el carro Y soportará mayor carga es necesario sobredimensionar este diámetro a uno mayor. Entonces comercialmente se selecciona un tornillo de 15 mm de diámetro exterior y paso 2 mm.

4.3.11. n. Inercia por el peso de la plataforma o la carga en sí (I_P).

Para calcular la inercia por el peso de la plataforma se utiliza la siguiente expresión.

$$L' = (W_1 + W_2) + W_3 + W_4 \quad (91)$$

$$L' = 0,55 + 3,457 + 0,16 + 1,5 \text{ Kg} = 5,667 \text{ Kg}.$$

$$I_p = C \frac{p}{2\pi}^2 \quad (92)$$

$$C = 5,667 \text{ Kg} \cdot \frac{9,8 \text{ N}}{1 \text{ Kg}} = 55,55 \text{ N}$$

C (N)= 5,667

Peso de los carros X, Y, Z en conjunto

p (mm/paso) = 2

paso por milímetro

$$I_p = 55,55 \text{ N} \frac{2 \text{ mm/paso}}{2\pi}^2 = 17,6821 \text{ Nmm}^2 \approx 17,7 \text{ Nmm}^2$$

4.3.11. o. Inercia por el tornillo (I_T).

Para el cálculo de la Inercia del tornillo (I_T) se utiliza la siguiente expresión.

$$I_t = \frac{D^4 \pi \rho g L}{36} \quad (93)$$

D (mm) = 15 mm.

Diámetro del tornillo

L (mm) = 610 mm.

Longitud del tornillo

ρ (kg/mm³)=7,9x10⁻⁶

Densidad nominal de un acero

$$I_t = \frac{15 \text{ mm}^4 \cdot 610 \text{ mm} \cdot \pi \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (7,9 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3})}{36} \approx 66,5 \text{ Nmm}^2$$

4.3.11. p. Inercia del motor que acciona el sistema (I_M).

La inercia de rotor del motor (I_M), se asume en base a las características técnicas del motor DC

FL57STH 1,8° Size 57 mm High Torque Hybrid Stepping Motor I_M = 275 kg cm².

La equivalencia de estas unidades para que quede todo referenciado en milímetros será I_M = 275 269,5 N mm².

4.3.11. q. Inercia Total

La inercia total se calcula con la siguiente expresión.

$$I_{eq} = I_p + I_T \quad (94)$$

$$I_{eq} = 17,7 + 66,5 \text{ Nmm}^2 = 84,2 \text{ Nmm}^2$$

I_p (N.mm²) = 17,7

Inercia por el peso de la plataforma o la carga en si

$$I_T (\text{N}\cdot\text{mm}^2) = 66,5 \quad \text{Inercia por el tornillo}$$

Se demuestra que las inercias de todos los componentes son menores que la generada por los motores.

$$I_{eq} = 84,2 \text{Nmm}^2 < I_M = 269,5 \text{Nmm}^2$$

Entonces la inercia total del sistema incluyendo la del motor seria:

$$I_{eq} = I_p + I_T + I_M \quad (95)$$

$$I_{eq} = 17,7 + 66,5 + 269,5 \text{Nmm}^2 = 353,5 \text{Nmm}^2$$

4.4. Eléctricos

Todos los elementos electrónicos utilizados se encuentran regulados bajo todas las normas pertinentes a los mismos ya que estos fueron conseguidos en el mercado local.

4.4.1. Selección del motor apropiado

4.4.1. a. Número de pasos de un motor paso a paso (sin carga)

La mayoría de motores paso a paso son motores eléctricos de tipo híbrido. Estos son los más fuertes, con una buena relación precio / rendimiento. El número de pasos que el motor paso a paso puede realizar con una full-stepdriver suele ser 200. En cada FULLSTEP el eje del motor paso a paso gira 1,8 grados y se queda allí. Con un micro-stepdriver estos pasos se dividen en pasos micro llamada. Si por ejemplo se utiliza un controlador con 40 micro-pasos, el eje del motor paso a paso tiene $200 * 40 = 8000$ posiciones posibles. Paso por eje de rotación de $1,8 / 40 = 0.045$ grados. Un motor paso a paso tiene un sistema de control en lazo abierto, en contraste con, por ejemplo un servo motor.

4.4.1. b. Par del motor paso a paso

El par se da generalmente en Newton metros (Nm). Por desgracia, el par se indica a menudo en otras unidades, haciendo que el motor paso a paso parezca más fuerte. Por ejemplo, un motor paso a paso con un torque de 1 Nm de par motor o un torque de 10 Kgf o de 100 Ncm. El motor paso a paso parece ser más potente, pero en realidad no hay ninguna diferencia.

El par de motor paso a paso es casi siempre el par de detención. El par de detención hace que un motor paso a paso se mantenga firmemente en su posición cuando está parado. Esta parada viene, sin embargo, acompañada de un pequeño giro del eje de rotación. Esto no suele ser importante, pero está ahí. En un motor híbrido que camina con 200 pasos por vuelta, esta rotación puede ser de hasta 0,9 grados. Si aumenta más la fuerza el motor paso a paso pierde un paso, y se fija la posición siguiente.

4.4.1. c. La inercia

Si hay lugar, entonces un motor paso a paso largo y delgado es preferible a un corto y grueso. La inercia del rotor de un eje largo y delgado tiene un valor inferior y es mejor en aceleración y desaceleración.

4.4.1. d. Corriente y Voltaje

Si los controladores del motor paso a paso lo pueden manejar, entonces un motor paso a paso con una mayor corriente es preferible a un motor paso a paso con una corriente menor. El motor paso a paso con una corriente mayor tiene más par a velocidades más altas. Si el motor y el controlador lo permiten, sería mejor elegir el voltaje y la corriente lo más altos posible. Estos mejoran el par motor a velocidades más altas. Si un motor paso a paso a altas revoluciones pierde pasos, no tiene mucho sentido subir la corriente a través de las bobinas del motor paso a paso. Esto esencialmente aumenta el par motor a bajas velocidades y muy poco a altas velocidades. Es mejor aumentar el voltaje.

4.4.1. e. Micro-pasos

Un motor paso a paso con un controlador micro-pasos es mejor que un controlador con el paso completo o medio. El motor paso a paso controlado con micro-pasos da pasos más pequeños y, por lo tanto, menos vibraciones. Así el sistema funciona más suavemente. Incluso si la resolución de un micro-paso no es necesaria, es mejor usarlo de todas formas.

Conexión en serie o en paralela

Con un motor paso a paso con 8 hilos es posible poner las dos bobinas en serie o paralelas. Además, estos motores pueden ser controlados por un controlador unipolar (barato). Aquí hay

una cierta pérdida de torque. La conexión en paralelo de las bobinas da dos veces mayor flujo de corriente. Pero la ventaja es el par superior a altas velocidades en comparación a la conexión en serie de las bobinas. Con el control de un motor paso a paso unipolar se pierde parte de la par porque el motor paso a paso no se utiliza en su 100%.

4.4.1. f. Velocidad de los motores paso a paso

La velocidad (máxima) de un motor paso a paso está determinada por una serie de factores. La primera es la velocidad de lanzamiento del motor paso a paso. Esta es la velocidad máxima a la que el motor paso a paso puede llegar de repente, desde el punto de reposo. Esto se debe en gran parte a la inercia del rotor y por supuesto la inercia del sistema motor.

Esta velocidad máxima depende de la tensión del controlador al motor. Si la tensión es mayor, el motor paso a paso tiene más par en la misma (alta) velocidad y puede acelerar aún más que un motor paso a paso con un controlador con una baja tensión. Evidentemente, un controlador unipolar tiene un par inferior que un controlador bipolar, por lo que la velocidad máxima es siempre inferior. La excepción es un motor bipolar con un bajo voltaje a través de un controlador unipolar con un alto voltaje. Este último puede, en determinadas circunstancias, tener una velocidad más alta.

4.4.1. g. Frecuencia de arranque-parada (Pull-in)

La frecuencia de arranque y parada es la velocidad (frecuencia de pulsos) máxima que puedes enviar desde la posición de reposo a un motor paso a paso, sin perder sus pasos. Una forma sencilla de determinar (aproximadamente) es enviar una frecuencia demasiado alta a la combinación de motor pap y el controlador del motor. El motor paso a paso no puede seguir y está inactivo (parado). Entonces, se va reduciendo gradualmente la frecuencia hasta que, en algún momento el motor paso a paso gira suavemente. Esta es la pull-in frecuencia. Puedes obtener diferentes frecuencias, según la carga aplicada al sistema (load)

4.4.1. h. Frecuencia máxima (Pull-out)

La frecuencia de arranque y parada no es la velocidad máxima que el motor paso a paso puede alcanzar. En el momento que el motor está girando tiene par para acelerar más. Esto sólo se puede conseguir poco a poco para que el motor paso a paso pueda seguir el aumento de velocidad

(ramping) sin perder pasos. Esto también se aplica a la disminución de la velocidad. Esto es la pull-out frecuencia. Puedes obtener diferentes frecuencias dependiendo de la carga aplicada al sistema (load).

4.4.1. i. Velocidad máxima

Obviamente, el motor paso a paso no puede seguir acelerándose. En un momento dado, el motor paso a paso genera tanta tensión propia (que funciona como un dinamo) que el controlador no tiene más capacidad para dar al motor con el fin de que pueda acelerar más. Esa es la velocidad máxima. Esto depende de la tensión máxima que el controlador puede proporcionar. También la forma en que se acelera el motor es importante. Si se trata de ir poco a poco, la velocidad máxima es mayor que si la aceleración es brusca.

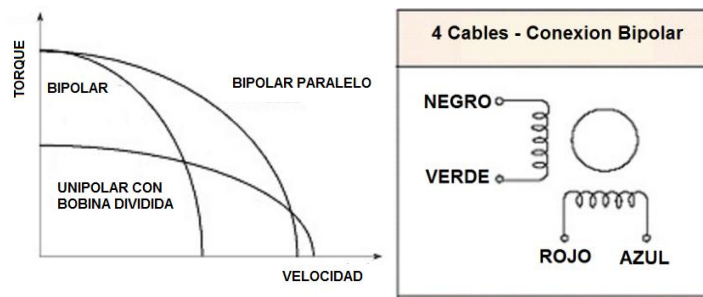


Figura 71. Izq. Diagrama Torque-Velocidad en un PAP, Der. Diagrama de conexión Bipolar
Teniendo en cuenta la Figura 71. Seleccionamos el motor del tipo Bipolar
Se adquirieron los motores *1.8° Size 57mm High Torque Hybrid Stepping Motor (FL57STH51-1006A)* (ver Datasheet en Anexo)

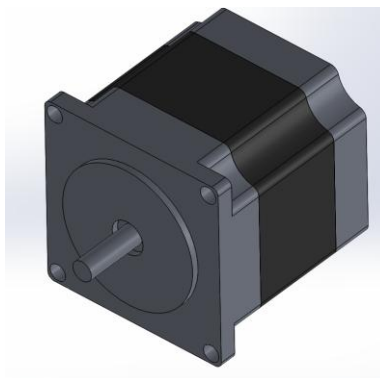


Figura 72. Imagen ilustrativa del motor PAP Bipolar

4.4.2. Fuente de Poder

Se ha seleccionado una fuente SHRE Modelo SH-500 de 500W de potencia para la alimentación de los motores. Este tipo de fuente soporta holgadamente el consumo de corriente e cada motor el cual es de 1 A. En la placa que se ve en la Figura 73. Muestra que para una tensión de 12V la fuente suministra hasta 15 A de corriente. Se utiliza el valor de 12 V ya que el motor PAP admite un rango de 6,6 V – 35 V.



Figura 74. Fuente SHRE Modelo SH-500 de 500W

4.4.3. Conexión de Encendido de Fuente

Para encender una fuente ATX se debe cerrar el circuito entre el PIN PWR-ON (Color verde en Figura 75), luego como mencionamos anteriormente utilizaremos la línea de 12V (Cable amarillo Figura 75).

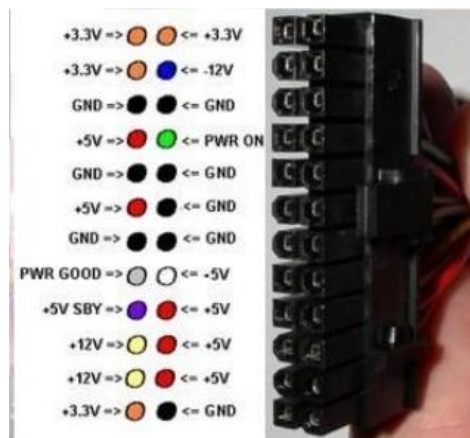


Figura 75. Conector de 24 PINES

4.5. Fuerza Motriz

4.5.1. Cabezal porta Herramientas

El husillo a utilizar como fuerza motora en el desbaste de material será un *DREMEL3000*. La empresa Dremel Manufacturing Company fue fundada en el año 1932 en Estados Unidos por Albert J. Dremel, cuya visión e innovación llevaron al desarrollo de una herramienta rotativa compacta de alta velocidad, la Moto-Tool, la primera Multi. Esta herramienta fue la base de un concepto totalmente nuevo en herramientas eléctricas: un único aparato con la potencia, versatilidad y amplia gama de accesorios para realizar múltiples tareas. Actualmente la herramienta Dremel acepta más de 150 accesorios diferentes, y es la herramienta eléctrica de mayor crecimiento en el Mundo. Las características que diferencian los minitaladros Dremel de la competencia son su inmejorable calidad, su gran fiabilidad, su potencia (125 w), la velocidad de su motor (desde 5.000 a 33.000 r.p.m.), su gran comodidad al enchufarse directamente a la red (230 v), su gran precisión gracias a su doble eje con cojinetes de bolas, su aislamiento de interferencias y la amplia variedad de complementos y accesorios existente. Por estas razones hemos elegido el mini torno de la marca DREMEL como cabezal transmisor de potencia a la herramienta.



Figura 76. Mini torno Dremel 3000

4.6. Electrónicos

En esta sección se necesitan varios componentes que se encuentran de manera fácil en cualquier casa de electrónica, los cuales serán:

- Placa controladora lógica ARDUINO UNO
- Una PC la cual esté conectada con la placa micro-controladora

- Una placa OpenSource CNC Shield
- 3 drivers para el control cada uno de los motores PAP
- Una fuente de alimentación ATX de 500W
- 1 placas PCB pequeñas para soldar tiras de pines para facilitar las conexiones
- También fichas de electricidad, cable para conectar la electrónica a los motores, y borneras soldar en las placas PCB.
- 1 Cooler (opcional)
- Soldador
- Estaño
- Cableado de conexión de sección y especificaciones acordes al uso

Se pueden agregar muchos componentes más en estas etapas y las siguientes, pero con estos básicos se puede lograr la conexión electrónica generar el funcionamiento.

4.6.1. Controladores Lógicos-Programables

4.6.1.a. ARDUINO UNO

Arduino Uno es un microcontrolador basado en *ATMmega328P*. Tiene 14 pines digitales de entrada/salida de los cuales 6 de ellos se pueden utilizar en salidas PWM (Modulación de anchos de pulso), 6 entradas análogas y un cristal de cuarzo de 16 MHz, un conector USB, entrada de transformador. Contiene todo lo necesario para hacer funcionar el microcontrolador.

Se puede probar sin la preocupación de que algo salga mal, si se quema el PIC este puede ser reemplazado tranquilamente ya que utiliza un zócalo, y volver a probar.

Aspectos Técnicos

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Tabla 26. Aspectos técnicos de la placa Arduino UNO (tabla obtenida de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno#>)

Se puede programar Arduino conectando vía USB y no se necesita un zócalo de programación externo.

4.6.1. b. CNC SHIELD

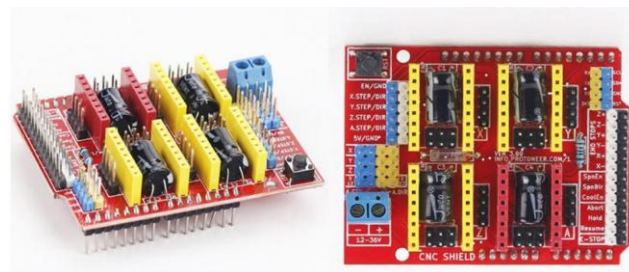


Figura 77. Placa CNC Shield

El CNC Shield exclusivo para Arduino, hace que sus proyectos CNC sean fáciles de montar haciéndolos que funcionen en unas pocas horas. Utiliza el firmware de código abierto en Arduino para controlar 4 motores paso a paso (PAP o Stepper), donde cuenta con 4 zócalos, para insertar 4 controladores A4988. Con este Shield y un Arduino usted puede construir todo tipo de proyectos de robótica o proyectos CNC incluyendo enrutadores CNC, cortadoras laser e incluso maquinas pick & place's (P&Ps), para el montaje de componentes SMD en circuitos electrónicos.

Características:

- GRBL 0.8c compatible. (Firmware de código abierto que se ejecuta en un Arduino, que convierte los comandos de código G en señales de eléctricas para mover en pasos los motores)
- 4 ejes de soporte X, Y, Z, A (el eje A, puede duplicar los ejes X, Y, Z o por defecto, hacer un cuarto eje completo con firmware personalizado utilizando los pines D12 y D13)
- 2 finales de carrera para cada eje (6 en total)
- Opciones de "Habilitar Husillo", "Dirección de Husillo" y "Habilitar/Deshabilitar Refrigerante"
- 4 Zócalos compatibles para el uso de controladores de motores paso a paso (PAP) A4988, DRV8825 u otros compatibles
- Puentes para ajustar el micro-escalonamiento de los pasos, permitiendo controlar de forma más precisa sus motores (Algunos controladores como el DRV8825 pueden hacer hasta 1/32 pasos)
- Diseño compacto
- Molex de 4 pines, para conectar tus motores PAP
- Regleta para el voltaje de entrada que puede variar entre 12-36 VDC (Por el momento solo los controladores DRV8825, soportan hasta 36V, así que por favor tener en cuenta el voltaje de trabajo de tus controladores antes de alimentar su CNC Shield)

4.6.1. c. Partes del Shield

El Shield tiene 9 partes principales, que se describen a continuación:

1. Pines STEP & Direction, de cada motor para conexión externa
2. Pines X, Y, Z para clonarse con la opción duplicado del controlador A
3. Entrada de voltaje DC, cuyo valor debe ser de 12 a 36V
4. Zócalos dobles disponibles para insertar el controlador de motor PAP (A4988 u otro compatible)
5. Salidas para el colocar el motor PAP
6. Pines para ajustar los micropasos del motor PAP (de acuerdo al controlador). Junto a los puntos 4 y 5, los 4 motores independientes.

7. Pines que se comunican con el Arduino 8. Pines libres que corresponden a A4, A5, D0 y D1 mas fuentes 5 y 3,3V 9. Pines de salida y entrada para el control de: finales de carrera, control de husillo, control de refrigerante y control de “parada de emergencia”

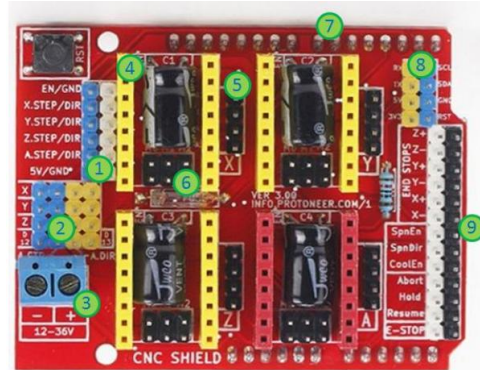


Figura 78. Placa CNC Shield numerada para su descripción

Una vez que se tiene el controlador programado, es momento de ubicar todos los drivers y demás partes eléctricas.

- **GRBL Shield** Con GRBL cargado, ya se está en condición de implementar a nivel de hardware el conexionado de los drivers con el controlador. Tras probar las diferentes posibilidades, la solución óptima ha resultado en adquirir un shield específicamente diseñado para GRBL con el fin de lograr un dispositivo compacto y facilitar el conexionado. Se trata de un diseño hardware libre elaborado por Bertus Kruger de Protoneer. Existen diferentes versiones, la usada en este proyecto es la 3.00, que tiene este aspecto Shield GRBL solamente es compatible con controles numéricos de 3 ejes, por lo que el cuarto driver se puede emplear para duplicar la fuerza motriz en un eje. En este proyecto no se ha considerado necesario, por lo que solo se hace uso de 3 drivers. En el siguiente esquemático se pueden observar todos los pines.
- **Esquemático shield GRBL.** Teóricamente la placa está diseñada para trabajar con hasta 36V, pero hay que llevar cuidado ya que si los drivers no están preparados para soportar esta alimentación serán destruidos cuando se alimente. En este trabajo se han empleado los POLOLU A4988, fijando la alimentación en 12V. La forma de configurar algunos parámetros de la placa es mediante el uso de jumpers y no mediante programación. En concreto, los jumpers son empleados para configurar el uso del cuarto eje (duplicación de

un eje ya existente para aumentar la potencia motriz), micropasos de los drivers y los finales de carrera.

- **Configuración de los micropasos.** Cada eje puede ser configurado mediante diferentes micropasos. Es recomendable que todos los ejes tengan la misma configuración.

4.6.1. d. Pololu: Módulo Controlador A4988 para el Motor paso a paso

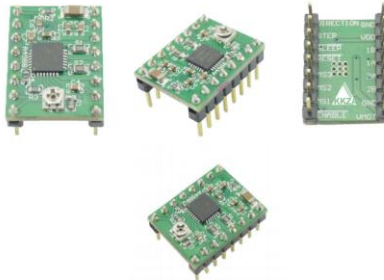


Figura 79. Modulo Controlador A4988

Está diseñado para operar motores paso a paso bipolares, puede ser completa, media, 1/4, 1/8 y 1/16, Modos de paso para operar la capacidad de transmisión de salida del motor paso a paso bipolar de hasta 35 V y 2 A. El controlador requiere una tensión de alimentación lógica de 3V a 5,5 V que se conecta a través de los pines VDD y GND y una tensión de alimentación del motor de 8V a 35 V para ser conectada a través de VMOT y GND. Estos suministros deben tener condensadores de desacoplamiento adecuados cerca a la placa, y que deben ser capaces de entregar las corrientes esperadas (picos de hasta 4 A para el suministro del motor).

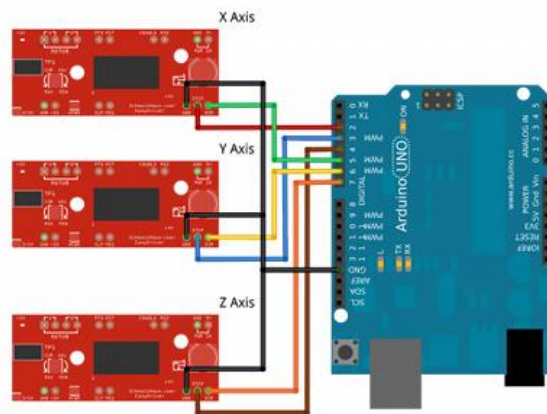


Figura 80. Montaje de los Pololus en el CNC Shield y estos al Arduini UNO

Características

- Bajo RDS salidas (ON).
- Modo de desintegración de detección / selección automática de corriente.
- Mezclado con modos de desintegración corriente lenta.
- Rectificación síncrona para la baja disipación de potencia.
- UVLO Interna.
- Protección Crossover corriente.
- Voltaje de alimentación lógica: 3V a 5,5 V.
- Protección contra corto circuitos.
- Cinco modos de paso opcional: Completa, 1/2, 1/4, 1/8 y 1/16.

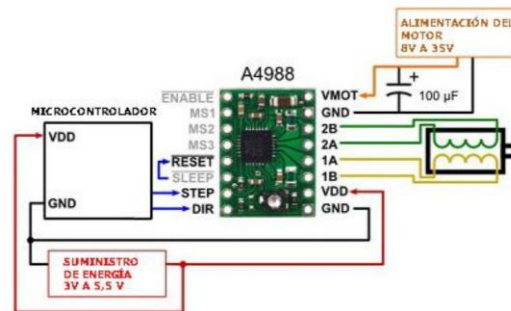


Figura 81. Diagrama de conexionado del Pololu con la CNC Shield y los motores PAP

4.6.1. e. Configuración de alimentación de los drivers a los motores (Tuning motor current)

Lo que se hace en esta etapa es fijar un punto de corriente máxima para los motores. Directamente afecta a la corriente que circula por las fases del motor pap. E indirectamente proporciona un control sobre la temperatura del pololu y de los motores (como consecuencia de la corriente). Bajar la corriente de los motores también afecta directamente al torque de los motores. La placa pololu tiene todo lo necesario para controlar esta corriente. Básicamente un pote que controla la V_{ref} . Esta tensión de referencia es tomada de la tensión TTL con la que se alimenta el pololu. Con lo cual es importante que no haya variaciones de los 5V con lo que se alimente al pololu para evitar torques diferidos en una CNC, depende del tipo de corte. (Ver datasheet adjunto Anexo II)

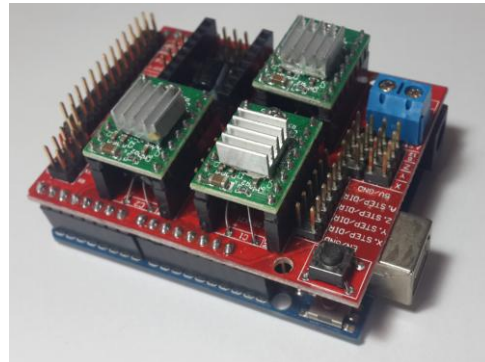


Figura 82. Placa Arduino Uno, 3 Drivers Pololu y una placa CNC Shield

4.7. Programación y Software

4.7.1. Programación de Arduino

El sketch introducido en la placa Arduino es la versión 0.8c de GRBL, ya que su funcionamiento está totalmente garantizado.

Se puede acceder a la configuración de GRBL en el fichero Config.h desde el IDE de Arduino.

La empleada en este proyecto ha sido:

```
#define STEPPERS_DISABLE_DDR DDRB
#define STEPPERS_DISABLE_PORT PORTB
#define STEPPERS_DISABLE_BIT 0
#define STEPPERS_ENABLE_DDR DDRB
#define STEPPERS_ENABLE_PORT PORTB
#define STEPPERS_ENABLE_BIT 0
#define STEPPERS_ENABLE_VAL 0 //0=low 1=high
#define STEPPING_DDR DDRD
#define STEPPING_PORT PORTD
#define X_STEP_BIT 2
#define Y_STEP_BIT 4
#define Z_STEP_BIT 6
#define X_DIRECTION_BIT 3
#define Y_DIRECTION_BIT 5
#define Z_DIRECTION_BIT 7
#define LIMIT_DDR DDRB
#define LIMIT_PIN PINB
#define X_LIMIT_BIT 1
#define Y_LIMIT_BIT 4
#define Z_LIMIT_BIT 5
#define SPINDLE_ENABLE_DDR DDRB
#define SPINDLE_ENABLE_PORT PORTB
#define SPINDLE_ENABLE_BIT 2
#define SPINDLE_DIRECTION_DDR DDRB
#define SPINDLE_DIRECTION_PORT PORTB
#define SPINDLE_DIRECTION_BIT 3
```

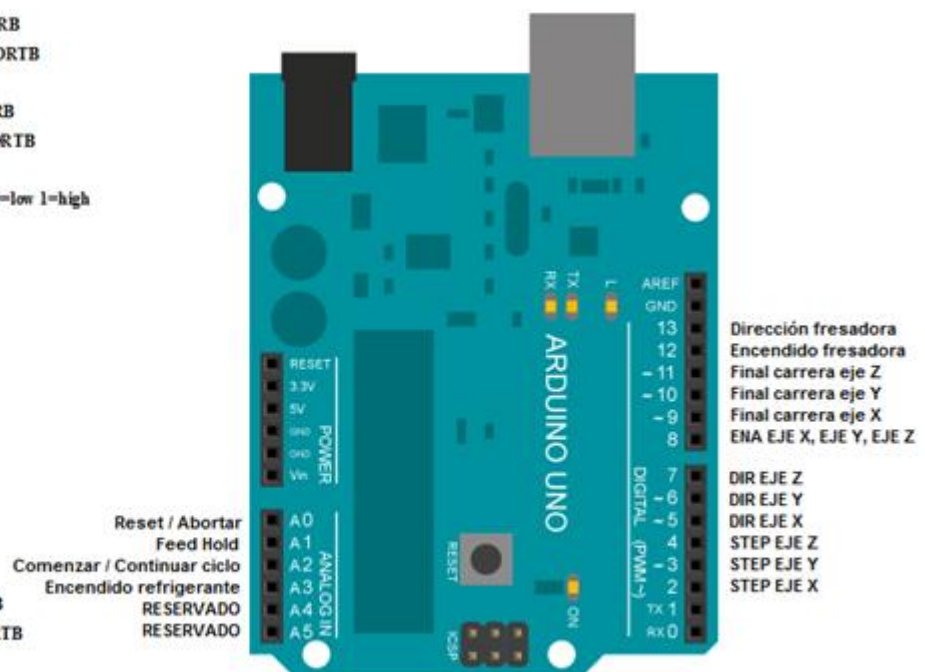


Figura 83. Conexión GRBL

Esta configuración no es trivial y más adelante se detallará el principal motivo por el que se ha elegido: adaptar la tarjeta de Arduino al shield específico de GRBL.

A continuación se muestra una leyenda gráfica de los pines anteriormente configurados: Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas. Como se puede apreciar, los drivers que soporta son los que disponen de señales STEP, DIR y ENABLE. Es importante destacar que los pines de ENABLE de todos los drivers son comunes y se conectan al pin 8 de Arduino.

Este conexionado abarca todos los pines de que dispone el Arduino UNO. Obviamente los pines 1 y 2 correspondientes a transmisión Tx y Rx no se pueden emplear ya que Arduino está en todo momento comunicándose por el puerto serial. Los pines A4 y A5 están reservados y probablemente se les añada en un futuro nuevas funcionalidades.

4.7.2. Software

4.7.2. a. SOLIDWORKS

Es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes, S.A. (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Su primera versión fue lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible.

Antes de Dassault Systèmes SolidWorks Corp., la industria carecía de un software que combinase el modelado de sólidos en 3D con la sencillez de uso de un programa de PC. La WebSite oficial de SolidWorks posee un blog en el cual van mostrando las novedades y distintas aplicaciones del SW, esta es: <http://www.SolidWorks.es/>

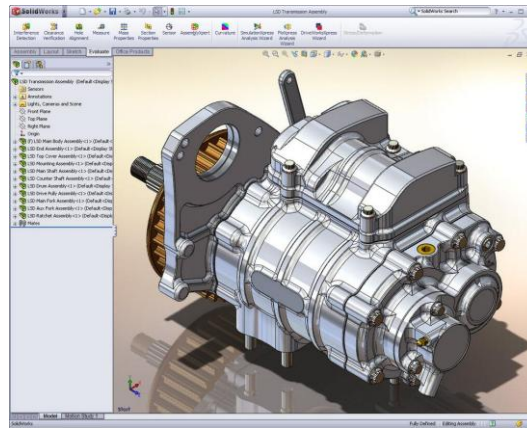


Figura 84. Bomba dibujada con el SolidWorks 2015

4.7.2. b. MASTERCAM MILL X7

Mastercam es un sistema integrado de Software CAD/CAM que opera en Microsoft Windows 98, 2000 y NT. Ayuda a solucionar el diseño geométrico y la parte de fabricación de los productos. Sus distintos módulos le ofrecen soluciones en Fresados de 2D, 2 ½D y 3D mecanizando superficies y multuperficies. En electroerosión por Hilo, controlando 2 y 4 ejes, en Torneado, en Láser, en punzonado y en máquinas de corte por Plasma. Mastercam tiene todas las prestaciones de Acotación que precisa el diseñador mecánico, salida para diversos periféricos, como Plotters, impresoras etc. Interfaces de comunicación con prácticamente todos los sistemas CAD existentes en el mercado actualmente.

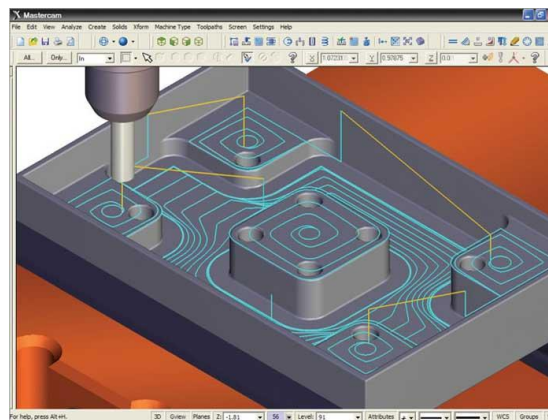


Figura 85. Simulación de un fresado en el MasterCam

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

En la página <https://dgwin.files.wordpress.com/2013/03/solidwork.pdf> se encuentra una breve descripción de cómo utilizar este programa.

