

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZÚ
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA



PROYECTO FINAL DE GRADO

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE
MÁQUINA CNC PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS
EN TALLERES METALMECÁNICOS DE LA CIUDAD DE
CORONEL OVIEDO, DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ.**

José Adrián Talavera Chaves

Tutor: Prof. Ing. Derlis Rodrigo Arredondo Onieva

CORONEL OVIEDO, NOVIEMBRE DE 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ
Sede Coronel Oviedo
Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.
Coronel Oviedo – Paraguay



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.



Usted es libre de:

- **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- **Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

Bajo los siguientes términos:

- **Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
- **NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DERECHO DE AUTOR

Quien suscribe, **José Adrián Talavera Chaves**, autor del trabajo de investigación titulado **“Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú.”**, declara que voluntariamente cede a título gratuito en forma pura y simple ilimitada e irrevocablemente a favor de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA, el derecho de autor de contenido patrimonial, que le corresponde sobre el trabajo de referencia. Conforme a lo anteriormente expresado, esta sesión le otorga a la FCyT la Facultad de comunicar la obra divulgarla, publicarla y reproducirla en soportes analógicos o digitales en la oportunidad que así lo estime conveniente. La FCyT deberá indicar qué autoría o creación del trabajo corresponde a mi persona y hará referencia al autor y a las personas que hayan colaborado en la realización del presente trabajo de investigación.

En la ciudad de Coronel Oviedo a los, del mes de del 2024

.....

Firma



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ
 Sede Coronel Oviedo
Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.
 Coronel Oviedo – Paraguay



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electrónico, aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores y con la siguiente nota final:

CALIFICACIÓN FINAL: _____

ACTA N°: _____

FECHA: _____

 Prof. Ing.

 Prof. Ing.

 Prof. Ing.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ
Sede Coronel Oviedo
Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.
Coronel Oviedo – Paraguay



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DEDICATORIA

A mis queridos padres, José Ramón Talavera Céspedes y Rosi Chaves de Talavera, por su constante apoyo y motivación en cada paso hacia mis objetivos. Su guía y fortaleza han sido esenciales en mi camino hacia el logro académico.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ
Sede Coronel Oviedo
Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.
Coronel Oviedo – Paraguay



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

AGRADECIMIENTOS

Querido Tutor, Ing. Derlis Rodrigo Arredondo Onieva y Profesor Ing. César Antonio Ferreira Benítez:

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento por el apoyo y la guía brindados durante la realización de este proyecto. Su compromiso, valiosos consejos y paciencia fueron esenciales en cada etapa de este trabajo. Me siento enormemente privilegiado de haber contado con su respaldo y orientación.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

RESUMEN

La ciudad de Coronel Oviedo, en el Departamento de Caaguazú, es un centro clave para la industria metalmecánica, que enfrenta diversos desafíos relacionados con la eficiencia, seguridad y precisión en los procesos de corte y mecanizado. Entre los problemas más relevantes se encuentran el desperdicio de material, la baja precisión en las operaciones y los riesgos laborales derivados de factores como el ruido, las vibraciones y las emisiones tóxicas.

Para abordar estos problemas, se desarrolló un prototipo de máquina CNC, diseñado tras una exhaustiva revisión bibliográfica y entrevistas con expertos, como el Técnico en Mecánica General, Marcelo Zena. El objetivo del prototipo es optimizar los procesos de corte y mecanizado, mejorando la precisión y reduciendo los riesgos laborales.

El análisis comparativo entre tres sistemas CNC (Router, Torno y Fresadora) concluyó que el modelo Router es el más adecuado debido a su versatilidad y capacidad para realizar diversas operaciones. El diseño estructural de la máquina incluyó una evaluación de los sistemas de transmisión. Además, se incorporaron características como una mesa de corte ajustable en altura, un sistema de refrigeración retroalimentado.

La máquina fue controlada mediante el firmware GRBL y el software Universal G-code Sender, ejecutados en un microcontrolador ATmega 328P. Durante la fabricación del prototipo, se realizaron pruebas preliminares para validar el funcionamiento de las partes móviles y se realizaron ajustes menores. Las pruebas de corte con plasma y husillo fueron satisfactorias, obteniendo una precisión dentro de un rango de tolerancia de ± 1 mm.

Palabras clave: ODS 9 - Industria, Innovación e Infraestructura, Sistemas Mecatrónicos, Prototipo, Máquina CNC, GRBL, Universal G-code Sender, Microcontrolador ATmega 328P.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ABSTRACT

The city of Coronel Oviedo, in the Department of Caaguazú, is a key center for the metalworking industry, facing various challenges related to efficiency, safety, and precision in cutting and machining processes. Some of the most relevant issues include material waste, low precision in operations, and workplace hazards arising from factors such as noise, vibrations, and toxic emissions.

To address these problems, a CNC machine prototype was developed, designed after an exhaustive literature review and interviews with experts, such as General Mechanics Technician Marcelo Zena. The goal of the prototype is to optimize cutting and machining processes, improving precision and reducing workplace risks.

A comparative analysis between three CNC systems (Router, Lathe, and Milling Machine) concluded that the Router model is the most suitable due to its versatility and ability to perform various operations. The machine's structural design included an evaluation of the transmission systems. Additionally, features such as an adjustable height cutting table and a feedback cooling system were incorporated.

The machine was controlled through the GRBL firmware and the Universal G-code Sender software, running on an ATmega 328P microcontroller. During the prototype's construction, preliminary tests were conducted to validate the operation of the moving parts, and minor adjustments were made. Plasma and spindle cutting tests were satisfactory, achieving a precision within a tolerance range of ± 1 mm.

Keywords: SDG 9 - Industry, Innovation, and Infrastructure, Mechatronic Systems, Prototype, CNC Machine, GRBL, Universal G-code Sender, ATmega 328P Microcontroller



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
1- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1- OBJETIVOS.....	3
1.1.1- Objetivos Generales.....	3
1.1.2- Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO II.....	4
2- MARCO TEÓRICO.....	4
2.1- Introducción al control numérico computarizado (CNC).....	4
2.2- Componentes principales de una máquina (CNC).....	4
2.2-1. Programa de instrucciones	4
2.2-2. Controlador	4
2.2-3. Máquina herramienta	5
2.3- Sistemas de coordenadas y movimientos interpolados.....	5
2.4- Sistemas de posicionamiento	6
2.4-1. Sistema de posicionamiento absoluto	6
2.4-2. Sistema de posicionamiento incremental o relativo.....	6
2.5- Comandos básicos de programación	6
2.5-1. Comandos G	6
2.5-2. Comandos M	7
2.5-3. Comandos complementarios.....	7
2.6- Clasificación de los procesos de fabricación	7
2.6-1. Fabricación Aditiva.....	7
2.6-2. Fabricación Sustractiva.....	8
2.6-3. Fabricación Robótica.....	9
2.7-1. Contorneo.....	10
2.7-2. Barrenado.....	10
2.7-3. Fresado de cavidades.....	11
2.7-4. Planeado.....	11
2.8- Firmware GRBL	12
2.9- Software Universal Gcode Sender.....	12



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

2.10-	Método ordinal corregido de criterios ponderados	12
2.11-	Corte por plasma	13
CAPÍTULO III.....		14
3-	METODOLOGÍA.....	14
3.1-	Recopilación de Datos.....	14
3.1.1-	Hallazgos de la Entrevista	14
3.2-	Guía de Referencia.....	16
3.3-	Identificación de la Necesidad	17
3.4-	Desarrollo de Concepto	17
3.5-	Diseño de la Máquina	18
3.5.1-	Sistema de Transmisión.....	18
3.5.2-	Sistema de Desplazamiento	19
3.5.3-	Diseño de la Mesa de Corte.....	20
3.5.4-	Sistema de Refrigeración.....	21
3.5.5-	Selección de Componentes.....	21
3.5.6-	Software de Control.....	23
3.5.7-	Diseño del Controlador.....	24
3.5.8-	Panel de Control	24
3.5.9-	Diseño de la Estructura Mecánica	24
3.5.10-	Diseño Eléctrico	25
3.6-	Fabricación del Prototipo.....	25
3.6.1-	Cimentación de la base.....	25
3.6.2-	Estructura de la máquina.....	26
3.6.3-	Pintado y ensamblaje final de la estructura	37
3.6.4-	Controlador de la máquina	39
3.6.5-	Cableado y ensamblaje de componentes eléctricos y electrónicos	42
3.6.6-	Configuración de los drivers.....	43
3.6.7-	Configuración del software	43
3.7-	Pruebas en Campo.....	45
3.8-	Presupuesto.....	52
CAPÍTULO IV		53
4-	RESULTADOS Y ANÁLISIS	53



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

CAPÍTULO V	55
5- PRESUPUESTO	55
CAPÍTULO VI	60
6- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
6.1- Conclusiones	60
6.2- Recomendaciones	61
7- APÉNDICE	62
APÉNDICE A: SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	62
Apéndice A.1: Evaluación del peso específico de cada criterio	62
Apéndice A.2: Evaluación del peso específico de los criterios: Tipo de operación, Movilidad de la herramienta, Características geométricas de las piezas.	62
Apéndice A.3: Evaluación del peso específico de los criterios: Herramientas empleadas, Aplicaciones principales, Materiales típicos y Flexibilidad	63
Apéndice A.4: Evaluación total	64
APÉNDICE B: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	64
Apéndice B.1: Evaluación del peso específico de cada criterio	64
Apéndice B.2: Evaluación del peso específico de los criterios: Costo, Precisión, Velocidad y Mantenimiento.	64
Apéndice B.3: Evaluación total	65
APÉNDICE C: HUSILLO DE BOLAS SFU1605-4 (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS) ..	66
APÉNDICE D: ANÁLISIS DE FLEXIÓN (SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO)	67
Apéndice D.1: Análisis de flexión Eje Z	67
Apéndice D.2: Análisis de flexión Eje X	68
Apéndice D.3: Análisis de flexión Eje Y	69
APÉNDICE E: ANÁLISIS DE FLEXIÓN (MESA DE CORTE)	71
Apéndice E.1: Análisis de flexión Rejilla	71
Apéndice E.2: Análisis de flexión Bastidor	72
APÉNDICE F: BOMBA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS)	73
Apéndice G: Mediciones realizadas	74
APÉNDICE H: CORTADOR PLASMA Y COMPRESOR DE AIRE (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS)	75
Apéndice H.1: Especificaciones técnicas del cortador plasma	75



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Apéndice H.2: Especificaciones técnicas del compresor de aire	75
APÉNDICE I: RODAMIENTO (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS)	75
APÉNDICE J: SELECCIÓN DEL MOTOR.	76
Apéndice J.1: Evaluación del peso específico de cada criterio	76
Apéndice J.2: Evaluación del peso específico de los criterios: Costo, Precisión y Torque.	76
Apéndice J.4: Evaluación total	77
APÉNDICE K: MOTOR Y DRIVER (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS)	78
Apéndice K.1: Especificaciones técnicas del motor.....	78
Apéndice K.2: Especificaciones técnicas del driver.....	78
APÉNDICE L: COMPONENTES DE DETECCIÓN Y CONTROL (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS)	79
Apéndice L.1: Especificaciones técnicas de los finales de carrera.....	79
Apéndice L.2: Especificaciones técnicas de la sonda de altura	79
Apéndice L.3: Especificaciones técnicas del interruptor de tipo llave	79
Apéndice L.4: Especificaciones técnicas del selector	79
Apéndice L.5: Especificaciones técnicas de los pulsadores	79
Apéndice L.6: Especificaciones técnicas del interruptor de emergencia.....	80
Apéndice L.7: Especificaciones técnicas de las luces indicadoras	80
APÉNDICE M: FUENTE DE PODER.....	80
APÉNDICE N: CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES	81
Apéndice N.1: Cálculo de la sección mínima del conductor en corriente continua (Finales de Carrera).....	81
Apéndice N.2: Cálculo de la sección mínima del conductor en corriente continua (Driver y Motor paso a paso).....	81
Apéndice N.3: Cálculo de la sección mínima del conductor en corriente alterna monofásica (Circuito varios).....	82
Apéndice N.4: Cálculo de la sección mínima del conductor en corriente alterna monofásica (Cortador Plasma)	82
Apéndice N.5: Cálculo de la sección mínima del conductor en corriente alterna monofásica (Circuito General).....	83
APÉNDICE O: PROTECCIÓN ELÉCTRICA	84
Apéndice O.1: Especificaciones técnicas de los interruptores termomagnéticos unipolares.....	84



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ
 Sede Coronel Oviedo
Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.
 Coronel Oviedo – Paraguay



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Apéndice O.2: Especificaciones técnicas del interruptor diferencial.....	84
Apéndice O.3: Especificaciones técnicas del filtro de potencia EMI.....	84
APÉNDICE P: SOFTWARE DE CONTROL	85
Apéndice P.1: Especificaciones técnicas del firmware GRBL.....	85
Apéndice P.2: Especificaciones técnicas del software de control Universal G-code Sender.....	85
APÉNDICE Q: DISEÑO DEL CONTROLADOR.....	86
Apéndice Q.1: Diagrama Esquemático del controlador	86
Apéndice Q.2: Vista bidimensional (Pistas) y tridimensional de la (PCB)	87
APÉNDICE R: DISEÑO DEL PANEL DE CONTROL	87
APÉNDICE S: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA	88
APÉNDICE T: DISEÑO ELÉCTRICO.....	89
APÉNDICE U: CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA.....	90
Apéndice U.1: Cálculo de la resolución de pasos.....	90
Apéndice U.2: Cálculo de la velocidad de avance máxima.....	90
Apéndice U.3: Cálculo de la aceleración máxima.	90
8- BIBLIOGRAFÍA.....	91



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo II

Figura 2. 1 Sistemas de coordenadas y movimientos interpolados	5
Figura 2. 2 Fabricación Aditiva	8
Figura 2. 3 Fabricación Sustractiva	8
Figura 2. 4 Fabricación Robótica	9
Figura 2. 5 Contorneo	10
Figura 2. 6 Barrenado.....	10
Figura 2. 7 Fresado de cavidades	11
Figura 2. 8 Planeado.....	11
Figura 2. 9 Proceso de corte por plasma.....	13

Capítulo III

Figura 3. 1 Cimentación de la base	26
Figura 3. 2 Fabricación de las columnas	27
Figura 3. 3 Fabricación de las bases de las columnas	27
Figura 3. 4 Fabricación de soportes de tensores.....	28
Figura 3. 5 Construcción de tensores.....	29
Figura 3. 6 Construcción de soportes.....	30
Figura 3. 7 Construcción de los ejes (X, Y , Z).....	31
Figura 3. 8 Construcción de las plataformas de los ejes (X, Y , Z).....	32
Figura 3. 9 Construcción de ruedas	33
Figura 3. 10 Construcción de la mesa de corte	34
Figura 3. 11 Construcción de la bandeja y rejilla	35
Figura 3. 12 Construcción del tablero.....	35
Figura 3. 13 Proceso de fabricación.....	36
Figura 3. 14 Proceso de pintado.....	37
Figura 3. 15 Ensamblaje final de la estructura	38
Figura 3. 16 Proceso de fabricación del controlador.....	39
Figura 3. 17 La conexión entre ambas placas	40
Figura 3. 18 Configuración del programador ISP.....	41
Figura 3. 19 Procedimiento para cargar archivos HEX con XLoader.....	41



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Figura 3. 20 Cableado y Ensamblaje de componentes eléctricos y electrónicos.....	42
Figura 3. 21 Driver TB6560.....	43
Figura 3. 22 Pruebas de funcionamiento	47
Figura 3. 23 Resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 x 3,175 mm	47
Figura 3. 24 Resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro x 3,175mm.....	48
Figura 3. 25 Resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 x 4,7625 mm	49
Figura 3. 26 Resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro x 4,7625mm.....	49
Figura 3. 27 Resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 x 12mm	50
Figura 3. 28 Resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro x 12mm	51

Apéndice C

Figura C. 1 HUSILLO DE BOLAS SFU1605-4.....	66
--	-----------

Apéndice F

Figura F. 1 BOMBA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	73
---	-----------

Apéndice G

Figura G. 1 Parámetros de mecanizado.....	74
--	-----------

Apéndice H

Figura H. 1 Especificaciones técnicas del cortador plasma.....	75
Figura H. 2 Especificaciones técnicas del compresor de aire	75

Apéndice I

Figura I. 1 Especificaciones técnicas del rodamiento	75
---	-----------

Apéndice K

Figura K. 1 Especificaciones técnicas del motor.....	78
Figura K. 2 Especificaciones técnicas del driver	78



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Apéndice L

Figura L. 1 Especificaciones técnicas de los finales de carrera	79
Figura L. 2 Especificaciones técnicas de la sonda de altura	79
Figura L. 3 Especificaciones técnicas del interruptor de tipo llave	79
Figura L. 4 Especificaciones técnicas del selector.....	79
Figura L. 5 Especificaciones técnicas de los pulsadores	79
Figura L. 6 Especificaciones técnicas del interruptor de emergencia.....	80
Figura L. 7 Especificaciones técnicas de las luces indicadoras.....	80

Apéndice M

Figura M. 1 FUENTE DE PODER.....	80
----------------------------------	----

Apéndice O

Figura O. 1 Especificaciones técnicas de los interruptores termomagnéticos unipolares	84
Figura O. 2 Especificaciones técnicas del interruptor diferencial	84
Figura O. 3 Especificaciones técnicas del filtro de potencia EMI	84

Apéndice P

Figura P. 1 Especificaciones técnicas del firmware GRBL.....	85
Figura P. 2 Especificaciones técnicas del software de control Universal G-code Sender	85

Apéndice Q

Figura Q. 1 Diagrama Esquemático del controlador.....	86
Figura Q. 2 Vista bidimensional (Pistas) y tridimensional de la (PCB).....	87

Apéndice R

Figura R. 1 Panel de control	87
------------------------------------	----

Apéndice T

Figura T. 1 DISEÑO ELÉCTRICO.....	89
-----------------------------------	----



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo III

Tabla 3. 1 Parámetros de configuración	44
Tabla 3. 2 Parámetros de amperaje y velocidad de avance	46
Tabla 3. 3 Parámetros de profundidad de corte y velocidad de avance	46
Tabla 3. 4 Resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 x 3,175 mm	47
Tabla 3. 5 Resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro x 3,175mm	48
Tabla 3. 6 Resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 x 4,7625 mm	49
Tabla 3. 7 Resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro x 4,7625mm	50
Tabla 3. 8 Resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 x 12mm	50
Tabla 3. 9 Resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro x 12mm	51
Tabla 3. 10 El error absoluto máximo de cada prueba	51

Capítulo V

Tabla 5. 1 Costo de materiales	55
Tabla 5. 2 Costo total del proyecto	59

Apéndice A

Tabla A. 1 Evaluación del peso específico de cada criterio	62
Tabla A. 2 Evaluación del peso específico de los criterios: Tipo de operación, Movilidad de la herramienta, Características geométricas de las piezas	62
Tabla A. 3 Evaluación del peso específico de los criterios: Herramientas empleadas, Aplicaciones principales, Materiales típicos y Flexibilidad	63
Tabla A. 4 Evaluación total	64

Apéndice B

Tabla B. 1 Evaluación del peso específico de cada criterio	64
Tabla B. 2 Evaluación del peso específico de los criterios: Costo, Precisión, Velocidad y Mantenimiento	64
Tabla B. 3 Evaluación total	65



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Apéndice D

Tabla D. 1 Peso de los elementos del Eje Z	67
Tabla D. 2 Peso de los elementos del Eje X.....	68
Tabla D. 3 Peso de los elementos del Eje Y	69

Apéndice E

Tabla E. 1 Peso de los elementos de la rejilla	71
Tabla E. 2 Peso de los elementos del bastidor.....	72

Apéndice J

Tabla J. 1 Evaluación del peso específico de cada criterio.....	76
Tabla J. 2 Evaluación del peso específico de cada criterio: Costo, Precisión y Torque.	76
Tabla J. 3 : Evaluación del peso específico de los criterios: Velocidad, Espacio y Mantenimiento.	77
Tabla J. 4 Evaluación total	77

Apéndice M

Tabla M. 1 FUENTE DE PODER.....	80
---------------------------------	----

CAPÍTULO I

1- INTRODUCCIÓN

La ciudad de Coronel Oviedo, ubicada en el Departamento de Caaguazú, es un importante centro para la industria metalmecánica, la cual juega un papel fundamental en el desarrollo económico del país. No obstante, esta industria enfrenta desafíos que afectan la eficiencia y seguridad en el sector, tales como el desperdicio de material, la baja precisión en los procesos de corte y mecanizado, y los riesgos laborales relacionados con el ruido, las vibraciones y las emisiones tóxicas.