La WebSite oficial de Mastercam posee un blog en el cual van mostrando las novedades y distintas aplicaciones del MC, esta es: <http://www.mastercam.com/en-us/Communities/Blog>

4.7.2. c. GRBL CONTROLLER

Se trata del programa encargado de mostrar información sobre el estado de la máquina en una pantalla, así como permitir una comunicación bidireccional entre ambos. Existen multitud de soluciones. La más famosa es sin duda Mach3 (Mach4 actualmente en desarrollo) totalmente compatible con cualquier versión desde Windows 2000. Para usuarios de Linux la más recomendable es EMC2, proyecto totalmente "Open Source", aunque existen otras muchas como KCAM, solución perfecta para usuarios de Windows 98.

La solución optada en este proyecto es GRBL, otro trabajo totalmente Open Source optimizado para trabajar sobre Arduino, soportado por una comunidad muy preparada que lo mejora día a día. Los autores de este software lo definen como: "Grbl es un software abierto en el cual se puede desarrollar un G-Code que interprete la placa Arduino". Para comunicar el controlador con el ordenador se ha optado por GRBL Controller 3.6.1, un software libre y gratuito.

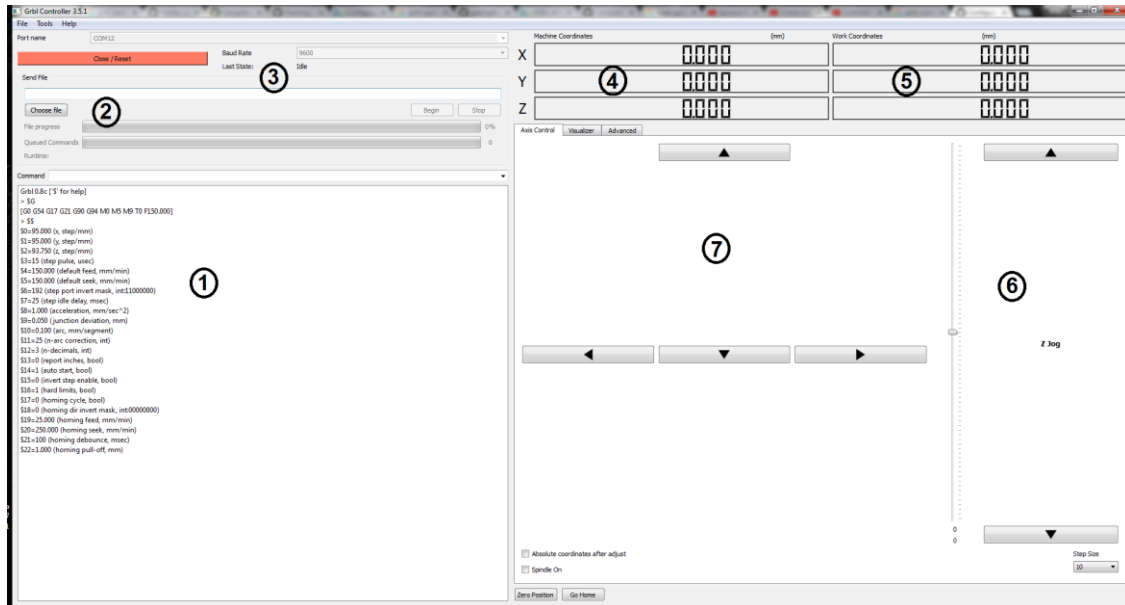


Figura 86. Menú Principal de comandos básicos

La distribución de la pantalla principal muestra:

- 1- Terminal de comandos y Visualizador de terminal de comandos
- 2- Apertura de archivos de extensión de punto .NC
- 3- Panel para habilitación de conexión PC-Arduino mediante puerto COM
- 4- Coordenadas de posicionamiento de la fresa
- 5- Coordenadas de posicionamiento del área de trabajo
- 6- Panel de movimiento manual del eje Z
- 7- Panel de movimiento manual de los ejes X e Y

4.7.2. c. I) Interfase máquina - ordenador

El programa empleado es GRBL Controller, totalmente compatible con GRBL. Se trata de 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 G previamente creado con post-procesadores TinyG por ejemplo.

Este software está escrito usando las librerías multiplataforma de Qt, así como la librería QextSerialPort para simplificar el proceso para elegir el puerto serie USB correcto.

Este desarrollo multiplataforma le permite trabajar sobre Windows, Mac y Linux. Este programa ha recibido multitud de actualizaciones en el último año, y continúa recibiendo. La última, fue

lanzada tan solo un mes antes de comenzar a redactar el proyecto. A continuación se muestra una tabla con la compatibilidad de cada versión con las diferentes plataformas:

Versión Compatibilidad *Windows Mac Linux*
 3.0 SI SI SI 3.2 SI SI X 3.3 SI SI X 3.3.1 SI X X
 3.3.2 SI SI X 3.3.3 SI X X 3.3.4 SI X X 3.3.5 SI X X 3.3.9 SI X X 3.4 SI X X 3.4.2 SI X X 3.4.4 SI SI
 X 3.4.5 SI X X 3.4.6 SI SI X 3.5 SI SI X 3.5.1 SI X X 3.6.1 SI X X.

Una vez que se ejecuta el programa, aparece una ventana sobre la que apenas se puede interactuar. Si el controlador está correctamente conectado, con el puerto serial correctamente asignado y con el sketch de GRBL introducido, al pinchar sobre “Open”, el programa accede a la programación del controlador, la carga, y la muestra en la ventana. En esta ventana se pueden apreciar cinco partes totalmente diferenciadas:

- La barra de herramientas: más adelante se explicarán todas las opciones de quev dispone GRBL.
- Inicialización de GRBL: tras seleccionar la velocidad de comunicación env baudios, el puerto serial y conectar Arduino, al pulsar abrir el programa inicializa.
- Ventana de comandos y explorador de ficheros G: desde esta ventana sev pueden enviar comandos a GRBL, así como cargar un programa de control numérico.

También se muestran los comandos que se han ejecutado y en el caso de haberlas, las salidas que proporcionan esos comandos.

- Coordenadas de la máquina y de trabajo.
- Control manual. Visualizador.
- Acceso a configuración.

Desde la pestaña “herramientas” de la barra de herramientas, se tiene acceso a cuatro opciones de configuración. La primera ventana es la de opciones generales y tiene este aspecto:

- Si la primera opción no está seleccionada, las coordenadas que se van a mostrar en la ventana principal, estarán en pulgadas.
- Si está seleccionada, se mostrarán en milímetros.
- Si la carga agresiva de GRBL no está activada, GRBL va a esperar una respuesta del fichero después de ejecutar cada comando.

- Si está activada, el fichero va a enviar comandos hasta llenar el buffer de GRBL, y se va a encargar de que el buffer esté en todo momento lleno. Esto permite una mayor velocidad en la ejecución de las instrucciones, pero tiene un problema.
- Si se pulsa el botón de parada (dentro de GRBL Controller, no la seta de emergencia), la parada no es inmediata.

Primero se deben de ejecutar todas las instrucciones que hay en el buffer hasta llegar a la orden de paro. La mejor solución para pararlo es simplemente pulsando la seta de emergencia en caso de que surjan problemas, y dejar de este modo la carga agresiva activada.

La siguiente opción, escribe un fichero de depuración llamado ***GrblController.log*** en la carpeta por defecto del computador con todos los mensajes de diagnóstico y estado. Este archivo se borra siempre GRBL Controller se reinicia, permite depurar problemas si ocurre algo extraño e incluso se puede enviar a la web del autor para que analice lo que ha ocurrido y solucionar fallos en un futuro.

La siguiente opción “*segundos de espera hasta respuesta*” se encarga de abortar un trabajo con un fichero si GRBL no responde tras el tiempo configurado. Es conveniente que este tiempo sea relativamente grande en el caso de realizar trayectorias largas. Por último, “Z-Jog Rate” es la velocidad a la que se va a mover el eje Z cuando se acciona mediante el slider de la ventana principal llamado Z Jog.

La segunda pestaña, llamada filtro, es la siguiente:

- Un valor muy importante es la longitud del buffer que va a almacenar cada línea de código G.
- Si la línea de código G contiene demasiados números decimales y el buffer se llena, entonces la máquina se va a comportar de una forma indeseable. Por ejemplo, es probable que esta línea genere problemas: G01 x2.35484876666594 y1.0021848787554 z5.54545775454521 Es habitual que programas de CAM generen este tipo de ficheros de control numérico por defecto.
- Otorgan una sensación falsa de precisión pues jamás la máquina va a ser capaz de efectuar movimientos discretos de millonésimas de milímetro. Lo único que va a hacer es llenar el buffer de GRBL y provocar problemas. Lo adecuado es aumentar el buffer de GRBL en

su máximo valor (70), y restringir el programa de CAM a no generar más de cuatro cifras después del decimal.

La tercera pestaña, tiene que ver con los ejes:

- En este proyecto no se ha empleado el cuarto eje, por lo que realmente no se dispone de demasiada información acerca de la configuración de este eje. No obstante, como ya se ha dicho, GRBL no dispone de soporte para interpolar en más de tres ejes.
- La opción de invertir ejes, además de invertir el funcionamiento del pin DIR de los drivers, invierte el sentido cuando se lee un fichero G. Si por ejemplo al presionar el botón Y+ en modo manual la máquina avanza hacia Y-, se recomienda no invertir desde esta ventana la dirección del eje Y, y hacerlo desde una máscara diseñada específicamente para esto.

La última pestaña es la de visualización:

- Simplemente permite que GRBL envíe información a cerca de donde se encuentra la máquina (donde cree él que está) y se muestre en los displays de la ventana principal.
- Cuanto menor sea el tiempo de refresco, más carga va a tener GRBL y más lento va a ir la ejecución del programa.
- Con el fin de optimizar este proceso, en la última versión de GRBL Controller se ha habilitado una tercera opción que hace que no se actualice la posición al realizar un movimiento manual (se muestra activa en la captura de pantalla anterior). Esto reduce enormemente la carga de GRBL.
- Existen algunos botones en el programa que al pulsarlos realizan acciones que también se pueden realizar mediante comandos. Esto simplifica y permite un flujo de trabajo más cómodo con la máquina.

Configuración de GRBL Controller La configuración de GRBL adaptada a esta máquina es la siguiente:

\$ 0	(x,step/mm)	Velocidad motor eje X en pasos por minutos
\$ 1	(y,step/mm)	Velocidad motor eje Y en pasos por minutos
\$ 2	(z,step/mm)	Velocidad motor eje Z en pasos por minutos
\$ 3	(step pulse, usec)	Longitud de pulso minima aceptada por el driver del motor PAP
\$ 4	(default feed, mm/min)	Velocidad maxima de avance
\$ 5	(default seek, mm/min)	Velocidad maxima de traslado entre posiciones de fresado
\$ 6	(step port invert mask, int:11000000)	Inversor de puerto de señal de sentido de giro de motor
\$ 7	(step idle delay, msec)	Tiempo de corte previo de pulso para compensacion de inercia
\$ 8	(acceleration, mm/sec^2)	Aceleracion del motor
\$ 9	(junction deviation, mm)	Aumento de aceleracion por cambio direccion entre ejes X-Y
\$ 10	(arc, mm/segment)	Particion de un arco en segmentos rectos
\$ 11	(n-arc correction, int)	Cantidad de segmentos rectos para generar un arco
\$ 12	(n-decimals, int)	Selección de cantidad de digitos decimales significativos
\$ 13	(report inches, bool)	Tiempo de actualizacion de coordenadas de posicion
\$ 14	(auto start, bool)	Rango de tiempo entre cancelacion y reinicio del trabajo
\$ 15	(invert step enable, bool)	Inversor de señal de sentido de giro de motor
\$ 16	(hard limits, bool)	Activacion de finales de carrera para longitud maxima recorrido
\$ 17	(homing cycle, bool)	Activacion de la posicion de origen
\$ 18	(homing dir invert mask, int:00000000)	Inversion de la posicion de origen
\$ 19	(homing feed, mm/min)	Velocidad maxima de avance a la posicion de origen
\$ 20	(homing seek, mm/min)	Velocidad maxima de traslado entre posicion de origen y fresado
\$ 21	(homing debounce, msec)	Amortiguacion la activacion del final de carrera
\$ 22	(homing pull-off, mm)	Velocidad de contacto con final de carrera

Tabla 31. Lista de comandos y lo que representan

Se recomienda leer el anejo “Comandos de GRB” para comprender con mayor profundidad el significado y la aplicación de todos y cada uno de los comandos de que dispone GRBL

4.7.2. c. II) Comandos de Configuración

Comandos por Defecto

Introduciendo el comando “\$\$” devuelve en el visualizador de la terminal los valores de configuración de GRBL. Si se desea modificar alguno parámetros de funcionamiento de la CNC, se debe introducir el comando “\$X=”, donde X es el numero representado por el comando deseado (\$0, \$12, etc.) y luego del igual se ingresa el valor de configuración a modificar.

\$0, \$1, \$2 Velocidad Ejes: Aquí se calcula la cantidad de pasos que se necesitan para recorrer 1mm en relación el grado de giro del motor y el de tornillo de potencia.

Sacando los valores del datasheet del motor nos indica que el mismo gira 1,8° por cada paso. Nuestro tornillo de potencia tiene un paso de rosca de 2mm, entonces, media vuelta de tornillo (180°) recorrería 1mm. Por lo tanto 180°/1,8° nos daría 100 pasos por milímetro.

\$3 Longitud de pulso mínima: Por datasheet los drivers Pololus aceptan una longitud de 15 paso-pulso por microsegundo.

\$4 Velocidad máxima de avance: realizando una compensación entre el torque y la velocidad máxima dada por el fabricante, promediamos en 150 mm/min.

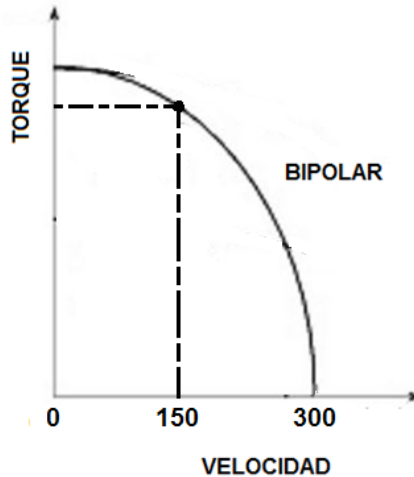


Figura 87. Grafica de Torque-Velocidad promedio

\$5 Velocidad máxima de traslado: cuando la herramienta no se encuentra devastando el torque es prácticamente despreciable por lo tanto se puede usar la velocidad máxima dada por el fabricante ya que no se va a perder pasos. En nuestro caso usamos 150 mm/min para evitar perdida en el movimiento.

\$6 Inversor de puerto de señal: Dependiendo del fabricante del driver controlador de motor, se utilizan distintos puertos de señal de entrada. Por datos de fabricante del driver Pololu se utilizó el valor 192.

\$7 Tiempo de compensación de inercia: Cuando la herramienta de desbaste se encuentra próxima a su final de recorrido en una dirección, dada por el código .NC, el pulso se corta un tiempo antes para compensar la inercia con la que se desplaza. Mediante pruebas realizadas esta medida se consideró en 25 msg.

\$8 Aceleración de motor: Para superar el estado estático en que se encuentra el motor se necesita una aceleración en la alimentación de las bobinas para conseguir un paso constante; por pruebas llegamos a la conclusión de que nuestras aceleraciones es de 1 mm/s^2

\$9 Aumento de la aceleración por cambio de dirección entre ejes: Cuando la herramienta por instrucción del código NC se encuentra en la dirección (por ejemplo) X y debe cambiar a la dirección Y, sufre una desaceleración y una aceleración en esta nueva dirección. La unidad de medida es en mm ya que por cada segundo (antes del cambio de dirección) se va reduciendo la distancia por recorrer hasta el punto de referencia; en este caso de dejo por defecto en 0,05 mm.

\$10 Partición de un arco en segmentos: cuando se debe realizar un movimiento combinado entre ejes para generar un arco, se asemeja a una figura del tipo poligonal:

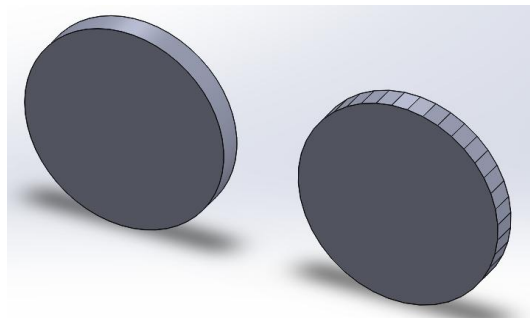


Figura 88. Ilustración de paso arco a polígono.

Este valor, se consideró por defecto, en 0.1 mm/segmento. Donde cada lado de la nueva figura es de 0.1 mm.

\$11 Cantidad de segmentos rectos para generar un arco: Es la cantidad de lados que va a tener el polígono mencionado en el punto anterior. Por defecto es de 25 segmentos.

\$12 Selección de cantidad de dígitos decimales significativos: Las medidas destinadas por el código .NC que se encuentran en decimales. GRBL por naturaleza considera solo 3 dígitos después de la coma.

\$13 Tiempo de actualización de coordenadas de posición: El controlador utiliza un bucle en donde en cada determinado tiempo se actualiza el display de coordenadas, con la ubicación actual, en el momento en que la maquina se encuentra en funcionamiento. Con el valor “0” esta función se encuentra deshabilitada.

\$14 rango de tiempo entre cancelación y reinicio de trabajo: En el momento que la CNC se encuentra en funcionamiento y es abortado mediante el botón “stop”. Se utiliza un rango de tiempo para que el corte no sea de manera brusca. Se utilizó 1 seg.

\$15 inversor de señal de sentido de giro de motor: Una vez montadas todas las conexiones de los motores en la electrónica. Se puede cambiar el sentido de giro mediante invirtiendo los cables o modificando este parámetro en el software. Utilizando el valor 0, esta función se encuentra deshabilitada.

\$16 Activación de finales de carrera para longitud máxima de recorrido: el recorrido máximo que se puede utilizar desde la posición cero, se puede restringir mediante el valores en el MasterCam o utilizando finales de carreras en la medida deseada. Como esta acotación se realiza por software, no lo habilitaremos.

\$17 Activación de la posición de origen: La posición cero, también se puede configurar mediante software o habilitando finales de carreras. Fresando materiales de distintas dimensiones, es más sencillo, realizar la posición “casa” de forma manual y no modificar las posiciones de los límites iniciales.

\$18 Inversión de la posición de origen: Si se encuentra activado el “\$17”, se puede definir si el cero del eje x-y se encuentra a izquierda o derecha del área de trabajo. Se debe tener precaución en esta selección, ya que dependiendo donde este, puede fresar en forma de “espejo”.

\$19 velocidad máxima de avance a la posición de origen: Introducción el comando para buscar el punto de origen, la herramienta no se encuentra en funcionamiento. Por lo se puede utilizar la velocidad máxima para realizar su viaje.

\$20 Velocidad máxima de traslado entre posición de origen y fresado: Cuando se utiliza el botón “Begin”, la herramienta se traslada la posición de comienzo de fresado emitida por el código .NC, sin ser sometida a ningún esfuerzo, por lo que también, puede ser máxima.

\$21 Amortiguación activación del final de carrera: En el momento que el final de carrera es amortiguado, este frena el proceso y lo retrae unos milímetros. Disminuye su velocidad y vuelve a activarlo. Esto lo realiza para compensar el momento de inercia y el origen no quede desfasado.

\$22 Velocidad de contacto con final de carrera: Después de la retracción, su velocidad disminuye considerablemente para ejercer una menor presión sobre el final de carrera.

Ante cualquier consulta existen video tutoriales en internet que explican claramente cada uno de los pasos a seguir para tener una programación optima del GRBL Controller, aquí dejo un link para tener en cuenta: <https://www.youtube.com/watch?v=zf2RbZb45gw>

5.

5.1. Pruebas

Para probar la maquina se han hecho varias pruebas, desde grabado de letras, bosquejos en 2D, contorneados y hasta piezas del tipo matriceria. Se realizó, como pieza cumbre de este proyecto, una matriz de un destapador trabajada sobre grafito.



Figura 89. Placa de grafito a mecanizar

5.2. Plano

El plano se basa en un destapador de botellas con tapa tipo corona.

El primer paso fue realizar un croquis/boceto de lo que se quería dibujar, una vez obtenido esto se pasó traspasar el mismo al programa SolidWorks (Figura 90).

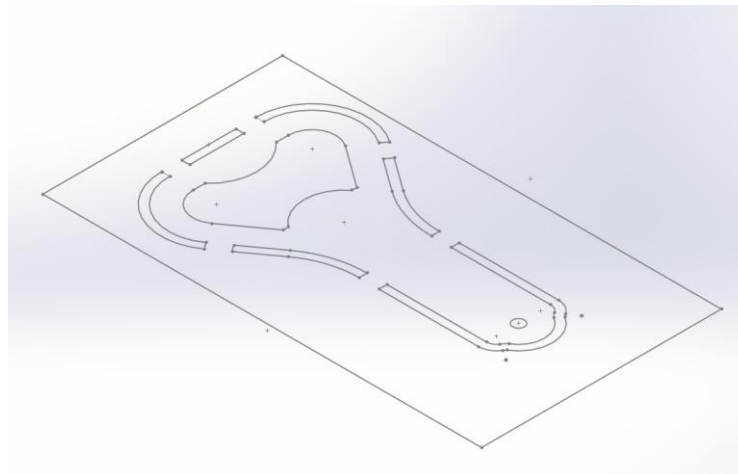


Figura 90. Croquis de Pieza

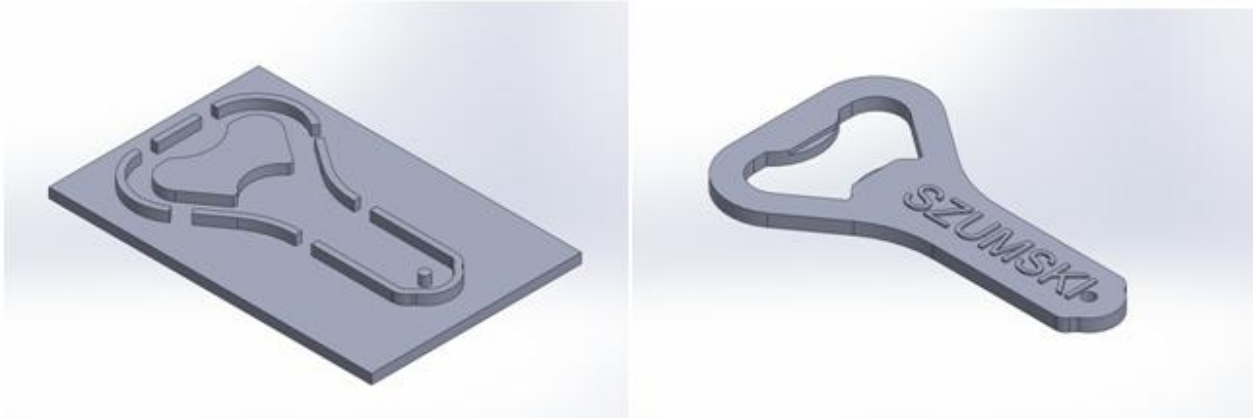


Figura 91. Izq. Matriz de destapador, Der. Destapador

Una vez terminada la pieza, se realizó el plano correspondiente. Dentro del mismo programa existe la función de crear plano el cual nos permite generar un formato de hoja, las vistas requeridas, las cotas, los cortes, detalles, etc., todo lo necesario para que quede en claro cuál es la forma que de la pieza que se desea (Figura 92).

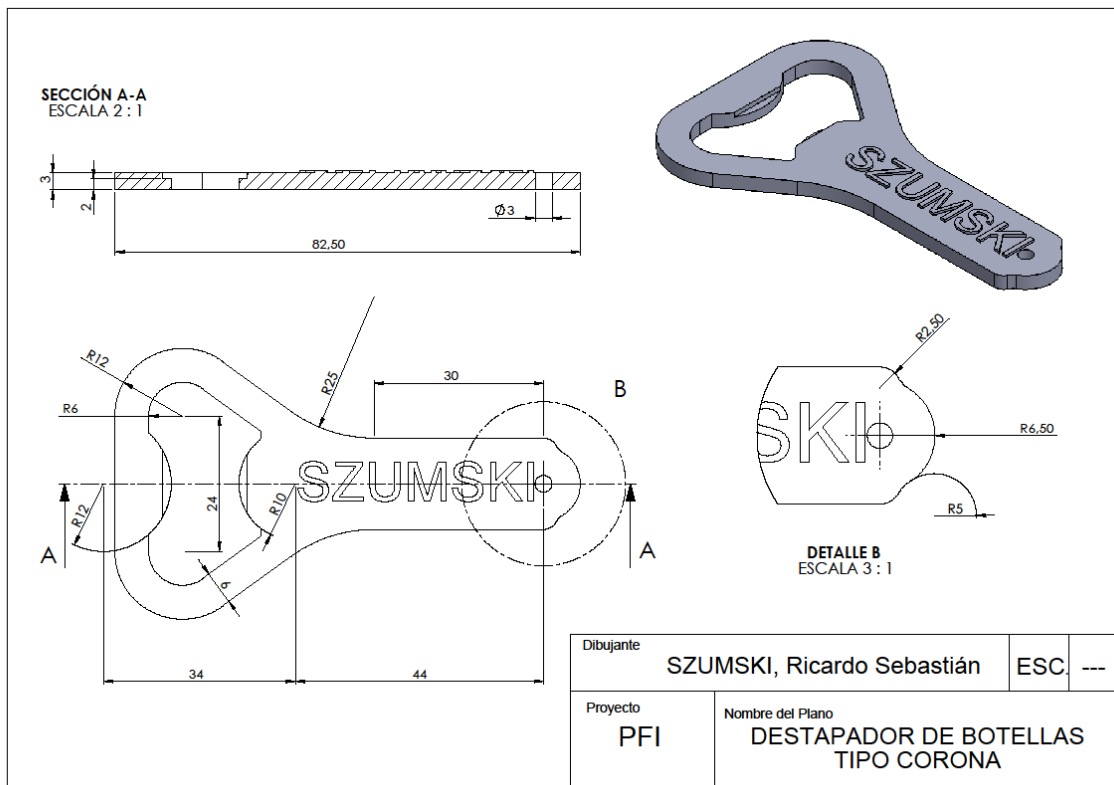


Figura 92. Plano con formato hoja A3 del destapador

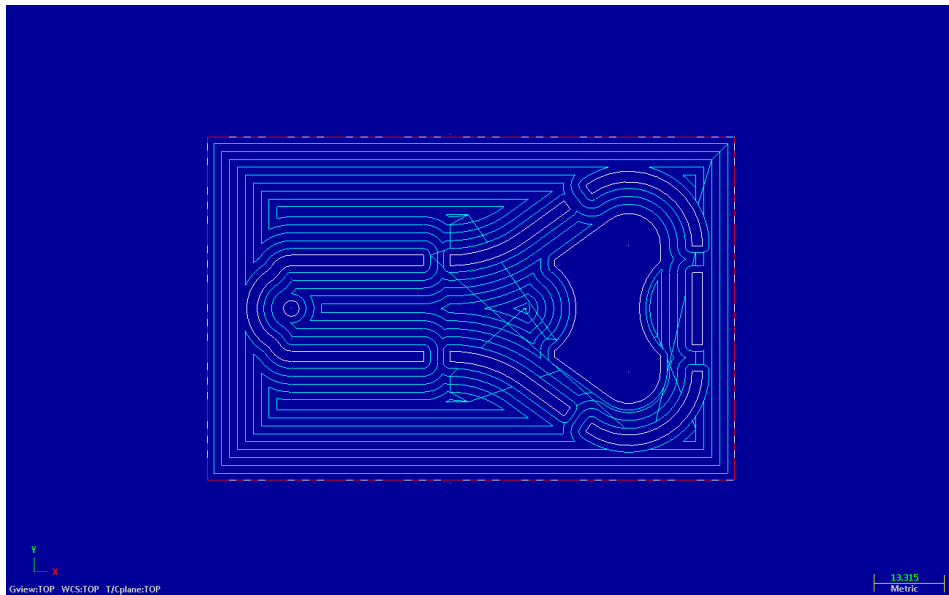
5.3. Simulación y Creación de códigos de maquina

5.3.1. Parámetros de pieza para simulación

Una vez obtenida la pieza en formato de “.prt/sldprt” SolidWorks, esta se puede abrir en el MasterCam y una vez realizada la pieza se puede guardar como formato “.MCX-3/5/7” (el ultimo numero depende de la versión de MasterCam que uno posea). Hay que tener en cuenta que la pieza que se debe guardar no tiene que ser la extruida, sino el croquis de la misma, ya que en el MasterCam se le dar las características deseadas para generar el recorrido de desbaste.

Una vez obtenida la forma de la pieza a mecanizar, se le setea ciertos parámetros dentro del programa los cuales serán:

- Área de material
- Profundidad del material
- Tipo de herramienta de desbaste
- Características de la herramienta (fresa plana, redonda, triangular, etc.)
- Características del movimiento a realizar por el router al momento de mecanizado
- Secuencia de corte (Drill, Pocket, Face, etc.)



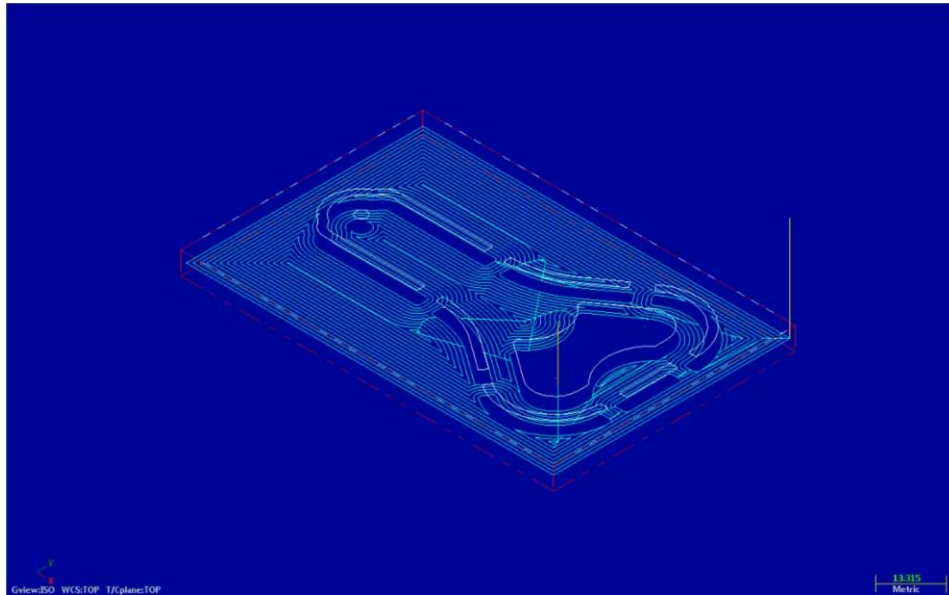


Figura 93. Secuencia de corte tipo POCKET

5.3.2. Simulación de Desbaste

Una vez elegido los parámetros se procede a realizar la simulación la cual nos dará una idea de cómo quedara la pieza, y en base a esto se pueden ir corrigiendo tanto el croquis como los parámetros de desbaste.

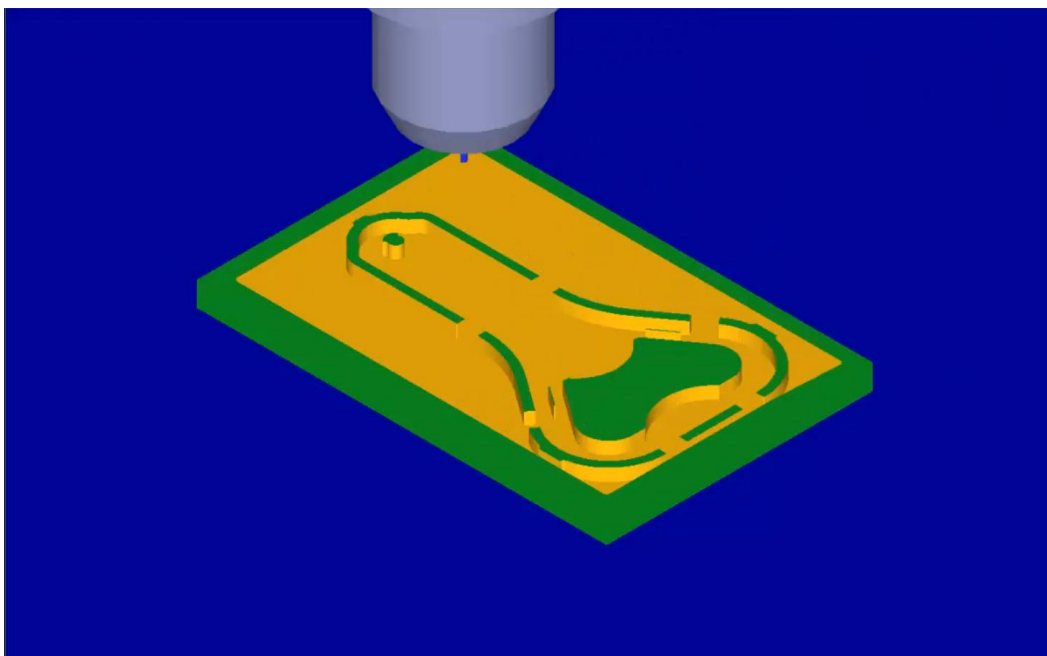


Figura 94. Simulación de desbaste de la herramienta

5.3.3. Creación de códigos de maquina

Una vez obtenido el resultado final por el cual vamos a realizar la matriz, se guarda el archivo en formato “.NC” el cual nos genera un código G de la pieza. Cuando este archivo se habra con el GRBL Controller y se ejecute, el mismo mostrara la secuencia del programa en el lenguaje G en el lado izquierdo del display del programa. El código de la pieza del destapador se encuentra en el Anexo III.

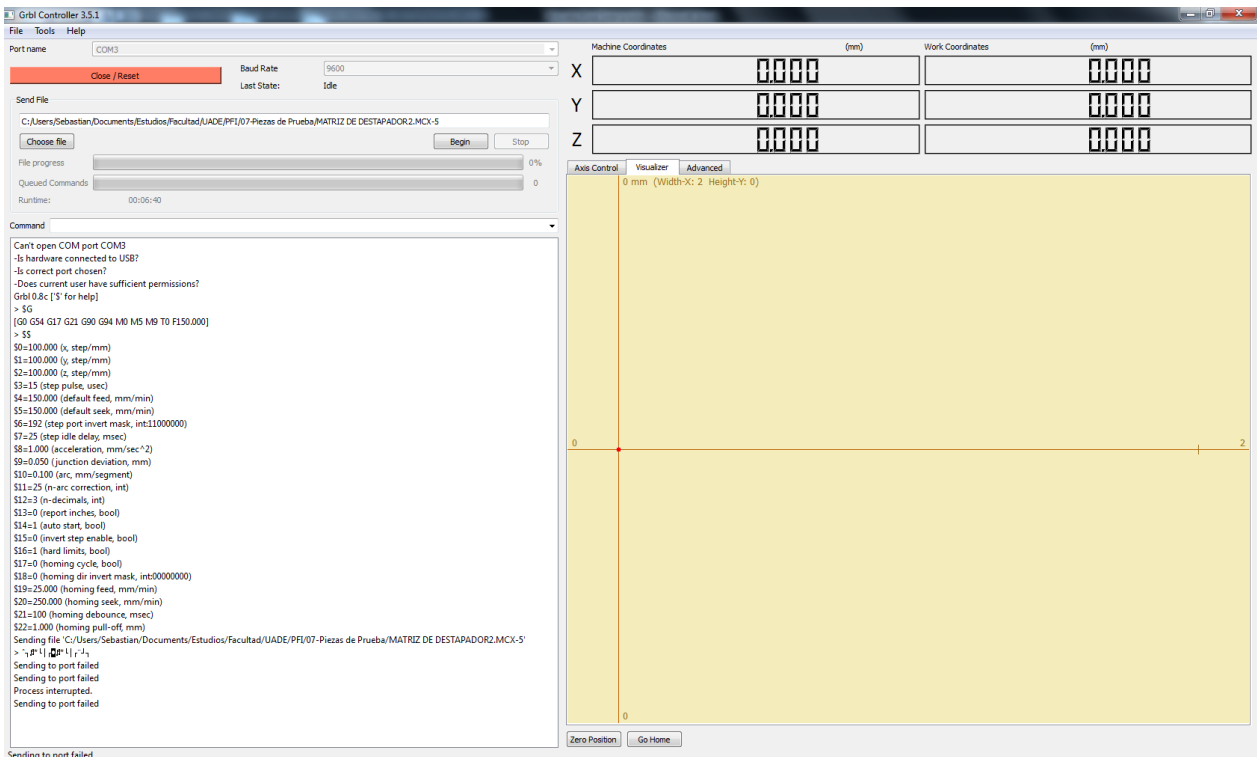


Figura 95. Panel de trabajo del GRBL Controller

5.4. Resultado

El resultado de esto nos termina dejando la matriz de en grafito. De esta matriz sale la pieza del destapador, se la puede apreciar en la Figura 96



Figura 96. Matriz de destapador en grafito

Nótese que esta espejada ya que una vez montada en la electroerosionadora procederá a devastar de manera que la pieza a obtener quede como en la Figura 97.



Figura 98. Pieza destapador en acero inoxidable

6.

6.1. Conclusiones

Con la realización de la anterior investigación pudimos analizar y comprender que:

- CNC es una tecnología de automatización de alta aplicabilidad en la actualidad, gracias a su amplio margen de precisión y rapidez de ejecución de tareas programadas.
- El desarrollo del diseño y construcción de este tipo de prototipos, garantiza que con la tecnología e investigación de personal técnico nacional es posible abaratar los costos que involucra el adquirir maquinaria de origen internacional, con la finalidad de estar acorde a los avances tecnológicos que la industria del control numérico nos brinda.
- La construcción de este prototipo de maquina fresadora, servirá para que los alumnos de distintas carreras entiendan como funciona un sistema CAD/CAM y como es el mecanizado automático de operaciones tan fundamentales como es el fresado.
- El uso de motores paso a paso, respecto al servomotor, se basa en la que aquellos se pueden manejar digitalmente, sin realimentación, su velocidad se la puede controlar, son pequeños y poseen un elevado torque en bajas revoluciones, lo que permite bajo consumo de energía tanto en vacío como en plena carga, su mantenimiento es mínimo debido a que no tiene escobillas.
- El control numérico es un conjunto de serie de órdenes dadas a una maquina mediante el uso de códigos numéricos.
- Se ven grades y notorias ventajas al utilizar este tipo de tecnología gracias a su seguridad, precisión, tiempos de realización de tareas, aumentó en la productividad de las maquinas, además de la posibilidad de ensamblar piezas muy difíciles de fabricar como las tridimensionales que necesitan avanzado grado de perfección y precisión.
- Observamos que CNC se acopla perfectamente a las necesidades y requerimientos que exigen las industrias modernas, ya que por la escasas de obra de mano calificada y producción de múltiples y variados modelos en cantidad., las empresas optan por tecnologías que reduzcan tiempos y aumenté producción sin que se vea afectada la calidad de sus productos.

- En síntesis, la mayor dificultad e inconveniente que se tendría al aplicar esta técnica, sería el elevado costo que pudiese tener su maquinaria en principio, pero en un tiempo moderado se podrán ver perfectamente un ahorro económico por obvias razones.

6.2. Recomendaciones

- Hay que tener cuidado en no generar un movimiento en contra del filo de la herramienta ya que esto provocaría un uso indebido de la misma con lo cual se podría producir la ruptura del material o de la herramienta de corte.
- Comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada, para obtener así un arranque suave y preciso de los motores paso a paso empleados como medios de accionamiento en las mesas de coordenadas.
- Evitar que las bobinas queden magnetizadas luego de hacer una secuencia de paso, puesto que esto puede ocasionar el recalentamiento de las mismas y por consiguiente la ruptura del motor por temperatura. Para evitar el recalentamiento y evitar que el motor se quede libre en una posición no deseada.
- Existen otro tipo de fuentes de alimentación para los CNC, se llaman *Fuentes tipo Switching* utilizadas comúnmente en iluminación LED. Estas se consiguen de distintos amperajes lo cual evita el sobredimensionamiento de alimentación.



Figura 99. Fuente Switching

- Leer con anterioridad cada práctica y tener en cuenta todas las recomendaciones de seguridad que allí se encuentran para evitar que ocurra algún accidente y permitir el buen funcionamiento de la máquina como la realización de la práctica.

6.3. Simbología

A	Área, coeficiente
A	Variable de área
a	Distancia, constante de regresión
\hat{a}	Estimación de la constante de regresión
a	Variable de distancia
B	Coeficiente
B_{hn}	Dureza Brinell
B	Variable
b	Distancia, parámetro de forma de Weibull, número de intervalo, constante de regresión, ancho
\hat{b}	Estimación de la constante de regresión
b	Variable de distancia
C	Capacidad de carga básica, constante de junta atornillada, distancia entre ejes, coeficiente de variación, condición de extremo de columna, factor de corrección, capacidad del calor específico, índice de resorte
c	Distancia, amortiguamiento viscoso, coeficiente de velocidad
FDA	Función de distribución acumulada
CDV	Coeficiente de variación
c	Variable de distancia
D	Diámetro de la hélice
d	Diámetro, distancia
E	Módulo de elasticidad, energía, error
e	Distancia, excentricidad, eficiencia, base logarítmica neperiana
F	Fuerza, dimensión fundamental de la fuerza
f	Coeficiente de fricción, frecuencia, función
cdm	Cifra de mérito
G	Módulo de elasticidad en torsión
g	Aceleración debida a la gravedad, función
H	Calor, potencia
H_B	Dureza Brinell
HRC	Dureza Rockwell escala C
h	Distancia, espesor de película
\hat{h}_{CR}	Coeficiente global combinado de transferencia de calor por convección y radiación
I	Integral, impulso lineal, momento de inercia de la masa, segundo momento del área

<i>i</i>	Índice
<i>i</i>	Vector unitario en la dirección x
<i>J</i>	Equivalente mecánico del calor, segundo momento polar del área, factor geométrico
<i>j</i>	Vector unitario en la dirección y
<i>K</i>	Factor de servicio, factor de concentración del esfuerzo, factor de aumento del esfuerzo, coeficiente de par de torsión
<i>k</i>	Factor de modificación del límite de fatiga de Marin, relación de resorte
<i>k</i>	Variable k , vector unitario en la dirección z
<i>L</i>	Longitud, vida, dimensión fundamental de la longitud
LN	Distribución log-normal
<i>l</i>	Longitud
<i>M</i>	Dimensión fundamental de la masa, momento
M	Vector del momento, variación del momento
<i>m</i>	Masa, pendiente, exponente de endurecimiento por deformación
<i>N</i>	Fuerza normal, número, velocidad rotacional
N	Distribución normal
<i>n</i>	Factor de carga, velocidad rotacional, factor de seguridad
<i>n_d</i>	Factor de diseño
<i>P</i>	Fuerza, presión
FDP	Función de densidad de la probabilidad
<i>p</i>	Paso, presión, probabilidad
<i>Q</i>	Primer momento del área, fuerza imaginaria, volumen
<i>q</i>	Carga distribuida, sensibilidad a la muesca
<i>R</i>	Radio, fuerza de reacción, confiabilidad, dureza Rockwell, relación de esfuerzo
R	Vector fuerza de reacción
<i>r</i>	Coefficiente de correlación, radio
<i>r</i>	Vector distancia
<i>S</i>	Número de Sommerfeid, resistencia
S	Variable S
<i>s</i>	Distancia, desviación estándar de la muestra, esfuerzo
<i>T</i>	Temperatura, tolerancia, par de torsión, dimensión fundamental del tiempo
T	Vector del par de torsión, variación del par de torsión
<i>t</i>	Distancia, estadístico t de Student, tiempo, tolerancia
<i>U</i>	Energía de deformación
U	Distribución uniforme
<i>u</i>	Energía de deformación por unidad de volumen

V	Velocidad lineal, fuerza cortante
v	Velocidad lineal
W	Factor de trabajo en frío, carga, peso
W	Distribución Weibull
w	Distancia, separación, intensidad de carga
w	Vector distancia
X	Coordenada, número redondeado
x	Coordenada, valor real de un número, parámetro Weibull
x	variación de x
Y	Coordenada
y	Coordenada, deflexión
y	Variable y
Z	Coordenada, módulo de sección, viscosidad
z	Desviación estándar de la distribución normal unitaria
z	Variable z
α	Coefficiente, coeficiente de dilatación térmica lineal, condición de extremo para resortes, ángulo de la rosca
β	Ángulo de cojinete, coeficiente
Δ	Cambio, deflexión
δ	Desviación, alargamiento
ϵ	Relación de excentricidad, deformación unitaria en ingeniería (normal)
ϵ	Distribución normal con una media de 0 y una desviación estándar de s
ϵ	Deformación real o logarítmica
Γ	Función gamma
γ	Ángulo de paso, deformación por cortante, peso específico
λ	Relación de esbeltez para resortes
λ	Unidad log-normal con una media de 1 y una desviación estándar igual al CDV
μ	Viscosidad absoluta, media de la población
ν	Relación de Poisson
ω	Velocidad angular, frecuencia circular
ϕ	Ángulo, longitud de onda
ψ	Integral de la pendiente
ρ	Radio de curvatura
σ	Esfuerzo normal
σ'	Esfuerzo de von Mises
σ	Variable del esfuerzo normal
$\hat{\sigma}$	Desviación estándar
τ	Esfuerzo cortante
τ	Variable del esfuerzo cortante
θ	Ángulo, parámetro característico de Weibull
ϕ	Costo por peso unitario
$\$$	Costo

6.4. Bibliografía

- Alrededor de las Maquinas Herramientas, Heinrich Gerling, Ed. Reverté, Barcelona-España, 2000.
- Aplicaciones de Tecnología Mecánica, Felipe F. Freyre, Ed. Alsina- Buenos Aires, Argentina, 1956.
- Apuntes del curso de la Facultad de Ingeniería de la UBA, Diseño Geométrico, Tema 1, Control Numérico Computarizado, Ing. Nello Mizzau e Ing. M. Sivak, 1989
- Apuntes de la cátedra Materiales Metálicos, Instituto de Tecnología Prof. Jorge Sábato, CNEA-UNSAM, Ing. Guillermo Anteri, 2004
- Apuntes del curso de la Facultad de Ingeniería de la UBA, Diseño Geométrico, Tema 3, Programación de las máquinas herramientas a Control Numérico, Ing. Nello Mizzau e Ing. M. Sivak, 1989
- ASM Handbook, Vol. 16: Machining. Ninth Edition
- Aström, K. J., Murray, R. M. (2009) Feedback Systems, An introduction for Scientists and Engineers. Version v2.10b (<http://www.cds.caltech.edu/~murray/amwiki>.)
- Boon, G.K.; Mercado, A.; Automatización Flexible en la Industria; Ed. LIMUSA-Noriega, México, 1991.
- CARL A. KYSER, “CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIERIA”, Primera Edición, Editorial Limusa – Wiley, S. A., México 1975
- Craig, j. J., (2006). Robótica. México Pearson Educación. ISBN: 970-26-0772-8
- Dubbel, Handbook of Mechanical Engineering, Springer-Verlag, 1994
- Fu, K., González, R., Lee, C. (1989). Robótica. Control, detección, visión e inteligencia. México McGraw Hill. ISBN: 968-422-357-9.
- Frank H. Habicht, Las máquinas herramientas modernas, CECSA, 1er edición, 1965
- García, E. (2008). Compilador C CCS y Simulador PROTEUS para microcontroladores PIC. Alfaomega, México, D.F. ISBN: 978-970-15-1397-2.
- George E. Dieter, Mechanical Metallurgy, Third Edition, McGraw Gill, 1986
- Heinrich Gerling, Alrededor de las maquinas-herramientas, segunda edición, Reverte S. A., 1964.
- Lobosco Orlando, Días Jose Luis, “SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE MOTORES ELECTRICOS”, Tomo 1, Maracorbo Boixareu Editores, Barcelona España, 1989

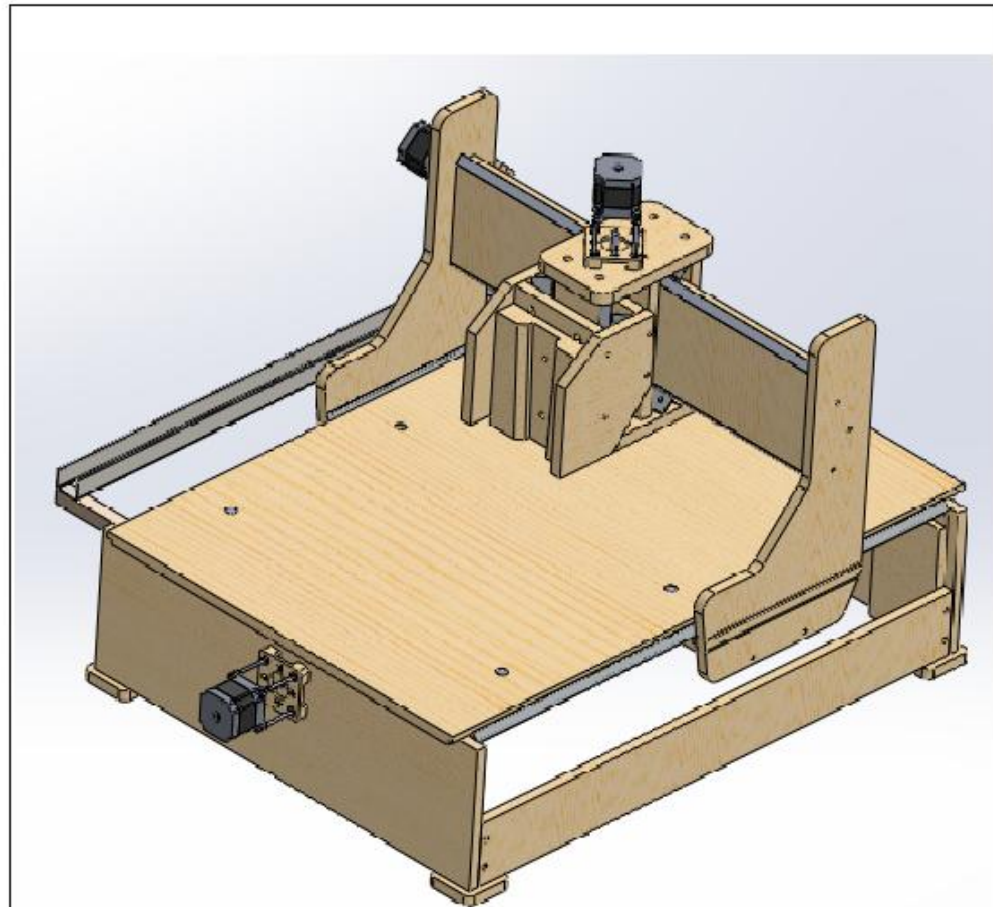
- Manual del Constructor de Maquinas, H. Dubbel, Ed. Labor S.A., Barcelona-España, 1960.
- MANUAL DE MECANICA INDUSTRIAL, “SOLDADURA Y MATERIALES”, Edición 1999, Editorial Cultural S. A., Madrid – España, 1999
- Martino, R.L.; [Sistemas](#) Integrados de Fabricación; Ed. LIMUSA-Noriega, México, 1990.
- Mott Robert, “DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS”, Segunda Edición, Editorial Prenticehall Hispanoamérica, México
- Ogata, K (2003), Ingeniería de Control Moderna. Pearson Educación, Madrid. ISBN-13: 978-84-205-3678-1.
- Pezzano P. A., Tecnología mecánica, séptima edición, Editorial Alsina, 1975
- Puckle & Arrowsmith, An introduction to Numerical Control of Machine Tools, Chapman and Hall, 1968
- RAMON PIERAFITA MORENO, “INGENIERIA DE LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL”, Segunda Edición, Editorial Ra – Ma, Madrid – España, 2004 NICOLAS LARBURU, “PRONTUARIO DE MAQUINAS HERRAMIENTAS”, Sexta Edición, Editorial Parainfo S. A., Madrid – España, 1994
- Serope Kalpakjian, Manufacturing Processes for Engineering Materials, Third Edition, Addison Wesley Longman Inc., 1997
- Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., Oriolo, G. (2009). Robotics, Modelling Planning and Control. Springer. ISBN 978-1-84628-642-1.
- SKF, “MANUAL DE MANTENIMIENTO Y RECAMBIO DE RODAMIENTOS”, Catálogo 3014 Sp., SKF. Inglaterra, 1977 – 04
- Tecnología Mecánica I y II, Pascual Pezzano, Ed. Alsina, Buenos Aires- Argentina, 1962

6.5. Referencias

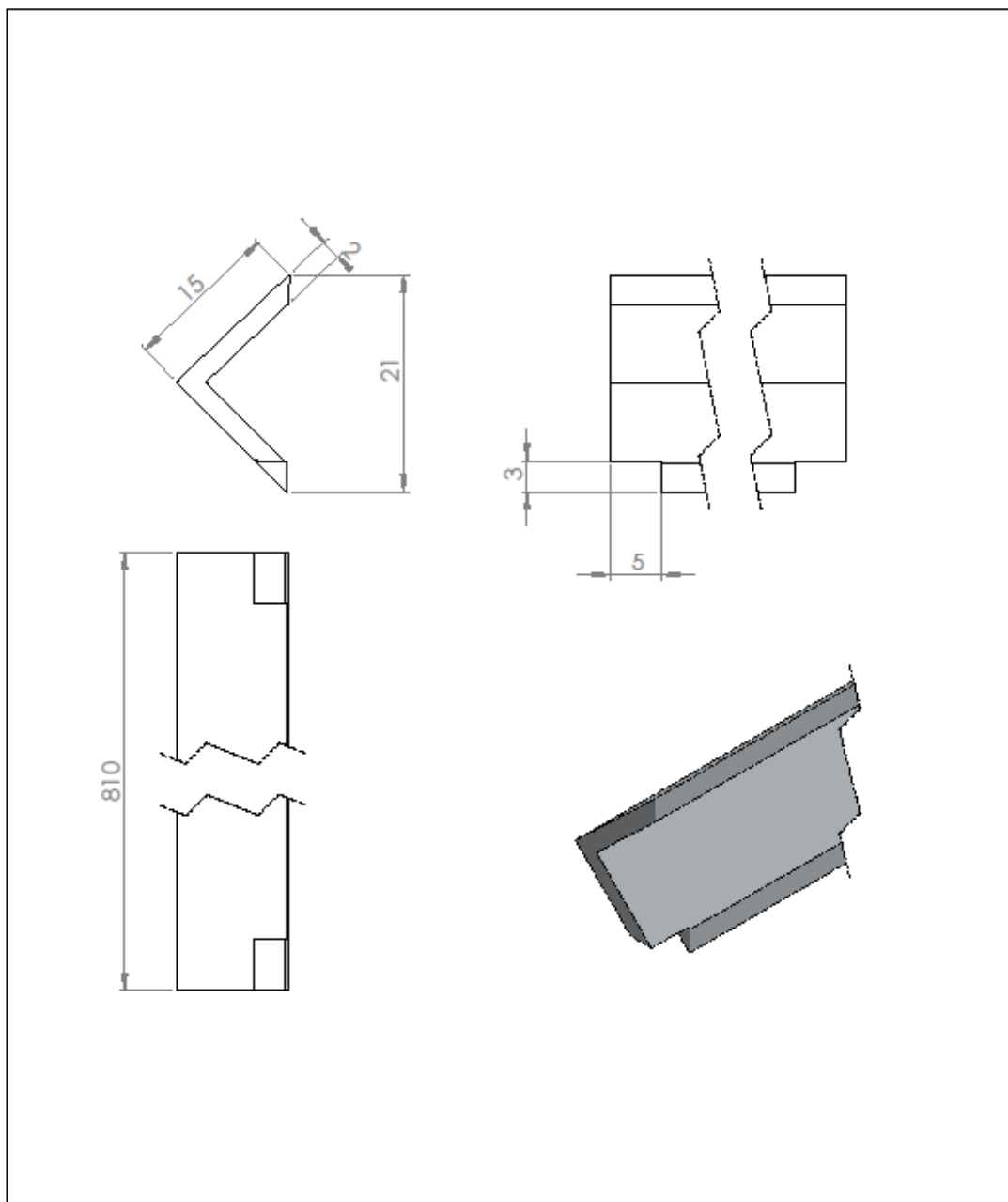
- <http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>
- <http://www.emu-saic.com.ar/historia.html>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Mastercam>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
- <http://www.fim.utp.ac.pa/Revista/vol2/cncd.html>
- <http://www.hundegger.de/es/ingenieria-mecanica/empresa/historia-de-la-empresa.html>
- <http://www.inti.gob.ar/certificaciones/c-seguridadElectrica.htm>
- <http://www.iram.com.ar/Documentos/Certificacion/res%2092%2098.PDF>
- <http://www.si.uji.es>
- <http://www.viwa.com.mx/mQueEsCNC.htm>
- <http://www.elchichedemama.com.ar/mdf.htm>
- http://www.elrincondela_madera.org/support/sup%uhtm.htm
- <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.asp?identrega=121>
- <http://www.homeshopcnc.com/page2.html>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n>
- <http://www.tecnoedu.com/Denford/GM.php>
- <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor>
- <http://html.rincondelvago.com/servomotores.html>
- http://www.schillig.com.ar/Sensores_de_Proximidad_fr.htm
- http://www.otocoup.com.ar/complte_pro%20d_ak.htm
- <http://www.imm.cnm.csic.es/castell/memoria2000/16.pdf>
- http://www.industrialtec.com/viewtisensor.php?t=3164&star=0&=_fr.htm
- <http://www.detectsystems.com/info/sen%20step=45.php>
- <http://www.cnczone.com/forums/member.php?u=servotutorial=22249>
- <http://es.geocities.com/aerogallecs/Routersupport.htm>
- http://www.scielo.cl/scielo.php?=sci_issuetoc&pid=0718
- <http://www.workbench.com/forums/showthread.php?t=28511>
- <http://frs-cnc.com/foro/viewforum.php?f=7>
- <http://www.Routerland.com.ar/support=%.php>
- <http://www.sharp.com/catalog=eps&inc/php>
- <http://frs-cnc.com/foro/profile.php?mode=viewprofile%u=759>
- <http://partnerproducts.autodesk.com/catalog/default.asp?tutcad3=ES.pdf>
- <http://www.machsupport.com/artsoft/downloads/downloads.htm>
- <http://users.bergen.org/jdefalco/CNC/>
- http://www.geckodrive.com/photos/G202_MANUAL.pdf
- <http://www.machsupport.com/downloads/tuto%20mill3.pdf>
- <http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/elementaq/teorico/TornilloDePotenciT2007>
- <https://dgwin.files.wordpress.com/2013/03/solidwork.pdf>

- <https://github.com/grbl/grbl/wiki/Configuring-Grbl-v0.9>
- <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3839/1/T-ESPEL-0558.pdf>
- http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/434/1/Palma_sa.pdf
- <http://blog.protoner.co.nz/arduino-cnc-shield-v3-00-assembly-guide/>
- <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2317/1/CD-3061.pdf>
- <http://bibliodigital.itcr.ac.cr/bitstream/handle/2238/635/Daniel%20Marin%20Calderon%20Informe%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/3887/1/670427M538.pdf>
- <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7417/MANUALPRAC.pdf?sequence=3>
- <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7417/MANUALPRAC.pdf?sequence=3>
- <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/4038/1/MANUALDEOPERAC.pdf>
- <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13065/CONTROL%20DE%20UNA%20FRESADORA%20CNC%20DE%20USO%20DID%C3%81CTICO.pdf?sequence=1>

ANEXO I

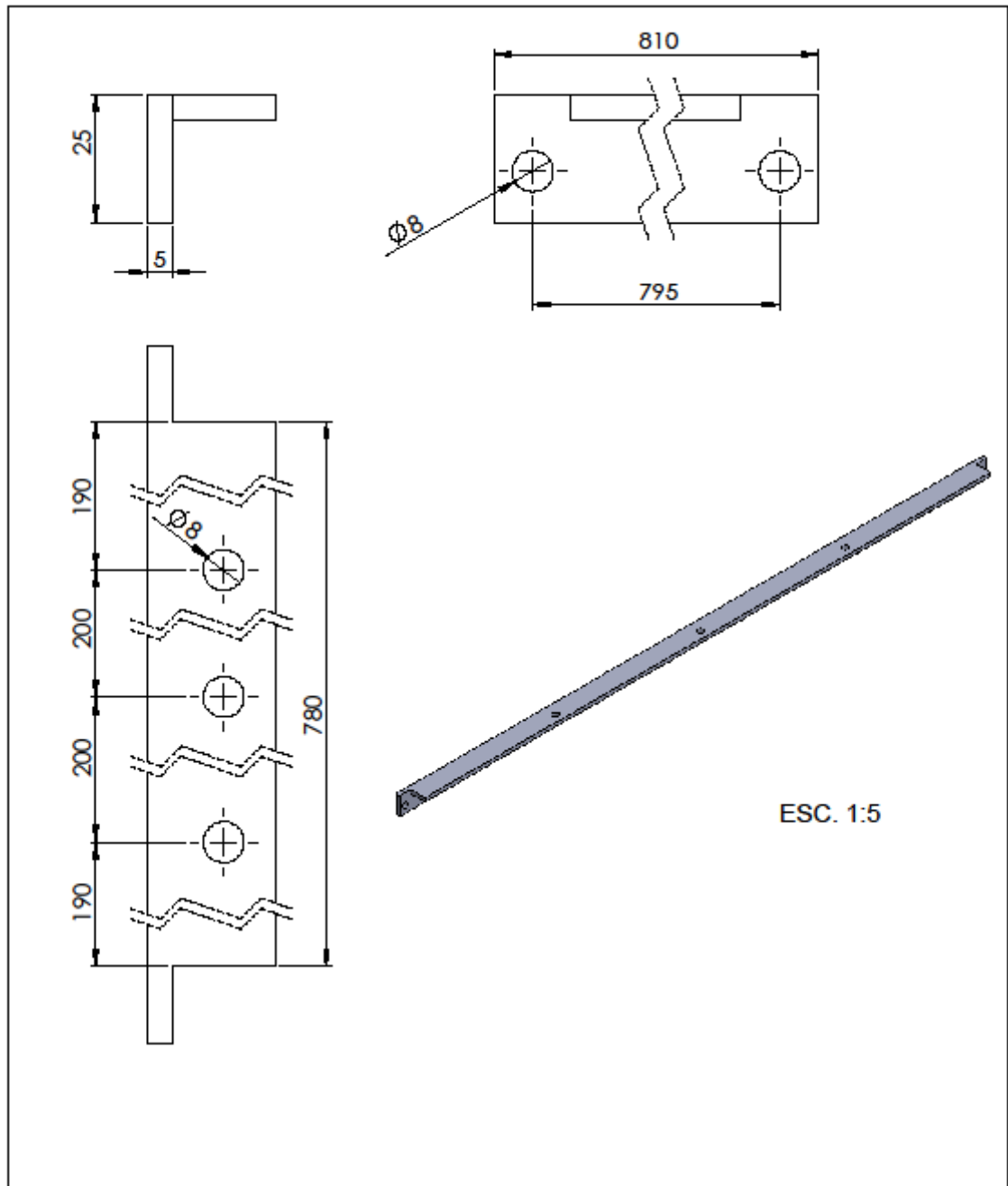


Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	2:1
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Guia Metálica de Mesa de Trabajo				

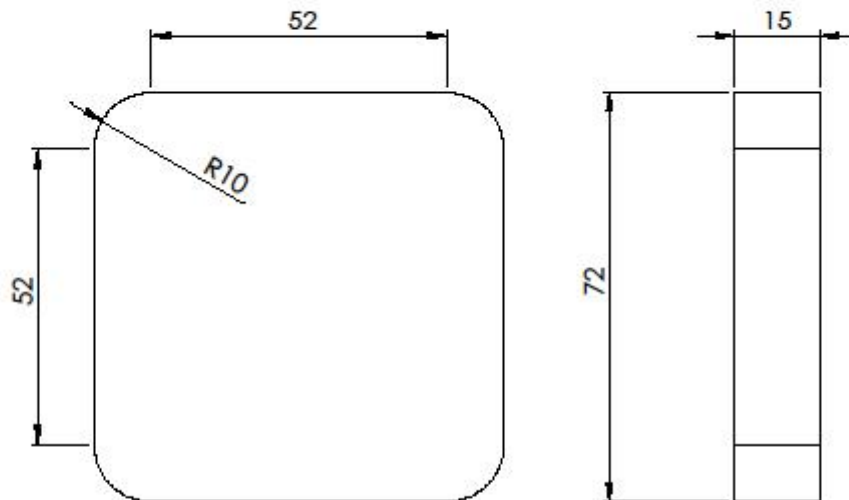


Dibujante	SZUMSKI, Ricardo Sebastián	ESC.	2:1
-----------	-----------------------------------	------	------------