Se entrevistó al Técnico en Mecánica General, Marcelo Zena, y se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica para desarrollar una guía metodológica que facilitara la creación de un prototipo de máquina CNC.

Este prototipo fue diseñado con el objetivo de optimizar los procesos de corte y mecanizado de piezas, eligiendo el sistema CNC más adecuado tras un análisis comparativo de tres modelos: Router, Torno y Fresadora. Se determinó que el modelo Router era el más idóneo, debido a su versatilidad y capacidad para realizar una amplia gama de operaciones

El diseño estructural de la máquina se realizó mediante un proceso detallado que incluyó la evaluación de diversos sistemas de transmisión, seleccionando el husillo de bolas por su rendimiento superior. Además, se incorporaron características clave como una mesa de corte ajustable en altura, un sistema de refrigeración retroalimentado, y componentes específicos para garantizar el correcto funcionamiento de los ejes y elementos principales. La máquina fue controlada mediante el firmware GRBL y el software Universal G-code Sender, implementados en un microcontrolador ATmega 328P.

El prototipo fue fabricado con éxito, siguiendo las especificaciones definidas en la fase de diseño. Durante el proceso de fabricación se realizaron pruebas preliminares para asegurar el correcto funcionamiento de las partes móviles, y se efectuaron ajustes menores antes de la finalización del prototipo. Posteriormente, se evaluó el

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

desempeño del sistema CNC mediante pruebas de corte con plasma y husillo, obteniendo resultados satisfactorios dentro de un rango de tolerancia de ± 1 mm.

Finalmente, se realizó una estimación de los costos del proyecto, tomando en cuenta materiales, mano de obra, gastos operativos y un porcentaje adicional para imprevistos. El desarrollo de este prototipo representa un avance significativo en la optimización de los procesos en los talleres metalmecánicos de la región.

1.1- OBJETIVOS

1.1.1- Objetivos Generales

Diseñar y construir un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú.

1.1.2- Objetivos Específicos

- Recopilar datos a través de entrevistas junto con una revisión bibliográfica de técnicas relevantes.
- Seleccionar la máquina CNC más idónea para optimizar los procesos en el sector metalmecánico, a través de un análisis comparativo que evalúe aspectos cruciales para su funcionamiento integral.
- Diseñar la estructura mecánica, eléctrica y electrónica de la máquina CNC.
- Fabricar un prototipo funcional de la máquina CNC de acuerdo con los diseños mecánicos, eléctricos y electrónicos establecidos previamente.
- Realizar pruebas en condiciones reales para verificar el rendimiento y las funcionalidades del prototipo, recopilando datos cuantitativos.
- Elaborar un presupuesto detallado para el prototipo, considerando costos de materiales, componentes electrónicos, fabricación, pruebas en campo y otros gastos asociados.

CAPÍTULO II

2-MARCO TEÓRICO

2.1- Introducción al control numérico computarizado (CNC)

El control numérico computarizado (CNC) automatiza procesos tradicionales de mecanizado manual mediante tecnología electrónica y computacional. En el mecanizado manual, el operario controla el movimiento de la herramienta para dar forma a la pieza deseada. Con el CNC, este control lo realiza una computadora que sigue un programa de instrucciones almacenado en su memoria, compuesto por códigos alfanuméricos llamados G-code. Estos comandos regulan funciones como la elección de herramientas, velocidad del husillo, avance de la herramienta y otras operaciones esenciales.

La tecnología CNC se utiliza variedad extensa de herramientas, como tornos, fresadoras y equipos de corte con llama, láser o plasma. También se aplica a otras máquinas, como máquinas de doblado de alambre, equipos de ensamblaje y máquinas de enrollado de filamentos. Es decir, cualquier equipo que requiera mover una herramienta respecto a una pieza de trabajo puede considerarse CNC [1].

2.2- Componentes principales de una máquina (CNC)

Un sistema CNC consta de tres componentes principales:

2.2-1. Programa de instrucciones

Un conjunto de instrucciones codificadas que se envían a la máquina CNC para realizar una operación específica.

2.2-2. Controlador

El dispositivo electrónico que interpreta el programa de instrucciones y genera las señales de control para los componentes de la máquina herramienta.

2.2-3. Máquina herramienta

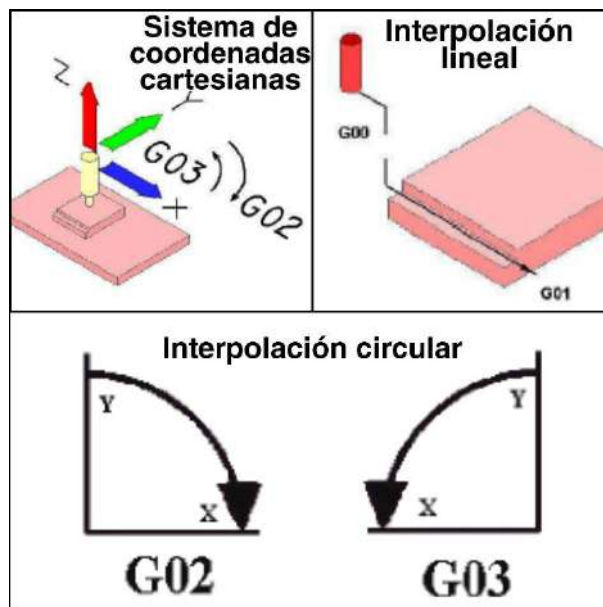
Un equipo utilizado para dar forma, cortar, perforar u operar materiales mediante herramientas de corte [1].

2.3- Sistemas de coordenadas y movimientos interpolados

Las máquinas CNC utilizan sistemas de coordenadas para definir y controlar los movimientos de la herramienta de corte. Los sistemas de coordenadas más comunes son el sistema de coordenadas cartesianas (X, Y, Z) en tres dimensiones.

Los movimientos interpolados permiten a la máquina CNC seguir trayectorias complejas en el espacio tridimensional. Los movimientos interpolados más utilizados son los movimientos lineales y los movimientos circulares, que se logran mediante la interpolación lineal y la interpolación circular respectivamente, como se puede apreciar en la Figura 2. 1 [2].

Figura 2. 1 Sistemas de coordenadas y movimientos interpolados



2.4- Sistemas de posicionamiento

En el ámbito de la programación de máquinas y control numérico, es fundamental comprender los diferentes tipos de sistemas de posicionamiento utilizados para definir las trayectorias y ubicaciones de las herramientas. Dos de los sistemas más comunes son el sistema de posicionamiento absoluto y el sistema de posicionamiento incremental o relativo. A continuación, se explicarán las características principales de cada uno:

2.4-1. Sistema de posicionamiento absoluto

En el sistema de posicionamiento absoluto, todas las coordenadas de los puntos de trabajo están referidas al origen fijo de la pieza (X0, Y0, Z0).

2.4-2. Sistema de posicionamiento incremental o relativo

En el sistema de posicionamiento incremental, cada posición se define en función de la distancia desde la ubicación actual de la herramienta, en lugar de referirse al origen [3].

2.5- Comandos básicos de programación

Las máquinas CNC utilizan códigos G, que son comandos que configuran la máquina para operar en un modo específico. Los comandos más comunes incluyen:

2.5-1. Comandos G

Estos códigos son modales, lo que significa que permanecen activos hasta que otro comando los anule. Por ejemplo, si se programa un G0 después de un G1, el G0 anula al G1.

- **G0:** Posicionamiento rápido, utilizado para mover la máquina a gran velocidad sin contacto con el material.
- **G1:** Interpolación lineal, que mueve la herramienta en línea recta entre dos puntos.
- **G2 y G3:** Interpolación circular, para mover la herramienta en un arco: G2 para movimiento en sentido horario y G3 en sentido antihorario.

2.5-2. Comandos M

Son comandos que controlan funciones auxiliares, tales como:

- **M8:** Encender el refrigerante.
- **M9:** Apagar el refrigerante.
- **M3:** Iniciar el motor del husillo en rotación horaria.
- **M5:** Detener el motor del husillo.
- **M30:** Finalizar el programa.

2.5-3. Comandos complementarios

- **S:** Define la velocidad del husillo (por ejemplo, S3200 para 3200 RPM).
- **T:** Selecciona el número de herramienta.
- **F:** Especifica la velocidad de avance en mm/min.

El uso combinado de estos comandos permite un control preciso y eficiente de las operaciones en máquinas CNC [3].

2.6- Clasificación de los procesos de fabricación

En esta sección, se abordará la clasificación de los procesos de fabricación en tres categorías principales: Fabricación Aditiva, Fabricación Sustractiva y Fabricación Robótica.

Cada una de estas categorías representa un enfoque diferente para la producción de bienes y productos. A continuación, se proporcionará una breve descripción de cada una de estas clasificaciones.

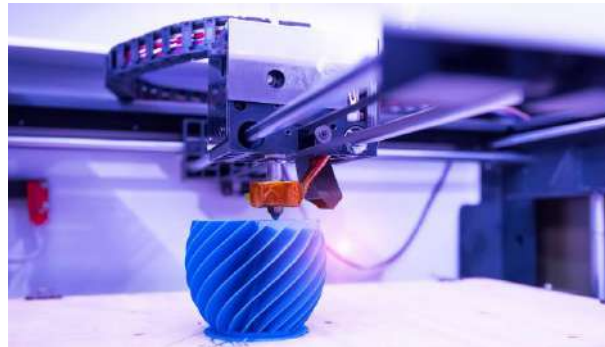
2.6-1. Fabricación Aditiva

La Fabricación Aditiva, también conocida como impresión 3D, es un proceso revolucionario que construye objetos tridimensionales capa por capa, a partir de datos digitales. En lugar de eliminar material de una pieza en bruto, como en los métodos tradicionales de fabricación sustractiva, la fabricación aditiva agrega material para crear la forma final del objeto. Esto se logra mediante el uso de tecnologías como la deposición de material fundido (FDM), la estereolitografía (SLA) o la sinterización selectiva por láser (SLS). Como se puede apreciar en la *Figura 2. 2*, la fabricación

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

aditiva ofrece ventajas como la capacidad de crear geometrías complejas, la personalización y la reducción de residuos de material.

Figura 2. 2 Fabricación Aditiva



2.6-2.Fabricación Sustractiva

La Fabricación Sustractiva es el enfoque de producción más tradicional, en el que se elimina material de una pieza en bruto para obtener la forma y dimensiones deseadas. Este proceso implica la utilización de herramientas de corte, como fresadoras, tornos, taladros, entre otros, para dar forma al material y obtener la pieza final. Como se puede observar en la Figura 2. 3.

La fabricación sustractiva es ampliamente utilizada en la industria debido a su capacidad para trabajar con una amplia variedad de materiales, incluyendo metales, plásticos y madera. Además, permite una alta precisión y acabado de superficie en las piezas fabricadas.

Figura 2. 3 Fabricación Sustractiva

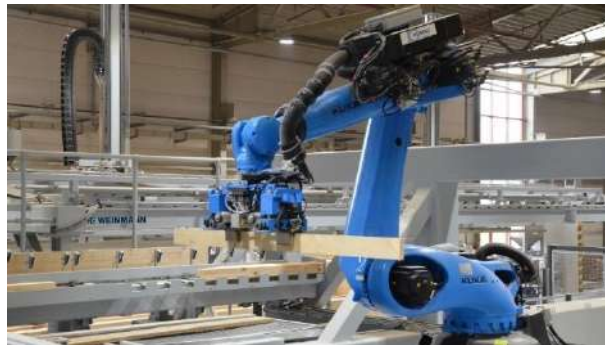


2.6-3.Fabricación Robótica

La Fabricación Robótica se basa en el uso de robots industriales para realizar tareas de fabricación. Tal como se muestra en la Figura 2. 4.

Estos robots son máquinas programables que pueden ejecutar una variedad de operaciones, como soldadura, ensamblaje, pintura, manipulación de materiales, entre otras. La fabricación robótica ofrece una serie de ventajas, como la automatización de procesos, la mejora de la eficiencia y la reducción de los tiempos de producción. Los robots industriales pueden realizar tareas repetitivas con alta precisión y velocidad, lo que los hace ideales para aplicaciones en líneas de montaje y producción en masa [4].

Figura 2. 4 Fabricación Robótica



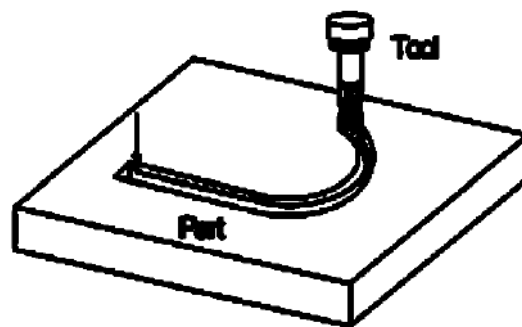
2.7- Operaciones de Maquinado

En el campo del mecanizado, existen diversas operaciones que permiten modificar las piezas según las especificaciones requeridas. A continuación, se describen algunas de las operaciones más comunes:

2.7-1. Contorneo

Operación de mecanizado en la que la herramienta sigue el contorno de una pieza, eliminando material para alcanzar la forma deseada. Como se evidencia en la Figura 2. 5.

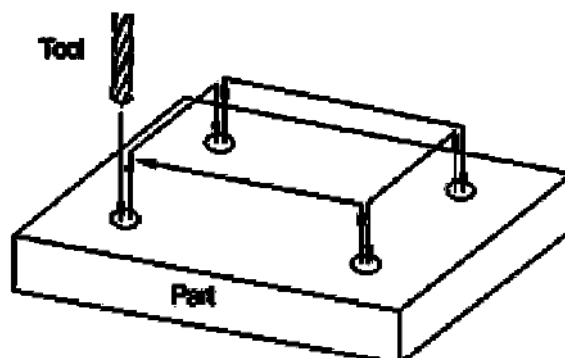
Figura 2. 5 Contorneo



2.7-2. Barrenado

Proceso de perforación que utiliza una herramienta de barrena para crear agujeros. Como se ilustra en la Figura 2. 6.

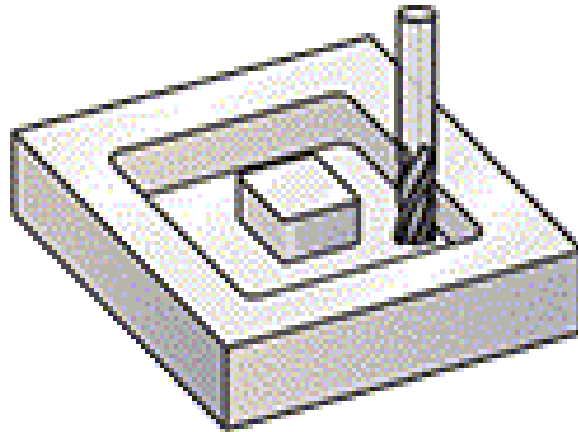
Figura 2. 6 Barrenado



2.7-3.Fresado de cavidades

Operación en la que se utiliza una fresa para crear cavidades en la pieza. Como se puede ver en la Figura 2. 7.

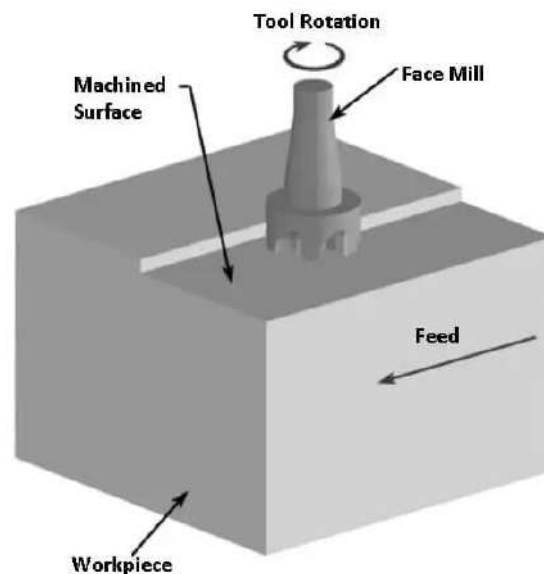
Figura 2. 7 Fresado de cavidades



2.7-4.Planeado

Proceso de mecanizado en el que una herramienta de corte se mueve en líneas rectas para alisar la superficie de la pieza, eliminando una capa uniforme de material para obtener un acabado preciso y plano. Como se aprecia en la Figura 2. 8 [2].

Figura 2. 8 Planeado



2.8- Firmware GRBL

Grbl es un firmware de control de movimiento para máquinas CNC, diseñado para ser una opción económica y de alto rendimiento. Utiliza un microcontrolador de 8 bits y está programado en C, aprovechando las capacidades del procesador AVR para lograr un control preciso y estable, generando pulsos de hasta 30 kHz. Es compatible con G-code estándar, soportando movimientos como arcos, círculos y helicoidales, así como los principales comandos de G-code, pero no incluye funciones avanzadas como macros o ciclos predefinidos. Además, Grbl gestiona la aceleración de manera anticipada, planificando hasta 16 movimientos futuros para garantizar transiciones suaves y evitar sacudidas. Es un software libre, bajo la licencia GPLv3, lo que permite su uso y modificación sin restricciones [5].

2.9- Software Universal Gcode Sender

Universal Gcode Sender es una aplicación de software que permite enviar códigos G a controladores de máquinas CNC. Es una herramienta versátil y de código abierto, compatible con diferentes plataformas como Windows, macOS y Linux. Su principal función es facilitar la comunicación entre la computadora y el controlador CNC, siendo capaz de gestionar varios tipos de controladores avanzados como GRBL, FluidNC, TinyG, g2core y Smoothieware. Además, se ejecuta de forma autónoma, sin necesidad de instalaciones adicionales, y permite un control preciso sobre las máquinas de corte, grabado y fresado [6].

2.10- Método ordinal corregido de criterios ponderados

Para Según [7], permite tomar decisiones entre varias soluciones, es crucial determinar el orden de preferencia entre distintas soluciones. Para ello, se recomienda el método ordinal corregido de criterios ponderados. Este método permite obtener resultados globales significativos sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad o estimar numéricamente el peso de cada criterio.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

El método se basa en tablas donde se comparan cada criterio o solución con los demás. Se asignan valores de la siguiente manera:

1 si el criterio o solución de las filas es superior al de las columnas.

0,5 si son equivalentes.

0 si el de las filas es inferior al de las columnas.

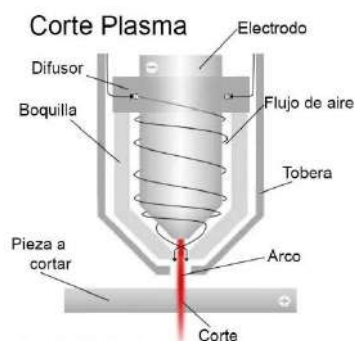
Luego, se suman los valores asignados para cada criterio o solución en relación con los demás, añadiendo una unidad para evitar valoraciones nulas para el menos favorable. Después, se calculan los valores ponderados para cada criterio o solución.

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del criterio respectivo.

2.11- Corte por plasma

El corte por plasma es un proceso térmico que utiliza un arco eléctrico de corriente continua para calentar el aire hasta convertirlo en plasma, un estado de la materia donde los electrones se separan de los átomos y el aire se ioniza, volviéndose conductor. Este chorro de plasma, con temperaturas superiores a los 20.000 °C, penetra el material a cortar, fundiéndolo y expulsando el material fundido. La ventaja principal de este proceso es la mínima deformación de la pieza debido a la concentración del calor en la zona de corte. En la Figura se muestran las distintas partes del cortador plasma [8].

Figura 2. 9 Proceso de corte por plasma



CAPÍTULO III

3-METODOLOGÍA

3.1- Recopilación de Datos

3.1.1-Hallazgos de la Entrevista

La ciudad de Coronel Oviedo, ubicada en el Departamento de Caaguazú, alberga un total de 10 talleres especializados en la industria metalmecánica. Los cuales enfrenta diversas dificultades debido a la utilización de una amplia variedad de máquinas convencionales, tales como tornos, fresadoras, taladradoras, sierras de corte y cortadores por oxicorte o plasma, para llevar a cabo sus trabajos. Así también, su uso implica desafíos en términos de eficiencia, calidad de los productos, optimización de los procesos de producción y riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores.

Con el fin de analizar más a fondo la cuestión relativa a la eficiencia, calidad de productos, optimización de los procesos de producción, se entrevistó al Técnico en mecánica general Marcelo Zena, quien desempeña diversas funciones en el ámbito de la metalmecánica. Entre sus tareas se encuentran soldadura metalúrgica, torneado, operación de fresadoras, diseño de estructuras y dispositivos hidráulicos, así como el montaje de grúas e hidroelevadores. Según sus manifestaciones en la entrevista, se enfrenta a varios inconvenientes en su trabajo diario los que se exponen a continuación.