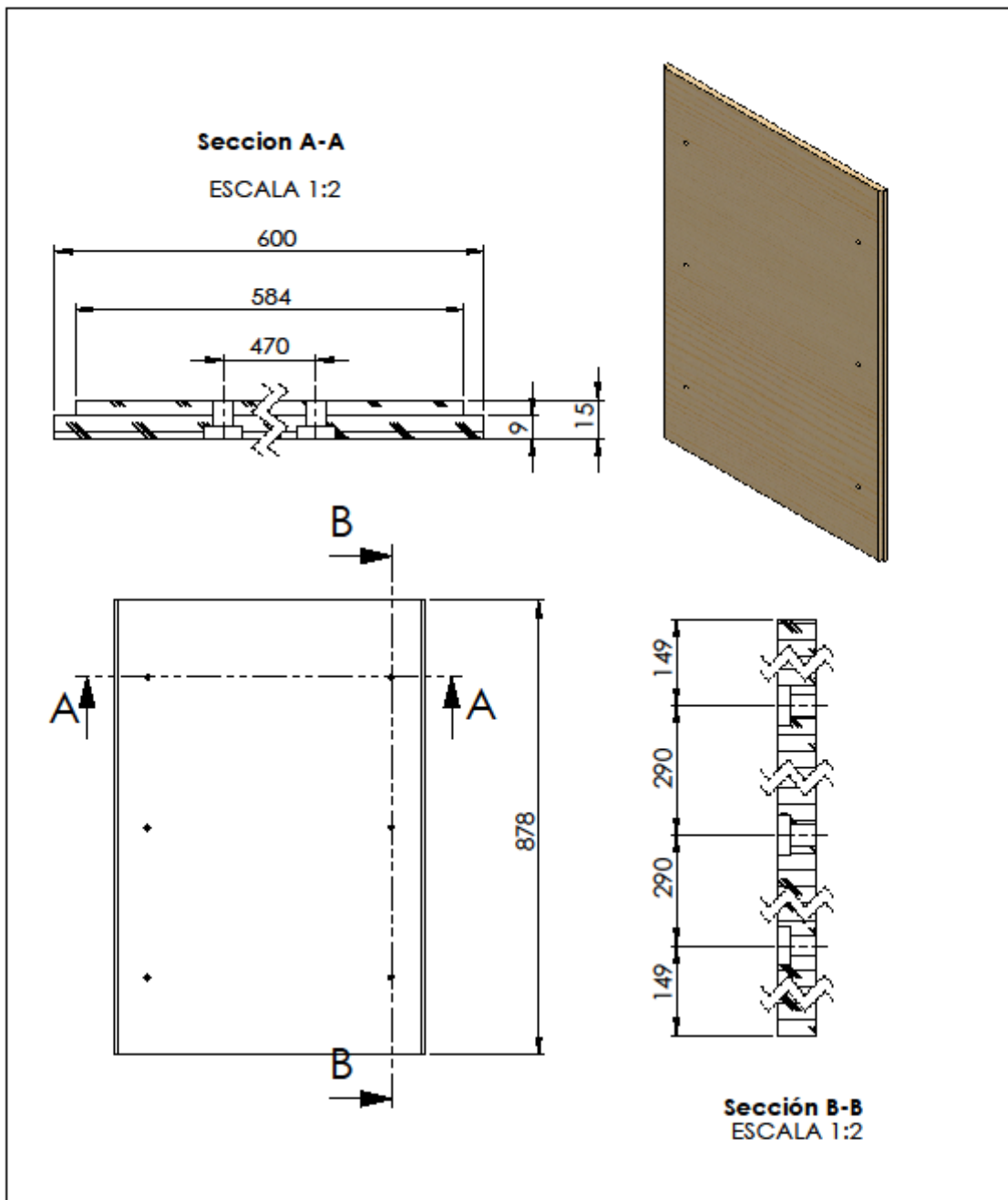
Proyecto	Nombre del Plano
PFI	Guia Metálica de Mesa de Trabajo



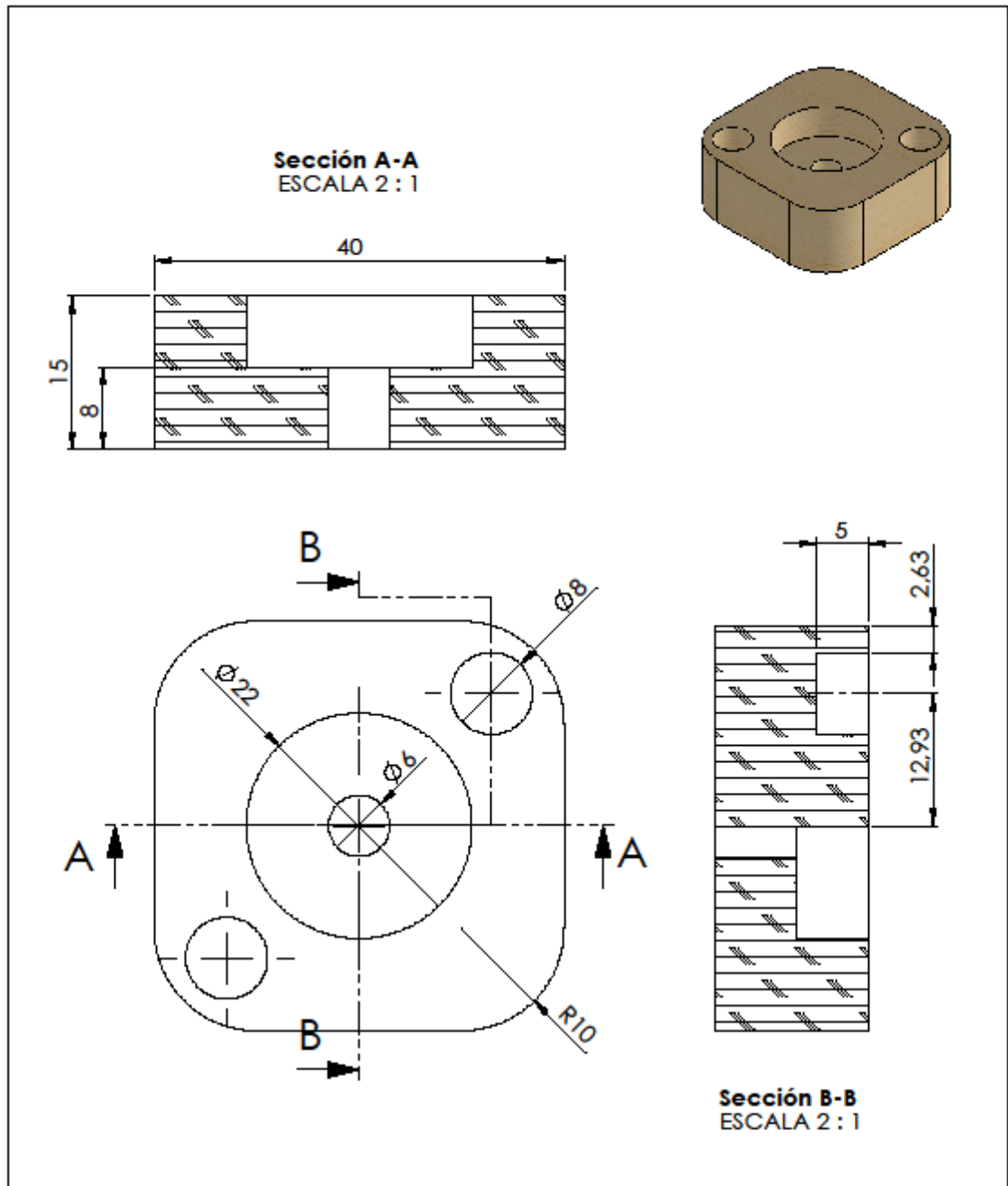
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:1
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Guia Metálica de Mesa de Trabajo				



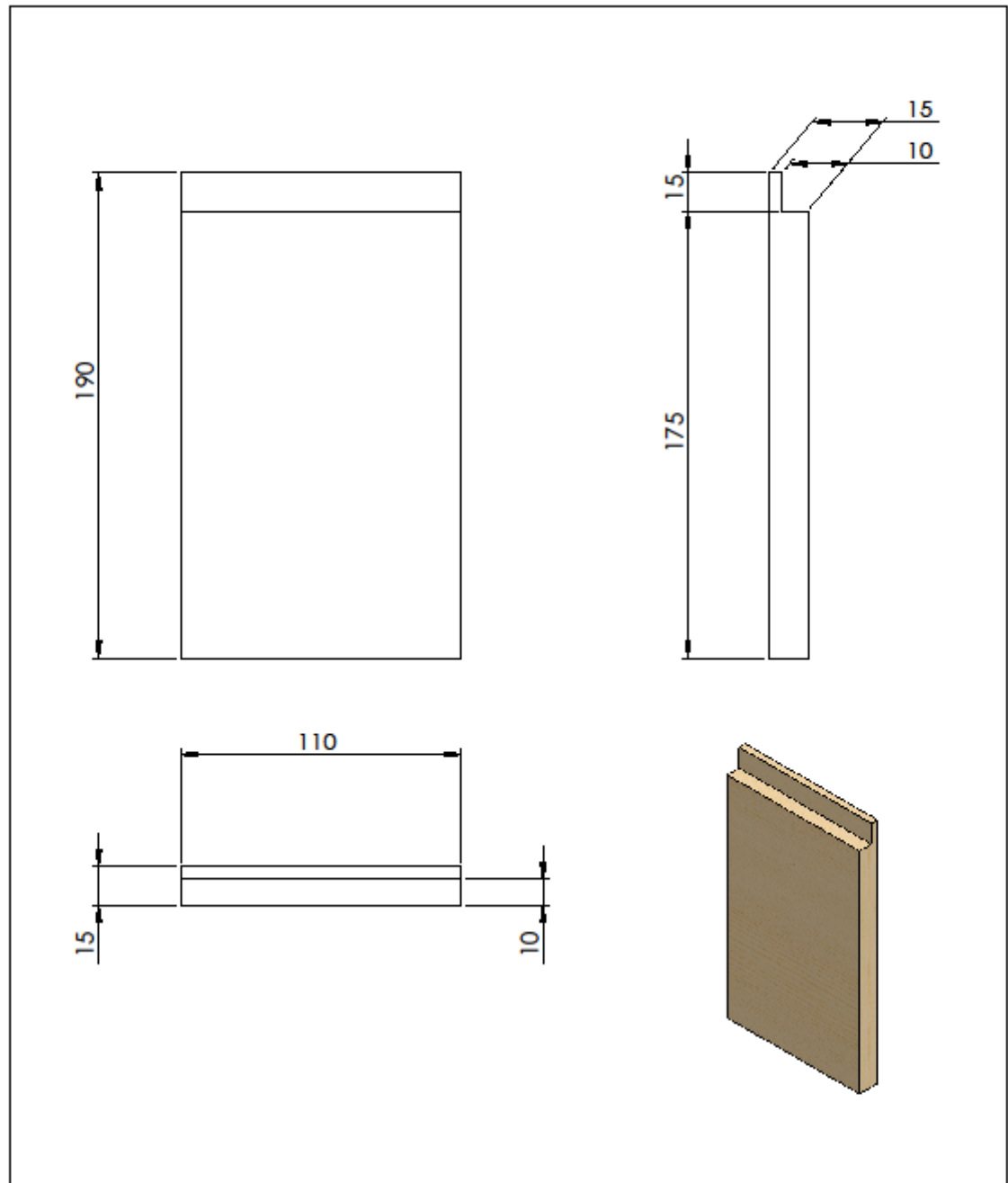
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián	ESC.	1:1
Proyecto	Nombre del Plano			
PFI	Patas de la Base			



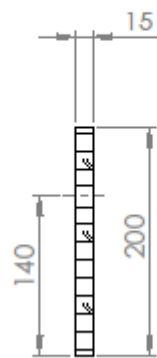
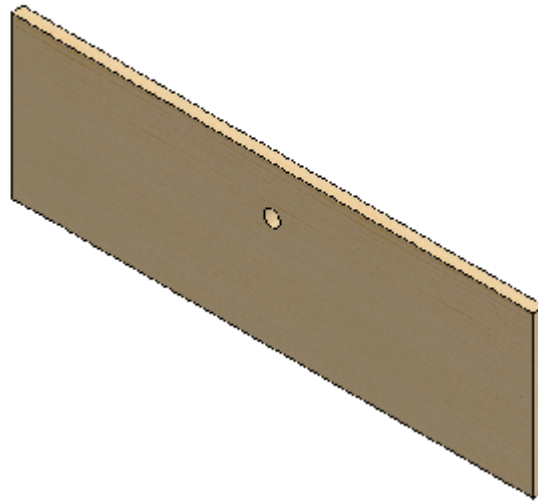
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC. 1:10	
Proyecto		Nombre del Plano			
PFI		Placa de Trabajo			



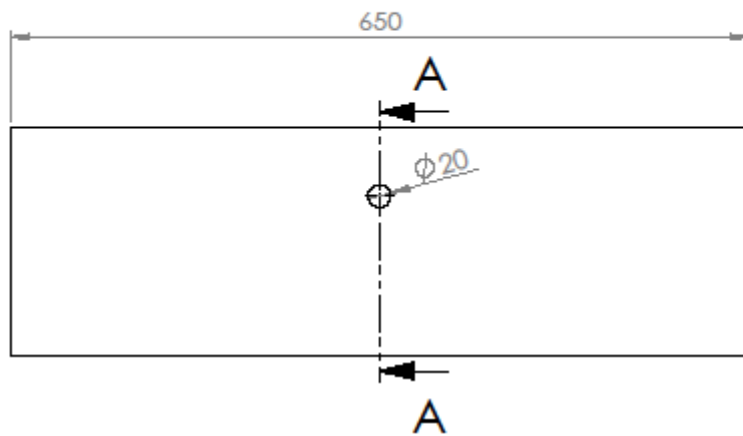
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	2:1
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Porta Rodamientos				



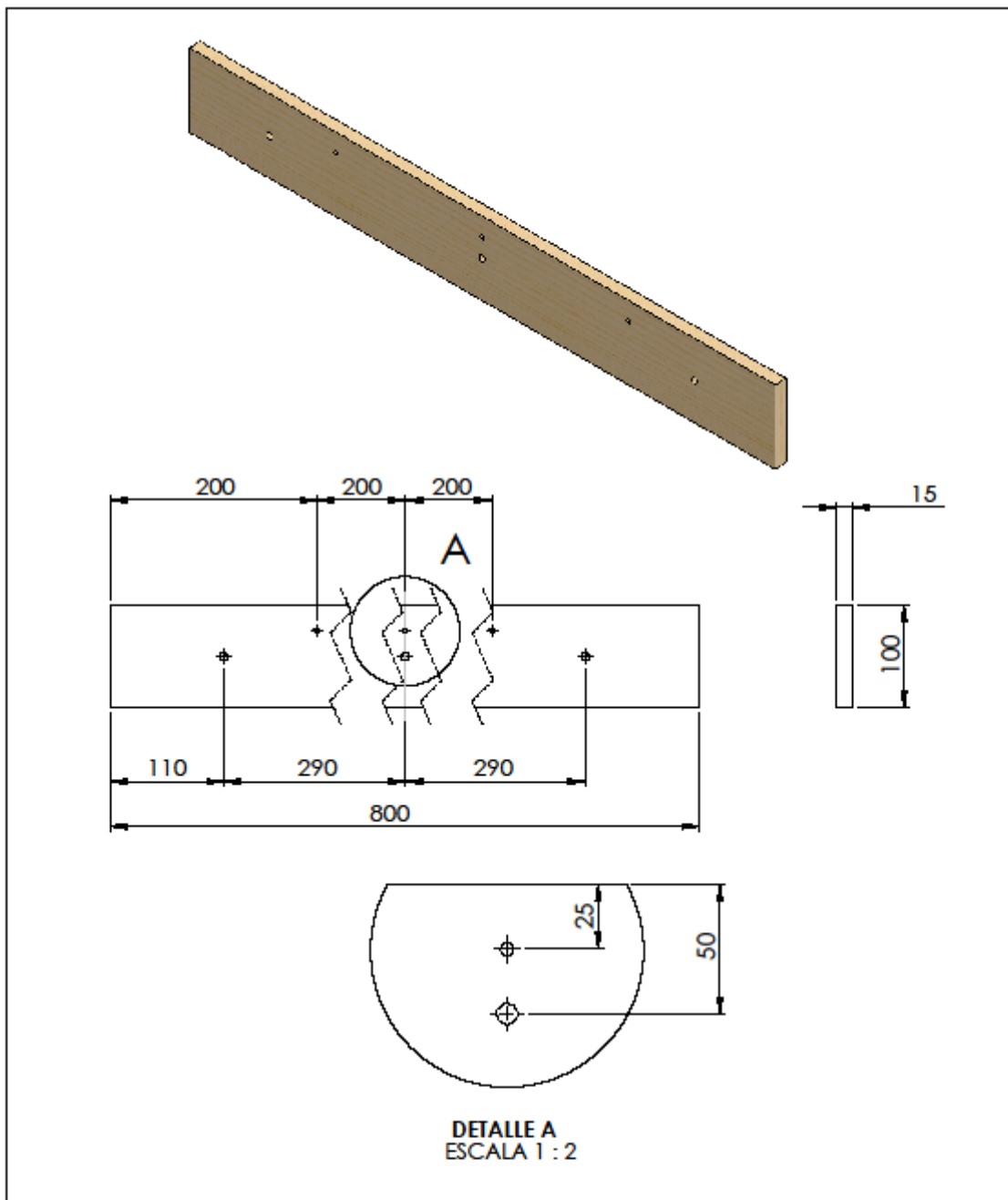
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:2
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Soporte Tapa Frente y Trasera				



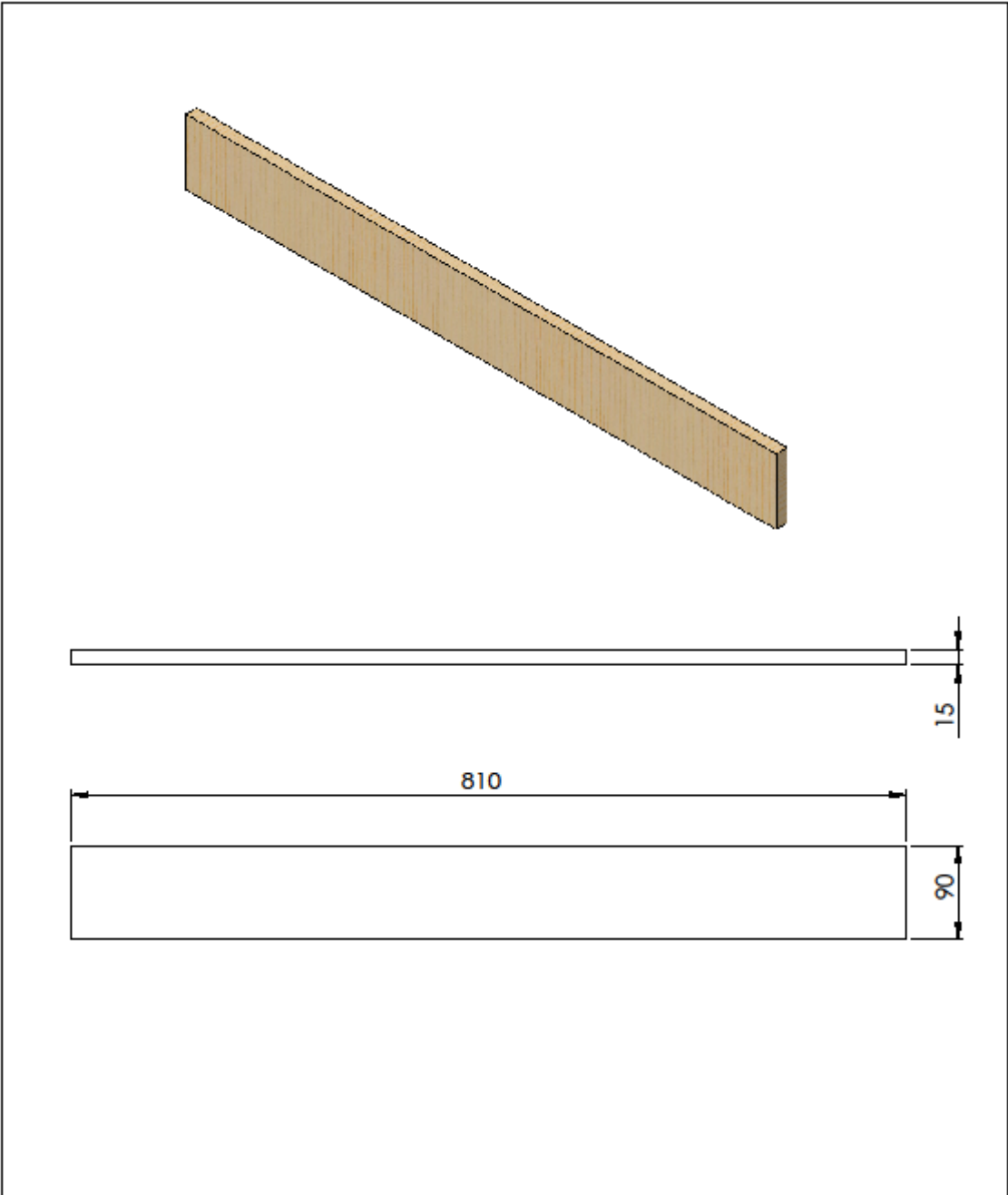
Sección A-A
ESCALA 1:5



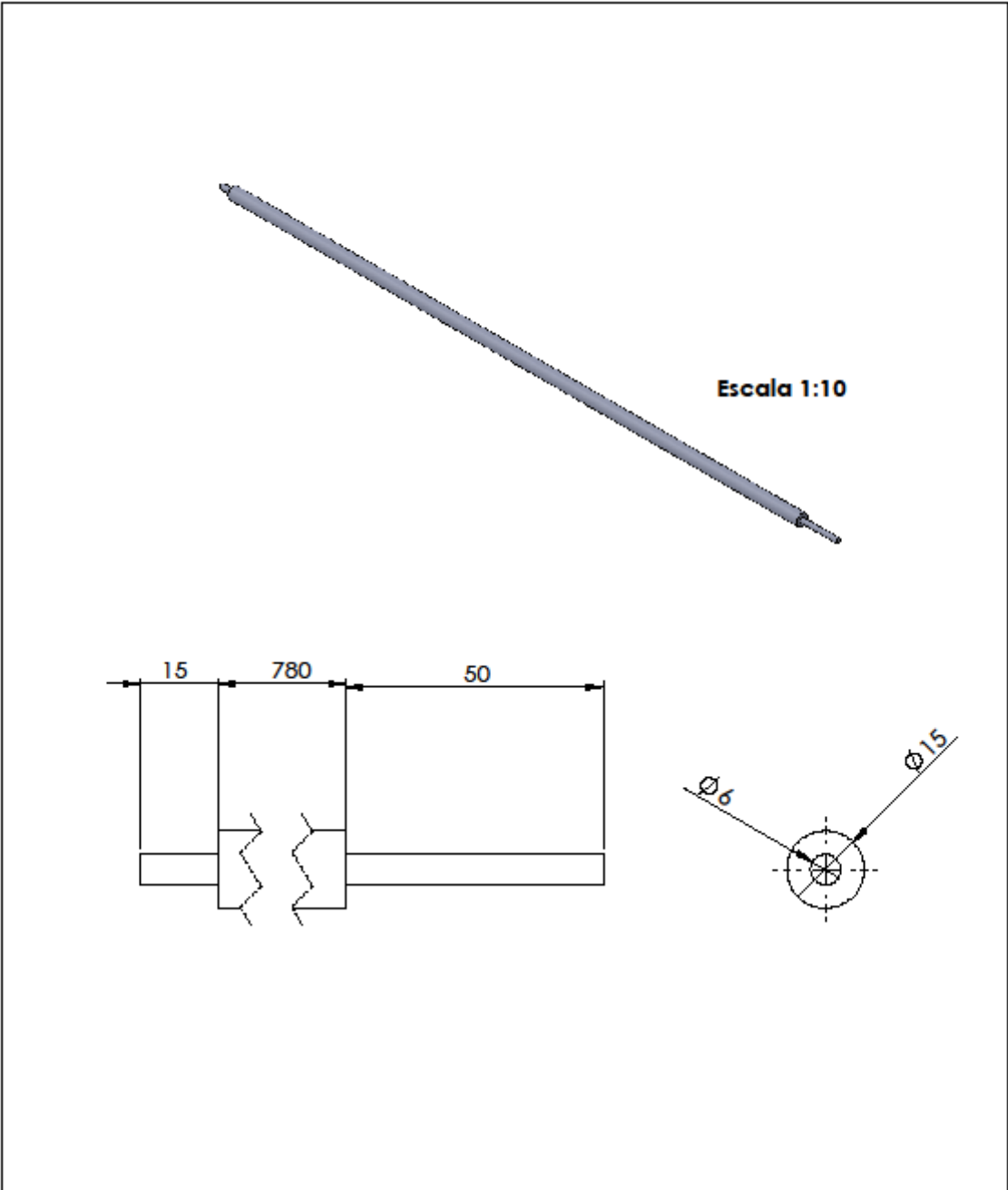
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:5
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Tapa Frente y Trasera				



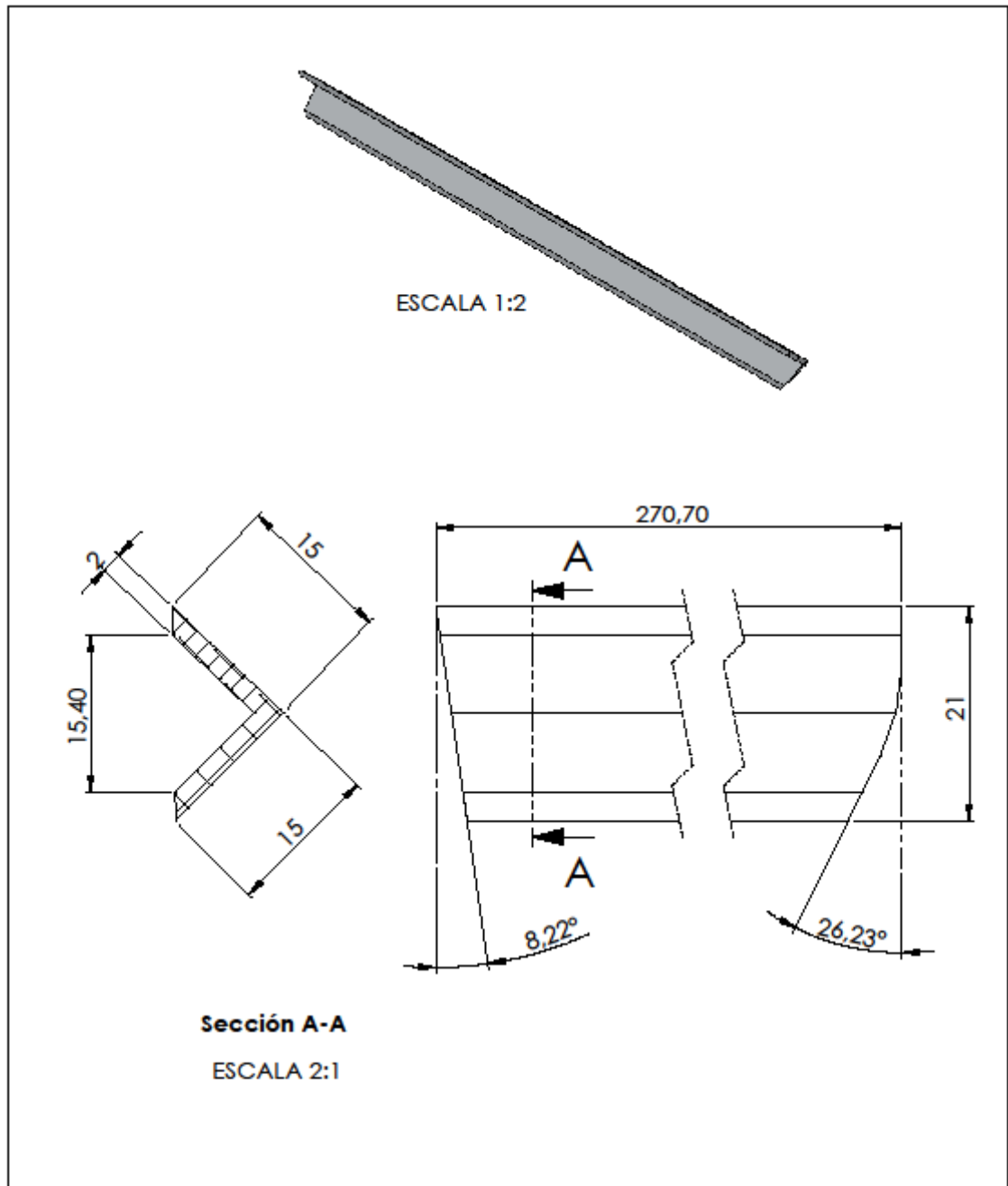
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:5
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Tirantes Guía bajo Mesa				



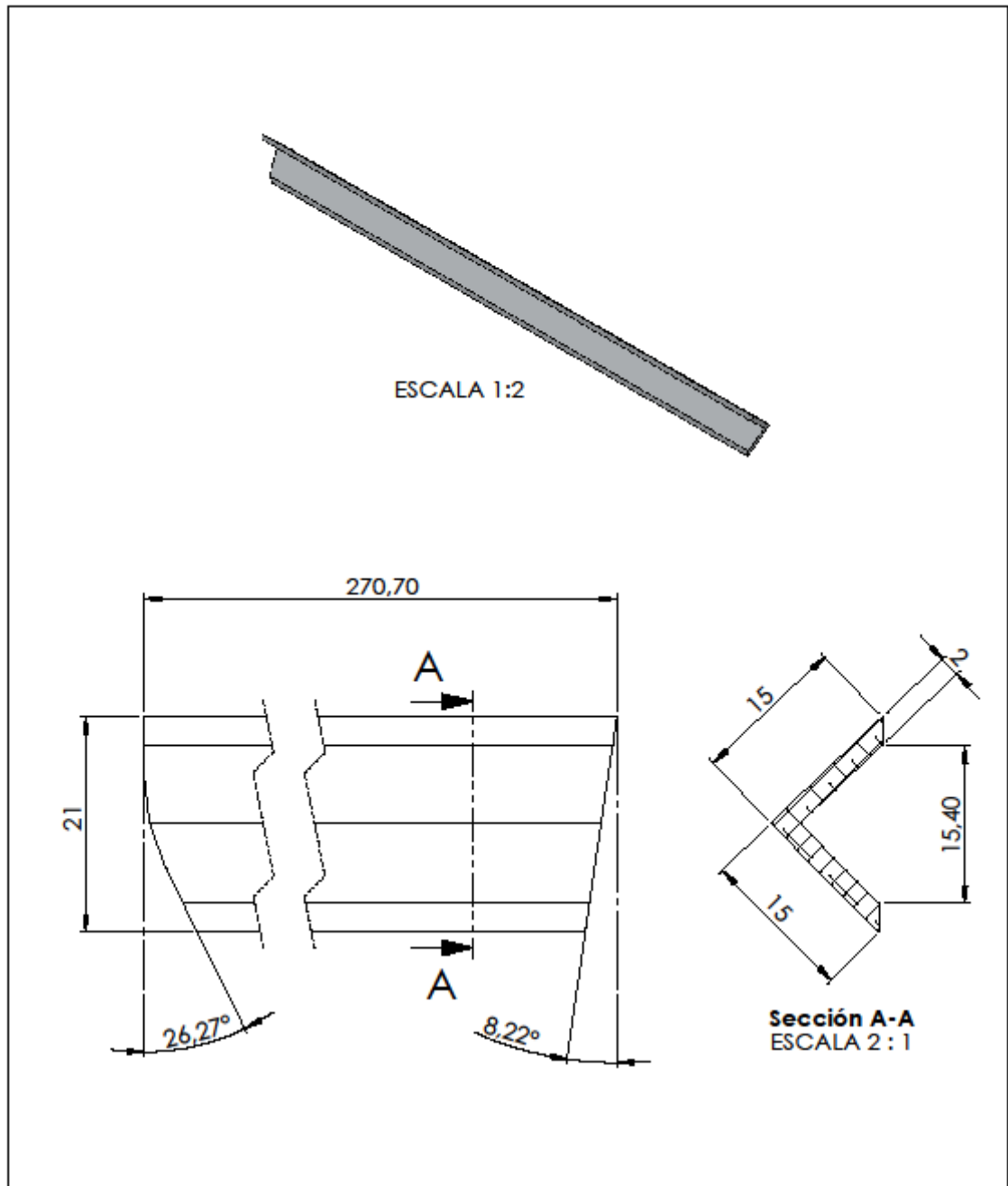
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:10
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Tirantes Laterales				