En el proceso de corte de láminas metálicas utilizando la herramienta de oxicorte de manera manual, se presentan inconvenientes como el desperdicio de material debido a la necesidad de dejar un margen para ajustes, un acabado rugoso con rebabas que requieren ser removidas posteriormente y posibles errores humanos debido al corte manual a pulso. Además, el proceso también implica un mayor tiempo de trabajo, ya que se requiere marcar las piezas por trazos o plantillas prediseñadas, así como tiempo para ajustar las piezas. Asimismo, es común que el corte se realice

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

entre dos personas, debido a que este proceso conlleva ciertos peligros al manipular la herramienta de oxicorte, ya que expide chispas y utiliza gases inflamables.

Igualmente, en el mecanizado de piezas metálicas en la fresadora, surgen inconvenientes relacionados con el plato divisor y el acabado. El olvido de cuántas vueltas se ha dado a la manivela del plato divisor puede afectar negativamente las proporciones de las piezas mecanizadas, lo que a su vez puede afectar su funcionamiento. A su vez, el mecanizado manual con el pulso dificulta mantener un avance constante, lo que impacta en la calidad del acabado de las piezas.

En cuanto al corte de láminas de nylon y poliuretano, se realiza con una amoladora angular, lo que resulta en el derretimiento del material y un alto desperdicio.

Por otro lado, en relación a los riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores en esta industria, el técnico entrevistado mencionó que entre los riesgos a los que se expone se encuentran los cortes, quemaduras, golpes, aplastamientos y choques eléctricos. Así también, las máquinas emiten niveles de ruido elevados, lo cual puede resultar en fatiga auditiva y, en casos extremos, la pérdida de audición. Asimismo, las vibraciones generadas por estas máquinas pueden provocar dolores musculares y articulares. La exposición a polvo, vapores y gases tóxicos puede irritar los ojos y las vías respiratorias que podrían desencadenar graves problemas respiratorios. Por último, estas máquinas son capaces de generar virutas de metal, lo que supone un riesgo para los ojos y la piel, ya que pueden ocasionar cortes, quemaduras y astillamientos.

3.2- Guía de Referencia

Durante Tras la revisión de la literatura adecuada, se optó por emplear la guía de desarrollo de productos propuesto por el autor Karl T. Ulrich en su obra "Diseño y Desarrollo de Productos" [9] . Este enfoque ha sido adaptado para guiar el proceso de construcción del prototipo de máquina CNC que se detalla a continuación.

- **Identificación de la necesidad**

Identificar las necesidades específicas que la máquina CNC debe satisfacer.

- **Desarrollo de concepto**

Seleccionar el tipo de máquina CNC que mejor se adapte a las necesidades. Esto podría incluir consideraciones sobre el tamaño, la capacidad de carga, la precisión, el tipo de movimiento (3 ejes, 4 ejes, 5 ejes, etc.), y la interfaz de usuario.

- **Diseño y planificación**

Elaborar planes detallados para el diseño y la construcción de la máquina CNC. Esto incluye la selección de componentes como motores, husillos, controladores, estructuras mecánicas, eléctricas y electrónicas, para su posterior fabricación.

- **Desarrollo y prototipado**

Fabricar el prototipo de máquina CNC según los planes elaborados en la etapa anterior. Esto implica la fabricación de las piezas mecánicas, la instalación de los componentes eléctricos y electrónicos.

- **Pruebas y refinamiento**

Realizar pruebas del prototipo para evaluar su funcionamiento y rendimiento. Identificar cualquier problema o área de mejora y realizar los ajustes necesarios en el diseño o la configuración.

- **Evaluación de costo**

Elaborar un presupuesto para la fabricación del prototipo.

3.3- Identificación de la Necesidad

Se identificaron las necesidades específicas de la máquina CNC a partir de los resultados de la entrevista. Estas incluían la capacidad de realizar cortes y mecanizados eficientes, reducir el tiempo de trabajo y minimizar el desperdicio de material. Así también, realizar un acabado de alta calidad en las piezas mecanizadas, evitando rebabas y asegurando medidas precisas y consistentes. Por otra parte, disminuir los riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores, respecto a la exposición a chispas, gases inflamables y otras situaciones peligrosas asociadas con herramientas manuales. Del mismo modo reducir la exposición a ruido, vibraciones, polvo, vapores y gases tóxicos que pudieran afectar la salud de los trabajadores en la industria metalmecánica. Por último, manejar una variedad de materiales, como metal, nylon, poliuretano, entre otros.

3.4- Desarrollo de Concepto

Se llevó a cabo una evaluación comparativa de los modelos de máquinas CNC más utilizados en la industria metalmecánica para determinar la solución óptima para abordar las problemáticas identificadas. Se utilizó el "Método ordinal corregido de criterios ponderados", propuesto por Carles Riba Romeva en su obra "Diseño concurrente" [7].

Para dicha evaluación se consideraron tres modelos de máquinas CNC: Router, Torno y Fresadora. Se evaluaron estos modelos según siete criterios: Tipo de operación, Movilidad de la herramienta, Características geométricas de las piezas, Herramientas empleadas, Aplicaciones principales, Materiales típicos y Flexibilidad.

La evaluación detallada se encuentra en el Apéndice A, donde se evidencia claramente que el router está mejor ubicado, cerca de la fresadora, mientras que el torno se encuentra a una distancia considerable.

Por consiguiente, el equipo router es el que logra mayor puntuación, distinguiéndose por su capacidad para ejecutar una amplia gama de operaciones, asegurando así una cobertura integral de las necesidades.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

El sistema desarrollado adopta una configuración de tamaño intermedio con dimensiones operativas de 2 metros de longitud, 2 metros de ancho y 1 metro de altura, dentro de un espacio máximo requerido de 2.5 metros de longitud, 2.5 metros de ancho y 2 metros de altura. Este sistema se caracteriza por su movimiento en 3 ejes y su interfaz de usuario, la cual se basa en software de código abierto. Los desplazamientos máximos de cada eje son los siguientes: en los ejes X e Y son de 2000mm, y en el eje Z es de 450mm.

Para el corte y mecanizado, se emplearon dos herramientas especializadas como el cortador de plasma y el husillo. Los materiales aptos abarcan aleaciones de acero, como el acero al carbono y el acero inoxidable, además de metales no ferrosos como aluminio, bronce y latón. Asimismo, se incluyen materiales plásticos como el nylon y el poliuretano, junto con madera.

3.5- Diseño de la Máquina

Se llevó a cabo una evaluación comparativa de los modelos de máquinas CNC más utilizados

3.5.1-Sistema de Transmisión

El sistema de transmisión es esencial en las máquinas para mover la potencia entre sus partes. Las máquinas de control numérico computarizado (CNC) típicamente incorporan sistemas de transmisión, como piñón-cremallera, polea-correa y husillo de bolas.

Para la selección del tipo de sistema de transmisión más adecuado para la máquina se utilizó el "Método ordinal corregido de criterios ponderados" [7]. Se evaluaron según cuatro criterios: Costo, Precisión, Velocidad y Mantenimiento.

En el Apéndice B, se encuentra la evaluación detallada que demuestra que el husillo de bolas está mejor ubicado, cerca de la polea-correa, mientras que el piñón-cremallera se encuentra a una distancia considerable.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Por lo tanto, se ha seleccionado el husillo de bolas modelo SFU1605-4 según las longitudes requeridas. Determinadas en función de los desplazamientos máximos en cada eje. Los ejes X e Y tienen una longitud de 2000mm, mientras que el eje Z tiene una longitud de 450mm. Las especificaciones técnicas detalladas se encuentran en el Apéndice C.

3.5.2-Sistema de Desplazamiento

Se escogió una Base fija con un puente móvil ajustable en altura. Los movimientos máximos de cada eje son: 2000mm en X e Y, y 450mm en Z.

Se realizó un análisis de flexión para dimensionar correctamente los perfiles, mediante el "Método de esfuerzo debido a flexión" de Robert L. Mott en su libro "Resistencia de Materiales" [10]. El análisis incluyó la determinación de la capacidad máxima de carga, el momento máximo, el esfuerzo máximo y el módulo de sección mínimo requerido. Así también se determinó el par mínimo, mediante la fórmula de par dada por el fabricante del husillo de bolas [11]. Los resultados de este análisis se presentan a continuación. Para más detalles, consultar el Apéndice D

3.5.2.1- Eje Z: tiene una capacidad máxima de carga de 77,041N, un momento máximo de 8667,153 Nmm, un esfuerzo máximo de 77,500 Mpa y un módulo de sección mínimo requerido de 111,834mm³. Se necesita un par mínimo de 7 Ncm. Se determinó un diámetro mínimo de 10,441mm, por lo que se seleccionó un eje trefilado de 16 mm de diámetro y 450 mm de largo como eje guía.

3.5.2.2- Eje X: soporta al Eje Z y tiene una capacidad máxima de carga de 318,382N, un momento máximo de 191028,917Nmm, un esfuerzo máximo de 58,750 Mpa y requiere un módulo de sección mínimo de 3251.556 mm³. Se necesitan al menos 28 Ncm de par mínimo.

Se eligieron perfiles UPN 80 y UPN 100, ambos de 2400 mm de largo, debido a sus módulos de sección de 26500 mm³ y 41200 mm³, respectivamente, los cuales garantizan estabilidad y solidez durante el mecanizado.

3.5.2.3- Eje Y: posee dos perfiles espaciados a 2400 mm, ambos soportando el Eje X y el Eje Z. Su capacidad máxima de carga es de 595,990 N, con un momento

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

máximo de 357593,947Nmm, un esfuerzo máximo de 58,750 Mpa y un módulo de sección mínimo requerido de 6086,705mm³. Se requieren al menos 53 Ncm de par mínimo. Se eligió el mismo perfil UPN 80 de 2400 mm de largo por las mismas razones de estabilidad y solidez.

3.5.3-Diseño de la Mesa de Corte

Se optó por una mesa de corte de rejilla, compuesta por dos partes: una base fija, ajustable en altura para el corte y mecanizado de piezas, y otra parte superior que sirve como bandeja móvil con agua para el corte con plasma. Esta bandeja también puede colocarse debajo de la base fija para recoger el fluido refrigerante durante el mecanizado.

Se llevó a cabo un análisis de flexión para dimensionar correctamente los perfiles, mediante el "Método de cálculo de esfuerzos por flexión" de Robert L. Mott en su libro "Resistencia de Materiales" [10]. Este análisis abarcó la determinación del peso de la carga, el momento máximo, el esfuerzo máximo y el mínimo módulo de sección requerido. Los resultados de este análisis se presentan a continuación. Para obtener información más detallada, se recomienda consultar el Apéndice E.

3.5.3.1- Rejilla: consta de 22 perfiles cuadrados metálicos con concreto, cada uno con una longitud de 2400mm, colocados uniformemente en paralelo. Cada perfil tiene una capacidad máxima de carga de 355,116 N y un momento máximo de 213069,722 Nmm. El esfuerzo máximo que puede soportar cada perfil es de 137,500 MPa, y se requiere un módulo de sección mínimo de 1549,598 mm³ para cada uno. Se determinó que el ancho mínimo necesario es de 21,028 mm por perfil, por lo que se eligió un perfil cuadrado de 50 mm de ancho por 2mm de espesor para cada uno, asegurando estabilidad y solidez durante el mecanizado.

3.5.3.2 -Bastidor: consta de 2 perfiles rectangulares metálicos con concreto con alama de acero, cada uno con una longitud de 2400mm, colocados en paralelo. Cada perfil tiene una capacidad máxima de carga de 6042,895 N y un momento máximo de 3625737,152 Nmm. El esfuerzo máximo que puede soportar cada perfil es de 275 MPa, y se requiere un módulo de sección mínimo de 13184,499 mm³ para cada uno. Se determinó que el alto mínimo necesario es de 72,621 mm de altura por 60 mm de

ancho por perfil. Por lo tanto, se optó por un perfil rectangular de 100 mm de altura, 60 mm de ancho y 2 mm de espesor para cada uno, asegurando estabilidad y solidez durante el mecanizado.

3.5.4-Sistema de Refrigeración

Se eligió un sistema de refrigeración retroalimentado. Este sistema rocía un líquido refrigerante sobre la herramienta de corte para refrigerarla y lubricarla. Luego, el líquido se recoge, filtra y vuelve a rociar. El sistema está compuesto por un líquido refrigerante, un depósito, un filtro, tuberías de distribución, una bomba y un rociador.

Según [12], el caudal mínimo requerido para los procesos de mecanizado en general es de 3 l/min. Por lo tanto, se seleccionó una bomba cuyo caudal máximo es de 22 l/min, el cual es el mínimo disponible en el mercado para dicho uso. Las especificaciones técnicas detalladas se encuentran en el Apéndice F.

3.5.5-Selección de Componentes

3.5.5.1- Husillo: Tras considerar factores como el tipo de material a mecanizar, el trabajo a realizar y el tipo de herramienta de corte, se aplicaron los "Cálculos para trabajos de fresado" de A. L. Casillas, extraídos de su libro "Máquinas (Cálculos de Taller)" [13]. Estos cálculos determinaron los siguientes parámetros: velocidad de corte, velocidad de la herramienta, velocidad de avance y potencia necesaria.

Después de evaluar estos factores y realizar los cálculos correspondientes, se establecieron valores para cada parámetro: velocidad de corte (143.257 m/min), velocidad de la herramienta (7600 min⁻¹), velocidad de avance (972.800 mm/min) y potencia necesaria (224W). Para detalles adicionales, se recomienda consultar el Apéndice G.

En base a estos datos, se seleccionó un husillo con una potencia nominal de 530 W y una velocidad máxima variable de hasta 30000 rpm.

3.5.5.2- Cortador Plasma y Compresor de Aire: En el Apartado "Desarrollo de Concepto", se optó por una máquina de tamaño intermedio. Para el corte de láminas metálicas en ese tamaño de máquina, el espesor máximo es de 1/2" o 12,7mm.

Con estos parámetros, se eligió la máquina cortadora por plasma de la marca Neo, modelo IP1012, con una potencia nominal de 5750 W y un espesor de corte máximo de 18mm. Así también se empleó el Compresor de aire correspondiente de la marca SCHULZ, modelo CSV-10. Las especificaciones técnicas detalladas se encuentran en el Apéndice H.

3.5.5.3- Rodamientos: En el apartado "Sistema de Desplazamiento", se estableció la capacidad máxima de carga para cada eje, alcanzando un valor máximo de 595,990 N. Basándonos en este resultado, se optó por un rodamiento rígido de bolas con sello de hule, específicamente el modelo 6301RS, que tiene una capacidad máxima de carga radial de 4200 N, que garantiza estabilidad y solidez durante el mecanizado. Las especificaciones técnicas detalladas se encuentran en el Apéndice I.

3.5.5.4- Motor y Driver: Para seleccionar el motor más adecuado para la máquina, se empleó el "Método ordinal corregido de criterios ponderados" [7]. Se evaluaron seis criterios: Costo, Precisión, Torque, Velocidad, Espacio y Mantenimiento. Los detalles de la evaluación se encuentran en el Apéndice J, donde se demuestra que el motor paso a paso supera al servomotor en idoneidad.

Posteriormente, para elegir el motor paso a paso específico, se examinó el apartado "Sistema de Desplazamiento", donde se determinó el par mínimo para cada eje: Eje X: 28 Ncm, Eje Y: 53 Ncm, Eje Z: 7Ncm. Se seleccionó un motor paso a paso con un par superior al mínimo requerido, dada la necesidad de par disponible para el proceso de mecanizado. Por consiguiente, se optó por el motor disponible en el mercado y en concreto el modelo 23HS2430B, con un par nominal de 280 Ncm, un ángulo de paso de 1.8 grados y una corriente nominal por fase de 3.0 A. Se empleó

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

el Driver correspondiente de la marca Toshiba, modelo TB6560AHQ. Las demás especificaciones técnicas están detalladas en el Apéndice K.

3.5.5.5- Componentes de detección y control: Se seleccionaron los siguientes elementos: finales de carrera para cada eje, sonda de altura, interruptor de tipo llave y selector, pulsadores, interruptor de emergencia y luces indicadoras. Las especificaciones técnicas se encuentran detalladas en el Apéndice L.

3.5.5.6- Fuente de Poder: Se determinó la corriente total requerida al sumar las corrientes de todos los dispositivos, como los drivers de motor y el controlador. Esto dio como resultado una corriente nominal de 16.860A y una potencia nominal de 404,640W. Se optó por una fuente de alimentación conmutada de 24V y 500W de capacidad. Para más detalles, ver el Apéndice M.

3.5.5.7- Conductores: Se calcularon las secciones transversales para cada conductor por circuito, teniendo en cuenta factores como la naturaleza de la tensión (alterna o continua), la caída de tensión y el factor de potencia para la corriente alterna. Esto condujo a secciones transversales de 1, 2, 4 y 6 mm². Se optó por utilizar conductores multifilares (antillama y atóxicos) con aislamiento de PVC (policloruro de vinilo). Los cálculos detallados se encuentran en el Apéndice N.

3.5.5.8- Protección eléctrica: Se seleccionaron interruptores termomagnéticos unipolares de 6A, 32A y 40A en el Apéndice N para proteger contra sobrecorrientes y cortocircuitos. Además, se eligió un interruptor diferencial de 40A para proteger contra fugas de corriente eléctrica. Para proteger los dispositivos electrónicos contra interferencias electromagnéticas, se seleccionó un filtro de potencia EMI de 10A. Los detalles técnicos se encuentran en el Apéndice O.

3.5.6-Software de Control

En el Apartado "Desarrollo de Concepto", se eligió una máquina de 3 ejes y un Software de control de código abierto. Inicialmente se optó por el firmware GRBL debido a su simplicidad, eficacia y amplia comunidad de soporte, lo que lo hace una elección viable para el control de la máquina. Posteriormente, se seleccionó el software de control Universal G-code Sender por su interfaz simple, su capacidad para enviar comandos G-code de manera eficiente en 3 ejes (X, Y, Z), y su

compatibilidad con una amplia variedad de controladores, incluido GRBL [6]. Las demás especificaciones técnicas están detalladas en el Apéndice P.

3.5.7-Diseño del Controlador

En el Apartado anterior "Software de Control", se eligió el firmware GRBL, hecho específicamente para ser ejecutado en el microcontrolador ATmega 328P [5]. Tras la selección del microcontrolador, se dio inicio al proceso de desarrollo del controlador, el cual comprendió el diseño y la fabricación de una placa de circuito impreso (PCB) específica utilizando el software online EasyEDA [14]. Esta PCB alojó componentes como el microcontrolador ATmega328P, el regulador de voltaje, el chip FTDI232, terminales de conexión y otros elementos necesarios. Durante el diseño se consideró la disposición óptima de los componentes y las conexiones eléctricas requeridas. Para detalles adicionales, se recomienda consultar el Apéndice Q.

3.5.8-Panel de Control

Se diseñó el panel de control utilizando el software de código abierto Inkscape [15] y se emplearon iconos gratuitos de Flaticon [16]. Incluye símbolos para: Llave de seguridad, interruptor de encendido, indicadores de conexión y encendido, perilla con tres modos de trabajo, botones para iniciar, detener y abortar el proceso de mecanizado, perilla para el control automático y manual del husillo y sistema de refrigeración, botones para la parada de emergencia y reinicio del microcontrolador. Para más detalles, ver el Apéndice R.

3.5.9-Diseño de la Estructura Mecánica

El diseño de la estructura mecánica se llevó a cabo utilizando el software de código abierto LibreCAD [17]. Estos planos no solo proporcionaron una representación visual precisa de la estructura, sino que también sirvieron como una guía esencial durante la fase de fabricación y ensamblaje de los componentes mecánicos. Se prestaron especial atención a detalles críticos como la disposición de los ejes, los soportes, los sistemas de movimiento, así como cualquier otro componente necesario para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Para más detalles, ver el Apéndice S.

3.5.10- Diseño Eléctrico

Se estableció un esquema de conexión eléctrica detallada utilizando el software de código abierto QElectroTech [18]. El esquema comenzó en el tablero general, donde se ubicaron los dispositivos de protección eléctrica, la fuente de alimentación, la tarjeta de control, los drivers de cada motor, los sensores, los actuadores y demás elementos. Se puede encontrar más información en el Apéndice T.

3.6- Fabricación del Prototipo

Conforme se finalizaron las fases de diseño, se procedió a la adquisición de materiales tanto en el mercado nacional como internacional, según las especificaciones definidas. Posteriormente, se dio inicio al proceso de fabricación del prototipo, el cual se estructuró en etapas descritas a continuación. Cabe mencionar que el texto detalla el proceso de realización, proporcionando información clave; sin embargo, se recomienda complementarlo con la revisión de los planos técnicos para una mejor comprensión del conjunto.

3.6.1-Cimentación de la base

En esta etapa, se realizó la ubicación y posicionamiento de las zapatas de la máquina, comenzando con la medición y marcado del terreno, seguido de la excavación de los hoyos correspondientes. Posteriormente, se fabricaron y montaron las estructuras de las zapatas en los lugares definidos, asegurándolas temporalmente para garantizar su estabilidad durante el vertido y fraguado del concreto. Este proceso requirió el uso de herramientas como amoladora, máquina de soldar, mazo, cincel, palas de diferentes tipos y mezcladora de concreto. El proceso se puede apreciar en la Figura 3. 1.

Figura 3. 1 Cimentación de la base



3.6.2-Estructura de la máquina

Durante esta etapa, se fabricaron las columnas, tensores, soportes, ejes (X, Y, Z), plataformas de los ejes (X, Y, Z), mesa de corte, bandeja/rejilla, tablero, bandeja portacables y topes de guía. El proceso incluyó el uso de herramientas de herrería, como amoladora, taladros manual y de columna, máquina de soldadura, pinzas y otros equipos complementarios. Se empleó soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido rutilico E6013 de 3/32”.

3.6.2.1- Columna

Se fabricaron cuatro columnas utilizando caño cuadrado de 60x60x3 mm, con una longitud de 2000 mm cada una. En cada columna se perforaron 20 orificios colineales con una separación de 70 mm entre sí, empleando una broca de 13 mm. El primer orificio se ubicó a 307,5 mm desde la base. La fabricación de estos componentes se ilustra en la Figura 3. 2.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Figura 3. 2 Fabricación de las columnas



Para la base de la columna se emplearon ocho soportes (dos por columna, dispuestos en paralelo) fabricados con ángulo de 3"x3/16" y una longitud de 180 mm. Estos soportes se perforaron con cuatro orificios dispuestos en los vértices de un cuadrado de 100 mm de lado, utilizando una broca de 16 mm. Los soportes fueron soldados a las columnas a una altura de 100 mm desde el suelo. La fabricación de estos componentes se ilustra en la Figura 3. 3.

Figura 3. 3 Fabricación de las bases de las columnas



Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Por último, para la unión de los tensores se utilizaron ocho soportes (dos por columna, dispuestos perpendicularmente) elaborados con ángulo de 1 1/2"x3/16" y una longitud de 100 mm. Cada soporte fue perforado con dos orificios (uno en cada cara), ubicados a 25 mm y 75 mm, respectivamente, utilizando una broca de 12 mm. Estos soportes fueron soldados a las columnas a una altura de 200 mm desde el suelo. La fabricación de estos componentes se ilustra en la Figura 3. 4.

Figura 3. 4 Fabricación de soportes de tensores



3.6.2.2- Tensores:

- **Tensores laterales:** Se utilizaron ocho tensores (cuatro superiores y cuatro inferiores), fabricados con ángulo de 2" x 3/16" y una longitud de 2276 mm. Cada tensor fue perforado con cuatro orificios (dos en cada cara) utilizando una broca de 12 mm.

- **Tensores diagonales:** Se emplearon cuatro tensores (dos superiores y dos inferiores) de ángulo 2" x 3/16", con una longitud de 3408,25 mm. En cada tensor se realizaron cinco perforaciones en su cara superior, también con una broca de 12 mm.

- **Soportes centrales:** Para unir los tensores en su parte central, se fabricaron dos soportes (uno por tensor) en chapa de acero de 3/16" de espesor, con forma cuadrada de 200 mm de lado. Cada soporte se perforó con cinco orificios: cuatro

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

dispuestos en los vértices de un cuadrado de 127,25 mm de lado y uno en el centro, utilizando una broca de 12 mm.

-Soportes superiores: Se construyeron cuatro soportes superiores para las esquinas, elaborados en chapa de 3/16" de espesor con una forma cuadrada de 100 mm de lado.

La disposición y construcción de estos componentes se detalla en la Figura 3. 5.

Figura 3. 5 Construcción de tensores



3.6.2.3- Soportes:

-Soportes de motor: Se fabricaron tres soportes de ángulo de 2 1/2" x 3/16", cada uno con cuatro orificios roscados M5 en la parte frontal, dispuestos en los vértices de un cuadrado de 47,25 mm de lado. Además, se perforó un orificio central de 38 mm y dos perforaciones roscadas M6 centradas en la parte inferior, separadas por 40 mm entre sí.

-Soportes de la mesa de corte: Se construyeron cuatro soportes mediante la unión soldada de dos ángulos de 3" x 1/4", con una longitud de 190 mm. Cada soporte incluye dos perforaciones pasantes centradas, separadas por 140 mm, realizadas con una broca de 13 mm.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

-Soportes de los ejes: Se emplearon cuatro soportes fabricados con ángulos de 3" x 1/4" y una longitud de 190 mm. Cada pieza se perforó con dos orificios centrados y pasantes, separados por 140 mm, utilizando una broca de 13 mm.

La construcción y diseño de estos soportes se ilustra en la Figura 3. 6

Figura 3. 6 Construcción de soportes



3.6.2.4- Ejes (X, Y, Z):

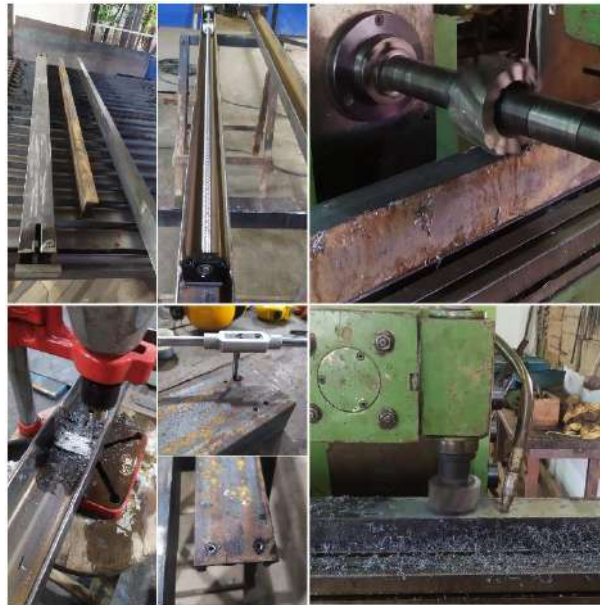
- **Eje X:** Se emplearon dos perfiles UPN: uno de 80 mm en la parte inferior y otro de 100 mm en la parte superior, ambos con una longitud de 2230,25 mm y separados entre sí por 185 mm. Estos perfiles se unieron mediante soldadura a una planchuela de 2"x1/4" y 450 mm de longitud, la cual cuenta con cuatro perforaciones de 12 mm para su fijación a la plataforma del eje Y mediante tornillos.

-**Eje Y:** Se utilizaron dos perfiles UPN 80 de 2261 mm de longitud, soldados a los soportes del eje Y. Todos los perfiles fueron mecanizados mediante cepillado en fresadora para garantizar superficies uniformes. Además, se soldaron calces internos con perforaciones roscadas M6 para sujetar los soportes del husillo de bolas SFU1605 y los topes de guías.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

-Eje Z: Se emplearon dos ejes trefilados SBR16 de 16 mm de diámetro y 450 mm de longitud como guías. Estos se fijaron a la plataforma del eje X mediante tornillos. La construcción de estos componentes se ilustra en la Figura 3. 7.

Figura 3. 7 Construcción de los ejes (X, Y, Z)



3.6.2.5- Plataformas de los ejes (X, Y, Z):

- Plataforma del eje X: Se fabricaron dos placas rectangulares de 300x480 mm en chapa de 3/16" de espesor:

- Placa frontal: Incluye 20 perforaciones roscadas M6 (seis para soportes del husillo SFU1605, doce para guías lineales SBR16 y dos para la cadena cubrecables). Además, posee un soporte de motor con cuatro orificios roscados M5 en los vértices de un cuadrado de 47,25 mm, un orificio central de 38 mm y cuatro perforaciones adicionales de 12 mm.

- Placa posterior: Contiene dos perforaciones roscadas M6 para la cadena cubrecables, cuatro orificios de 6 mm para fijación del husillo, ocho perforaciones roscadas M5 para finales de carrera y cuatro perforaciones de 12 mm. En su parte central superior lleva soldado un soporte para la cadena cubrecables.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Ambas placas incluyen dos soportes soldados en la parte inferior para sujetar el tensor de las ruedas.

- **Plataforma del eje Y:** Se fabricaron dos placas trapezoidales de 300x480 mm y dos placas rectangulares de 200x300 mm, todas en chapa de 3/16" de espesor:

- **Placa trapezoidal:** Posee un orificio de 38 mm, ocho perforaciones de 12 mm y dos perforaciones roscadas M6.

- **Placa rectangular:** Incluye cuatro perforaciones de 12 mm y cuatro de 6 mm, además de ocho perforaciones roscadas M5 en la parte superior para finales de carrera. Una de estas placas lleva soldado en su parte central superior un soporte para la cadena cubrecables.

Todas las placas cuentan con dos soportes soldados en la parte inferior para sujetar el tensor de las ruedas.

3.6.2.6- Plataforma del eje Z: Se fabricó una placa rectangular de 200x400 mm en chapa de 3/16" de espesor. La placa incluye un refuerzo posterior fabricado en ángulo de 1 1/2"x3/16", el cual se fija mediante tornillos. Además, cuenta con 20 perforaciones de 6 mm y 14 perforaciones roscadas M6. La construcción de estas plataformas se detalla en la Figura 3. 8.

Figura 3. 8 Construcción de las plataformas de los ejes (X, Y, Z)



3.6.2.7- Ruedas: Se fabricaron 12 ruedas mediante mecanizado en torno, partiendo de una varilla de acero de 2 1/2" de diámetro. Cada rueda presenta dos diámetros principales: un diámetro exterior mayor de 55 mm y un diámetro exterior menor de 45 mm. Además, incorporan un asiento para rodamiento con un diámetro de 37 mm. Diez ruedas poseen una separación de 45 mm, mientras que las dos restantes tienen una separación de 40 mm.

Durante el proceso de mecanizado, se ajustaron las tolerancias de las medidas de separación para garantizar un deslizamiento preciso y sin obstrucciones sobre los ejes correspondientes. La construcción de estas ruedas se ilustra en la Figura 3. 9.

Figura 3. 9 Construcción de ruedas



3.6.2.8- Mesa de corte: Para el bastidor de la mesa de corte, se emplearon dos caños rectangulares de 60x100x3 mm con concreto y alma de acero, cada uno con una longitud de 2261 mm. La rejilla fue construida con 22 caños cuadrados de 50x50x2 mm, cada uno con una longitud de 2276 mm. El bastidor dispone de seis perforaciones pasantes de 13 mm en su lateral. Los caños están separados en dos grupos, y cada grupo está sujeto con soldadura a un ángulo de 2"x3/16" con seis perforaciones, igual que los bastidores. Cada grupo de caños finalmente se encastra

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

entre los bastidores y se sujeta con tornillos. La construcción de la mesa de corte se ilustra en la Figura 3. 10.

Figura 3. 10 Construcción de la mesa de corte



3.6.2.9- Bandeja/Rejilla:

Cada bandeja fue fabricada con un contorno de ángulo de 2"x1/8" con dimensiones de 1010x2007 mm, y un refuerzo central de planchuela de 2"x1/8" con una longitud de 910 mm. En la parte interna, se soldó y selló una chapa calibre 16, además de contar con una salida para el desagüe de 3/4" macho, soldada a una de las esquinas de la bandeja. Las rejillas fueron construidas con planchuelas de 1 1/2"x1/8" para el contorno, con dimensiones de 1000x2000 mm, y con 9 piezas de 2000 mm de largo dispuestas a 97 mm de separación. También se incorporaron 2 varillas lisas de 3/8" transversales, separadas a 667 mm entre sí. La construcción de la bandeja/rejilla se ilustra en la Figura 3. 11.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Figura 3. 11 Construcción de la bandeja y rejilla



3.6.2.10- Tablero: El tablero fue fabricado con chapa calibre 16, con dimensiones de 200x390x440 mm. Incluye 14 perforaciones de 22 mm en su parte frontal para los dispositivos de control y 3 perforaciones de 38 mm en su parte lateral para conductores. También dispone de perforaciones para ventilación y un compartimiento para los dispositivos de protección. La construcción del tablero se ilustra en la Figura 3. 12.

Figura 3. 12 Construcción del tablero



Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

3.6.2.11- Bandeja porta cables: Se fabricaron dos bandejas porta cables utilizando perfil U de 100x40x2 mm. La primera bandeja tiene una longitud de 2261 mm y está equipada con dos soportes de ángulo de 1 1/2"x1/8" de 220 mm, ubicados en sus extremos, con perforaciones de 13 mm para fijarse al eje Y. La segunda bandeja, con una longitud de 2230,25 mm, tiene dos soportes de ángulo de 3/4"x1/8" de 100 mm, ubicados en los extremos, con perforaciones de 6 mm para su sujeción a la plataforma del eje Y. Ambas bandejas cuentan con dos perforaciones de 6 mm en el canal para sujetar la cadena cubrecables.

3.6.2.12- Topes de guía: Fueron fabricados con planchuela de 1 1/2"x1/8", con una altura de 90 mm y un ancho de 65 mm. Cada tope dispone de dos perforaciones de 6 mm para su fijación.

La Figura 3. 13 muestra el proceso de fabricación.

Figura 3. 13 Proceso de fabricación



3.6.3- Pintado y ensamblaje final de la estructura

En esta fase, se llevó a cabo el pintado y ensamblaje final de la estructura, utilizando herramientas mecánicas y de pintura como soplete, compresor de aire, amoladora, llaves de boca, llaves de tubo, llaves Allen, pinzas, y destornilladores.

Inicialmente, se desbastaron y lijaron los cantos filosos de las piezas, eliminando imperfecciones y acondicionando las superficies para su acabado final. Posteriormente, se desengrasaron las superficies y se enmascararon las áreas con rozamiento. A continuación, se aplicó una capa de esmalte antióxido con soplete, seguido por una capa de esmalte sintético una vez secada la anterior. La aplicación de esmalte antióxido y esmalte sintético se ilustra en la Figura 3. 14.

Figura 3. 14 Proceso de pintado



Tras el secado completo de las piezas, se procedió al ensamblaje de las plataformas. Las plataformas de los ejes X y Y se ensamblaron parcialmente, instalando los tensores de las ruedas, bulones, arandelas y ruedas con rodamientos sin fijar la otra placa. Por otro lado, el eje y la plataforma del eje Z fueron ensamblados completamente, instalando guías lineales SBR16 y rodamientos SBR16UU, el husillo SFU1605 y la placa del eje Z.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Se procedió al montaje del husillo SFU1605 en los dos ejes Y, seguido de la unión de estos ejes a las columnas y el ensamblaje final de las plataformas previamente armadas. Posteriormente, se ajustó y verificó el funcionamiento de los componentes.

El husillo de bolas SFU1605 fue instalado en el eje X y unido a la plataforma del eje Y, completando el ensamblaje de la plataforma del eje X, que ya había sido parcialmente montada. Una vez ajustado y verificado su funcionamiento, se procedió a unir el husillo de bolas SFU1605 a cada plataforma.

Finalmente, se instalaron las dos bandejas porta cables, las tres cadenas cubrecables y los topes de guía en los extremos de cada eje. El proceso culminó con la instalación del sistema de refrigeración, que incluyó la manguera, el tanque y los elementos asociados.

El ensamblaje final de la estructura se ilustra en la Figura 3. 15.

Figura 3. 15 Ensamblaje final de la estructura



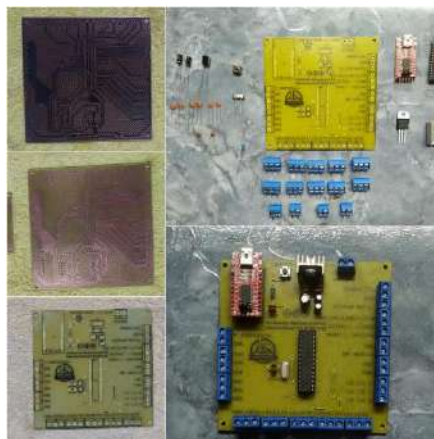
3.6.4-Controlador de la máquina

Se fabricó la placa de circuito impreso (PCB) del controlador y se cargó el gestor de arranque en el microcontrolador, seguido de la carga del firmware correspondiente. El proceso incluyó el uso de herramientas como amoladora, taladro de columna, caudín, pinzas, entre otras.

Se empleó el método de planchado con ácido para la fabricación de la PCB. El proceso comenzó con la impresión del diseño del circuito en papel fotográfico usando tóner, seguido del corte de la placa virgen a 100x100 mm y limpieza de su superficie. Se transfirió el tóner al cobre aplicando calor y presión con una plancha caliente, luego se sumergió la placa en agua para retirar el papel fotográfico. Se verificó la transferencia del tóner, corrigiendo cualquier error con un rotulador. Posteriormente, se sumergió la placa en una solución de agua y cloruro férrico durante aproximadamente 10 minutos, removiendo periódicamente el recipiente hasta que el ácido eliminó el cobre expuesto. Tras lavar la placa con agua para eliminar residuos de ácido, se usó thinner para limpiar el tóner.

Se perforaron los orificios de la PCB con brocas de 1 mm y 1.5 mm, según la necesidad de cada componente. Se repitió el proceso de planchado para transferir el diseño de la serigrafía o máscara de componentes al reverso de la placa. Luego, se ensamblaron y soldaron los componentes electrónicos conforme al diseño. Después de realizar la limpieza y prueba de continuidad, se aplicó una capa aislante de esmalte sobre la placa. Este proceso se muestra en la Figura 3. 16.

Figura 3. 16 Proceso de fabricación del controlador



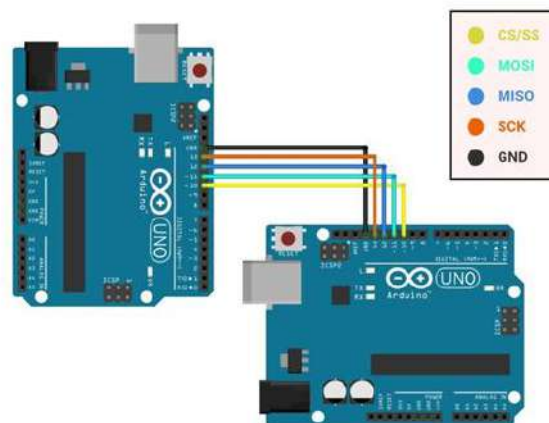
Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Para habilitar las funciones del controlador, se cargó el gestor de arranque en el microcontrolador siguiendo estos pasos:

Preparación del Programador ISP:

Se utilizaron dos placas Arduino Uno, una como programador ISP y la otra como destino para el gestor de arranque. La conexión entre ambas placas se mostró en la Figura 3. 17.

Figura 3. 17 La conexión entre ambas placas



Configuración del IDE de Arduino:

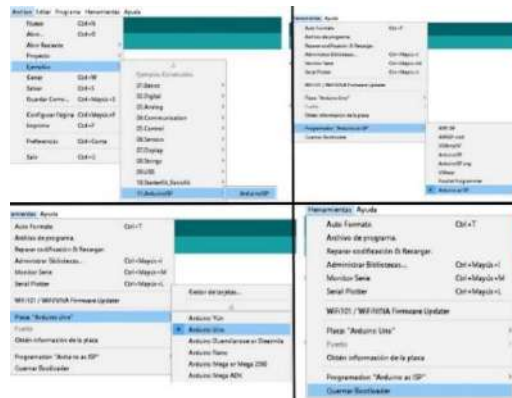
Se descargó e instaló el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino desde su plataforma oficial. Dentro del IDE, se seleccionó el ejemplo "ArduinoISP" y se cargó en la placa Arduino Uno que actuaba como programador, utilizando el puerto USB correspondiente.

Configuración del Programador ISP:

Se configuró el IDE para seleccionar la placa "Arduino Uno" y el procesador "ATmega328p", y se especificó "Arduino as ISP" como programador. Luego, se ejecutó la opción "Quemar Bootloader", lo que activó los LEDs de transmisión (TX) y recepción (RX), confirmando la carga exitosa del gestor de arranque. Este proceso se muestra en la Figura 3. 18.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
 José Adrián Talavera Chaves - 2024

Figura 3. 18 Configuración del programador ISP



Una vez cargado el gestor de arranque, se procedió a cargar el firmware:

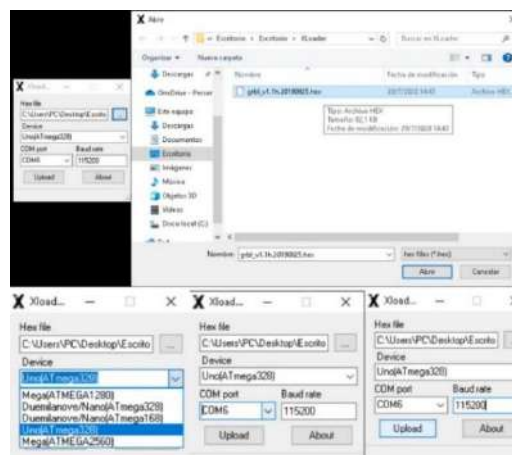
Adquisición de Herramientas:

Se obtuvieron los componentes necesarios desde GitHub: el programa xLoader para flashear archivos HEX en el ATmega328 y el firmware GRBL versión 1.1 en formato (.hex).