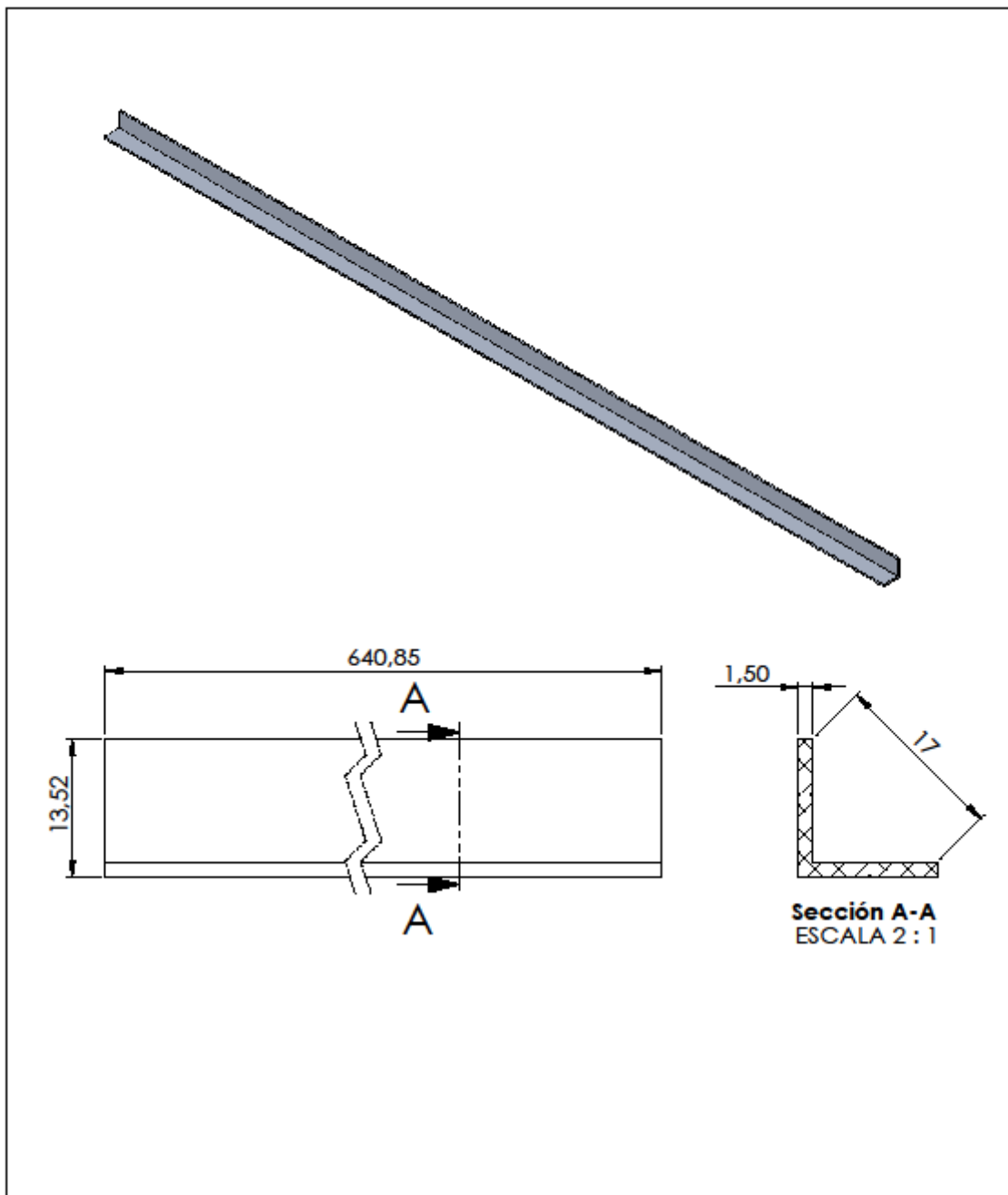
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián	ESC.	1:1
Proyecto	Nombre del Plano			
PFI	Tornillo de Potencia de la Mesa			



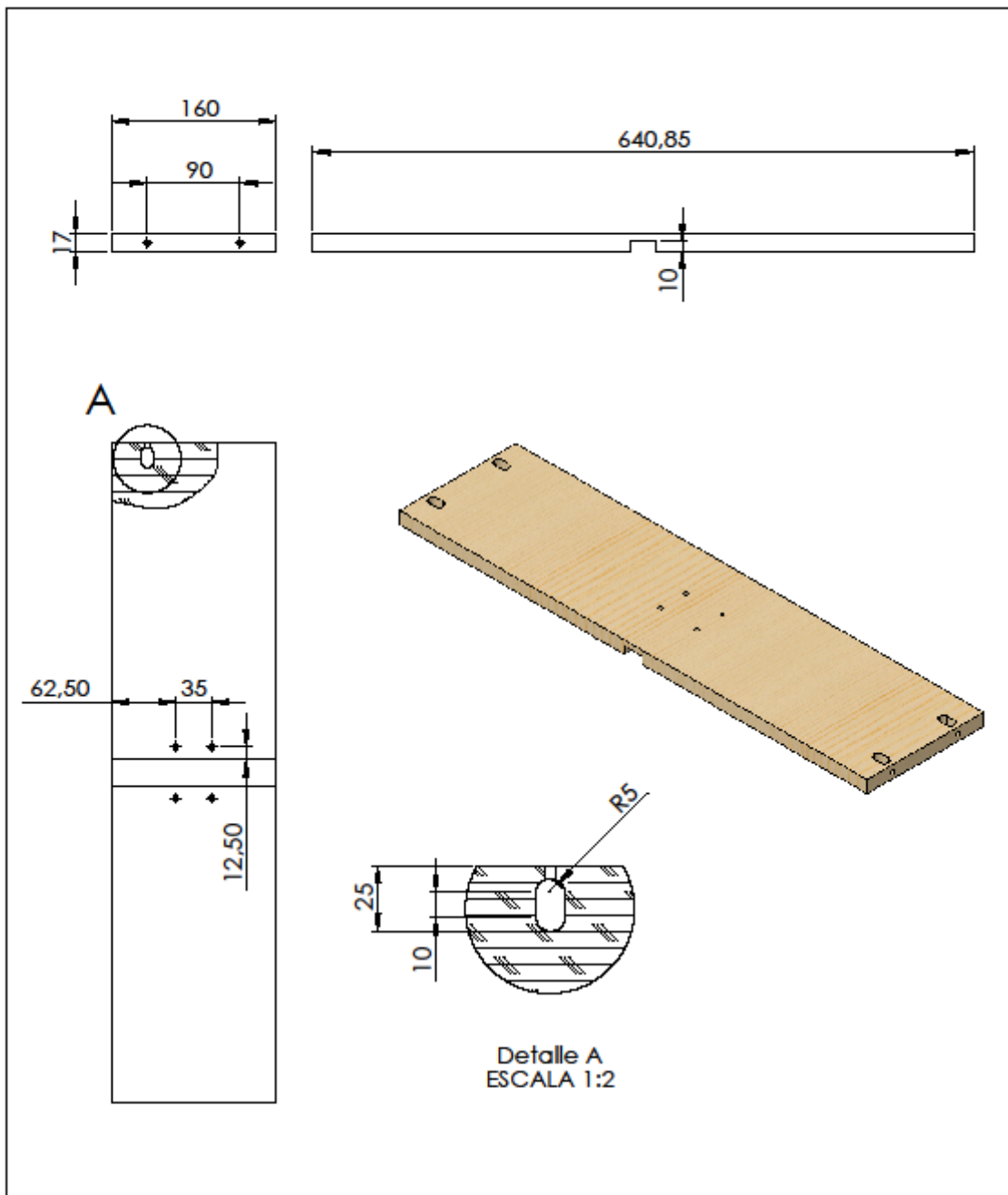
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	2:1
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Guía Rodamientos Laterales Derecha				



Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	2:1
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Guía Rodamiento Lateral Izquierda				

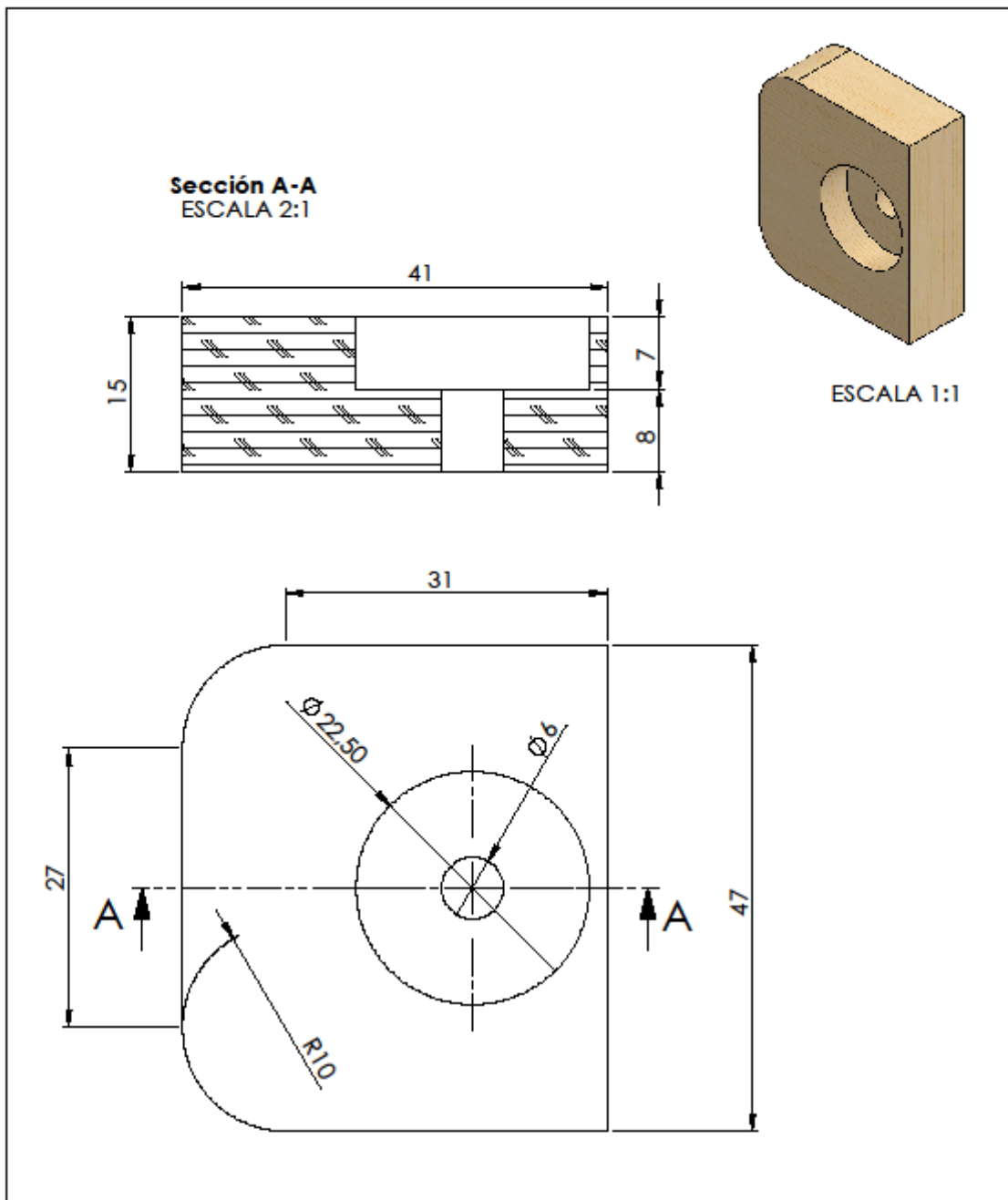


Dibujante SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	2:1
Proyecto PFI	Nombre del Plano Guía Viga Rodamientos de Mesa de Trabajo		

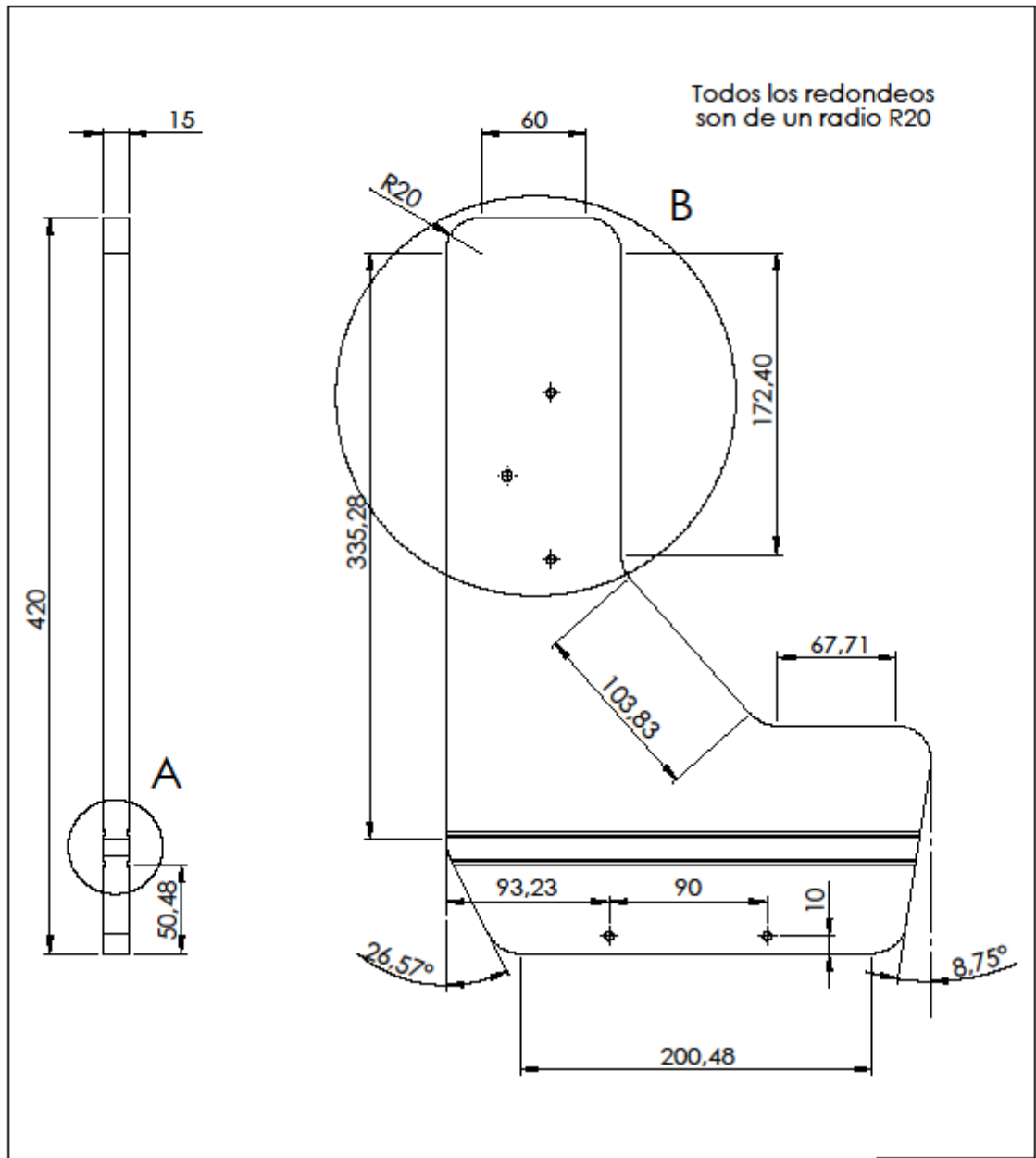


Detalle A
ESCALA 1:2

Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	2:1
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Placa Conectora Bajo Mesa				

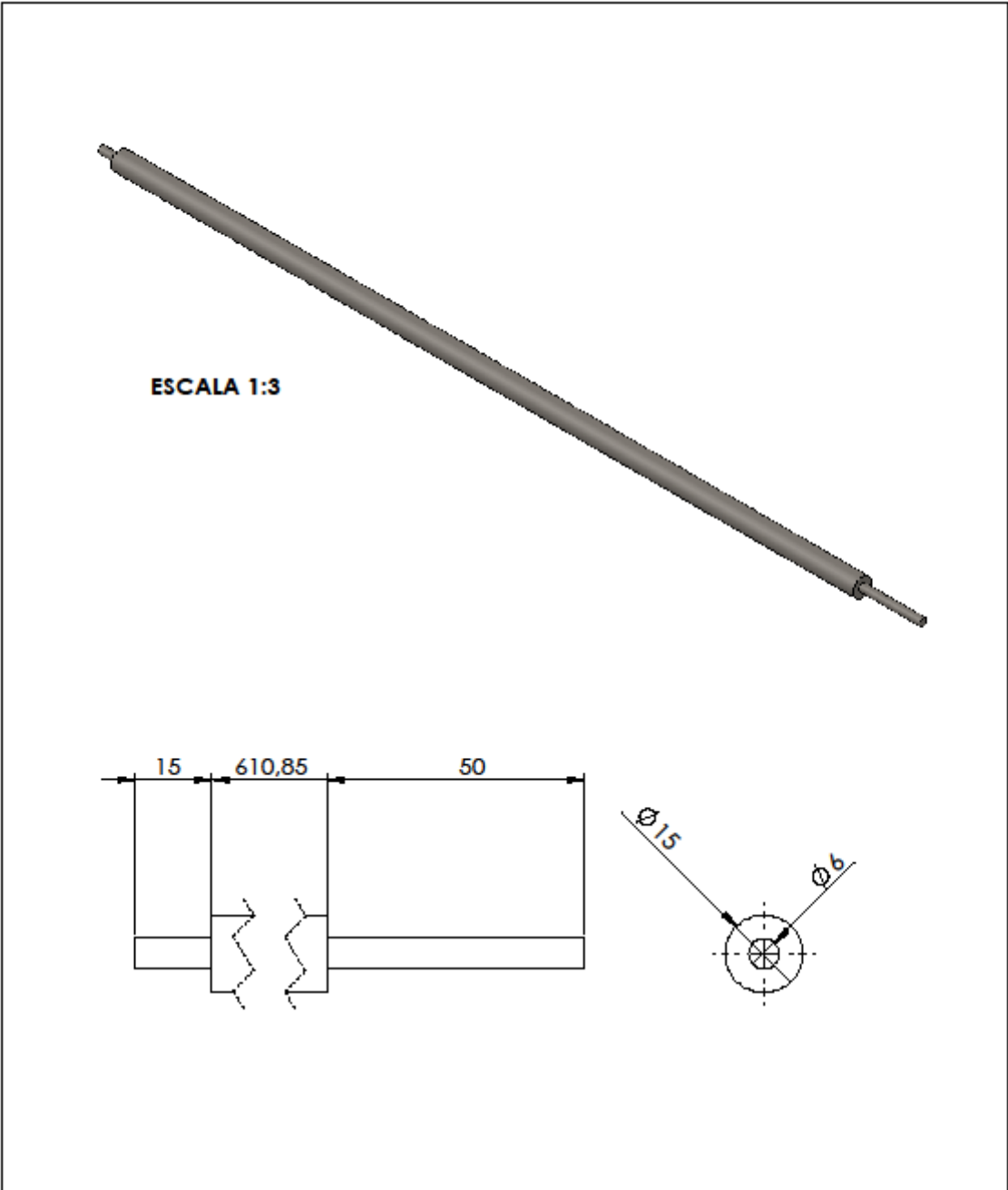


Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	2:1
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Porta Rodamientos Tornillo de Viga Conectora Transversal				

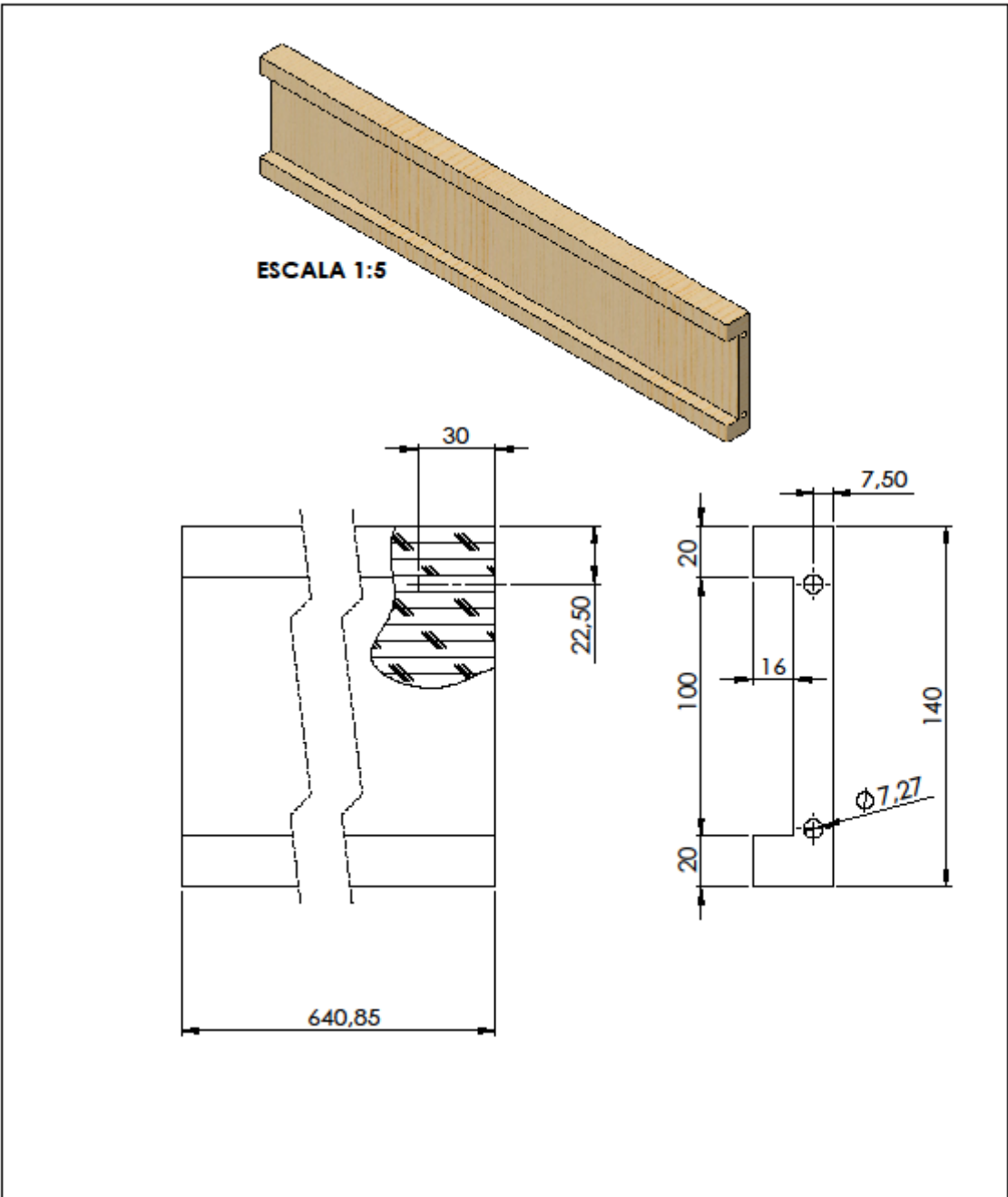


HOJA 1-2

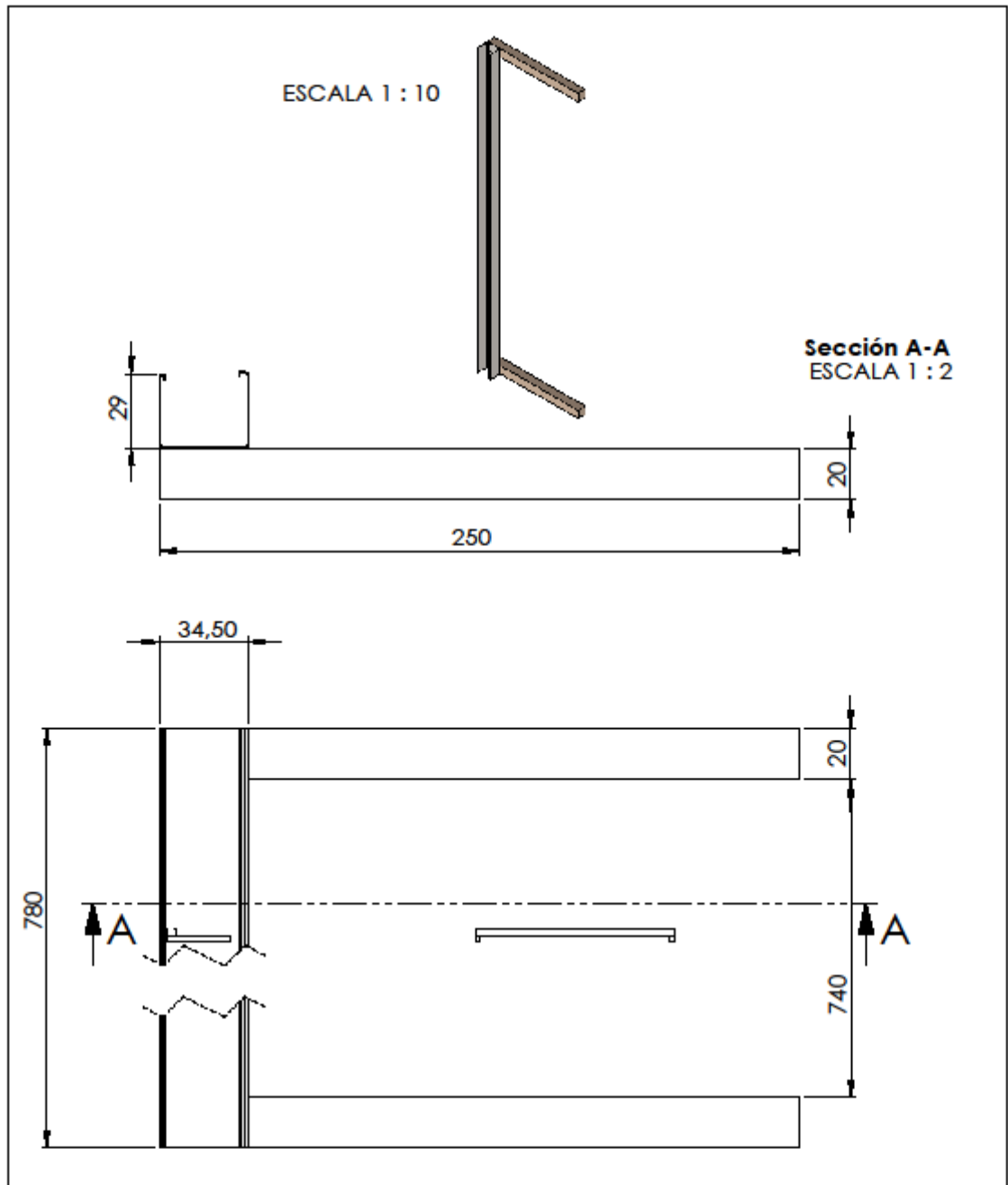
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:3
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Tapa Guia Lateral				



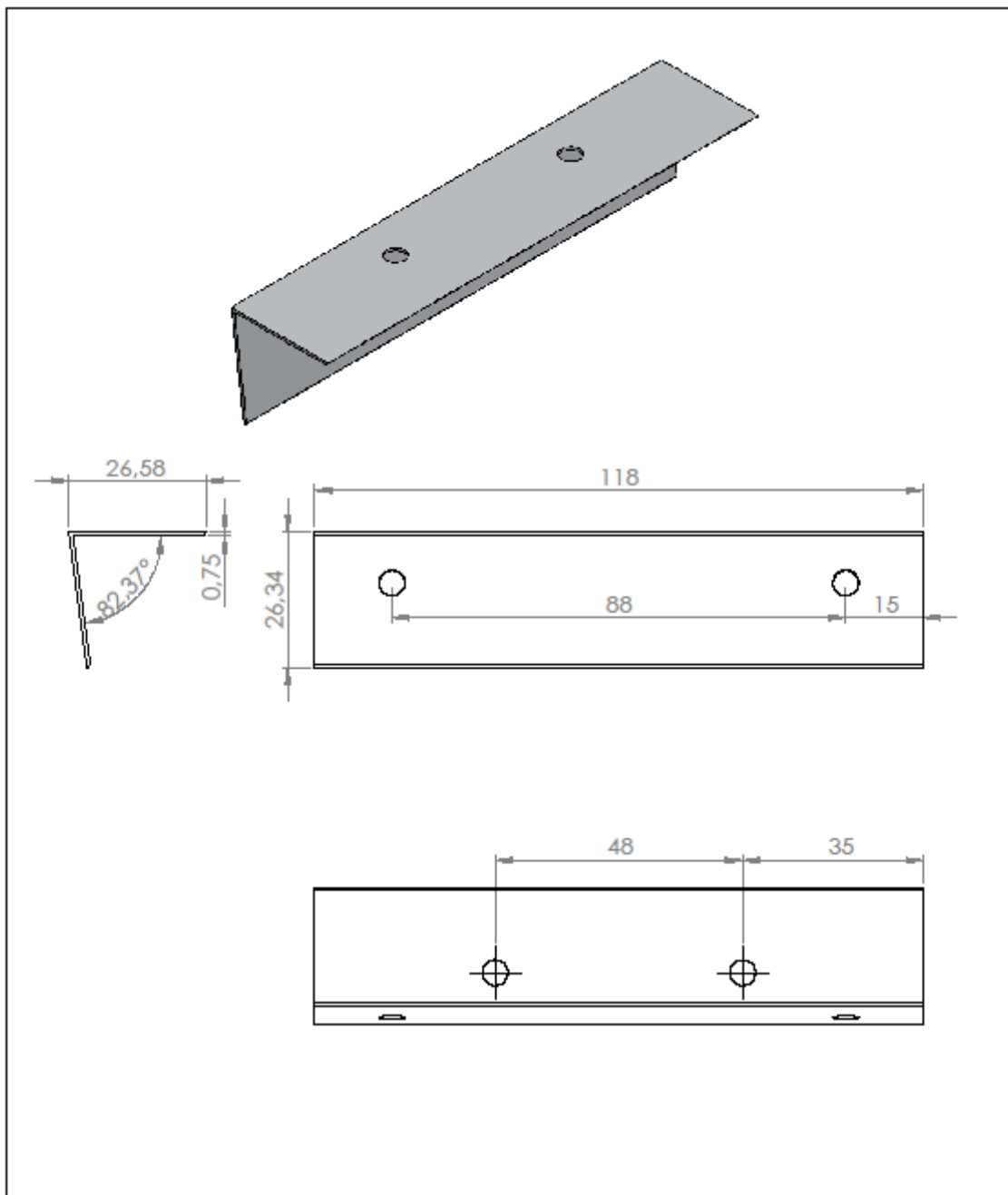
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:1
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Tornillo de Viga Transversal				



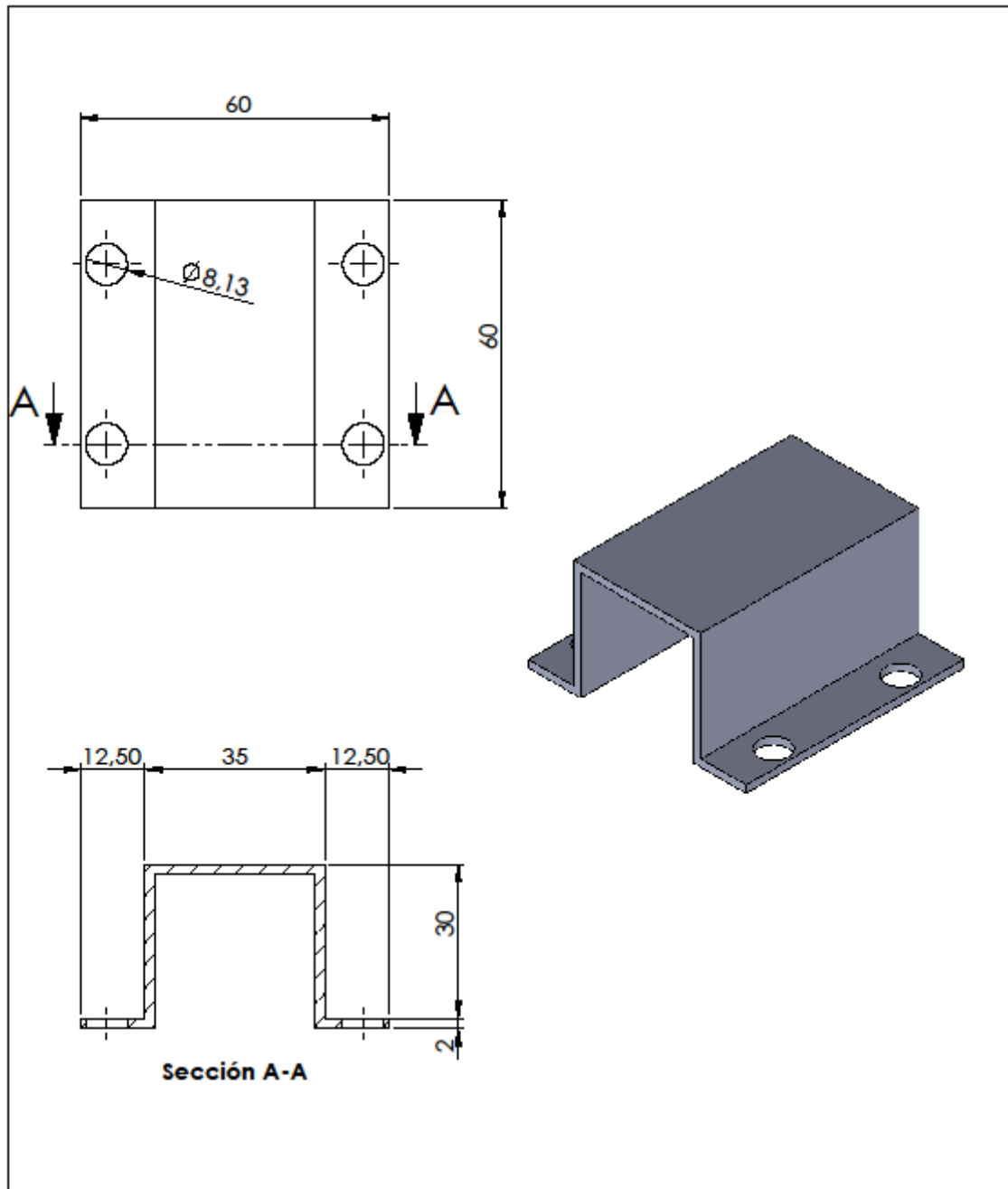
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián	ESC.	1:2
Proyecto	Nombre del Plano			
PFI	Viga Transversal de Carro Movil			