Procedimiento para Cargar Archivos HEX con xLoader:

Se inició la aplicación xLoader, se seleccionó el archivo HEX correspondiente al firmware GRBL versión 1.1, y se configuró el dispositivo y puerto COM. La velocidad de transmisión se ajustó a 115200 baudios. Finalmente, se presionó el botón "Cargar" para transferir el archivo al microcontrolador. Este proceso se muestra en la Figura 3. 19.

Figura 3. 19 Procedimiento para cargar archivos HEX con XLoader



3.6.5- Cableado y ensamblaje de componentes eléctricos y electrónicos

En esta etapa, se instalaron los electroductos en las bandejas, dentro de la cadena cubrecables y en la estructura. Posteriormente, se cablearon los conductores correspondientes a cada motor, finales de carrera, luces, bomba, plasma, husillo, entre otros.

A continuación, se procedió al ensamblaje del tablero de control, instalando la tarjeta de control, los drivers, los módulos de relé, ventiladores, pulsadores, luces piloto, fuente de alimentación y dispositivos de protección.

Se instalaron los motores, los finales de carrera, la bomba y las luces, completando el cableado y la conexión de los componentes eléctricos y electrónicos.

Este proceso se ilustra en la Figura 3. 20.

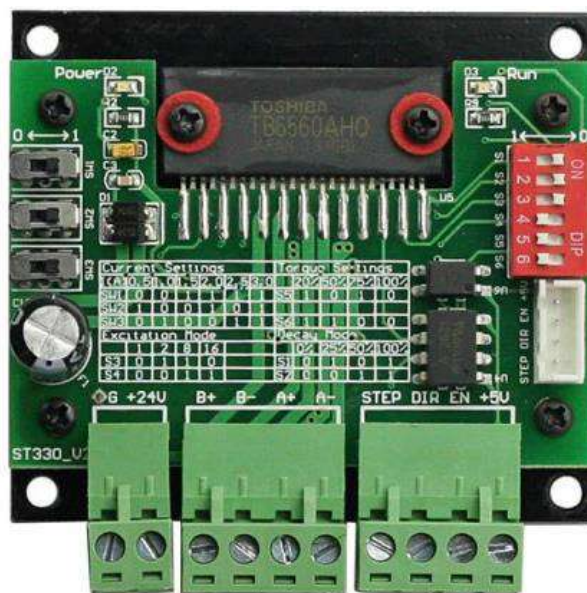
Figura 3. 20 Cableado y Ensamblaje de componentes eléctricos y electrónicos



3.6.6-Configuración de los drivers

Los drivers fueron configurados de forma individual directamente en la placa, la cual cuenta con interruptores y una tabla de referencia para facilitar dichas configuraciones, como se observa en la Figura 3. 21. Los parámetros configurables incluyeron corriente, torque, modo de excitación y modo de decadencia.

Figura 3. 21 Driver TB6560



Para garantizar una comprensión precisa, se consultó la hoja de datos proporcionada por el fabricante. Las configuraciones aplicadas fueron las siguientes: la corriente se ajustó a 2,5 A, el torque se estableció en 100 %, el modo de excitación se configuró en pasos completos y el modo de decadencia se fijó en 100 %.

3.6.7-Configuración del software

El procedimiento de configuración del software para la máquina CNC se llevó a cabo conforme a los pasos detallados a continuación:

Descarga e instalación: Se descargó el software Universal G-Code Sender (UGS) desde el repositorio oficial en GitHub.

Posteriormente, se instaló el programa en un equipo de cómputo compatible.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Inicialización y configuración del sistema: Se inició el software, seleccionando el firmware GRBL y el puerto COM correspondiente, asignado automáticamente por el sistema operativo.

La velocidad de transmisión (baud rate) se configuró a 115200 Baudios.

La conexión se estableció activando el botón "Abrir", y se verificó mediante la aparición del siguiente mensaje en la consola:

```
**** Connected to COM7 @ 115200 baud **** Grbl 1.1f ['$' for help]
```

Visualización y ajuste de parámetros: Se utilizó el comando \$\$ para listar los parámetros actuales del firmware, los cuales se ajustaron de acuerdo con los requerimientos de la máquina.

Los parámetros más relevantes se detallan en la Tabla 3. 1

Tabla 3. 1 Parámetros de configuración

Parámetro	Descripción	Valor por defecto	Rango típico
\$100, \$101, \$102	Resolución de los ejes X, Y, Z (pasos/mm).	250 paso/mm	Según la máquina
\$110, \$111, \$112	Velocidad máxima de los ejes X, Y, Z (mm/min).	500 mm/min	Según la máquina
\$120, \$121, \$122	Aceleración máxima de los ejes X, Y, Z (mm/s ²).	10 mm/s ²	Según la máquina

Los parámetros se modificaron utilizando la siguiente sintaxis:

\$X = val

Donde: **X** es el número del parámetro y **val** es el nuevo valor asignado. Cada ajuste fue verificado refrescando la consola nuevamente con el comando \$\$.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Calibración: Tras analizar factores como la velocidad de avance, el tipo de motor y el avance del husillo de bolas, se implementó la configuración de GRBL según las especificaciones del repositorio oficial en GitHub #. Se determinaron los siguientes parámetros: resolución de pasos, velocidad de avance máxima y aceleración máxima.

Posteriormente, se realizaron cálculos que permitieron definir los valores para cada parámetro: resolución de pasos (40 pasos/mm), velocidad de avance máxima (2000 mm/min) y aceleración máxima (125mm/s²). Para información más detallada, se remite al Apéndice U.

Así también, se llevaron a cabo pruebas iterativas bajo condiciones de carga nula y carga operativa, con el fin de optimizar el desempeño del sistema. Los parámetros se ajustaron progresivamente en función del análisis del comportamiento dinámico de la máquina, logrando un equilibrio adecuado entre precisión y rendimiento.

3.7- Pruebas en Campo

Al concluir las fases de construcción del prototipo, se inició el proceso de pruebas, el cual se organizó en varias etapas detalladas a continuación. Se llevaron a cabo dos tipos de pruebas para cada herramienta. Las pruebas consistieron en el corte de dos figuras geométricas regulares: un cuadrado de 50 x 50 mm y un círculo con un diámetro de 50mm.

Para la prueba del cortador plasma, se utilizaron dos espesores de chapa de acero al carbono: 1/8" (3.175 mm) y 3/16" (4.7625 mm). Se realizaron tres variaciones de los parámetros de amperaje y velocidad de avance. Tal como se muestra en la Tabla 3. 2.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
 José Adrián Talavera Chaves - 2024

Tabla 3. 2 Parámetros de amperaje y velocidad de avance

Chapa 1/8"(3,175 mm)		
Parámetros	Amperaje(A)	Velocidad de avance(mm/min)
P1	60	1800
P2	55	1600
P3	50	1400
Chapa 3/16"(4.7625 mm)		
Parámetros	Amperaje(A)	Velocidad de avance(mm/min)
P1	60	800
P2	55	1100
P3	50	1300

En el caso del husillo, se utilizó madera multilaminada de 12 mm de grosor y una fresa de 6 mm de diámetro con 4 dientes. Se implementaron tres variaciones de los parámetros de profundidad de corte y velocidad de avance. Tal como se muestra en la Tabla 3. 3.

Tabla 3. 3 Parámetros de profundidad de corte y velocidad de avance

Madera multilaminada de 12 mm		
Parámetros	Profundidad de corte(mm)	Velocidad de avance(mm/min)
P1	2	800
P2	3	1300
P3	4	1800

Al finalizar las pruebas, se utilizó un calibre digital para medir las dimensiones de cada pieza y calcular el promedio, los errores absolutos y relativos correspondientes. A continuación, se detalla el procedimiento seguido:

En la Figura 3. 22, se ilustra el proceso de corte por plasma y el funcionamiento del husillo, llevados a cabo durante las pruebas.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
 José Adrián Talavera Chaves - 2024

Figura 3. 22 Pruebas de funcionamiento



- **Prueba del cortador plasma con chapa de acero al carbono de 1/8” (3.175 mm):**

Los resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 mm obtenidos se presentan de forma detallada en la Figura 3. 23 y la Tabla 3. 4.

Figura 3. 23 Resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 x 3,175 mm



Tabla 3. 4 Resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 x 3,175 mm

Mediciones	P1	P2	P3
M1	49,71	49,16	50,38
M2	50,32	49,22	50,86
M3	49,39	49,72	50,06
M4	49,91	48,87	51,25
Promedio	49,83	49,24	50,64
Error Absoluto	0,17	0,76	0,64
Error Relativo (%)	0,33	1,52	1,28
Tiempo (s)	10	10	11

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
 José Adrián Talavera Chaves - 2024

Los resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro obtenidos se presentan de forma detallada en la Figura 3. 24 y la Tabla 3. 5.

Figura 3. 24 Resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro x 3,175mm



Tabla 3. 5 Resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro x 3,175mm

Mediciones	P1	P2	P3
M1	50,30	49,98	49,97
M2	49,94	49,38	50,38
M3	49,91	49,78	50,16
M4	50,43	50,45	50,05
Promedio	50,15	49,90	50,14
Error Absoluto	0,14	0,10	0,14
Error Relativo (%)	0,29	0,21	0,28
Tiempo (s)	11	11	12

- Prueba del cortador plasma con chapa de acero al carbono de 3/16” (4.7625 mm):

Los resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 mm obtenidos se presentan de forma detallada en la Figura 3. 25 y la Tabla 3. 6.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
 José Adrián Talavera Chaves - 2024

Figura 3. 25 Resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 x 4,7625 mm



Tabla 3. 6 Resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 x 4,7625 mm

Mediciones	P1	P2	P3
M1	49,88	51,04	50,18
M2	49,71	50,12	49,62
M3	49,52	50,56	49,58
M4	50,26	49,79	49,60
Promedio	49,84	50,38	49,75
Error Absoluto	0,16	0,38	0,26
Error Relativo (%)	0,31	0,75	0,51
Tiempo (s)	18	14	12

Los resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro obtenidos se presentan de forma detallada en la Figura 3. 26 y la Tabla 3. 7.

Figura 3. 26 Resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro x 4,7625mm



Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
 José Adrián Talavera Chaves - 2024

Tabla 3. 7 Resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro x 4,7625mm

Mediciones	P1	P2	P3
M1	50,06	50,78	50,38
M2	50,22	49,48	50,70
M3	49,95	50,61	49,77
M4	50,23	50,19	50,52
Promedio	50,12	50,27	50,34
Error Absoluto	0,12	0,27	0,34
Error Relativo (%)	0,23	0,53	0,69
Tiempo (s)	18	14	13

- Prueba del husillo:

Los resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 mm obtenidos se presentan de forma detallada en la Figura 3. 27 y la Tabla 3. 8.

Figura 3. 27 Resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 x 12mm



Tabla 3. 8 Resultados de la pieza cuadrada de 50 x 50 x 12mm

Mediciones	P1	P2	P3
M1	50,00	50,18	50,31
M2	50,25	49,88	49,94
M3	49,88	50,12	50,30
M4	50,13	49,79	49,85
Promedio	50,07	49,99	50,10
Error Absoluto	0,06	0,01	0,10
Error Relativo (%)	0,13	0,02	0,20
Tiempo (s)	127	52	33

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
 José Adrián Talavera Chaves - 2024

Los resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro obtenidos se presentan de forma detallada en la Figura 3. 28 y la Tabla 3. 9.

Figura 3. 28 Resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro x 12mm



Tabla 3. 9 Resultados de la pieza circular de 50mm de diámetro x 12mm

Mediciones	P1	P2	P3
M1	49,52	50,03	50,09
M2	48,51	49,42	50,23
M3	50,16	48,55	50,20
M4	48,95	50,10	50,51
Promedio	49,29	49,53	50,26
Error Absoluto	0,72	0,48	0,26
Error Relativo (%)	1,43	0,95	0,51
Tiempo (s)	108	47	19

Para determinar la tolerancia de los cortes, se analizaron los resultados de cada prueba, tomando como referencia el mayor valor del error absoluto. Estos datos se presentan de manera detallada en la Tabla 3. 10:

Tabla 3. 10 El error absoluto máximo de cada prueba

Tabla	Plasma				Husillo	
	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9
Error Absoluto (Max)	0,76	0,14	0,38	0,34	0,10	0,72

Como se puede observar en la Tabla 3. 10, cada uno de los valores de error se encuentra dentro del rango de tolerancia de ± 1 mm.

3.8- Presupuesto

Una vez concluidas las fases de construcción y pruebas, se procedió a la elaboración del presupuesto detallado, el cual incluyó la identificación, enumeración y especificación de las cantidades de materiales utilizados. Con esta información, se determinó el gasto total del proyecto, considerando el costo de materiales, mano de obra, gastos operativos y un 15 % adicional por imprevistos. Esta fase se documentó en el CAPÍTULO V, en el cual se detallaron y desglosaron todos los gastos asociados.

CAPÍTULO IV

4-RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este trabajo se identificaron los principales desafíos en los talleres metalmecánicos de Coronel Oviedo, como el desperdicio de material, la baja precisión en los procesos de corte y mecanizado, y los riesgos laborales derivados del ruido, las vibraciones y las emisiones tóxicas. A través de entrevistas y una revisión bibliográfica, se desarrolló una guía metodológica que permitió la creación de un prototipo de máquina CNC para abordar estas problemáticas.

Lográndose seleccionar el sistema CNC más adecuado para optimizar los procesos en el sector metalmecánico, específicamente enfocado en la mejora del corte y mecanizado de piezas. Tras realizar un análisis comparativo entre tres modelos de máquinas CNC (Router, Torno y Fresadora), se identificó que el modelo Router es el más idóneo, destacándose por su versatilidad y capacidad para realizar una amplia gama de operaciones.

Se diseñó la estructura de la máquina mediante un proceso estructurado que incluyó una evaluación comparativa de sistemas de transmisión (piñón-cremallera, polea-correa y husillo de bolas), seleccionándose el husillo de bolas por sus mejores prestaciones. El sistema de desplazamiento se definió con una base fija y un puente móvil ajustable en altura, también se realizó un análisis de flexión para dimensionar adecuadamente los perfiles metálicos y garantizar la estabilidad durante el mecanizado.

Se incorporó una mesa de corte de rejilla con base fija ajustable en altura y una bandeja móvil con agua, diseñada para corte con plasma. El sistema de refrigeración retroalimentado cuenta con un mecanismo para el rociado, filtrado y reutilización del líquido refrigerante.

Para los ejes y componentes principales, se determinaron capacidades de carga, seleccionándose perfiles metálicos, husillo, cortador de plasma, compresor de aire, rodamientos, motores y controladores. Los cálculos de fresado y análisis de selección aseguraron que las especificaciones cumplieran los requisitos funcionales.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

El control de la máquina se implementó con el firmware de código abierto GRBL y el software Universal G-code Sender. Además, se desarrolló un controlador basado en el microcontrolador ATmega 328P, integrado en una placa de circuito impreso diseñada específicamente para gestionar los comandos. Durante el diseño y la fabricación de la estructura mecánica y eléctrica, se utilizaron herramientas de software de código abierto como LibreCAD y QElectroTech para generar planos precisos y documentación técnica.

Se consiguió fabricar correctamente el prototipo conforme a lo establecido en la fase de diseño. El proceso incluyó la adquisición de materiales adecuados según los requerimientos técnicos, la implementación precisa de las dimensiones definidas en los planos, y el uso de herramientas adecuadas. Durante la fabricación, se realizaron pruebas preliminares para verificar el correcto funcionamiento de las partes móviles, lo que permitió realizar ajustes menores antes de finalizar el prototipo.

Se evaluó con éxito el desempeño del sistema CNC de corte por plasma y husillo mediante tres pruebas consecutivas, enfocadas en cortes rectos y circulares. Para el cortador de plasma, se trabajó con chapas de acero al carbono de espesores de 1/8" (3.175 mm) y 3/16" (4.7625 mm), variando los parámetros de amperaje y velocidad de avance en tres configuraciones diferentes, descrita en la Tabla 3. 2. En el caso del husillo, se utilizó madera multilaminada de 12 mm de espesor, empleando una fresa de 6 mm de diámetro con 4 dientes, y se realizaron tres combinaciones de profundidad de corte y velocidad de avance, especificada en la Tabla 3. 3.

El análisis permitió establecer un rango de tolerancia de ± 1 mm, según se detalla en la Tabla 3. 10 correspondiente. Durante las pruebas del cortador de plasma, se identificaron interferencias electromagnéticas de alta frecuencia, mitigadas parcialmente mediante medidas como el refuerzo de la conexión a tierra y la incorporación de núcleos de ferrita en los cables de señal. Estas acciones mejoraron el desempeño, aunque no eliminaron completamente las interferencias.

Finalmente, se determinó el costo total del proyecto, considerando los siguientes componentes: materiales, mano de obra, gastos operativos y un 15 % adicional para imprevistos.

CAPÍTULO V

5-PRESUPUESTO

Esta sección se encuentra organizada en tablas y subsecciones (Elementos Estructurales, Elementos del Sistema Mecánico, Elementos del Sistema Eléctrico/Electrónico, Elementos del Sistema de Refrigeración, Equipos e Insumos), en las cuales se detallan los materiales utilizados, su cantidad y precio de forma detallada en la Tabla 5. 1

Tabla 5. 1 Costo de materiales

Ítem N°	Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Precio. Unitario (\$)	Precio. Total (\$)
Elementos Estructurales					
1.01	Chapa Negra 3/16"(1X2m)	Unidad	1	72,27	72,27
1.02	Chapa Negra N°16 (1X2m)	Unidad	2	23,06	46,12
1.03	Planchuela 1 1/2"X 3/16"(6m)	Unidad	1	9,23	9,23
1.04	Planchuela 1 1/2"X 1/8"(6m)	Unidad	8	6,84	54,70
1.05	Planchuela 2"X 1/4"(6m)	Unidad	1	17,21	17,21
1.06	Ángulo 3"X 1/4"(6m)	Unidad	1	50,37	50,37
1.07	Ángulo 3"X 3/16"(6m)	Unidad	1	38,05	38,05
1.08	Ángulo 2 1/2"X 3/16"(6m)	Unidad	1	30,72	30,72
1.09	Ángulo 2"X 3/16"(6m)	Unidad	7	24,28	169,93
1.10	Ángulo 2"X 1/8"(6m)	Unidad	2	16,14	32,27
1.11	Ángulo 1 1/2"X 3/16"(6m)	Unidad	1	17,35	17,35
1.12	Ángulo 1 1/2"X 1/8"(6m)	Unidad	1	12,31	12,31
1.13	Ángulo 3/4"X 1/8"(6m)	Unidad	6	5,64	33,83
1.14	Perfil UPN 4"(6m)	Unidad	1	56,61	56,61
1.15	Perfil UPN 3"(6m)	Unidad	1	52,08	52,08
1.16	Caño 60X60X3mm(6m)	Unidad	2	44,25	88,50
1.17	Caño 50X50X2mm(6m)	Unidad	9	22,04	198,34
1.18	Caño 30X30X2mm(6m)	Unidad	1	12,90	12,90

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,

Departamento de Caaguazú

José Adrián Talavera Chaves - 2024

1.19	Caño Rectangular 60X100X2mm(6m)	Unidad	1	36,10	36,10
1.20	Caño Rectangular 40X60X1.15mm(6m)	Unidad	1	13,71	13,71
1.21	Perfil U 100X40X2mm(6m)	Unidad	1	19,00	19,00
1.22	Varilla lisa 3/8"(6m)	Unidad	1	3,91	3,91
1.23	Alma doble galvanizada 3/4"	Unidad	2	0,99	1,98
1.24	Bulón Cabeza Hexagonal 3 1/2"X 1/2"	Unidad	28	0,69	19,38
1.25	Bulón Cabeza Hexagonal M12 X 25mm	Unidad	70	0,23	16,36
1.26	Bulón Cabeza Hexagonal M12 X 120mm	Unidad	2	0,16	0,33
1.27	Bulón Cabeza Allen M12 X 25mm	Unidad	8	0,40	3,21
1.28	Bulón Cabeza Allen M12 X 100mm	Unidad	6	1,05	6,28
1.29	Bulón Cabeza Allen M12 X 120mm	Unidad	5	1,21	6,07
1.30	Bulón Cabeza Allen M6 X 20mm	Unidad	54	0,07	4,00
1.31	Bulón Cabeza Allen M6 X 50mm	Unidad	24	0,14	3,40
1.32	Bulón Cabeza Allen M5 X 30mm	Unidad	16	0,08	1,23
1.33	Bulón Cabeza Allen M5 X 20mm	Unidad	56	0,05	2,89
1.34	Bulón Cabeza Allen M5 X 12mm	Unidad	32	0,04	1,27
1.35	Bulón Cabeza Allen M3 X 30mm	Unidad	32	0,02	0,70
1.36	Bulón Cabeza Allen M3 X 20mm	Unidad	10	0,01	0,15
1.37	Tuerca 1/2"	Unidad	28	0,12	3,47
1.38	Tuerca M12	Unidad	86	0,12	9,99
1.39	Tuerca M8	Unidad	2	0,04	0,07
1.40	Tuerca M6	Unidad	26	0,02	0,46
1.41	Tuerca M3	Unidad	74	0,01	1,04
1.42	Tuerca Autoblocante M12	Unidad	21	0,17	3,65
1.43	Tuerca Autoblocante M8	Unidad	4	0,06	0,22
1.44	Arandela Plana 1/2" 35mm	Unidad	33	0,10	3,41
1.45	Arandela Plana 1/2" 30mm	Unidad	104	0,05	4,83
1.46	Arandela Plana M12 24mm	Unidad	24	0,06	1,52
1.47	Arandela Plana M8 16mm	Unidad	8	0,02	0,16
1.48	Arandela Plana M6 12mm	Unidad	12	0,01	0,13
1.49	Arandela Plana M5 10mm	Unidad	32	0,05	1,52
1.50	Arandela Plana M3 7mm	Unidad	18	0,01	0,13
1.51	Arandela de Presión M12 24mm	Unidad	36	0,04	1,40
1.52	Tensor M12	Unidad	12	0,51	6,13
Elementos del Sistema Mecánico					
2.01	Husillo SFU 1605 2000mm	Unidad	3	374,00	1122,00
2.02	Husillo SFU 1605 450mm	Unidad	1	123,90	123,90
2.03	Guía Lineal SBR16	Unidad	2	105,40	210,80
2.04	Rodamiento Lineal SBRUU	Unidad	4	8,16	32,63
2.05	Rodamiento 6301RS	Unidad	24	0,64	15,32

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
 José Adrián Talavera Chaves - 2024

2.06	Ruedas	Unidad	12	19,15	229,86
Elementos del Sistema Eléctrico/Electrónico					
3.01	Cablecanal 20X10mm (2m)	Unidad	10	1,25	12,51
3.02	Cablecanal 30x30mm Ranurado(2m)	Unidad	1	5,47	5,47
3.03	Caño Electroducto 25mm(3m)	Unidad	2	1,26	2,52
3.04	Caño Electroducto 32mm(3m)	Unidad	1	1,92	1,92
3.05	Ficha Hembra Reforzada	Unidad	1	2,57	2,57
3.06	Ficha Macho Schuko	Unidad	1	1,40	1,40
3.07	Ficha Hembra	Unidad	2	0,51	1,02
3.08	Tira Bornera 4mm	Unidad	3	0,44	1,32
3.09	Caño Corrugado Antillama 25mm (25m)	Unidad	1	5,11	5,11
3.10	Tablero Externo para 5 TM	Unidad	1	5,03	5,03
3.11	Cable Multifilar 1,00mm ² (100m)	Unidad	1	18,51	18,51
3.12	Cable Multifilar 2,00mm ² (100m)	Unidad	1	35,12	35,12
3.13	Cable Multifilar 4,00mm ² (10m)	ML	10	0,70	7,02
3.14	Cable Multifilar 6,00mm ² (10m)	ML	10	1,02	10,22
3.15	Cable Tipo Taller 2X6,00mm ² (10m)	ML	10	2,81	28,09
3.16	Soporte para tubo LED (120cm)	Unidad	4	2,16	8,64
3.17	Tubo LED 16W (120cm)	Unidad	4	2,62	10,47
3.18	Organizador de cables (1m)	Unidad	4	3,40	13,59
3.19	Bomba de agua 30W	Unidad	1	8,30	8,30
3.20	Interruptor Termomagnético Unipolar (40A)	Unidad	1	15,99	15,99
3.21	Interruptor Termomagnético Unipolar (32A)	Unidad	1	15,99	15,99
3.22	Interruptor Termomagnético Unipolar (6A)	Unidad	1	15,99	15,99
3.23	Interruptor Diferencial(40A)	Unidad	1	29,66	29,66
3.24	Pulsador XB2 (22mm)	Unidad	4	7,67	30,67
3.25	Selector de 3 posiciones E5BB (22mm)	Unidad	1	9,68	9,68
3.26	Interruptor ED21 (22mm)	Unidad	4	9,71	38,86
3.27	Interruptor con llave XB2-BG33 (22mm)	Unidad	1	10,06	10,06
3.28	Luz piloto 220V AD16-22DS (22mm)	Unidad	2	10,70	21,41
3.29	Interruptor de emergencia LAY37 (22mm)	Unidad	1	11,20	11,20
3.30	Ventilador 24v 80x80x20mm	Unidad	1	6,38	6,38
3.31	Ventilador 220v 80x80x38mm	Unidad	1	35,70	35,70
3.32	Sonda de altura	Unidad	1	11,41	11,41
3.33	Final de carrera ME-8111	Unidad	8	11,09	88,76
3.34	Motor paso a paso 23HS2430B	Unidad	4	132,97	531,87
3.35	Driver TB6560AHQ	Unidad	4	32,29	129,16
3.36	Fuente Conmutada 500 W 12V	Unidad	2	20,21	40,42
3.37	Controlador	Unidad	1	51,08	51,08
3.38	Módulo Relé	Unidad	3	7,02	21,07

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,

Departamento de Caaguazú

José Adrián Talavera Chaves - 2024

3.39	Módulo Dimmer AC	Unidad	1	10,22	10,22
3.40	Filtro de potencia EMI	Unidad	1	19,97	19,97
3.41	Cable USB	Unidad	1	7,52	7,52
3.42	Cadena portcables (40X60mm)	ML	4,5	89,39	402,25
Elementos del Sistema de Refrigeración					
4.01	Manguera 1/2"(15m)	ML	15	0,20	3,06
4.02	Llave de paso 3/4"	Unidad	2	0,64	1,28
4.03	Tanque de agua(30l)	Unidad	1	6,38	6,38
4.04	Unión doble 3/4"	Unidad	2	0,38	0,77
4.05	Abrazadera 1/2"	Unidad	4	0,38	1,53
4.06	Abrazadera 3/4"	Unidad	4	0,64	2,55
Equipos					
5.01	Cortador por Plasma Neo IP1012 5750W	Unidad	1	413,11	413,11
5.02	Compresor de Aire Schulz CSV-10 1500W	Unidad	1	84,59	84,59
5.03	Fresadora Makita 3709 6mm 530W	Unidad	1	80,45	80,45
Insumos					
6.01	Electrodo 6013 2.5mm (1Kg)	Unidad	5	5,34	26,72
6.03	Disco de corte 115mm (10uds)	Unidad	5	3,19	15,96
6.04	Disco de desbaste 115mm (10uds)	Unidad	2	12,77	25,54
6.05	Disco flap 115mm (5uds)	Unidad	2	5,11	10,22
6.06	Esmalte sintético (3.6l)	Unidad	1	17,88	17,88
6.07	Esmalte sintético(1l)	Unidad	1	4,60	4,60
6.08	Fondo Antióxido sintético (3.6l)	Unidad	1	17,37	17,37
6.09	Membrana asfáltica autoadhesiva (10m)	Unidad	1	4,98	4,98
6.10	Thinner (4l)	Unidad	2	8,30	16,60
6.11	Cinta aisladora	Unidad	4	1,02	4,09
6.12	Estaño(10m)	Unidad	1	6,38	6,38
6.13	Cemento (50KG)	Unidad	1	9,58	9,58
6.14	Arena Lavada (1m3)	Unidad	1	12,77	12,77
6.15	Piedra Triturada(1m3)	Unidad	1	19,15	19,15
Costo de materiales. Total (\$)					5425,10

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

A continuación, se presenta la siguiente Tabla 5. 2 que incluye el costo de mano de obra total y el costo de operación total. Finalmente, se agrega un 15% de imprevistos, lo que da como resultado el costo total:

Tabla 5. 2 Costo total del proyecto

Descripción	Precio. Total (\$)
Costo de materiales. Total	5425,10
Costo por mano de obra. Total	7669,60
Costos de operación. Total	234,33
Sub Total	13329,03
Imprevistos 15%	1999,35
Total	15328,38

CAPÍTULO VI

6-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1- Conclusiones

El presente trabajo ha alcanzado con éxito su propósito, logrando el diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la ciudad de coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú. La propuesta presentada constituye una solución viable y eficaz para mejorar la eficiencia y precisión en dicho sector.

Se recopilaron datos a través de entrevistas, complementados con una revisión bibliográfica sobre técnicas relevantes. Este proceso permitió identificar los principales desafíos en los talleres metalmecánicos de la ciudad de coronel Oviedo. Con esta información, se desarrolló una guía metodológica que facilitó la creación de un prototipo de máquina CNC para abordar estas problemáticas.

Se seleccionó la máquina CNC más idónea para optimizar los procesos en el sector metalmecánico, enfocados específicamente en la mejora del corte y mecanizado de piezas. Tras comparar tres modelos (Router, Torno y Fresadora), se determinó que el modelo Router es el más adecuado, destacándose por su capacidad para realizar una amplia gama de operaciones con alta precisión y flexibilidad.

Se diseñó la estructura mecánica, eléctrica y electrónica de la máquina CNC, definiendo un sistema de desplazamiento compuesto por una base fija y un puente móvil ajustable. Se incorporó una mesa de corte con base regulable, así como un sistema de refrigeración que incluye filtrado y reutilización del líquido para optimizar su rendimiento. El diseño eléctrico y electrónico se basó en el firmware GRBL y el software Universal G-code Sender, empleando un controlador que utiliza el microcontrolador ATmega 328P para gestionar de manera eficiente los procesos de la máquina.

Se fabricó correctamente el prototipo funcional de la máquina CNC, cumpliendo con los diseños mecánicos, eléctricos y electrónicos establecidos previamente. El proceso incluyó la adquisición de materiales adecuados según los requerimientos

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

técnicos, la implementación precisa de las dimensiones definidas en los planos, y el uso de las herramientas necesarias.

Se realizaron pruebas en condiciones reales para verificar el rendimiento del prototipo CNC, recopilando datos cuantitativos. Se evaluaron cortes rectos y circulares con un cortador de plasma en chapas de acero al carbono y con un husillo en madera multilaminada. Se variaron parámetros como amperaje, velocidad de avance, profundidad de corte y velocidad. El análisis de las pruebas permitió establecer un rango de tolerancia de ± 1 mm. Durante las pruebas de plasma, se identificaron interferencias electromagnéticas, que fueron parcialmente mitigadas mediante mejoras en la conexión a tierra y la incorporación de núcleos de ferrita en los cables de señal.

Finalmente, se elaboró un presupuesto detallado para el prototipo, considerando los costos de materiales, componentes electrónicos, fabricación, pruebas en campo y otros gastos asociados. Además, se incluyó un 15 % adicional para imprevistos.

6.2- Recomendaciones

En esta sección se exponen las recomendaciones derivadas del análisis realizado durante la elaboración del trabajo.

Se sugiere explorar la posibilidad de mecanizar otros materiales, como aluminio, teflón o poliuretano para el husillo, y aluminio o acero inoxidable para el corte por plasma, con el fin de diversificar las opciones de fabricación

Asimismo, se sugiere a los futuros estudiantes desarrollar soluciones efectivas para mitigar las interferencias electromagnéticas generadas por los equipos de corte por plasma.

Finalmente, se recomienda a los futuros estudiantes utilizar este trabajo como referencia para llevar a cabo un proyecto de desarrollo de prototipos de máquinas CNC.

7-APÉNDICE

APÉNDICE A: SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Apéndice A.1: Evaluación del peso específico de cada criterio

Los criterios se ordenaron según su importancia: Tipo de operación = Movilidad de la herramienta > Características geométricas de las piezas > Herramientas empleadas > Aplicaciones principales > Materiales típicos > Flexibilidad. Se evaluaron los pesos específicos de cada criterio, como se muestra en la tabla:

Tabla A. 1 Evaluación del peso específico de cada criterio

Criterio	Tipo de operación	Movilidad de la herramienta	Características geométricas de las piezas	Herramientas empleadas	Aplicaciones principales	Materiales típicos	Flexibilidad	$\Sigma+1$	Pondera
Tipo de operación		0,5	1	1	1	1	1	6,5	0,236
Movilidad de la herramienta	0.5		1	1	1	1	1	6	0,218
Características geométricas de las piezas	0	0		1	1	1	1	5	0,182
Herramientas empleadas	0	0	0		1	1	1	4	0,145
Aplicaciones principales	0	0	0	0		1	1	3	0,109
Materiales típicos	0	0	0	0	0		1	2	0,073
Flexibilidad	0	0	0	0	0	0		1	0,036
							Suma	28	1

Apéndice A.2: Evaluación del peso específico de los criterios: Tipo de operación, Movilidad de la herramienta, Características geométricas de las piezas.

Luego se evaluaron los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

Tabla A. 2 Evaluación del peso específico de los criterios: Tipo de operación, Movilidad de la herramienta, Características geométricas de las piezas.

Tipo de operación	Router = Fresadora > Torno				
Criterio	Router	Torno	Fresadora	$\Sigma+1$	Pondera

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
 José Adrián Talavera Chaves - 2024

Router		1	0,5	2,5	0,4167
Torno	0		0	1	0,1667
Fresadora	0,5	1		2,5	0,4167
			Suma	6	1
Movilidad de la herramienta	Router > Fresadora > Torno				
Criterio	Router	Torno	Fresadora	$\sum+1$	Pondera
Router		1	1	3	0,5
Torno	0		0	1	0,1667
Fresadora	0	1		2	0,3333
			Suma	6	1
Características geométricas de las piezas	Router = Fresadora > Torno				
Criterio	Router	Torno	Fresadora	$\sum+1$	Pondera
Router		1	0,5	2,5	0,4167
Torno	0		0	1	0,1667
Fresadora	0,5	1		2,5	0,4167
			Suma	6	1

Apéndice A.3: Evaluación del peso específico de los criterios: Herramientas empleadas, Aplicaciones principales, Materiales típicos y Flexibilidad

Tabla A. 3 Evaluación del peso específico de los criterios: Herramientas empleadas, Aplicaciones principales, Materiales típicos y Flexibilidad

Herramientas empleadas	Router = Fresadora > Torno				
Criterio	Router	Torno	Fresadora	$\sum+1$	Pondera
Router		1	0,5	2,5	0,4167
Torno	0		0	1	0,1667
Fresadora	0,5	1		2,5	0,4167
			Suma	6	1
Aplicaciones principales	Router > Fresadora > Torno				
Criterio	Router	Torno	Fresadora	$\sum+1$	Pondera
Router		1	1	3	0,5
Torno	0		0	1	0,1667
Fresadora	0	1		2	0,3333
			Suma	6	1
Materiales típicos	Router = Fresadora > Torno				
Criterio	Router	Torno	Fresadora	$\sum+1$	Pondera
Router		1	0,5	2,5	0,4167
Torno	0		0	1	0,1667
Fresadora	0,5	1		2,5	0,4167
			Suma	6	1
Flexibilidad	Router > Fresadora > Torno				
Criterio	Router	Torno	Fresadora	$\sum+1$	Pondera
Router		1	1	3	0,5
Torno	0		0	1	0,1667
Fresadora	0	1		2	0,3333
			Suma	6	1

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Apéndice A.4: Evaluación total

Tabla A. 4 Evaluación total

Conclusión	Tipo de operación	Movilidad de la herramienta	Características geométricas de las piezas	Herramientas empleadas	Aplicaciones principales	Materiales típicos	Flexibilidad	Σ
Router	0,098	0,109	0,076	0,061	0,055	0,030	0,018	0,447
Torno	0,039	0,036	0,030	0,024	0,018	0,012	0,006	0,167
Fresadora	0,098	0,073	0,076	0,061	0,036	0,030	0,012	0,386

APÉNDICE B: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Apéndice B.1: Evaluación del peso específico de cada criterio

Los criterios se ordenaron según su importancia: Costo > Precisión > Velocidad > Mantenimiento. Se evaluaron los pesos específicos de cada criterio, como se muestra en la tabla:

Tabla B. 1 Evaluación del peso específico de cada criterio

Criterio	Costo	Precisión	Velocidad	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Pondera.
Costo		1	1	1	4	0,400
Precisión	0		1	1	3	0,300
Velocidad	0	0		1	2	0,200
Mantenimiento	0	0	0		1	0,100
				Suma	10	1

Apéndice B.2: Evaluación del peso específico de los criterios: Costo, Precisión, Velocidad y Mantenimiento.

Tabla B. 2 Evaluación del peso específico de los criterios: Costo, Precisión, Velocidad y Mantenimiento.

Costo	Polea-Correa = Husillo de bolas > Piñón-Cremallera				
Criterio	Piñón-Cremallera	Polea-Correa	Husillo de bolas	$\Sigma+1$	Pondera.
Piñón-Cremallera		0	0	1	0,167
Polea-Correa	1		0,5	2,5	0,417
Husillo de bolas	1	0,5		2,5	0,417
			Suma	6	1

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Precisión	Piñón-Cremallera = Husillo de bolas > Polea-Correa				
Criterio	Piñón-Cremallera	Polea-Correa	Husillo de bolas	$\sum+1$	Pondera.
Piñón-Cremallera		1	0,5	2,5	0,417
Polea-Correa	0		0	1	0,167
Husillo de bolas	0,5	1		2,5	0,417
		Suma		6	1

Velocidad	Husillo de bolas > Piñón-Cremallera = Polea-Correa				
Criterio	Piñón-Cremallera	Polea-Correa	Husillo de bolas	$\sum+1$	Pondera.
Piñón-Cremallera		0,5	0	1,5	0,250
Polea-Correa	0,5		0	1,5	0,250
Husillo de bolas	1	1		3	0,500
		Suma		6	1

Mantenimiento	Polea-Correa > Piñón-Cremallera = Husillo de bolas				
Criterio	Piñón-Cremallera	Polea-Correa	Husillo de bolas	$\sum+1$	Pondera.
Piñón-Cremallera		0	0,5	1,5	0,250
Polea-Correa	1		1	3	0,500
Husillo de bolas	0,5	0		1,5	0,250
		Suma		6	1

Apéndice B.3: Evaluación total

Finalmente, se llevó a cabo la evaluación total de cada solución, tal como se detalla en la tabla:

Tabla B. 3 Evaluación total

Criterio	Costo	Precisión	Velocidad	Mantenimiento	\sum
Piñón-Cremallera	0,067	0,125	0,050	0,025	0,267
Polea-Correa	0,167	0,050	0,050	0,050	0,317
Husillo de bolas	0,167	0,125	0,100	0,025	0,417

APÉNDICE D: ANÁLISIS DE FLEXIÓN (SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO)

Apéndice D.1: Análisis de flexión Eje Z

Peso de los elementos del Eje Z

Tabla D. 1 Peso de los elementos del Eje Z

Elementos	Peso (Kg)
Placa metálica	4,404
Husillo	1,500
Tornillos	0,325
Guía Lineal	0,600
Subtotal	6,829
Extra 15%	1,024
Total	7,853

La fórmula para calcular la fuerza P es:

$$P = m \times g$$

Sustituyendo los valores dados:

$$P = 7.853\text{kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \rightarrow P = 77.041\text{N}$$

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(m) es la masa. (Kg)

(g) es la aceleración debido a la gravedad. (m/s²)

La fórmula para calcular el momento máximo $M_{\text{máx}}$ es:

$$M_{\text{máx}} = \frac{P \times \frac{X}{2}}{2} = \frac{P \times X}{4}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$M_{\text{máx}} = \frac{77.041\text{N} \times 450\text{mm}}{4} \rightarrow M_{\text{máx}} = 8667.153\text{N} \cdot \text{mm}$$

$(M_{\text{máx}})$ es el momento máximo. (N · mm)

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(X) es la distancia del perfil. (mm)

La fórmula para calcular el esfuerzo máximo $\sigma_{\text{máx}}$ es:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{S_y}{F_s}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{310 \text{ MPa}}{4} \rightarrow \sigma_{\text{máx}} = 77.500\text{N/mm}^2$$

$(\sigma_{\text{máx}})$ es el esfuerzo máximo. (N/mm²)

(S_y) es la resistencia a la fluencia del material. (MPa)

(F_s) es el factor de seguridad.