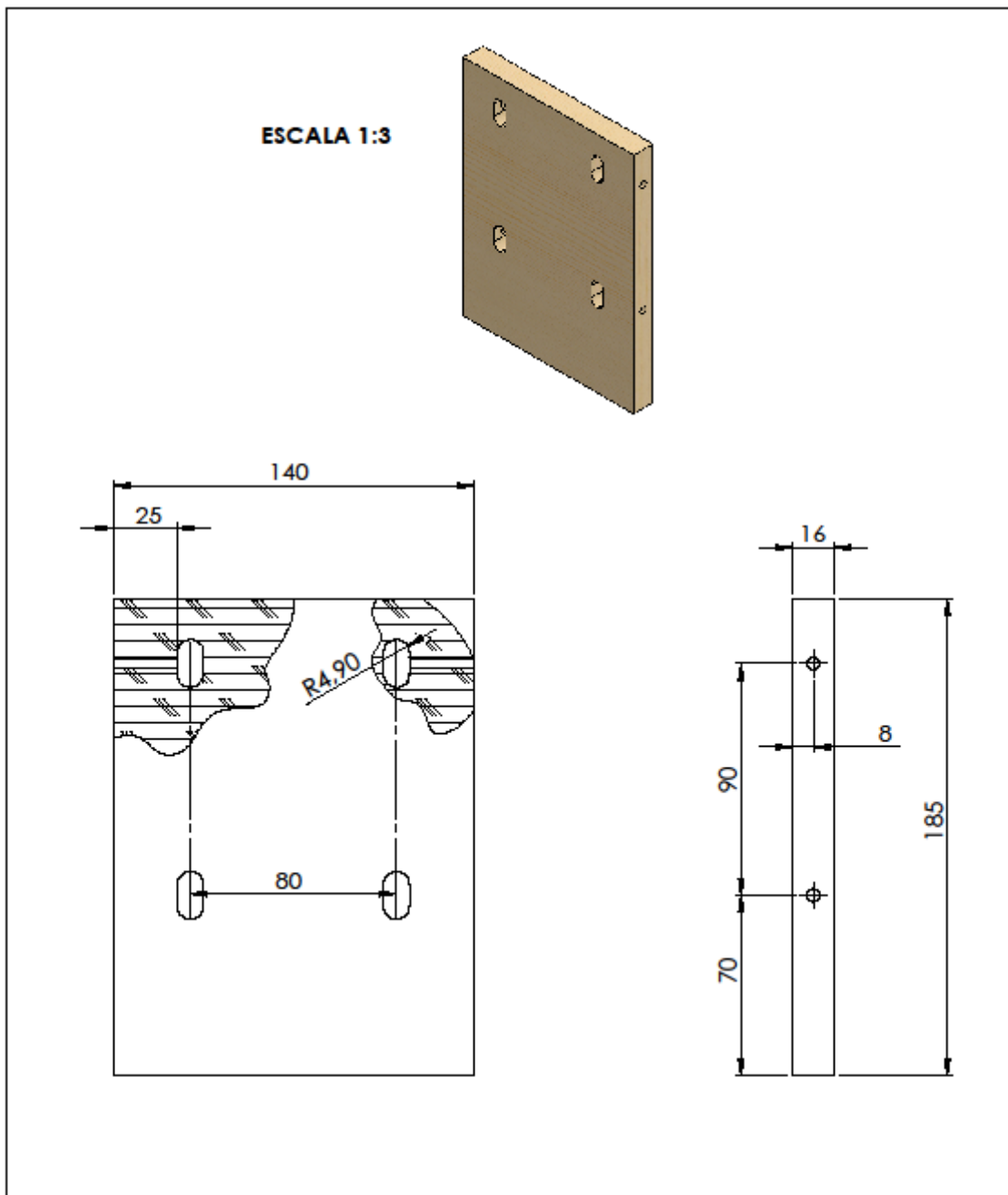
Dibujante SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:2
Proyecto PFI	Nombre del Plano Guía Portacable		



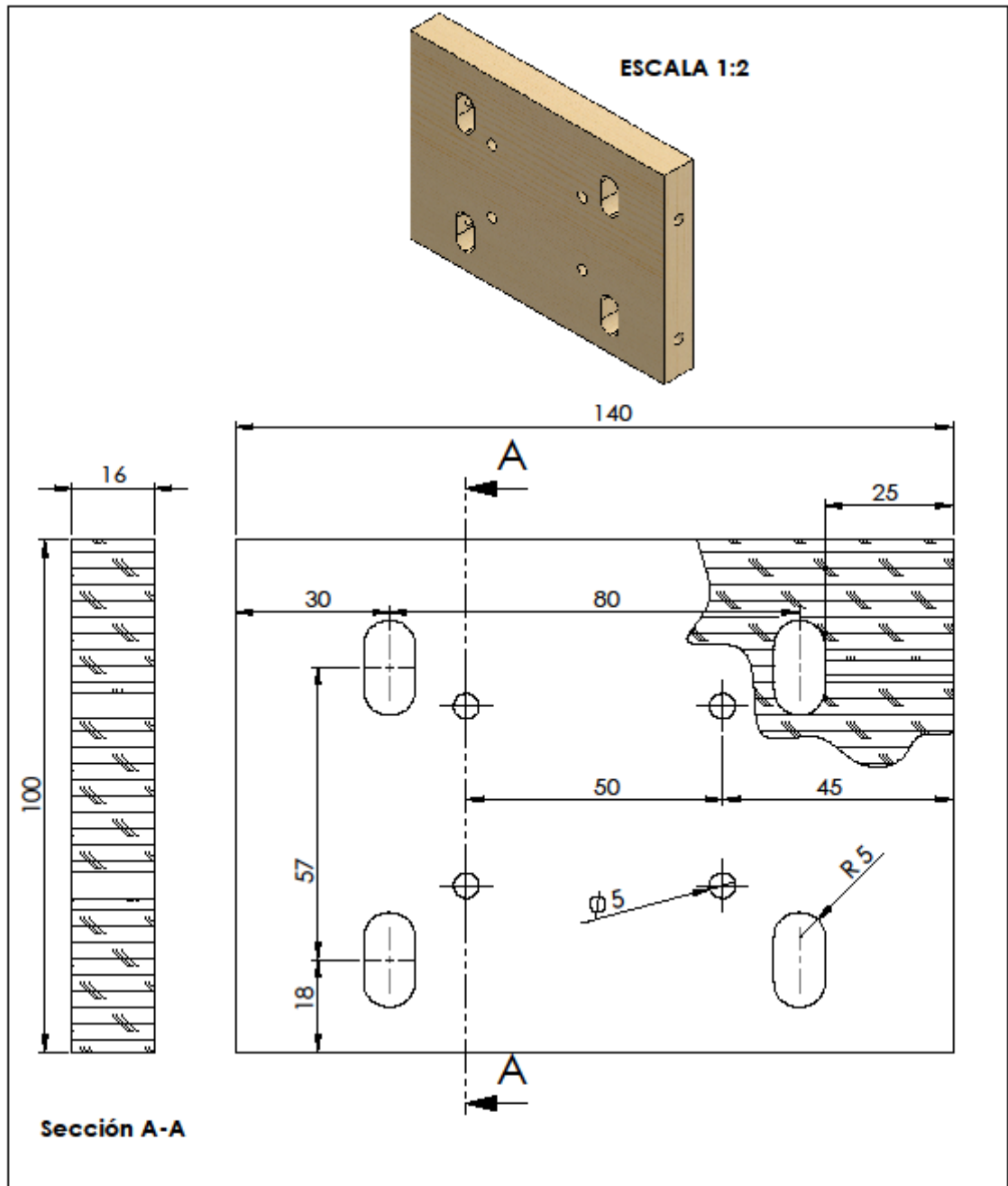
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián	ESC.	1:1
Proyecto	Nombre del Plano			
PFI	Guía Lateral de Carro porta Herramienta			



Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:1
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Planchuela porta Tuerca				

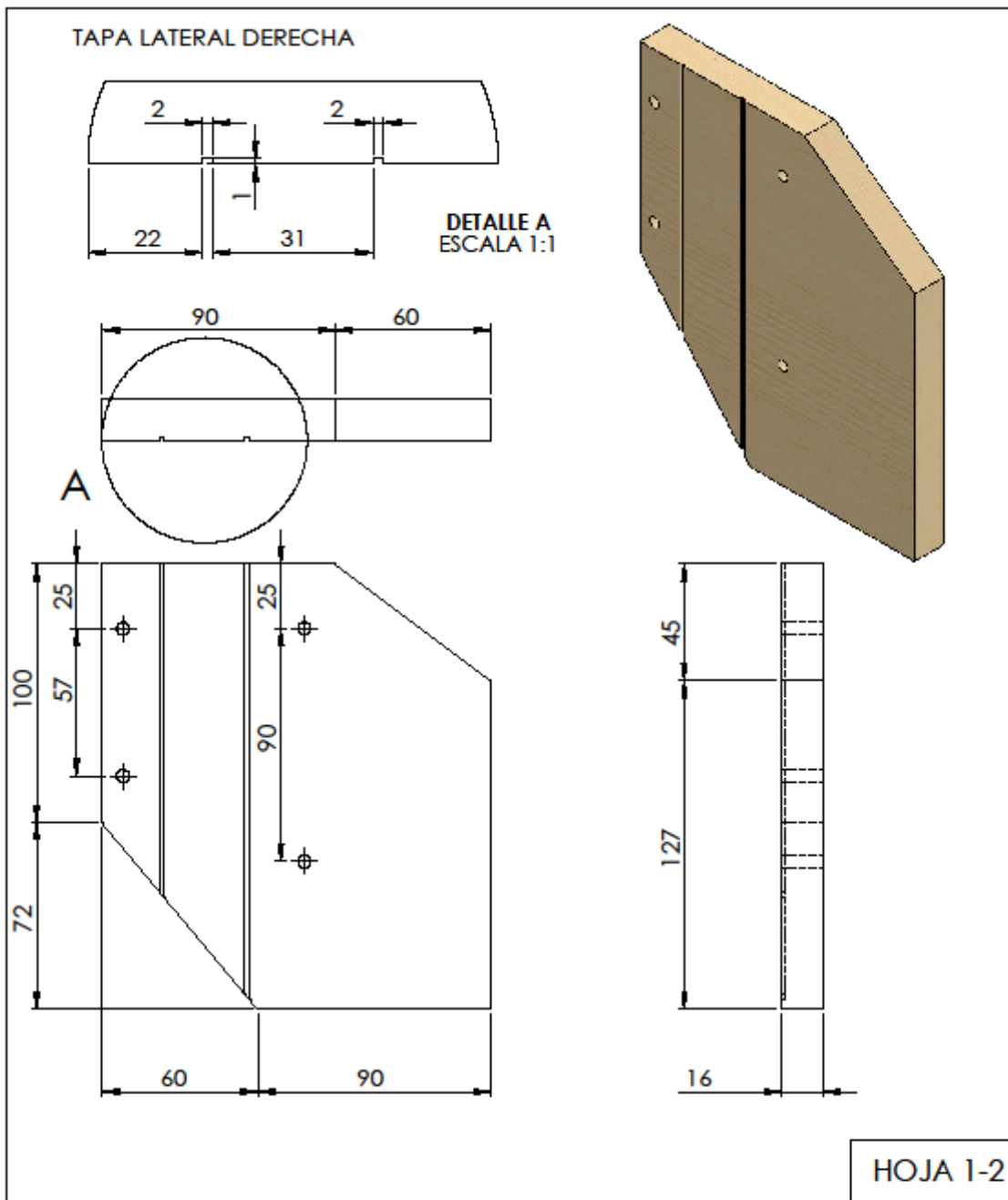


Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:2
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Tapa Frontal de Soporte de Herramienta				



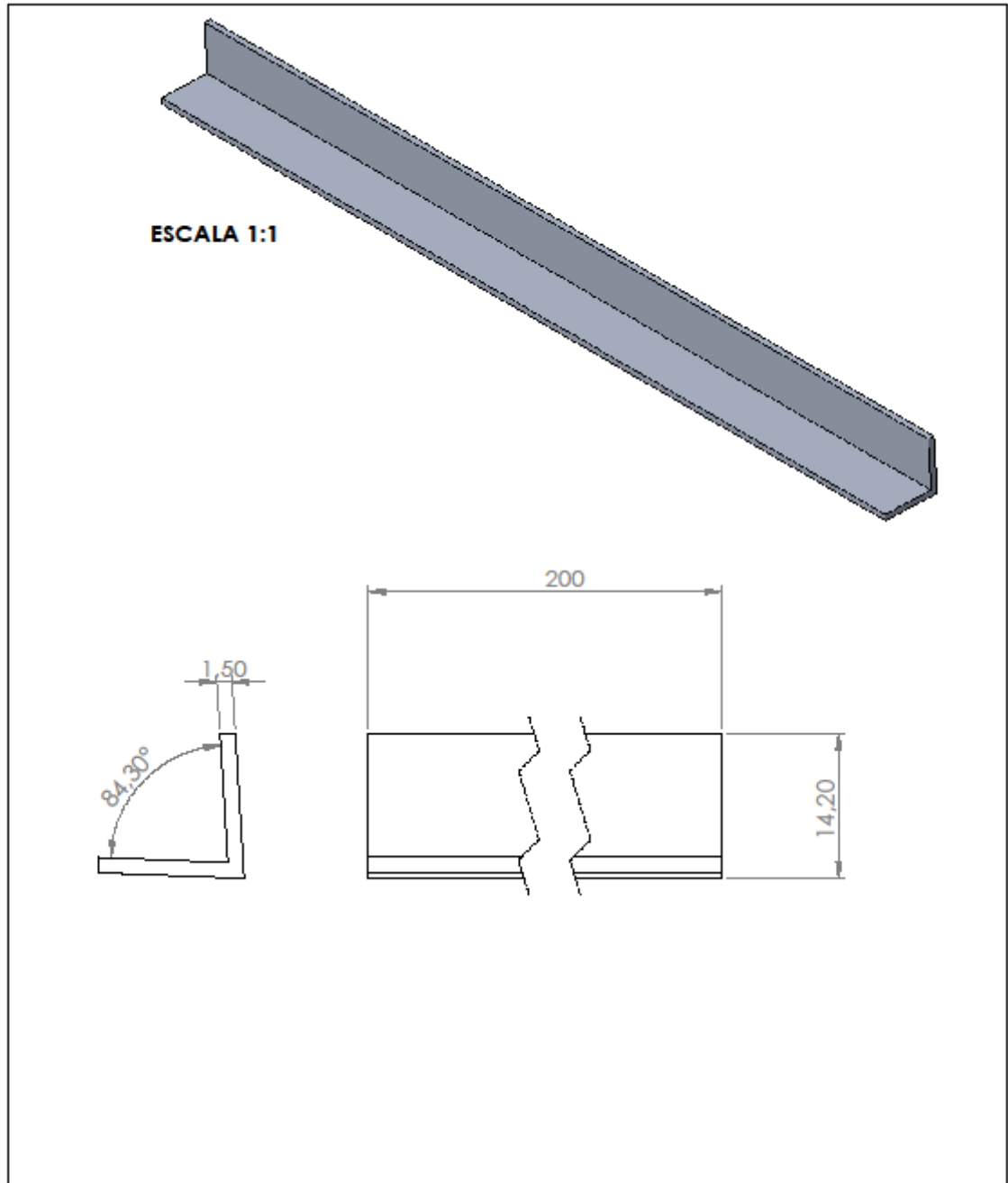
Sección A-A

Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:1
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Tapa Trasera de Carro porta Herramientas				

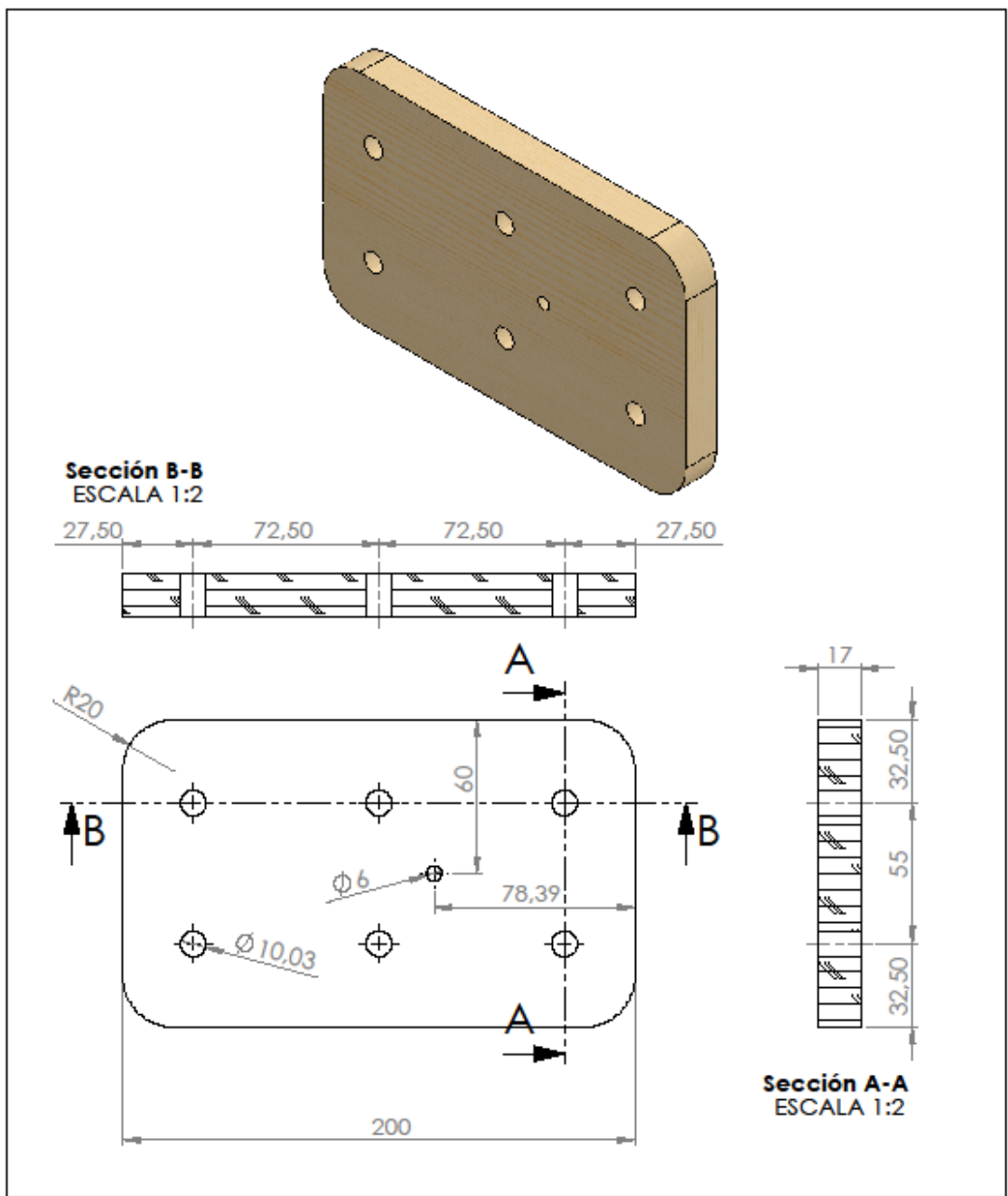


HOJA 1-2

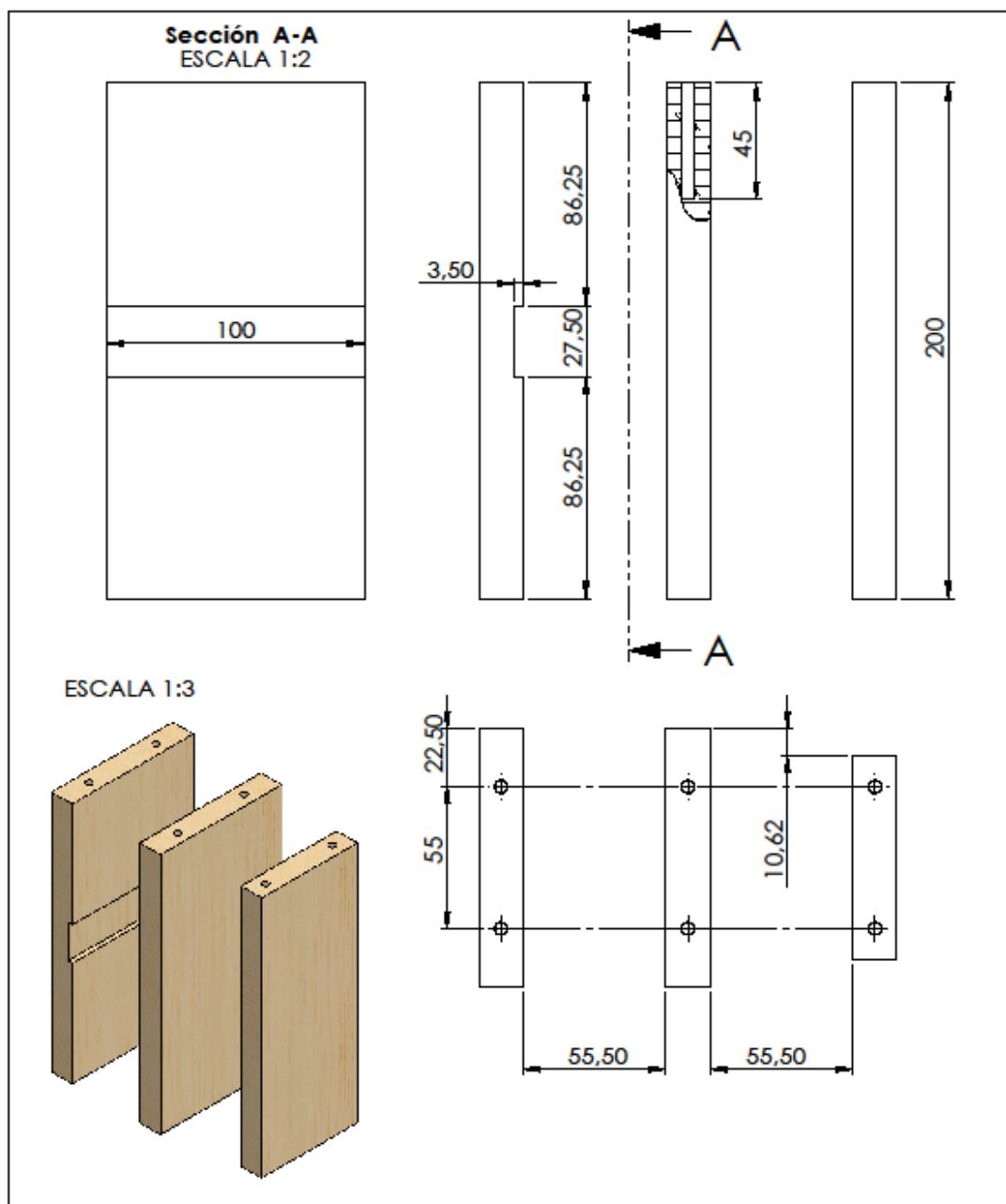
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:2
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Tapa Lateral de Carro porta Herramienta				



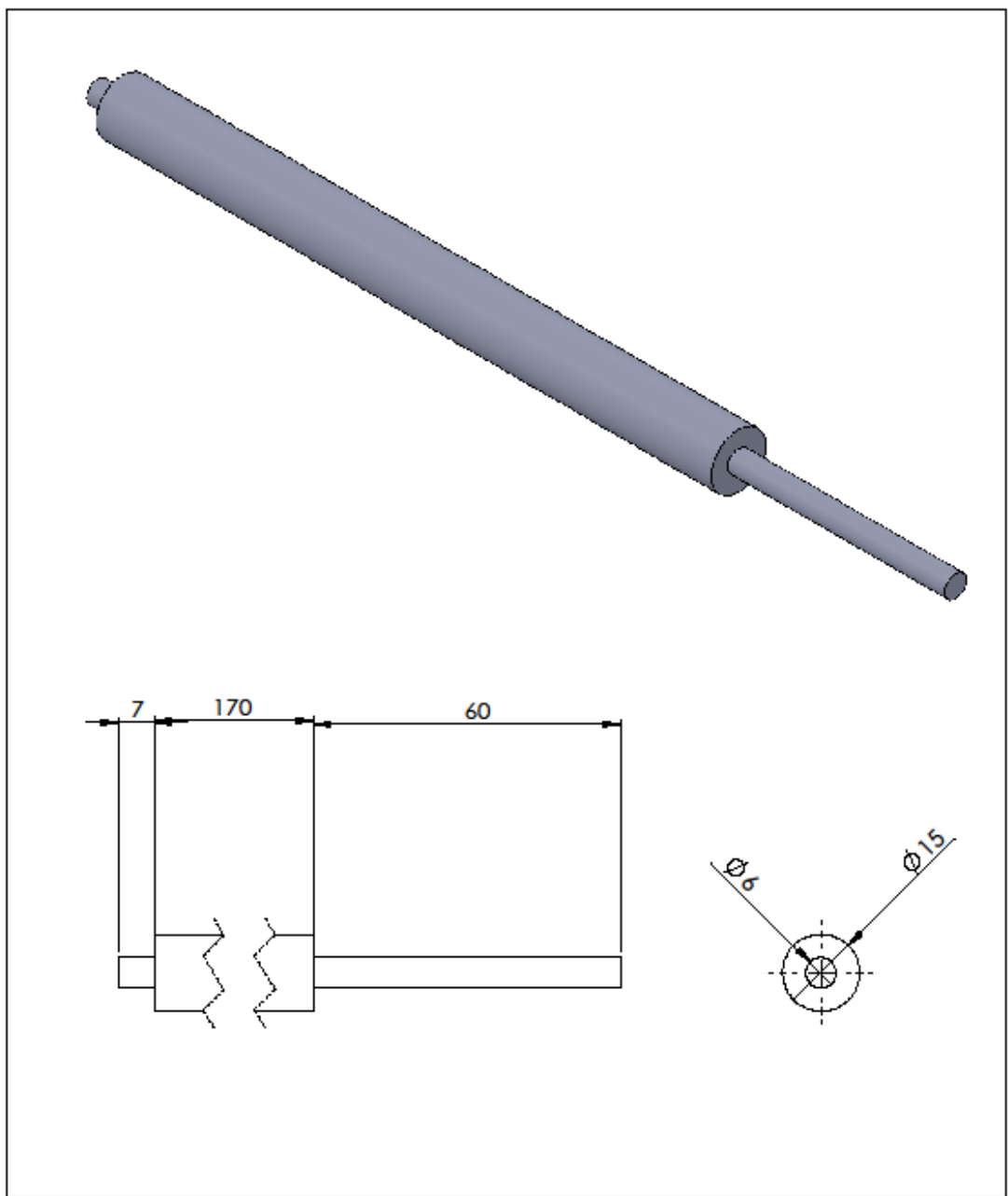
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián	ESC.	2:1
Proyecto	Nombre del Plano			
PFI	Guías Verticales para Carro porta Herramienta			



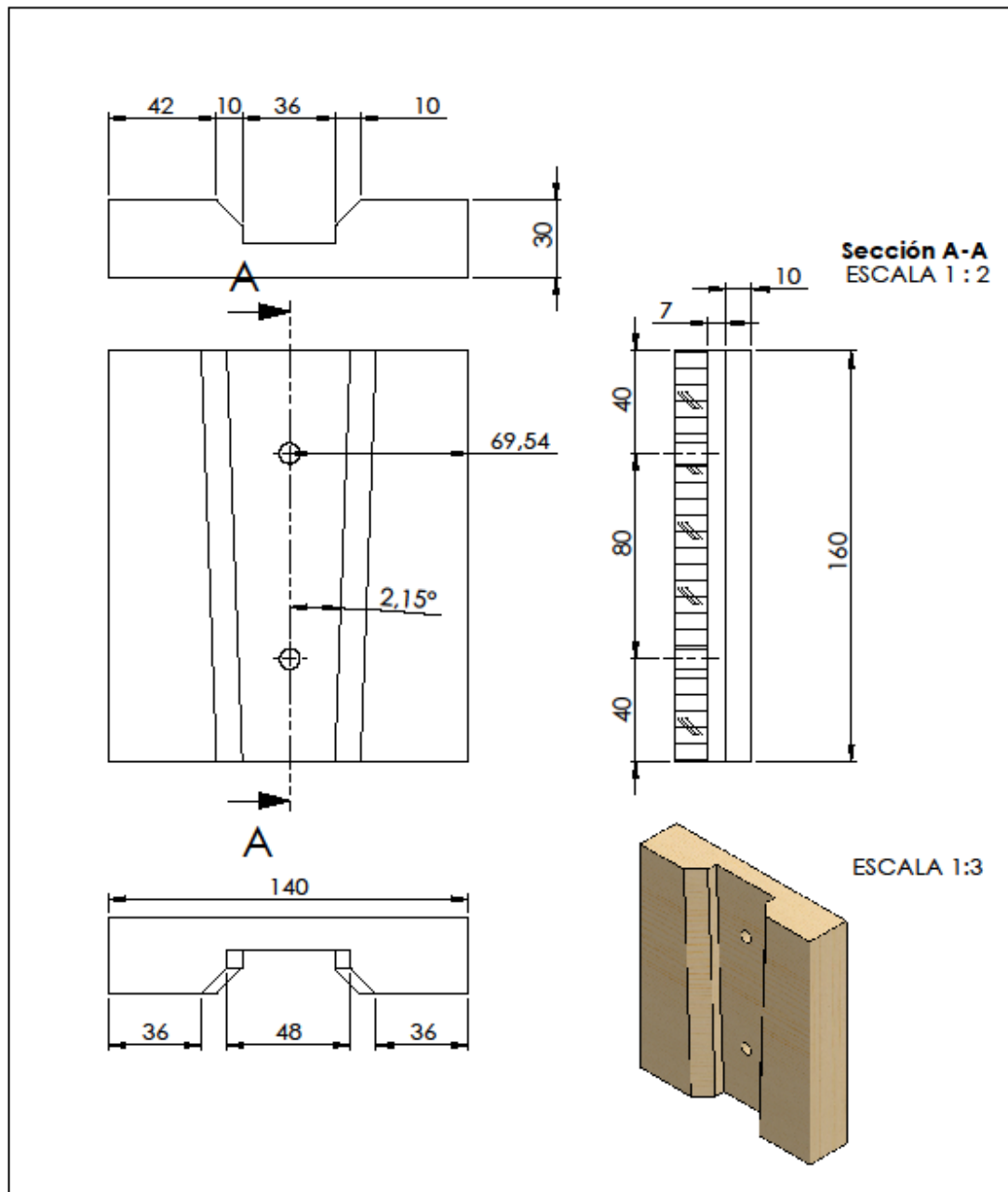
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:2
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Placas Horizontales del Carro porta Herramientas				



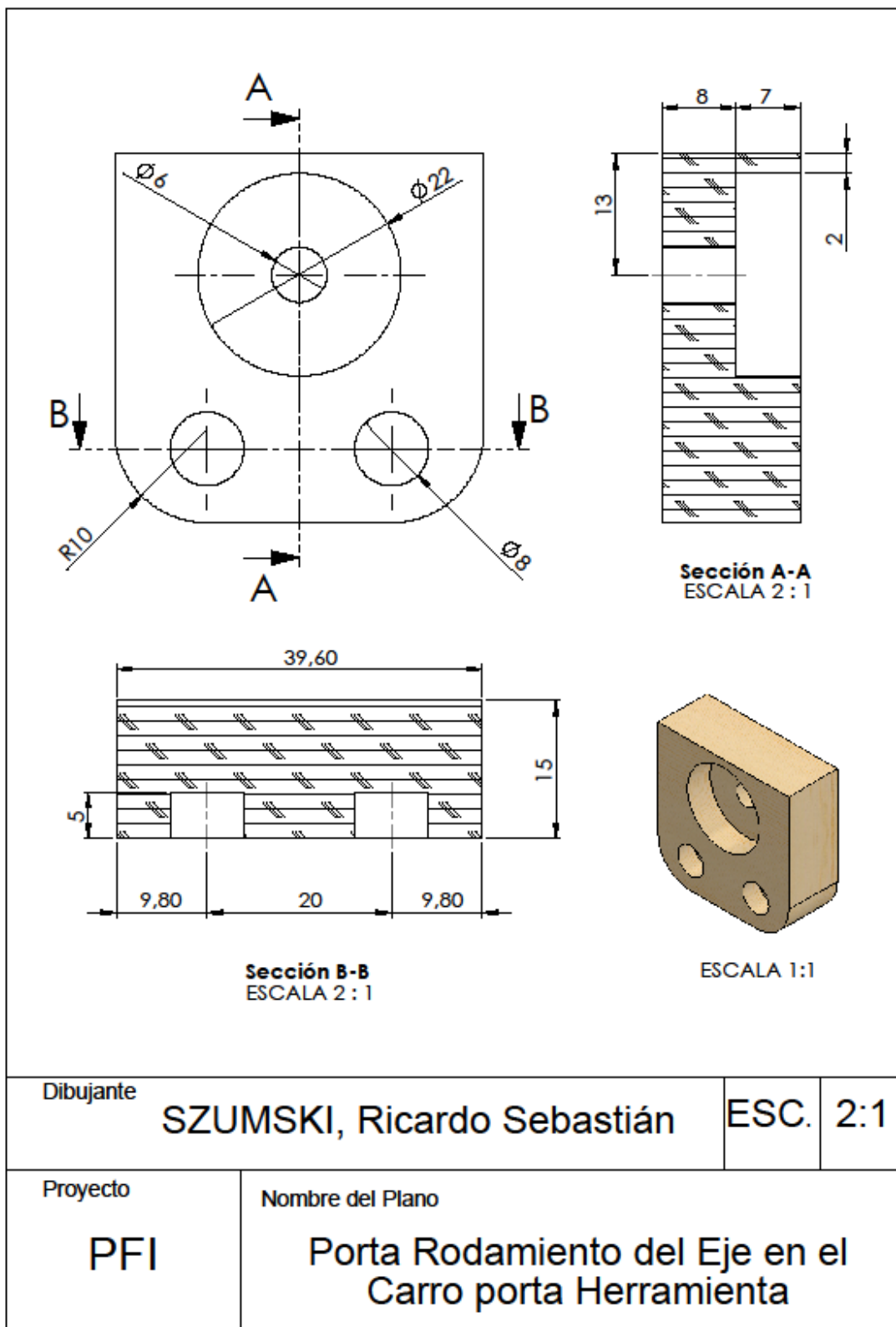
Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:2
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Placas Verticales de Carro porta Herramientas				