La fórmula para calcular el módulo de sección S es:

$$S = \frac{M_{\text{máx}}}{\sigma_{\text{máx}}}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$S = \frac{8667.153\text{N} \cdot \text{mm}}{77.500\text{N/mm}^2} \rightarrow S = 111.834\text{mm}^3$$

(S) es el módulo de sección. (mm³)

$(M_{\text{máx}})$ es el momento máximo. (N · mm)

$(\sigma_{\text{máx}})$ es el esfuerzo máximo. (N/mm²)

La fórmula para calcular el par T es:

$$T = \frac{P \cdot l}{2000 \cdot \pi \cdot 0.9}$$

(T) es el par. (N · m)

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(l) es el paso del husillo. (mm)

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
 José Adrián Talavera Chaves - 2024

Sustituyendo los valores dados:

$$T = \frac{77.041 N \cdot 5mm}{2000 \cdot \pi \cdot 0.9} \rightarrow T = 0.068N \cdot m \rightarrow 7N \cdot cm$$

La fórmula para calcular el diámetro d es:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot S}{\pi}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 111.834mm^3}{\pi}} \rightarrow d = 10.441mm$$

(d) es el diámetro. (mm)

(S) es el módulo de sección. (mm³)

Sustituyendo los valores dados:

Apéndice D.2: Análisis de flexión Eje X

Peso de los elementos del Eje X

Tabla D. 2 Peso de los elementos del Eje X

Elementos	Peso (Kg)
Eje Z	7,853
Placa metálica	10,761
Guía lineal SBR16	5,120
Eje SFU1605	1,286
Ruedas	1,125
Tornillos	0,676
Motor paso a paso	1,400
Subtotal	28,222
Extra 15 %	4,233
Total	32,455

La fórmula para calcular la fuerza P es:

$$P = m \times g$$

Sustituyendo los valores dados:

$$P = 32.455 kg \times 9.81 m/s^2 \rightarrow P = 318.382N$$

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(m) es la masa. (Kg)

(g) es la aceleración debido a la gravedad. (m/s²)

La fórmula para calcular el momento máximo M_{máx} es:

$$M_{máx} = \frac{P \times X}{2} = \frac{P \times X}{4}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$M_{máx} = \frac{318.382 N \times 2400mm}{4} \rightarrow M_{máx} = 191028.917N \cdot mm$$

(M_{máx}) es el momento máximo. (N · mm)

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(X) es la distancia del perfil. (mm)

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

La fórmula para calcular el esfuerzo máximo $\sigma_{m\acute{a}x}$ es:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{S_y}{F_s}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{235 \text{ MPa}}{4} \rightarrow \sigma_{m\acute{a}x} = 58.750 \text{ N/mm}^2$$

$(\sigma_{m\acute{a}x})$ es el esfuerzo máximo. (N/mm²)

(S_y) es la resistencia a la fluencia del material. (MPa)

(F_s) es el factor de seguridad.

La fórmula para calcular el módulo de sección S es:

$$S = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$S = \frac{191028.917 \text{ N}\cdot\text{mm}}{58.750 \text{ N/mm}^2} \rightarrow S = 3251.556 \text{ mm}^3$$

(S) es el módulo de sección. (mm³)

$(M_{m\acute{a}x})$ es el momento máximo. (N · mm)

$(\sigma_{m\acute{a}x})$ es el esfuerzo máximo. (N/mm²)

La fórmula para calcular el par T es:

$$T = \frac{P \cdot l}{2000 \cdot \pi \cdot 0.9}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$T = \frac{318.382 \text{ N}\cdot\text{5mm}}{2000 \cdot \pi \cdot 0.9} \rightarrow T = 0.282 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow 28 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

(T) es el par. (N · m)

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(l) es el paso del husillo. (mm)

Apéndice D.3: Análisis de flexión Eje Y

Peso de los elementos del Eje Y

Tabla D. 3 Peso de los elementos del Eje Y

Elementos	Peso (Kg)
Eje X	32,455
Eje SFU1605	3,692
Perfiles	44,160
Motor paso a paso	1,400
Placa metálica	14,909
Bandeja	6,793
Ruedas	2,250
Subtotal	105,658
Extra 15%	15,849
Total	121,507

La fórmula para calcular la fuerza P es:

$$P = \frac{m}{2} \times g$$

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(m) es la masa. (Kg)

(g) es la aceleración debido a la gravedad. (m/s²)

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Sustituyendo los valores dados:

$$P = \frac{121.507 \text{ kg}}{2} \times 9.810 \text{ m/s}^2 \rightarrow P = 595.990 \text{ N}$$

La fórmula para calcular el momento máximo $M_{\text{máx}}$ es:

$$M_{\text{máx}} = \frac{P \times \frac{X}{2}}{2} = \frac{P \times X}{4}$$

$(M_{\text{máx}})$ es el momento máximo. (N · mm)

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(X) es la distancia del perfil. (mm)

Sustituyendo los valores dados:

$$M_{\text{máx}} = \frac{595.990 \text{ N} \times 2400 \text{ mm}}{4} \rightarrow M_{\text{máx}} = 357593.947 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

La fórmula para calcular el esfuerzo máximo $\sigma_{\text{máx}}$ es:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{S_y}{F_s}$$

$(\sigma_{\text{máx}})$ es el esfuerzo máximo. (N/mm²)

(S_y) es la resistencia a la fluencia del material.

(F_s) es el factor de seguridad.

Sustituyendo los valores dados:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{235 \text{ MPa}}{4} \rightarrow \sigma_{\text{máx}} = 58.750 \text{ N/mm}^2$$

La fórmula para calcular el módulo de sección S es:

$$S = \frac{M_{\text{máx}}}{\sigma_{\text{máx}}}$$

(S) es el módulo de sección. (mm³)

$(M_{\text{máx}})$ es el momento máximo. (N · mm)

$(\sigma_{\text{máx}})$ es el esfuerzo máximo. (N/mm²)

Sustituyendo los valores dados:

$$S = \frac{357593.947 \text{ N} \cdot \text{mm}}{58.750 \text{ N/mm}^2} \rightarrow S = 6086.705 \text{ mm}^3$$

La fórmula para calcular el par T es:

$$T = \frac{P \cdot l}{2000 \cdot \pi \cdot 0.9}$$

(T) es el par. (N · m)

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(l) es el paso del husillo. (mm)

Sustituyendo los valores dados:

$$T = \frac{595.990 \text{ N} \cdot 5 \text{ mm}}{2000 \cdot \pi \cdot 0.9} \rightarrow T = 0.527 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow 53 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

APÉNDICE E: ANÁLISIS DE FLEXIÓN (MESA DE CORTE)

Apéndice E.1: Análisis de flexión Rejilla

Peso de los elementos de la rejilla

Tabla E. 1 Peso de los elementos de la rejilla

Elementos	Peso (Kg)
Chapa a cortar (máx.)	398.800
Bandeja de corte	325.188
Subtotal	723.988
Extra 10%	72.399
Total	796.387

La fórmula para calcular la fuerza P es:

$$P = \frac{m}{22} \times g$$

Sustituyendo los valores dados:

$$P = \frac{796.387 \text{ kg}}{22} \times 9.810 \text{ m/s}^2 \rightarrow P = 355.116 \text{ N}$$

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(m) es la masa. (Kg)

(g) es la aceleración debido a la gravedad. (m/s²)

La fórmula para calcular el momento máximo $M_{\text{máx}}$ es:

$$M_{\text{máx}} = \frac{P \times \frac{X}{2}}{2} = \frac{P \times X}{4}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$M_{\text{máx}} = \frac{355.116 \text{ N} \times 2400 \text{ mm}}{4} \rightarrow M_{\text{máx}} = 213069.722 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$(M_{\text{máx}})$ es el momento máximo. (N · mm)

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(X) es la distancia del perfil. (mm)

La fórmula para calcular el esfuerzo máximo $\sigma_{\text{máx}}$ es:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{S_y}{F_s}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{550 \text{ MPa}}{4} \rightarrow \sigma_{\text{máx}} = 137.500 \text{ N/mm}^2$$

$(\sigma_{\text{máx}})$ es el esfuerzo máximo. (N/mm²)

(S_y) es la resistencia a la fluencia del material. (MPa)

(F_s) es el factor de seguridad.

La fórmula para calcular el módulo de sección S es:

$$S = \frac{M_{\text{máx}}}{\sigma_{\text{máx}}}$$

(S) es el módulo de sección. (mm³)

$(M_{\text{máx}})$ es el momento máximo. (N · mm)

$(\sigma_{\text{máx}})$ es el esfuerzo máximo. (N/mm²)

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Sustituyendo los valores dados:

$$S = \frac{213069.722N \cdot mm}{137.500N/mm^2} \rightarrow S = 1549.598mm^3$$

La fórmula para calcular el ancho b es:

$$b = \sqrt[3]{S \cdot 6}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$b = \sqrt[3]{1549.598mm^3 \cdot 6} \rightarrow b = 21.028mm$$

(b) es el ancho. (mm)

(S) es el módulo de sección. (mm³)

Apéndice E.2: Análisis de flexión Bastidor

Peso de los elementos del bastidor

Tabla E. 2 Peso de los elementos del bastidor

Elementos	Peso (Kg)
Chapa a cortar (máx.)	398.800
Bandeja de corte	325.188
Base	396.000
Subtotal	1119.988
Extra 10%	111.999
Total	1231.987

La fórmula para calcular la fuerza P es:

$$P = \frac{m}{2} \times g$$

Sustituyendo los valores dados:

$$P = \frac{1231.987kg}{2} \times 9.810m/s^2 \rightarrow P = 6042.895N$$

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(m) es la masa. (Kg)

(g) es la aceleración debido a la gravedad. (m/s²)

La fórmula para calcular el momento máximo $M_{máx}$ es:

$$M_{máx} = \frac{P \times \frac{X}{2}}{2} = \frac{P \times X}{4}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$M_{máx} = \frac{6042.895N \times 2400mm}{4} \rightarrow M_{máx} = 3625737.152N \cdot mm$$

$(M_{máx})$ es el momento máximo. (N · mm)

(P) es la capacidad máxima de carga. (N)

(X) es la distancia del perfil. (mm)

La fórmula para calcular el esfuerzo máximo $\sigma_{máx}$ es:

$$\sigma_{máx} = \frac{S_y}{F_s}$$

$(\sigma_{máx})$ es el esfuerzo máximo. (N/mm²)

(S_y) es la resistencia a la fluencia del material. (MPa)

(F_s) es el factor de seguridad.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Sustituyendo los valores dados:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{550 \text{ MPa}}{2} \rightarrow \sigma_{m\acute{a}x} = 275 \text{ N/mm}^2$$

La fórmula para calcular el módulo de sección S es:

$$S = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$S = \frac{3625737.152 \text{ N}\cdot\text{mm}}{275 \text{ N/mm}^2} \rightarrow S = 13184.499 \text{ mm}^3$$

(S) es el módulo de sección. (mm³)

(M_{máx}) es el momento máximo. (N · mm)

(σ_{máx}) es el esfuerzo máximo. (N/mm²)

La fórmula para calcular la altura h es:

$$h = \sqrt{\frac{S \cdot 24}{b}}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$h = \sqrt{\frac{13184.499 \text{ mm}^3 \cdot 24}{60}} \rightarrow h = 72.621 \text{ mm}$$

(h) es la altura. (mm)

(S) es el módulo de sección. (mm³)

(b) es el ancho. (mm)

APÉNDICE F: BOMBA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS)

Figura F. 1 Bomba de agua



- Voltaje: 220V
- Frecuencia: 50Hz
- Potencia: 30W
- Caudal: 22l/min

Bomba de agua

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo,
Departamento de Caaguazú
 José Adrián Talavera Chaves - 2024

Apéndice G: Mediciones realizadas

Parámetros de mecanizado para aleaciones de aluminio

La fórmula para calcular la velocidad de corte es:

$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot N}{1000}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$V_c = \frac{6\text{mm} \cdot \pi \cdot 7600\text{min}^{-1}}{1000} \rightarrow V_c = 143.257\text{m/min}$$

(V_c) es la velocidad de corte. (m/min)

(D) es el diámetro de la herramienta de corte. (mm)

(N) es la velocidad de rotación de la herramienta de corte. (min^{-1})

La fórmula para calcular la velocidad de avance es:

$$V_a = S_z \cdot z \cdot N$$

Sustituyendo los valores dados:

$$V_a = 0.032 \text{ mm/z} \cdot 4 z \cdot 7600\text{min}^{-1}$$

$$\rightarrow V_a = 972.800 \text{ mm/min}$$

(V_a) es la velocidad de avance. (mm/min)

(S_z) es el avance por diente de la herramienta de corte. (mm/z)

(z) es el número de dientes de la herramienta de corte. (z)

(N) es la velocidad de rotación de la herramienta de corte. (min^{-1})

La fórmula para calcular la potencia del husillo es:

$$P = \frac{a \cdot l \cdot V_a}{1000 \cdot C}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$P = \frac{5\text{mm} \cdot 3\text{mm} \cdot 972.800 \text{ mm/min}}{1000 \cdot 65 \text{ cm}^3/\text{KW} \cdot \text{min}}$$

$$\rightarrow P = 0.224 \text{ KW} \rightarrow 224\text{W}$$

(P) es la potencia del husillo. (KW)

(a) es la profundidad de corte. (mm)

(l) es el ancho de la herramienta de corte. (mm)

(V_a) es la velocidad de avance. (mm/min)

(C) es el volumen cortado. ($\text{cm}^3/\text{KW} \cdot \text{min}$)

Parámetros de mecanizado recomendadas por el fabricante (Soriano Tools)

Figura G. 1 Parámetros de mecanizado

Material	CONDICIONES DE CORTE PARA SERIE FN															
	Aceros no aleados		Aceros aleados < 35 Hrc < 1100 Nmm ²		Aceros endurecidos 35 - 45 Hrc 1110 - 1500 Nmm ²		Acero inoxidable		Acero fundición		Cobre		Latón y Bronce		Aleación aluminio	
Vc/Va	RPM	mm/z	RPM	mm/z	RPM	mm/z	RPM	mm/z	RPM	mm/z	RPM	mm/z	RPM	mm/z	RPM	mm/z
Ø3	8920	0.012	5560	0.013	3350	0.006	4620	0.014	8920	0.012	12700	0.020	15910	0.020	15400	0.015
Ø4	7500	0.021	4620	0.021	2940	0.007	3880	0.021	7500	0.021	9000	0.040	11940	0.040	11000	0.021
Ø5	6300	0.027	3780	0.026	2320	0.011	3160	0.027	6300	0.027	7540	0.040	9590	0.040	9150	0.026
Ø6	5560	0.033	3260	0.034	2050	0.015	2640	0.033	5560	0.033	6370	0.040	7960	0.040	7600	0.032
Ø8	4200	0.048	2520	0.037	1680	0.024	2100	0.045	4200	0.048	4780	0.040	5968	0.040	5700	0.043
Ø10	3360	0.063	2000	0.043	1360	0.023	1680	0.061	3360	0.063	3820	0.060	4780	0.060	4600	0.063
Ø12	2740	0.084	1680	0.048	1150	0.025	1300	0.080	2740	0.084	3180	0.080	3960	0.080	3750	0.085
Ø14	2470	0.094	1520	0.041	1030	0.024	1210	0.082	2470	0.094	2720	0.080	3410	0.080	3300	0.073
Ø16	2200	0.082	1360	0.042	900	0.023	1050	0.084	2200	0.082	2390	0.080	2980	0.080	2850	0.085
Ø18	1940	0.063	1210	0.041	790	0.023	950	0.063	1940	0.063	2120	0.100	2653	0.100	2200	0.110

Apn 1,5xØ Aen 0,1xØ

Apn 1xØ Aen 1xØ

APÉNDICE H: CORTADOR PLASMA Y COMPRESOR DE AIRE (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS)

Apéndice H.1: Especificaciones técnicas del cortador plasma

Figura H. 1 Especificaciones técnicas del cortador plasma



Cortador por Plasma Neo IP1012

Apéndice H.2: Especificaciones técnicas del compresor de aire

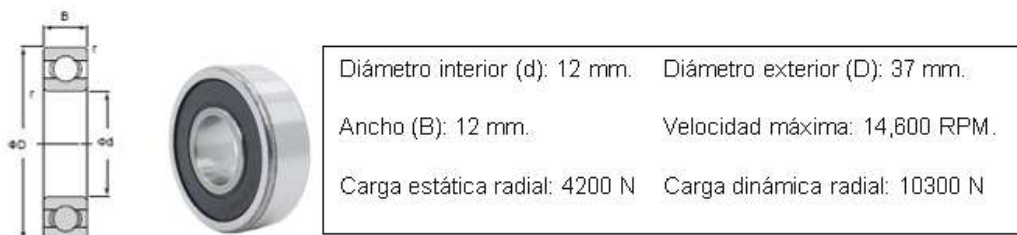
Figura H. 2 Especificaciones técnicas del compresor de aire



Compresor de Aire SCHULZ CSV-10

APÉNDICE I: RODAMIENTO (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS)

Figura I. 1 Especificaciones técnicas del rodamiento



Rodamiento 6301RS.

APÉNDICE J: SELECCIÓN DEL MOTOR.

Apéndice J.1: Evaluación del peso específico de cada criterio

Los criterios se ordenaron según su importancia: Costo > Precisión > Torque > Velocidad > Espacio = Mantenimiento.

Se evaluaron los pesos específicos de cada criterio, como se muestra en la tabla:

Tabla J. 1 Evaluación del peso específico de cada criterio

Criterio	Costo	Precisión	Torque	Velocidad	Espacio	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Pondera
Costo		1	1	1	1	1	6	0,300
Precisión	0		1	1	1		4	0,200
Torque	0	0		1	1	1	4	0,200
Velocidad	0	0	0		1	1	3	0,150
Espacio	0	0	0	0		0,5	1,5	0,075
Mantenimiento	0	0	0	0	0,5		1,5	0,075
						Suma	20	1

Apéndice J.2: Evaluación del peso específico de los criterios: Costo, Precisión y Torque.

Luego se evaluaron los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

Tabla J. 2 Evaluación del peso específico de cada criterio: Costo, Precisión y Torque.

Costo	Motor Paso a Paso > Servomotor			
Criterio	Motor Paso a Paso	Servomotor	$\Sigma+1$	Pondera
Motor Paso a Paso		1	2	0,667
Servomotor	0		1	0,333
		Suma	3	1,000

Precisión	Motor Paso a Paso = Servomotor			
Criterio	Motor Paso a Paso	Servomotor	$\Sigma+1$	Pondera
Motor Paso a Paso		0,5	1,5	0,500
Servomotor	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1,000

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

Torque	Servomotor > Motor Paso a Paso			
Criterio	Motor Paso a Paso	Servomotor	$\Sigma+1$	Pondera
Motor Paso a Paso		0	1	0,333
Servomotor	1		2	0,667
		Suma	3	1,000

Apéndice J.3: Evaluación del peso específico de los criterios: Velocidad, Espacio y Mantenimiento.

Tabla J. 3 : Evaluación del peso específico de los criterios: Velocidad, Espacio y Mantenimiento.