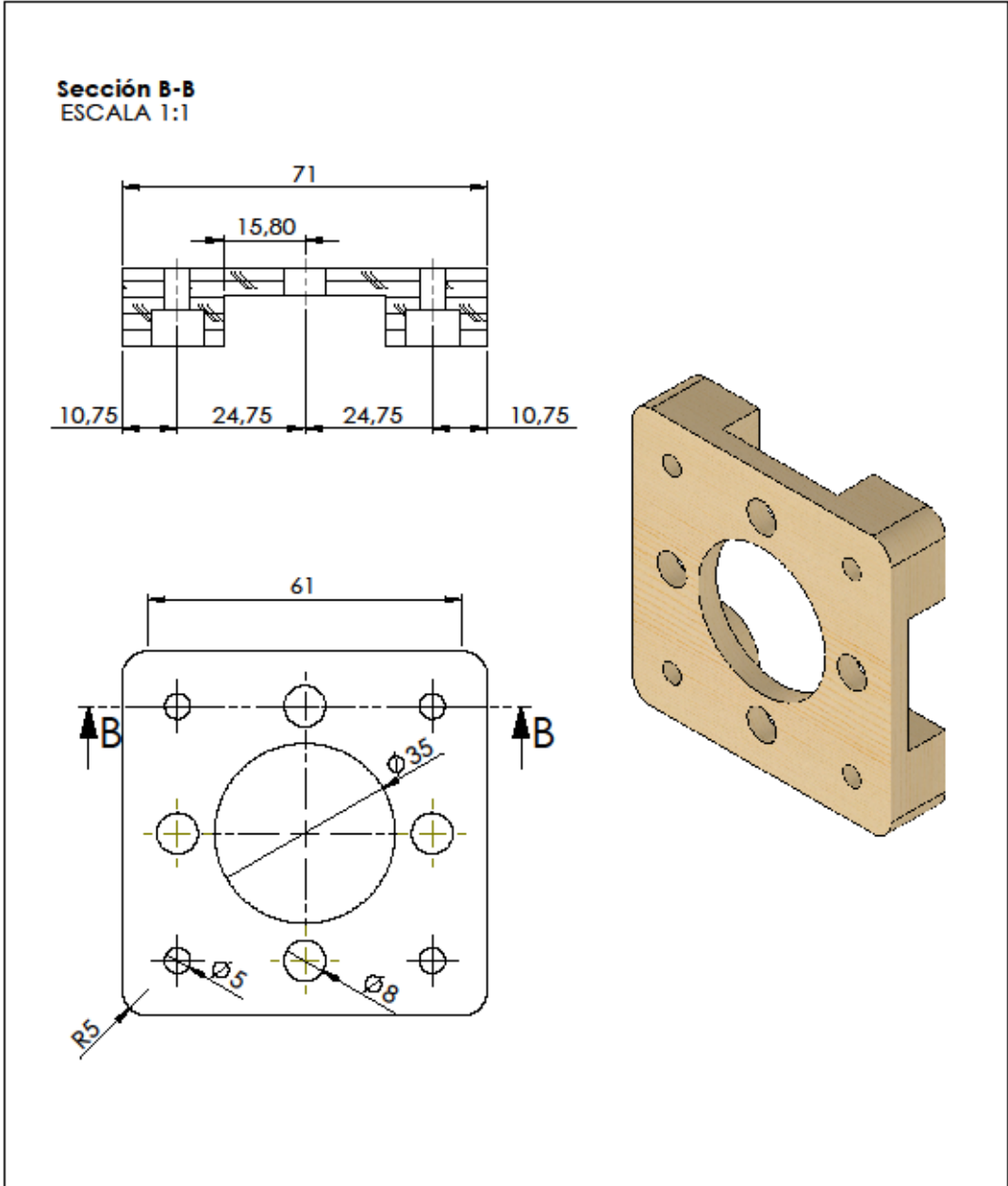


Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:1
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Varilla Roscada de Carro porta Herramientas				



Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	1:2
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Placa porta Herramienta				

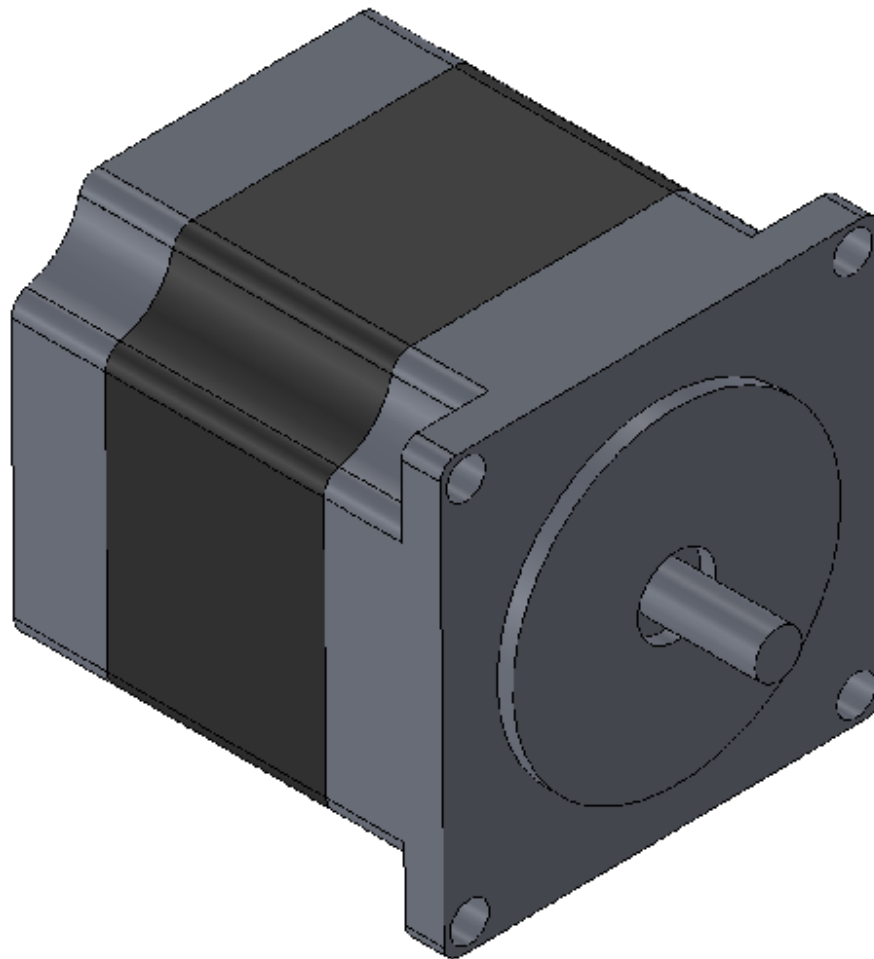




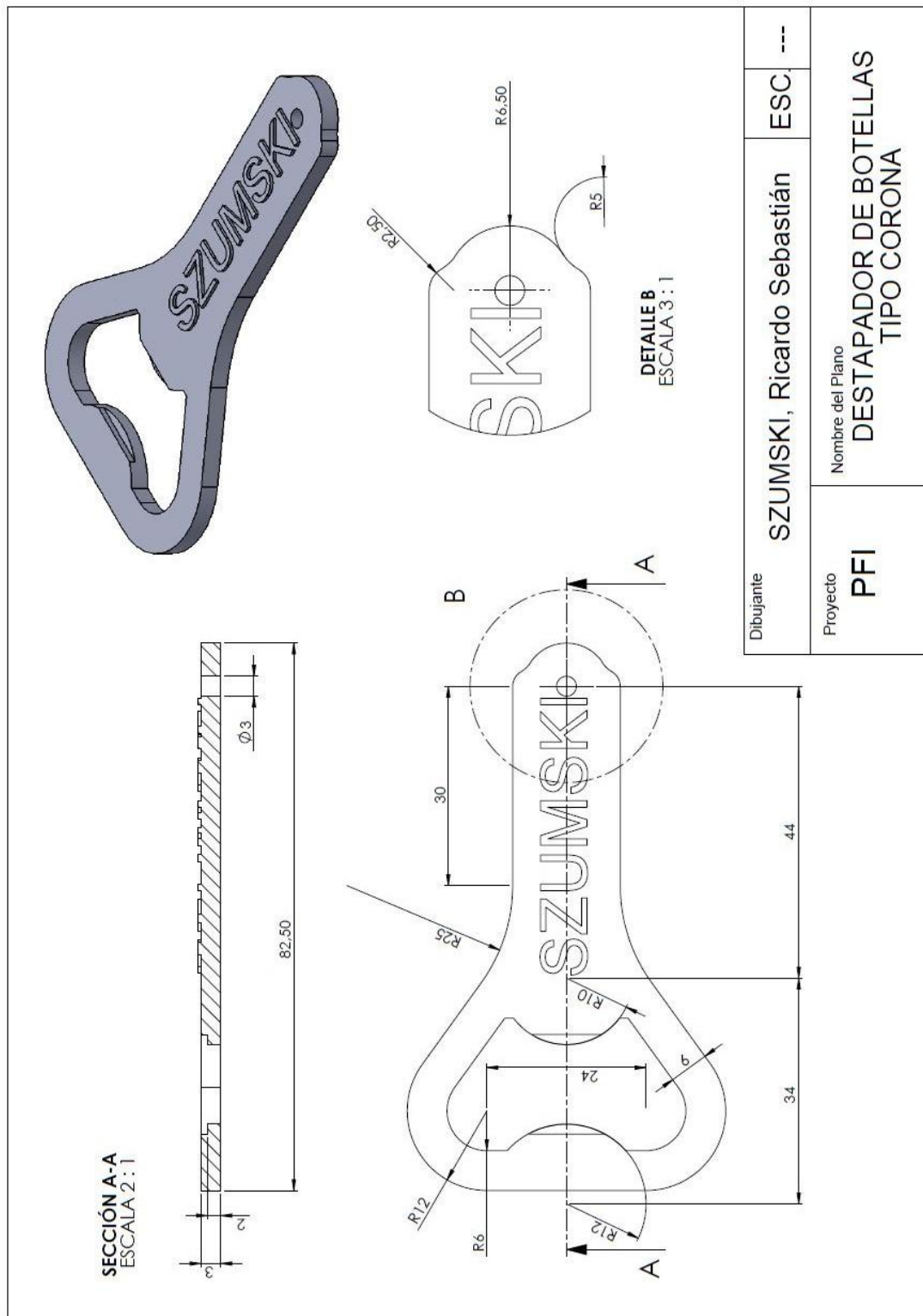
Dibujante	SZUMSKI, Ricardo Sebastián	ESC.	1:1
-----------	----------------------------	------	-----

Proyecto	Nombre del Plano
PFI	Base para soporte de Motores

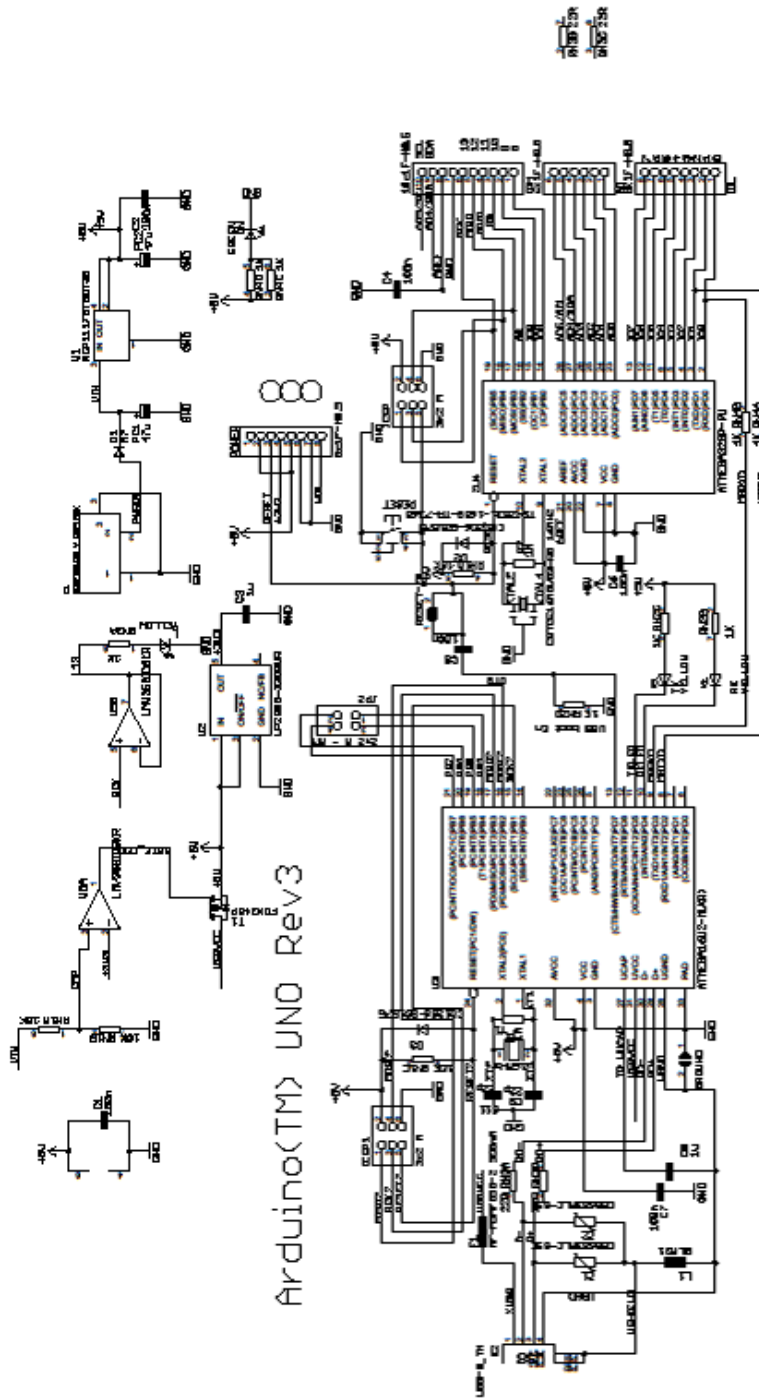
PARA LAS DIMENSIONES VER
EL DATASHEET DEL MOTOR



Dibujante		SZUMSKI, Ricardo Sebastián		ESC.	-
Proyecto	Nombre del Plano				
PFI	Motores PAP				

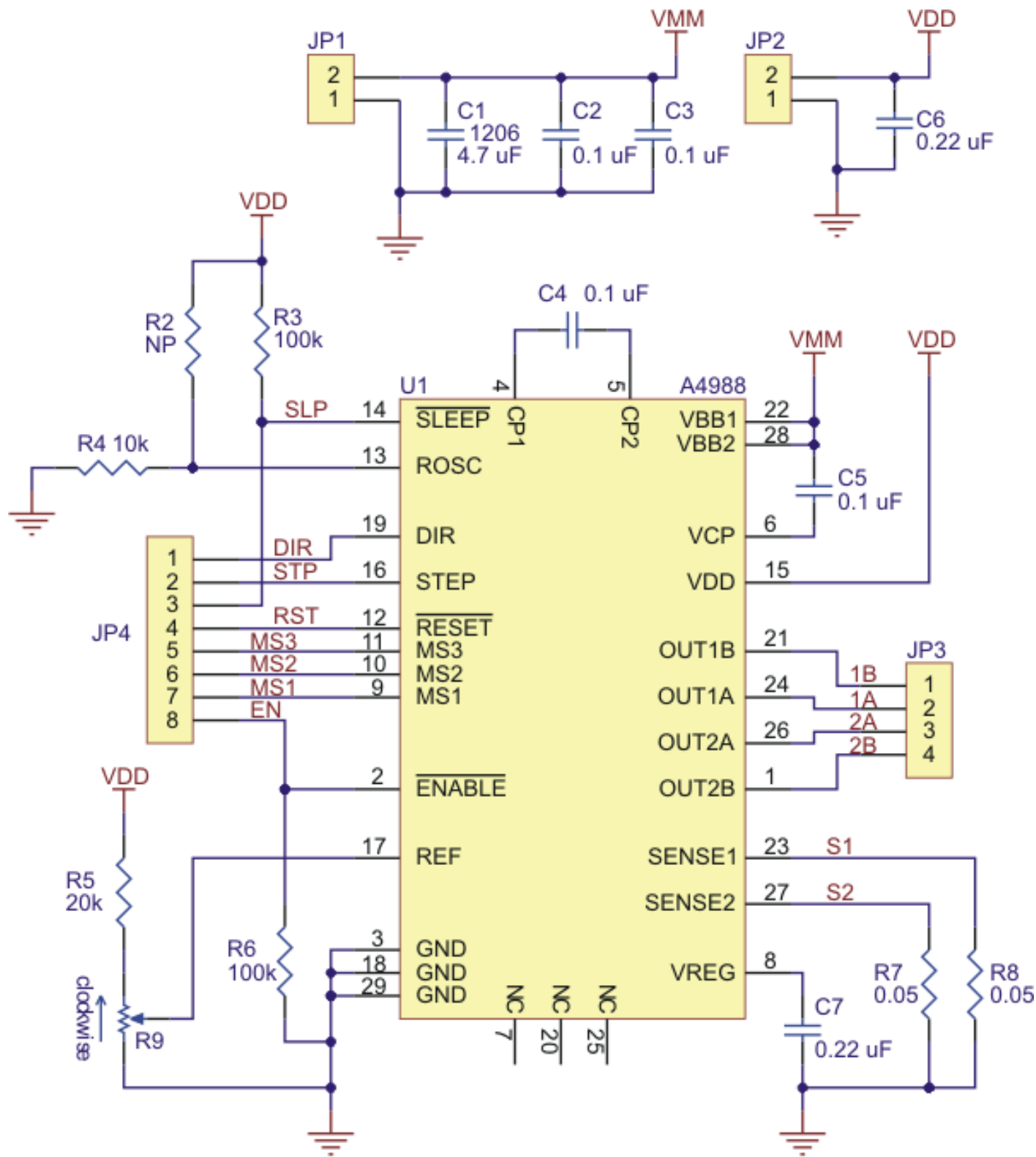


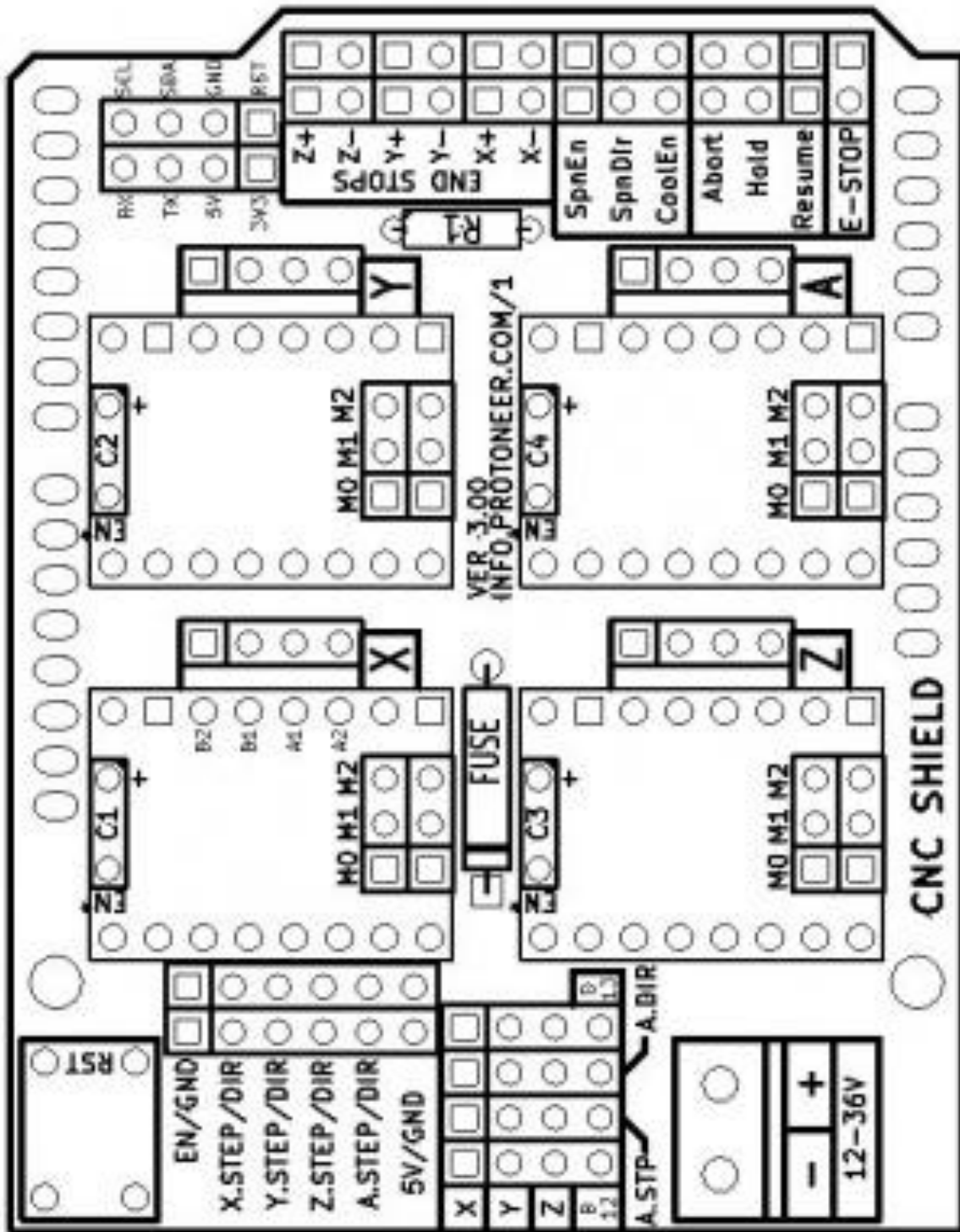
ANEXO II



Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS. ARDUINO DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. ARDUINO MAY MAKE CHANGES TO SPECIFICATIONS AND PRODUCT DESCRIPTIONS AT ANY TIME, WITHOUT NOTICE. THE CUSTOMER MUST NOT RELY ON THE ABSENCE OF CHARACTERISTICS OF ANY FEATURES OR INSTRUCTIONS MARKED "RESERVED" OR "UNDEFINED." ARDUINO RESERVES THESE FOR FUTURE DEFINITION AND SHALL HAVE NO RESPONSIBILITY WHATSOEVER FOR CONFLICTS OR INCOMPATIBILITIES ARISING FROM FUTURE CHANGES TO THEM. THE PRODUCT INFORMATION ON THE WEB SITE OR MATERIALS IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. DO NOT FINALIZE A DESIGN WITH THIS INFORMATION. ARDUINO IS A REGISTERED TRADEMARK.

Use of the ARDUINO name must be compliant with <http://www.arduino.cc/en/Main/Policy>





Arduino CNC SHIELD

FL57STH

Da: 57.00



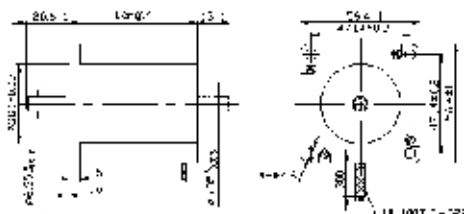
1.8° Size 57mm High Torque Hybrid Stepping Motor

Item	Specifications
Step Angle	1.8°
Step Angle Accuracy	± 9% (full step, no load)
Resistance Accuracy	± 10%
Inductance Accuracy	± 20%
Temperature Rise	80° C Max.(rated current, 2 phase on)
Ambient Temperature	-20° C to +50° C
Insulation Resistance	100M ΩMin., 500VDC
Dielectric Strength	500VAC for one minute
Shaft Radial Play	0.02M ax. (450 g-load)
Shaft Axial Play	0.08M ax. (450 g-load)
Max. radial force	75N (20mm from the flange)
Max. axial force	15N
Rotation	CW(See from Front Flange)

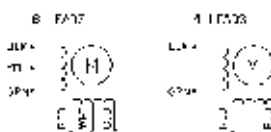
● Size 57mm High Torque Hybrid Stepping Motor Specifications

Model No.		Rated Voltage	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Weight	Detent Torque	Length
Single Shaft	Double Shaft	V	A	Ω	mH	kg-cm		g-cm ²	kg	kg-cm	mm
FL57ST H41-1006A	FL57ST H41-1006B	5.7	1	5.7	5.4	3.9	6	120	0.45	0.21	41
FL57ST H41-2006A	FL57ST H41-2006B	2.8	2	1.4	1.4	3.9	6				
FL57ST H41-3006A	FL57ST H41-3006B	1.9	3	0.63	0.6	3.9	6				
FL57ST H41-2804A	FL57ST H41-2804B	2	2.8	0.7	1.4	5.5	4				
FL57ST H51-1006A	FL57ST H51-1006B	6.6	1	6.6	8.2	7.2	6	275	0.65	0.36	51
FL57ST H51-2006A	FL57ST H51-2006B	3.3	2	1.65	2.2	7.2	6				
FL57ST H51-3006A	FL57ST H51-3006B	2.2	3	0.74	0.9	7.2	6				
FL57ST H51-2804A	FL57ST H51-2804B	2.3	2.8	0.83	2.2	10.1	4				
FL57ST H56-1006A	FL57ST H56-1006B	7.4	1	7.4	10	9.0	6	300	0.7	0.4	56
FL57ST H56-2006A	FL57ST H56-2006B	3.6	2	1.8	2.5	9.0	6				
FL57ST H56-3006A	FL57ST H56-3006B	2.3	3	0.75	1.1	9.0	6				
FL57ST H56-2804A	FL57ST H56-2804B	2.5	2.8	0.9	2.5	12.6	4				
FL57ST H76-1006A	FL57ST H76-1006B	8.6	1	8.6	14	13.5	6	480	1	0.68	76
FL57ST H76-2006A	FL57ST H76-2006B	4.5	2	2.25	3.6	13.5	6				
FL57ST H76-3006A	FL57ST H76-3006B	3	3	1	1.6	13.5	6				
FL57ST H76-2804A	FL57ST H76-2804B	3.2	2.8	1.13	3.6	18.9	4				

Dimension



Wiring Diagram



ANEXO III

Funciones Preparatorias o Códigos G

La función preparatoria también llamada función G o código G y las operaciones que realizan se muestran aquí:

- **G00** - Desplazamiento Rápido
- **G01** - Movimiento lineal de la herramienta a una tasa de alimentación especificada.
- **G02** - Movimiento Circular de la herramienta en el sentido de los punteros del reloj.
- **G03** - Movimiento Circular de la herramienta en el sentido contrario de los punteros del reloj.
- **G04** - Un retardo o detención temporal en el movimiento de la herramienta.
- **G05** - Una detención permanente del movimiento de la herramienta. Es cancelado por el operador de la máquina.
- **G08** - Aceleración suave hasta la tasa de alimentación especificada mientras continúan las otras funciones de la máquina (antes de que la herramienta entre en contacto con la pieza de trabajo).
- **G09** - La detención exacta del movimiento de una herramienta antes de que la máquina vaya a la siguiente (no modal).
- **G17** - Elección del plano X-Y (sobre centros de maquinado).
- **G18** - Elección del plano X-Z (sobre centros de maquinado).
- **G19** - Elección del plano Y-Z (sobre centros de maquinado).
- **G20** - Datos de entrada en pulgadas.
- **G21** - Datos de entrada en milímetros.
- **G22** - Activación de los límites de viaje almacenados, usados para establecer una frontera segura.
- **G23** - Desactivación de los límites de viaje almacenados.

- **G27** - Regreso a la posición de inicio de la máquina mediante un punto intermedio programado (un punto en algún lugar entre la ubicación actual de la herramienta y la posición de inicio de la máquina.) El control de la máquina calculará automáticamente la distancia a la posición de inicio una vez que la herramienta ha alcanzado esta posición intermedia.
- **G29** - Regreso a la pieza de trabajo o fijación desde la posición de inicio de la máquina a través del punto intermedio que fue programado en el bloque que contiene el código G28. Cualquier punto nuevo o antiguo sobre la pieza de trabajo o fijación puede ser programado, pero la herramienta deberá ir primero al punto intermedio antes de llegar allí.
- **G32, G33** - Cadena de corte con una punta constante. Si se hace una cadena de un punto con múltiples pasadas, este comando sincronizará la partida de cada pasada en exactamente el mismo punto cada vez, para evitar la posibilidad de hacer una cadena doble en la pieza de trabajo.
- **G34** - Cadena de corte con una punta creciente.
- **G35** - Cadena de corte con una punta decreciente.
- **G40** - Cancelación de cualquier compensación de radio de la herramienta previamente programado (mejor conocido como compensación del radio del cortador, o CRC).
- **G41** - Aplicación de la compensación del radio del cortador a la izquierda de la pieza de trabajo con respecto a la dirección de viaje de la herramienta. Esta característica permite que la superficie terminada de la pieza de trabajo sea el camino del cortador programado, y la herramienta será automáticamente desplazada a la izquierda de este camino por una distancia igual a su radio. Sobre un centro de maquinación, se usa G41 para un fresado con inclinación.
- **G42** - Aplicación de la compensación del radio del cortador a la derecha de la pieza de trabajo con respecto a la dirección de viaje de la herramienta. Sobre un centro de maquinación, se usa G42 en el fresado convencional.
- **G43** - Activación de la compensación de la longitud de la herramienta en la misma dirección del valor de desplazamiento (como está almacenado en la memoria del

control.) Si la dimensión almacenada en el registro del desplazamiento tiene un valor negativo, la compensación de la longitud de la herramienta será aplicada en la dirección negativa del eje. Si la dimensión almacenada en el registro del desplazamiento tiene un valor positivo, la compensación de la longitud de la herramienta será aplicada en la dirección positiva del eje.

- **G44** - Activación de la compensación de la longitud de la herramienta en la dirección opuesta del valor de desplazamiento (como está almacenado en la memoria del control.) Si la dimensión almacenada en el registro del desplazamiento tiene un valor negativo, la compensación de la longitud de la herramienta será aplicada en la dirección positiva del eje. Si la dimensión almacenada en el registro del desplazamiento tiene un valor positivo, la compensación de la longitud de la herramienta será aplicada en la dirección negativa del eje.
- **G50** - Establecimiento del Punto Cero (cero absoluto) en referencia a la posición actual de la herramienta. Este comando es comúnmente usado en algunas máquinas CNC torneadoras en lugar del código G92.
- **G53** - Indicación de que todos los datos de posicionamiento están referidos a la posición de inicio de la máquina. Esto provoca que el control temporalmente ignore la posición de cero flotante (usado en programación absoluta.)
- **G54, G55, G56, G57** - Indicación de que todos los datos de posición están referidos a la posición del cero flotante sobre una fijación particular en una operación de maquinación. Por ejemplo, G54 debería provocar que todas las dimensiones se refieran al cero flotante sobre la primera fijación, G55 debería causar que todas las dimensiones se refieran al cero flotante sobre la segunda fijación, y así (usado en programación absoluta).
- **G59** - Reposicionamiento del cero flotante. La nueva ubicación es programada incrementalmente a partir de la actual posición de cero.
- **G60** - Una detención exacta del movimiento de una herramienta antes de que la máquina pase al siguiente (Modal).

- **G63** - Cancelación de la tasa de alimentación preestablecida. Usado en operaciones de punteado e hilado (en programación de pulgadas-por-minuto) en donde la tasa de alimentación programada debe mantenerse en relación a la velocidad de giro.
- **G64** - Cancelación de **G60**. Permite un ligero traslape de los distintos movimientos de la herramienta de modo que se originará una suave mezcla de superficies contorneadas. Al usar G60, la herramienta dejará una marca permanente en la intersección de los movimientos
- **G70** - Datos de entrada en pulgadas (máquinas americanas).
- **G70** - Ciclo grabado para la terminación de un giro en un tono (máquinas no americanas).
- **G71** - Datos de entrada métricos (en máquinas americanas.)
- **G71** - Ciclo grabado para múltiples pasadas de giros en un Torno (máquinas no americanas).
- **G72** - Ciclo grabado para múltiples pasadas de frontales en un Torno (máquinas no americanas).
- **G73** - Ciclo grabado para la repetición de un patrón en múltiples pasadas sobre un torno (máquinas no americanas.)
- **G74** - Ciclo grabado para picar en el eje Z en un Torno (máquina no americana).
- **G75** - Ciclo grabado para picar en el eje X en un Torno (máquina no americana.)
- **G76** - Ciclo grabado para el punteado simple (un punto) en múltiples pasadas en un Torno (máquinas no americanas).
- **G80** - Cancelación de ciclos grabados sobre un centro de maquinado.
- **G81** - Ciclo grabado para taladrado básico en un centro de maquinado. Provoca la alimentación de entrada automática y una salida rápida.
- **G82** - Ciclo grabado para taladrar con una marca permanente sobre un centro de maquinado. Provoca la alimentación de entrada automática, una marca permanente en la base y una salida rápida.
- **G83** - Ciclo grabado para taladrar a golpes sobre un centro de maquinado. Provoca la alimentación de entrada en múltiples golpes y una salida rápida.

- **G84** - Ciclo grabado para punteado básico en un centro de maquinado. Provoca la alimentación automática, la inversión de la rotación del mandril y la salida de la pieza.
- **G85** - Ciclo grabado para la ampliación básica (de un agujero) en un centro de maquinado. Provoca la alimentación y salida automática (del material).
- **G86** - Ciclo grabado para la ampliación alternada en un centro de maquinado. Provoca la alimentación automática, la detención de la rotación del mandril y la salida rápida.
- **G87** - Ciclo grabado para la ampliación alternada sobre un centro de maquinado. Provoca la alimentación automática y la detención de la rotación del mandril. El operador de la máquina retira manualmente entonces la herramienta del agujero.
- **G88** - Ciclo grabado para la ampliación alternada de un centro de maquinado. Provoca la alimentación, una marca permanente en la base, y la detención del mandril. El operador de la máquina retira manualmente entonces la herramienta del agujero.
- **G89** - Ciclo grabado para la ampliación alternada de un centro de maquinado. Provoca la alimentación automática, una marca en la base y el retiro del material.
- **G90** - Ciclo grabado para un giro de una pasada en un Torno (máquina no americana).
- **G91** - Posicionamiento incremental. Todos los datos de posicionamiento estarán referidos a la actual posición de la herramienta (modal).
- **G92** - Ciclo grabado para el encadenado en una pasada en un Torno (máquina no americana).
- **G94** - Programación de la tasa de alimentación en pulgadas por minuto.
- **G95** - Programación de la tasa de alimentación en pulgadas por vuelta del mandril.
- **G96** - Programación de velocidad de superficie constante. En tanto el diámetro girado en un Torno es cada vez menor, la velocidad de giro se incrementará para mantener la velocidad de superficie constante. Recíprocamente, al crecer el diámetro, la velocidad debe decrecer.
- **G97** - Programación de vueltas por minuto. La velocidad de giro se mantendrá a RPM constante, sin importar cual diámetro está siendo trabajado en el torno.
- **G98** - Programación de la tasa de alimentación en pulgadas por minuto (máquinas no americanas.)

- **G99** - Indicación de que todos los datos de posicionamiento en ese bloque están referidos a la posición de inicio (home) de la máquina. Provoca que el control ignore temporalmente la posición del cero flotante (G92). Este comando es similar al G53 (usado en algunas máquinas americanas.) programación de la tasa de alimentación en pulgadas por vuelta del mandril (en máquinas no americanas.)

Funciones Misceláneas o Códigos M

Las funciones misceláneas son también llamadas funciones M (en lo sucesivo serán referidas como las funciones M), y comandos de arranque/paro de la rotación del husillo principal. El control del refrigerante ON/OFF, etc. Los códigos son:

- **M00** - Alto al programa. Se detienen la rotación del mandril, el movimiento de la herramienta y el flujo de enfriador.
- **M01** - Alto opcional del programa. Se detienen la rotación del mandril, el movimiento de la herramienta y el flujo de enfriador sólo si el operador ha activado previamente el interruptor de “alto opcional” en el MCU.
- **M02** - Alto al programa y rebobinado. Se detienen la rotación del mandril, el movimiento de la herramienta y el flujo de enfriador, y el control se prepara para comenzar a leer el inicio del programa una vez más (el rebobinado del programa puede no ocurrir en algunas máquinas.) Todas las funciones de la máquina (preparatorias, misceláneas, etc.) vuelven a su estado por defecto (la condición en la cual la máquina se encuentra al conectar la máquina.)
- **M03** - Inicio de la rotación del mandril en la dirección de los punteros del reloj, mirando desde la cara exterior del mandril.
- **M04** - Inicio de la rotación del mandril en la dirección contraria a la de los punteros del reloj, mirando desde la cara exterior del mandril.
- **M05** - Detención de la rotación del mandril.

- **M06** - Cambio a la siguiente herramienta en la línea. Este comando se usa en máquinas con cambiadores secuenciales de herramientas, en donde las herramientas están montadas en la torreta o cambiador de herramientas en el orden de su uso.
- **M07** - Conexión del aporte de rocío del refrigerante.
- **M08** - Conexión del aporte de fluido del refrigerante.
- **M09** - Desconexión del refrigerante.
- **M10** - Activación de toma automática (de cortes de la máquina, fijación de la pieza de trabajo, giro, etc.)
- **M11** - Desactivación de toma automática (de cortes de la máquina, fijación de la pieza de trabajo, giro, etc.)
- **M12** - Indexación de la torreta para que apunte a un punto intermedio entre una estación de herramientas y la siguiente. En tornos CNC equipados con dos torretas, este comando provoca que una torreta deje el camino libre a la otra.
- **M13** - Rotación del mandril iniciada en dirección de los punteros del reloj y conexión del enfriador (ambos al mismo tiempo.)
- **M14** - Rotación del mandril iniciada en dirección contraria a la de los punteros del reloj y conexión del enfriador (ambos al mismo tiempo.)
- **M19** - Detención de la rotación del mandril en una posición angular predeterminada (orientada).
- **M30** - Detención y rebobinado del programa. Detención de la rotación del mandril, del movimiento de la herramienta y desconexión del flujo del enfriador; el control se prepara a comenzar la lectura del inicio del programa una vez más. Todas las funciones de la máquina (preparatorias, misceláneas, etc.) vuelven a su estado por defecto (la condición en la cual se encuentra la máquina al encenderla por primera vez.) Esta palabra de código es similar a M02. Se usa en máquinas en donde M02 no posee la habilidad de rebobinar el programa.
- **M31** - Desvío del acoplamiento (Interlock bypass). Temporalmente desactiva un acoplamiento normalmente provisto (reinicia un programa automáticamente, detiene un programa en máquinas de torno de barras cuando se detecta el fin de la barra, etc.)

- **M40 a M45** - Selección del rango de engranajes. Por ejemplo, M40 podría causar el que la máquina se desplace a un rango de engranajes pequeño, M41 podría causar que la máquina se desplace a un rango de engranajes medio o alto, etcétera.
- **M98** - Conmutación desde el programa principal a la subrutina.
- **M99** - Retorno desde la subrutina al programa principal.

Código G de la pieza DESTAPADOR

```

%
O0000 (MATRIZ DE DESTAPADOR)
  (DATE=DD-MM-YY - 01-02-16 TIME=HH:MM - 21:33)
  (MCX FILE - C:\USERS\SEBASTIAN\DOCUMENTS\MY MCAMX5\LATHE\NC\MATRIZ DE
  DESTAPADOR2.MCX-5)
  (NC FILE - C:\USERS\SEBASTIAN\DOCUMENTS\MY MCAMX5\MILL\NC\MATRIZ DE
  DESTAPADOR.NC)
  (MATERIAL - GRAPHITE)
  ( T229 | 20. FLAT ENDMILL | H229 )
N100 G21
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
N104 T229 M6
N106 G0 G90 G54 X32.75 Y22.863 A0. S3500 M3
N108 G43 H229 Z25.
N110 Z10.
N112 G1 Z-3. F25.
N114 Y25.25 F50.
N116 X30.247
N118 G2 X32.75 Y22.863 I-10.247 J-13.25
N120 G1 Y20.367
N122 G2 X35.25 Y12. I-12.75 J-8.367
N124 X35.249 Y11.867 I-15.25 J0.
N126 X34.028 Y10.629 I-1.25 J.011
N128 G1 X32.75 Y10.599
N130 Y8.082
N132 X32.
N134 G3 X30.75 Y6.832 I0. J-1.25
N136 G1 Y-6.832
N138 G3 X32. Y-8.082 I1.25 J0.
N140 G1 X32.75
N142 Y-10.599
N144 X34.028 Y-10.629
N146 G2 X35.249 Y-11.867 I-.029 J-1.249
N148 X35.25 Y-12. I-15.249 J-.133
N150 X32.75 Y-20.367 I-15.25 J0.
N152 G1 Y-22.863
N154 G2 X30.247 Y-25.25 I-12.75 J10.863
N156 G1 X32.75
N158 Y-22.863
  
```

N160 X32.099 Y-21.283
 N162 G3 X35.25 Y-12. I-12.099 J9.283
 N164 X35.249 Y-11.867 I-15.25 J0.
 N166 X34.028 Y-10.629 I-1.25 J-.011
 N168 G1 X32.028 Y-10.582
 N170 X31.999
 N172 G3 X30.749 Y-11.832 I0. J-1.25
 N174 G1 Y-11.849
 N176 G2 X30.75 Y-12. I-10.749 J-.151
 N178 X29.95 Y-16.068 I-10.75 J0.
 N180 G1 X27.25 Y-9.515
 N182 Y-8.944
 N184 G3 X26.833 Y-8.013 I-1.25 J0.
 N186 G2 X26.505 Y-7.706 I7.167 J8.013
 N188 G1 X25.5 Y-5.268
 N190 Y5.268
 N192 G3 X24. Y0. I8.5 J-5.268
 N194 X25.5 Y-5.268 I10. J0.
 N196 G1 X24.775 Y-5.52
 N198 G3 X26.833 Y-8.013 I9.225 J5.52
 N200 G2 X27.25 Y-8.944 I-.833 J-.931
 N202 G1 Y-12.
 N204 G2 X20. Y-19.25 I-7.25 J0.
 N206 X15.751 Y-17.874 I0. J7.25
 N208 G1 X7.14 Y-11.645
 N210 X3.105 Y-13.046
 N212 X9.648 Y-17.779
 N214 G2 X10.165 Y-18.792 I-.733 J-1.013
 N216 X9.928 Y-19.525 I-1.25 J0.
 N218 G1 X8.756 Y-21.145
 N220 G2 X7.743 Y-21.662 I-1.013 J.733
 N222 X7.01 Y-21.425 I0. J1.25
 N224 G1 X-1.208 Y-15.48
 N226 G3 X-2.114 Y-14.859 I-12.748 J-17.622
 N228 G1 X-10.438 Y-17.75
 N230 G3 X-13.956 Y-17.352 I-3.518 J-15.352
 N232 G2 X-14.056 Y-17.351 I0. J7.25
 N234 X-14.705 Y-17.75 I-4.9 J7.249
 N236 G1 X-10.438
 N238 X-13.956 Y-15.852
 N240 G2 X-14.506 Y-15.826 I0. J5.75
 N242 X-18.956 Y-17.352 I-4.45 J5.724
 N244 G1 X-44.
 N246 G2 X-46.75 Y-17.026 I0. J11.75
 N248 G1 Y-19.25
 N250 X-3.674
 N252 X-3.845 Y-19.126
 N254 G3 X-13.956 Y-15.852 I-10.111 J-13.976
 N256 G1 Y-14.352
 N258 G2 X-14.956 Y-14.233 I0. J4.25
 N260 X-18.956 Y-15.852 I-4. J4.131
 N262 G1 X-44.
 N264 G2 X-48.25 Y-14.93 I0. J10.25

N266 G1 Y-20.75
 N268 X.959
 N270 X-2.966 Y-17.911
 N272 G3 X-13.956 Y-14.352 I-10.99 J-15.191
 N274 G1 Y-12.852
 N276 G2 X-15.406 Y-12.439 I0. J2.75
 N278 X-18.956 Y-14.352 I-3.55 J2.337
 N280 G1 X-44.
 N282 G2 X-49.75 Y-12.198 I0. J8.75
 N284 G1 Y-22.25
 N286 X5.591
 N288 X-2.087 Y-16.695
 N290 G3 X-13.956 Y-12.852 I-11.869 J-16.407
 N292 G1 X-12.368 Y-11.41
 N294 G3 X-13.956 Y-11.352 I-1.588 J-21.692
 N296 G2 X-15.206 Y-10.102 I0. J1.25
 N298 G1 Y-8.102
 N300 G2 X-13.956 Y-6.852 I1.25 J0.
 N302 X-8.083 Y-7.518 I0. J-26.25
 N304 G1 X.195 Y0.
 N306 G2 X.484 Y-.125 I-14.151 J-33.102
 N308 G3 X.5 Y0. I-.484 J.125
 N310 X.484 Y.125 I-.5 J0.
 N312 G2 X.195 Y0. I-14.44 J32.977
 N314 G1 X.75 Y-1.
 N316 G3 X1.25 Y0. I-.75 J1.
 N318 X.75 Y1. I-1.25 J0.
 N320 G2 X.695 Y1.041 I5.25 J7.
 N322 X-1.84 Y0. I-14.651 J32.061
 N324 X.695 Y-1.041 I-12.116 J-33.102
 N326 X.75 Y-1. I5.305 J-6.959
 N328 G1 X1.65 Y-2.2
 N330 G3 X2.75 Y0. I-1.65 J2.2
 N332 X1.65 Y2.2 I-2.75 J0.
 N334 G2 X.933 Y2.814 I4.35 J5.8
 N336 X-7.375 Y0. I-14.889 J30.288
 N338 X.933 Y-2.814 I-6.581 J-33.102
 N340 X1.65 Y-2.2 I5.067 J-5.186
 N342 G1 X2.55 Y-3.4
 N344 G3 X4.25 Y0. I-2.55 J3.4
 N346 X2.55 Y3.4 I-4.25 J0.
 N348 G2 X1.299 Y4.689 I3.45 J4.6
 N350 X-13.956 Y.852 I-15.255 J28.413
 N352 X-14.056 Y.853 I0. J7.25
 N354 X-15.652 Y0. I-4.9 J7.249
 N356 X-14.056 Y-.853 I-3.304 J-8.102
 N358 X-13.956 Y-.852 I.1 J-7.249
 N360 X1.299 Y-4.689 I0. J-32.25
 N362 X2.55 Y-3.4 I4.701 J-3.311
 N364 G1 X3.45 Y-4.6
 N366 G3 X5.75 Y0. I-3.45 J4.6
 N368 X3.45 Y4.6 I-5.75 J0.
 N370 G2 X1.931 Y6.774 I2.55 J3.4

N372 X-13.956 Y2.352 I-15.887 J26.328
N374 X-14.506 Y2.379 I0. J5.75
N376 X-18.956 Y.852 I-4.45 J5.723
N378 G1 X-38.313
N380 G2 X-38.25 Y0. I-5.687 J-.852
N382 X-38.313 Y-.852 I-5.75 J0.
N384 G1 X-18.956
N386 G2 X-14.506 Y-2.379 I0. J-7.25
N388 X-13.956 Y-2.352 I.55 J-5.723
N390 X1.931 Y-6.774 I0. J-30.75
N392 X3.45 Y-4.6 I4.069 J-1.226
N394 G1 X4.35 Y-5.8
N396 G3 X7.25 Y0. I-4.35 J5.8
N398 X4.35 Y5.8 I-7.25 J0.
N400 G2 X3.25 Y8. I1.65 J2.2
N402 G1 Y9.277
N404 G2 X3.256 Y9.452 I2.75 J0.
N406 G1 X3.188 Y9.403
N408 G2 X-13.956 Y3.852 I-17.144 J23.699
N410 X-14.956 Y3.971 I0. J4.25
N412 X-18.956 Y2.352 I-4. J4.131
N414 G1 X-40.46
N416 G2 X-39.75 Y0. I-3.54 J-2.352
N418 X-40.46 Y-2.352 I-4.25 J0.
N420 G1 X-18.956
N422 G2 X-14.956 Y-3.971 I0. J-5.75
N424 X-13.956 Y-3.852 I1. J-4.131
N426 X3.188 Y-9.403 I0. J-29.25
N428 G1 X3.256 Y-9.452
N430 G2 X3.25 Y-9.277 I2.744 J.175
N432 G1 Y-8.
N434 G2 X4.35 Y-5.8 I2.75 J0.
N436 G1 X6.462 Y-5.9
N438 G2 X5.25 Y-7. I-6.462 J5.9
N440 G3 X4.75 Y-8. I.75 J-1.
N442 G1 Y-9.277
N444 G3 X5.267 Y-10.29 I1.25 J0.
N446 G1 X15.751 Y-17.874
N448 G3 X20. Y-19.25 I4.249 J5.874
N450 X27.25 Y-12. I0. J7.25
N452 G1 Y-8.944
N454 G3 X26.833 Y-8.013 I-1.25 J0.
N456 G2 X25.678 Y-6.805 I7.167 J8.013
N458 G1 X26.25 Y-6.832
N460 Y6.832
N462 G2 X26.288 Y7.489 I5.75 J0.
N464 G3 X23.25 Y0. I7.712 J-7.489
N466 X26.288 Y-7.489 I10.75 J0.
N468 G2 X26.25 Y-6.832 I5.712 J.657
N470 G1 X25.904 Y-7.073
N472 G3 X26.833 Y-8.013 I8.096 J7.073
N474 G2 X27.25 Y-8.944 I-.833 J-.931
N476 G1 Y-12.

N478 G2 X20. Y-19.25 I-7.25 J0.
N480 X15.751 Y-17.874 I0. J7.25
N482 G1 X13.125 Y-15.975
N484 X5.267 Y-10.29
N486 G2 X4.75 Y-9.277 I.733 J1.013
N488 G1 Y-8.
N490 G2 X5.25 Y-7. I1.25 J0.
N492 G3 X8.75 Y0. I-5.25 J7.
N494 X5.25 Y7. I-8.75 J0.
N496 G2 X4.75 Y8. I.75 J1.
N498 G1 Y9.277
N500 G2 X5.267 Y10.29 I1.25 J0.
N502 G1 X13.125 Y15.975
N504 G2 X12.966 Y15.973 I-.159 J5.748
N506 X10.487 Y16.535 I0. J5.75
N508 G1 X2.309 Y10.619
N510 G2 X-13.956 Y5.352 I-16.265 J22.483
N512 X-15.406 Y5.766 I0. J2.75
N514 X-18.956 Y3.852 I-3.55 J2.336
N516 G1 X-43.081
N518 G2 X-44.083 Y2.749 I-7.329 J5.644
N520 X-44. Y2.75 I.083 J-2.749
N522 X-41.25 Y0. I0. J-2.75
N524 X-44. Y-2.75 I-2.75 J0.
N526 X-44.083 Y-2.749 I0. J2.75
N528 X-43.081 Y-3.852 I-6.327 J-6.747
N530 G1 X-18.956
N532 G2 X-15.406 Y-5.766 I0. J-4.25
N534 X-13.956 Y-5.352 I1.45 J-2.336
N536 X2.309 Y-10.619 I0. J-27.75
N538 G1 X10.487 Y-16.535
N540 G2 X12.966 Y-15.973 I2.479 J-5.188
N542 X13.125 Y-15.975 I0. J-5.75
N544 G1 X5.267 Y-10.29
N546 G2 X4.75 Y-9.277 I.733 J1.013
N548 G1 Y-8.
N550 G2 X5.25 Y-7. I1.25 J0.
N552 G3 X6.245 Y-6.128 I-5.25 J7.
N554 G1 X-4.151 Y8.752
N556 G2 X-13.956 Y6.852 I-9.805 J24.35
N558 X-15.206 Y8.102 I0. J1.25
N560 G1 Y10.102
N562 G2 X-13.956 Y11.352 I1.25 J0.
N564 G3 X-6.812 Y12.559 I0. J21.75
N566 G1 X-10.438 Y17.75
N568 X-14.705
N570 G2 X-14.056 Y17.351 I-4.251 J-7.648
N572 X-13.956 Y17.352 I.1 J-7.249
N574 G3 X-10.438 Y17.75 I0. J15.75
N576 G1 X-13.956 Y15.852
N578 G3 X-3.845 Y19.126 I0. J17.25
N580 G1 X-3.674 Y19.25
N582 X-46.75

N584 Y17.026
N586 G2 X-44. Y17.352 I2.75 J-11.424
N588 G1 X-18.956
N590 G2 X-14.506 Y15.826 I0. J-7.25
N592 X-13.956 Y15.852 I.55 J-5.724
N594 G1 Y14.352
N596 G3 X-2.966 Y17.911 I0. J18.75
N598 G1 X.959 Y20.75
N600 X-48.25
N602 Y14.93
N604 G2 X-44. Y15.852 I4.25 J-9.328
N606 G1 X-18.956
N608 G2 X-14.956 Y14.233 I0. J-5.75
N610 X-13.956 Y14.352 I1. J-4.131
N612 G1 Y12.852
N614 G3 X-2.087 Y16.695 I0. J20.25
N616 G1 X5.591 Y22.25
N618 X-49.75
N620 Y12.198
N622 G2 X-44. Y14.352 I5.75 J-6.596
N624 G1 X-18.956
N626 G2 X-15.406 Y12.439 I0. J-4.25
N628 X-13.956 Y12.852 I1.45 J-2.337
N630 G1 Y11.352
N632 G3 X-1.208 Y15.48 I0. J21.75
N634 G1 X7.01 Y21.425
N636 G2 X7.743 Y21.662 I.733 J-1.013
N638 X7.895 Y21.653 I0. J-1.25
N640 X7.544 Y23.343 I3.899 J1.69
N642 X7.564 Y23.75 I4.25 J0.
N644 G1 X-51.25
N646 Y8.602
N648 G2 X-50.172 Y9.406 I7.25 J-8.602
N650 X-44. Y12.852 I6.172 J-3.804
N652 G1 X-18.956
N654 G2 X-16.206 Y10.102 I0. J-2.75
N656 G1 Y8.102
N658 G2 X-18.956 Y5.352 I-2.75 J0.
N660 G1 X-43.861
N662 G2 X-45.697 Y3.344 I-6.549 J4.144
N664 G3 X-47.75 Y0. I1.697 J-3.344
N666 X-45.697 Y-3.344 I3.75 J0.
N668 G2 X-43.861 Y-5.352 I-4.713 J-6.152
N670 G1 X-18.956
N672 G2 X-16.206 Y-8.102 I0. J-2.75
N674 G1 Y-10.102
N676 G2 X-18.956 Y-12.852 I-2.75 J0.
N678 G1 X-44.
N680 G2 X-50.172 Y-9.406 I0. J7.25
N682 X-51.25 Y-8.602 I6.172 J9.406
N684 G1 Y-23.75
N686 X7.564
N688 G2 X7.544 Y-23.343 I4.23 J.407

N690 X7.895 Y-21.653 I4.25 J0.
N692 X7.743 Y-21.662 I-.152 J1.241
N694 X7.01 Y-21.425 I0. J1.25
N696 G1 X-1.208 Y-15.48
N698 G3 X-13.956 Y-11.352 I-12.748 J-17.622
N700 G2 X-15.206 Y-10.102 I0. J1.25
N702 G1 Y-8.102
N704 G2 X-13.956 Y-6.852 I1.25 J0.
N706 X1.43 Y-11.834 I0. J-26.25
N708 G1 X9.648 Y-17.779
N710 G2 X10.141 Y-18.548 I-.733 J-1.013
N712 X12.966 Y-17.473 I2.825 J-3.175
N714 X15.457 Y-18.279 I0. J-4.25
N716 G3 X20. Y-19.75 I4.543 J6.279
N718 X27.75 Y-12. I0. J7.75
N720 X27.749 Y-11.891 I-7.75 J0.
N722 G1 Y-11.832
N724 G2 X28.562 Y-9.331 I4.25 J0.
N726 X27.75 Y-6.832 I3.438 J2.499
N728 G1 Y6.832
N730 G2 X28.562 Y9.331 I4.25 J0.
N732 X27.748 Y11.832 I3.437 J2.501
N734 X27.749 Y11.891 I4.251 J0.
N736 G3 X27.75 Y12. I-7.749 J.109
N738 X20. Y19.75 I-7.75 J0.
N740 X15.457 Y18.279 I0. J-7.75
N742 G2 X12.966 Y17.473 I-2.491 J3.444
N744 X10.141 Y18.548 I0. J4.25
N746 X9.648 Y17.779 I-1.226 J.244
N748 G1 X1.43 Y11.834
N750 G2 X-13.956 Y6.852 I-15.386 J21.268
N752 X-15.206 Y8.102 I0. J1.25
N754 G1 Y10.102
N756 G2 X-13.956 Y11.352 I1.25 J0.
N758 G3 X-14.706 Y11.102 I0. J-1.25
N760 G1 X-17.706 Y10.102
N762 Y8.102
N764 G2 X-18.956 Y6.852 I-1.25 J0.
N766 G1 X-44.
N768 G3 X-45.068 Y6.251 I0. J-1.25
N770 G2 X-46.515 Y4.609 I-5.342 J3.245
N772 G3 X-49.251 Y0. I2.515 J-4.609
N774 X-46.515 Y-4.609 I5.251 J0.
N776 G2 X-45.068 Y-6.251 I-3.895 J-4.887
N778 G3 X-44. Y-6.852 I1.068 J.649
N780 G1 X-18.956
N782 G2 X-17.706 Y-8.102 I0. J-1.25
N784 G1 Y-10.102
N786 G2 X-18.956 Y-11.352 I-1.25 J0.
N788 G1 X-44.
N790 G2 X-48.914 Y-8.588 I0. J5.75
N792 G3 X-49.157 Y-8.275 I-1.496 J-.908
N794 G2 X-52.75 Y-4.301 I5.157 J8.275

N796 G1 Y-25.25
N798 X9.813
N800 G2 X9.044 Y-23.343 I1.981 J1.907
N802 X9.566 Y-21.731 I2.75 J0.
N804 G1 X10.738 Y-20.111
N806 G2 X12.966 Y-18.973 I2.228 J-1.612
N808 X14.578 Y-19.495 I0. J-2.75
N810 G3 X20. Y-21.251 I5.422 J7.495
N812 X29.251 Y-12. I0. J9.251
N814 X29.249 Y-11.87 I-9.251 J0.
N816 G1 Y-11.832
N818 G2 X30.854 Y-9.332 I2.75 J0.
N820 X29.25 Y-6.832 I1.146 J2.5
N822 G1 Y6.832
N824 G2 X30.854 Y9.332 I2.75 J0.
N826 X29.249 Y11.832 I1.145 J2.5
N828 G1 X29.25 Y11.87
N830 G3 Y12. I-9.249 J.13
N832 X20. Y21.25 I-9.25 J0.
N834 X14.578 Y19.495 I0. J-9.25
N836 G2 X12.966 Y18.973 I-1.612 J2.228
N838 X10.738 Y20.111 I0. J2.75
N840 G1 X9.566 Y21.731
N842 G2 X9.044 Y23.343 I2.228 J1.612
N844 X9.813 Y25.25 I2.75 J0.
N846 G1 X-52.75
N848 Y4.301
N850 G2 X-49.157 Y8.275 I8.75 J-4.301
N852 G3 X-48.914 Y8.588 I-1.253 J1.221
N854 G2 X-44. Y11.352 I4.914 J-2.986
N856 G1 X-18.956
N858 G2 X-17.706 Y10.102 I0. J-1.25
N860 G1 X-15.184 Y7.867
N862 G3 X-14.043 Y6.855 I1.228 J.235
N864 G1 X4.989 Y-10.013
N866 G3 X5.267 Y-10.29 I1.011 J.736
N868 G1 X5.456 Y-10.427
N870 X19.337 Y-22.73
N872 G2 X13.699 Y-20.71 I.663 J10.73
N874 G3 X12.966 Y-20.473 I-.733 J-1.013
N876 X11.954 Y-20.99 I0. J-1.25
N878 G1 X10.781 Y-22.61
N880 G3 X10.544 Y-23.343 I1.013 J-.733
N882 X11.062 Y-24.356 I1.25 J0.
N884 X20. Y-27.25 I8.938 J12.356
N886 X23.873 Y-26.75 I0. J15.25
N888 G1 X34.25
N890 Y-17.431
N892 G2 X23.873 Y-26.75 I-14.25 J5.431
N894 X20. Y-27.25 I-3.873 J14.75
N896 X11.062 Y-24.356 I0. J15.25
N898 X10.544 Y-23.343 I.732 J1.013
N900 X10.781 Y-22.61 I1.25 J0.

N902 G1 X11.954 Y-20.99
N904 G2 X12.966 Y-20.473 I1.012 J-.733
N906 X13.699 Y-20.71 I0. J-1.25
N908 G3 X20. Y-22.75 I6.301 J8.71
N910 X25.117 Y-21.454 I0. J10.75
N912 G1 X26.67 Y-14.841
N914 G3 X27.238 Y-12.425 I-6.67 J2.841
N916 G1 X30.75 Y2.53
N918 Y6.832
N920 G2 X32. Y8.082 I1.25 J0.
N922 G1 X32.054
N924 X32.645 Y10.597
N926 X34.028 Y10.629
N928 G3 X35.249 Y11.867 I-.029 J1.249
N930 X35.25 Y12. I-15.249 J.133
N932 X34.25 Y17.431 I-15.25 J0.
N934 G1 Y26.75
N936 X23.873
N938 G2 X34.25 Y17.431 I-3.873 J-14.75
N940 X35.25 Y12. I-14.25 J-5.431
N942 X35.249 Y11.867 I-15.25 J0.
N944 X34.028 Y10.629 I-1.25 J.011
N946 G1 X32.028 Y10.582
N948 X31.999
N950 G2 X30.749 Y11.832 I0. J1.25
N952 G1 Y11.849
N954 G3 X30.75 Y12. I-10.749 J.151
N956 X20. Y22.75 I-10.75 J0.
N958 X13.699 Y20.71 I0. J-10.75
N960 G2 X12.966 Y20.473 I-.733 J1.013
N962 X11.954 Y20.99 I0. J1.25
N964 G1 X10.781 Y22.61
N966 G2 X10.544 Y23.343 I1.013 J.733
N968 X11.062 Y24.356 I1.25 J0.
N970 X16.127 Y26.75 I8.938 J-12.356
N972 G1 X-54.25
N974 Y-26.75
N976 X16.127
N978 G2 X11.062 Y-24.356 I3.873 J14.75
N980 X10.544 Y-23.343 I.732 J1.013
N982 X10.781 Y-22.61 I1.25 J0.
N984 G1 X11.954 Y-20.99
N986 G2 X12.966 Y-20.473 I1.012 J-.733
N988 X13.699 Y-20.71 I0. J-1.25
N990 G3 X20. Y-22.75 I6.301 J8.71
N992 X30.75 Y-12. I0. J10.75
N994 X30.749 Y-11.849 I-10.75 J0.
N996 G1 Y-11.832
N998 G2 X31.999 Y-10.582 I1.25 J0.
N1000 G1 X32.028
N1002 X34.028 Y-10.629
N1004 G2 X34.25 Y-10.654 I-.029 J-1.249
N1006 G1 Y-8.057

N1008 G2 X34. Y-8.082 I-.25 J1.225
N1010 G1 X32.
N1012 G2 X30.75 Y-6.832 I0. J1.25
N1014 G1 Y6.832
N1016 G2 X32. Y8.082 I1.25 J0.
N1018 G1 X34.
N1020 G2 X34.25 Y8.057 I0. J-1.25
N1022 G1 Y10.654
N1024 G2 X34.028 Y10.629 I-.251 J1.224
N1026 G1 X32.028 Y10.582
N1028 X31.999
N1030 G2 X30.749 Y11.832 I0. J1.25
N1032 G1 Y11.849
N1034 Y11.832
N1036 G3 X31.999 Y10.582 I1.25 J0.
N1038 G1 X32.028
N1040 X34.028 Y10.629
N1042 G3 X35.249 Y11.867 I-.029 J1.249
N1044 X35.25 Y12. I-15.249 J.133
N1046 X33.15 Y19.723 I-15.25 J0.
N1048 G1 X35.75 Y28.25
N1050 X-55.75
N1052 Y-28.25
N1054 X35.75
N1056 Y28.25
N1058 X37.25 Y29.75
N1060 X-57.25
N1062 Y-29.75
N1064 X37.25
N1066 Y29.75
N1068 X38.75 Y31.25
N1070 X-58.75
N1072 Y-31.25
N1074 X38.75
N1076 Y31.25
N1078 G0 Z25.
N1080 M5
N1082 G91 G28 Z0.
N1084 G28 X0. Y0. A0.
N1086 M30
%