Velocidad	Servomotor > Motor Paso a Paso			
Criterio	Motor Paso a Paso	Servomotor	$\Sigma+1$	Pondera
Motor Paso a Paso		0	1	0,333
Servomotor	1		2	0,667
		Suma	3	1,000

Espacio	Motor Paso a Paso > Servomotor			
Criterio	Motor Paso a Paso	Servomotor	$\Sigma+1$	Pondera
Motor Paso a Paso		1	2	0,667
Servomotor	0		1	0,333
		Suma	3	1,000

Mantenimiento	Motor Paso a Paso > Servomotor			
Criterio	Motor Paso a Paso	Servomotor	$\Sigma+1$	Pondera
Motor Paso a Paso		1	2	0,667
Servomotor	0		1	0,333
		Suma	3	1,000

Apéndice J.4: Evaluación total

Finalmente, se llevó a cabo la evaluación total de cada solución, tal como se detalla en la tabla:

Tabla J. 4 Evaluación total

Criterio	Costo	Torque	Velocidad	Espacio	Mant.	Precisión	Σ
Motor (PAP)	0,200	0,067	0,067	0,100	0,050	0,038	0,483
Servomotor	0,100	0,133	0,133	0,050	0,025	0,038	0,442

APÉNDICE K: MOTOR Y DRIVER (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS)

Apéndice K.1: Especificaciones técnicas del motor

Figura K. 1 Especificaciones técnicas del motor



Apéndice K.2: Especificaciones técnicas del driver

Figura K. 2 Especificaciones técnicas del driver

Voltaje de funcionamiento: 10 V a 35 V (fuente de alimentación de recomendada 24V DC)
Corriente de salida nominal: \pm 3A; 3.5A Pico
Modos de excitación seleccionables: 1/1; 1/2; 1/8; 1/16 Pasos
Protección contra sobrecalentamiento: Disipador de calor pasivo
Protección contra cortocircuitos: Protección contra sobrecorriente con apagado de bajo voltaje.
Dimensiones: 50 x 75 x 35 mm



Driver TB6560AHQ

APÉNDICE L: COMPONENTES DE DETECCIÓN Y CONTROL (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS)

Apéndice L.1: Especificaciones técnicas de los finales de carrera

Figura L. 1 Especificaciones técnicas de los finales de carrera



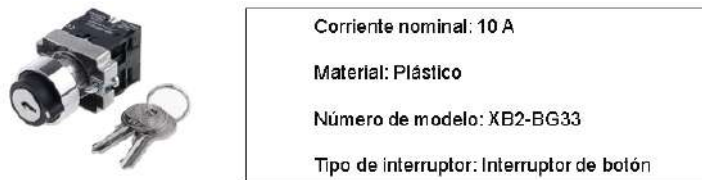
Apéndice L.2: Especificaciones técnicas de la sonda de altura

Figura L. 2 Especificaciones técnicas de la sonda de altura



Apéndice L.3: Especificaciones técnicas del interruptor de tipo llave

Figura L. 3 Especificaciones técnicas del interruptor de tipo llave



Apéndice L.4: Especificaciones técnicas del selector

Figura L. 4 Especificaciones técnicas del selector



Apéndice L.5: Especificaciones técnicas de los pulsadores

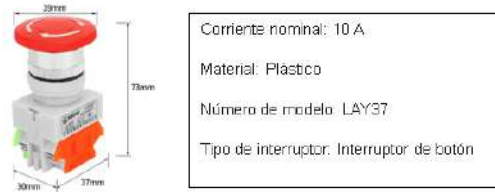
Figura L. 5 Especificaciones técnicas de los pulsadores



Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

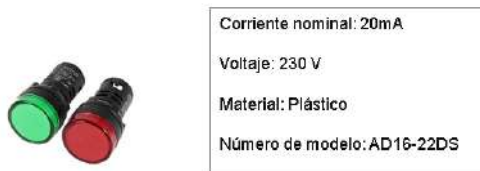
Apéndice L.6: Especificaciones técnicas del interruptor de emergencia

Figura L. 6 Especificaciones técnicas del interruptor de emergencia



Apéndice L.7: Especificaciones técnicas de las luces indicadoras

Figura L. 7 Especificaciones técnicas de las luces indicadoras



APÉNDICE M: FUENTE DE PODER

Tabla M. 1 FUENTE DE PODER

Carga	Voltaje	Corriente
Controlador	12V	0,05A
Driver Eje X	24V	3,5A
Driver Eje Y1	24V	3,5A
Driver Eje Y2	24V	3,5A
Driver Eje Z	24V	3,5A
Subtotal	-	14,05A
Extra 20%	-	2,81A
Total	-	16,86A

La fórmula para calcular la potencia es:

$$P = I_s \cdot V_s$$

Sustituyendo los valores dados:

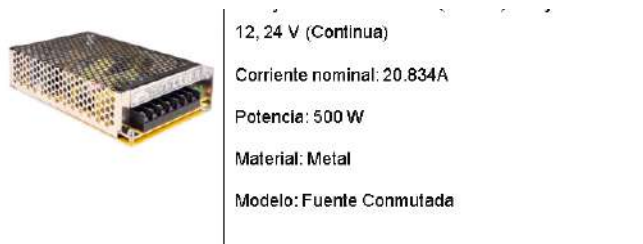
$$P = 16,86A \cdot 24V \rightarrow P = 404,640W$$

(P) es la potencia. (W)

(I_s) es la corriente. (A)

(V_s) es el voltaje. (V)

Figura M. 1 FUENTE DE PODER



APÉNDICE N: CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES

Apéndice N.1: Cálculo de la sección mínima del conductor en corriente continua (Finales de Carrera)

La fórmula para calcular la sección mínima es:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot I \cdot L}{\gamma \cdot \Delta V}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot 0,05A \cdot 20m}{52 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \cdot 5V \cdot 1.5\%}$$

$$\rightarrow S_{min} = 0,513 \text{ mm}^2 \rightarrow 1 \text{ mm}^2$$

La tarjeta de control puede suministrar una corriente máxima de 5 mA y se seleccionó un conductor de 1 mm² por su disponibilidad en el mercado.

Apéndice N.2: Cálculo de la sección mínima del conductor en corriente continua (Driver y Motor paso a paso)

La fórmula para calcular la sección mínima es:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot I \cdot L}{\gamma \cdot \Delta V}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot 3,5A \cdot 5m}{52 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \cdot 24V \cdot 1.5\%}$$

$$\rightarrow S_{min} = 1,870 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ mm}^2$$

El driver tiene un consumo máximo de corriente de 3,5 A y se seleccionó un conductor de 2 mm²

(S_{min}) es la sección mínima. (mm^2)

(I) es la corriente. (A)

(L) es la longitud del conductor. (m)

(γ) es la conductividad del cobre a 40°C. ($m/\Omega \cdot mm^2$)

(ΔV) es la caída de tensión. (V)

(S_{min}) es la sección mínima. (mm^2)

(I) es la corriente. (A)

(L) es la longitud del conductor. (m)

(γ) es la conductividad del cobre a 40°C. ($m/\Omega \cdot mm^2$)

(ΔV) es la caída de tensión. (V)

Apéndice N.3: Cálculo de la sección mínima del conductor en corriente alterna monofásica (Circuito varios)

La fórmula para calcular la corriente es:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi}$$

(I) es la corriente. (A)
(P) es la potencia. (W)
(V) es la tensión. (V)
(cos φ) es el factor de potencia.

Sustituyendo los valores dados:

$$I = \frac{900W}{230V \cdot 0.9} \rightarrow I = 4,348A$$

La fórmula para calcular la sección mínima es:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot I \cdot L \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot \Delta V}$$

(S_{min}) es la sección mínima. (mm²)
(I) es la corriente. (A)
(L) es la longitud del conductor. (m)
(γ) es la conductividad del cobre a 40°C. (m/Ω · mm²)
(ΔV) es la caída de tensión. (V)
(cos φ) es el factor de potencia.

Sustituyendo los valores dados:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot 4,348A \cdot 10m \cdot 0.9}{52 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \cdot 230V \cdot 1.5\%}$$

$$\rightarrow S_{min} = 0,436 mm^2 \rightarrow 2 mm^2$$

Se seleccionó un conductor de 2 mm² debido a que es el valor mínimo requerido por la normativa. Además, se optó por un interruptor termomagnético de 6A, ya que es una opción disponible en el mercado.

Apéndice N.4: Cálculo de la sección mínima del conductor en corriente alterna monofásica (Cortador Plasma)

La fórmula para calcular la corriente es:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi}$$

(I) es la corriente. (A)
(P) es la potencia. (W)
(V) es la tensión. (V)
(cos φ) es el factor de potencia.

Sustituyendo los valores dados:

$$I = \frac{5750W}{230V \cdot 0.9} \rightarrow I = 27,778A$$

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

La fórmula para calcular la sección mínima es:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot I \cdot L \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot \Delta V}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot 27,778A \cdot 9m \cdot 0.9}{52 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \cdot 230V \cdot 1.5\%}$$

$$\rightarrow S_{min} = 2,508 \text{ mm}^2 \rightarrow 4 \text{ mm}^2$$

(S_{min}) es la sección mínima. (mm^2)

(I) es la corriente. (A)

(L) es la longitud del conductor. (m)

(γ) es la conductividad del cobre a 40°C. ($m/\Omega \cdot mm^2$)

(ΔV) es la caída de tensión. (V)

La corriente admisible para un conductor de 2,5 mm² es de 21 A, inferior a los 27,778 A requeridos. Por lo tanto, se seleccionó un conductor de 4 mm² con una corriente admisible de 28 A, junto con un interruptor termomagnético de 32A.

Apéndice N.5: Cálculo de la sección mínima del conductor en corriente alterna monofásica (Circuito General)

La fórmula para calcular la corriente es:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$I = \frac{6650W}{230V \cdot 0.9} \rightarrow I = 32,126A$$

(I) es la corriente. (A)

(P) es la potencia. (W)

(V) es la tensión. (V)

$(\cos \varphi)$ es el factor de potencia.

La fórmula para calcular la sección mínima es:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot I \cdot L \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot \Delta V}$$

Sustituyendo los valores dados:

$$S_{min} = \frac{2 \cdot 32,126A \cdot 8m \cdot 0.9}{52 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \cdot 230V \cdot 1.5\%}$$

(S_{min}) es la sección mínima. (mm^2)

(I) es la corriente. (A)

(L) es la longitud del conductor. (m)

(γ) es la conductividad del cobre a 40°C. ($m/\Omega \cdot mm^2$)

(ΔV) es la caída de tensión. (V)

$(\cos \varphi)$ es el factor de potencia.

$$S_{min} = 2,579 \text{ mm}^2 \rightarrow 6 \text{ mm}^2$$

La corriente admisible para un conductor de 4 mm² es de 28 A, inferior a los 32,126 A requeridos. Por lo tanto, se seleccionó un conductor de 6 mm² con una corriente admisible de 38 A, junto con un interruptor termomagnético y un interruptor diferencial de 40 A.

APÉNDICE O: PROTECCIÓN ELÉCTRICA

Apéndice O.1: Especificaciones técnicas de los interruptores termomagnéticos unipolares

Figura O. 1 Especificaciones técnicas de los interruptores termomagnéticos unipolares



Voltaje: 230 V
Corriente nominal: 40, 32, 6A
Modelo: NXB-63
Número de polos: 1
Poder de cierre en cortocircuito nominal: 6000A

Apéndice O.2: Especificaciones técnicas del interruptor diferencial

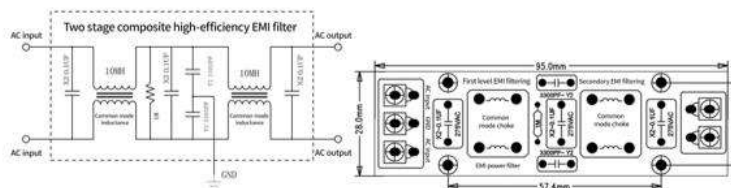
Figura O. 2 Especificaciones técnicas del interruptor diferencial



Voltaje: 230 V
Corriente nominal: 40A
Modelo: NXBLE-63Y
Número de polos: 2
Poder de cierre en cortocircuito nominal: 4500A

Apéndice O.3: Especificaciones técnicas del filtro de potencia EMI

Figura O. 3 Especificaciones técnicas del filtro de potencia EMI



Voltaje: 230 V
Corriente nominal: 10A
Modelo: Modo común

APÉNDICE P: SOFTWARE DE CONTROL

Apéndice P.1: Especificaciones técnicas del firmware GRBL

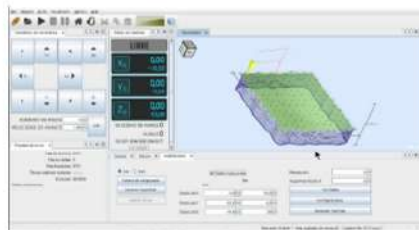
Figura P. 1 Especificaciones técnicas del firmware GRBL



Versión: GRBL 1.1	Compatibilidad: ATmega328	Ejes Controlados: X, Y, Z
Frecuencia de Planificación de Movimientos: Hasta 30 kHz	Resolución: Submicrométrica	
Protocolos de Comunicación: Comunicación serie a través de USB		
Configuración: Configuración de parámetros a través de comandos de configuración (\$).		
Interfaz de Comunicación: Compatible con Universal Gcode Sender (UGS).		
Capacidades de Movimiento:		
Generación de trayectorias suaves mediante planificación de movimientos.		
Control de aceleración y desaceleración para movimientos precisos y suaves.		
Capacidad para ejecutar movimientos lineales e interpolaciones circulares.		
Seguridad y Control:		
Implementación de sistemas de seguridad como finales de carrera y paradas de emergencia.		

Apéndice P.2: Especificaciones técnicas del software de control Universal G-code Sender

Figura P. 2 Especificaciones técnicas del software de control Universal G-code Sender

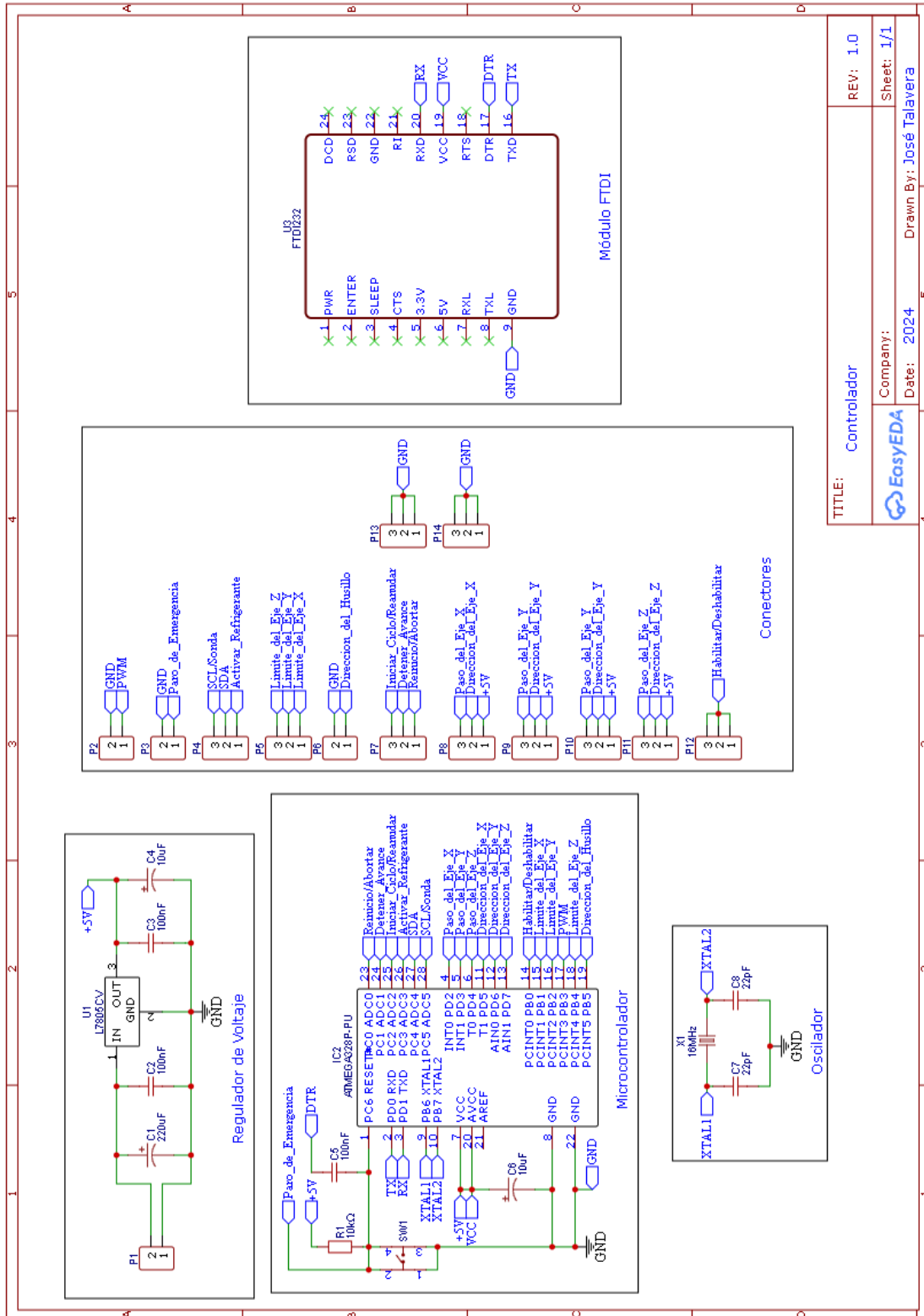


Versión: Universal G-code Sender 2.0.14	Sistemas operativos: Windows, macOS, Linux.
Firmwares: GRBL, TinyG, Smoothieware.	
Interfaz de Usuario: GUI intuitiva con visualización 2D y 3D del G-code.	
Funciones de Control: Pausa, reanudación, y detención de trabajos. Ajuste de velocidad. Movimiento manual de los ejes.	
Gestión de Archivos: Carga y vista previa de archivos G-code.	
Conectividad: Conexión a través de USB. Monitorización en tiempo real del estado de la máquina.	
Características Avanzadas: Macros personalizables. Configuración de parámetros del firmware. Herramientas de sondeo.	
Requisitos del Sistema: Al menos 2GB de RAM. Java Runtime Environment (JRE). Resolución mínima de pantalla de 1024x768 píxeles.	

APÉNDICE Q: DISEÑO DEL CONTROLADOR

Apéndice Q.1: Diagrama Esquemático del controlador

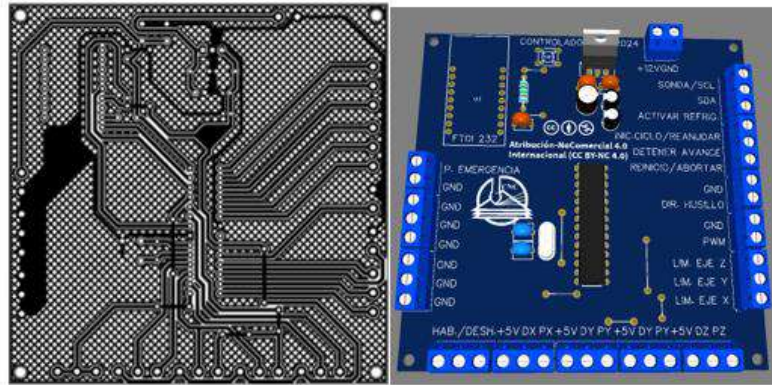
Figura Q. 1 Diagrama Esquemático del controlador



TITLE: Controlador	REV: 1.0	Sheet: 1/1
Company: EASYEDA	Date: 2024	Drawn By: José Talavera

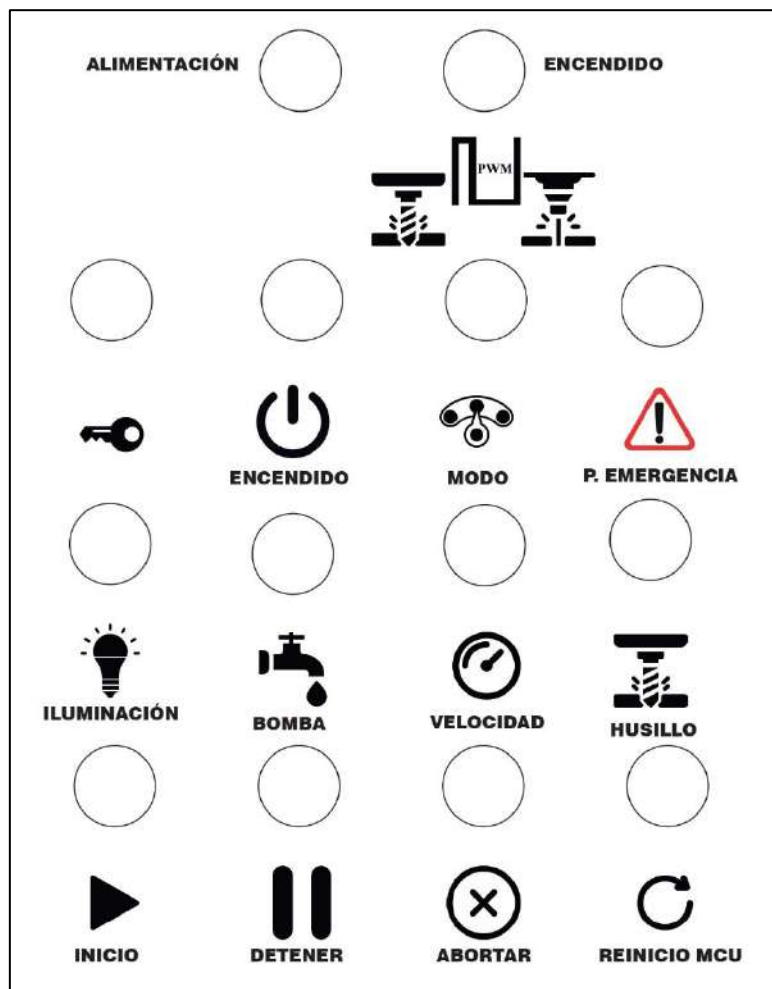
Apéndice Q.2: Vista bidimensional (Pistas) y tridimensional de la (PCB)

Figura Q. 2 Vista bidimensional (Pistas) y tridimensional de la (PCB)



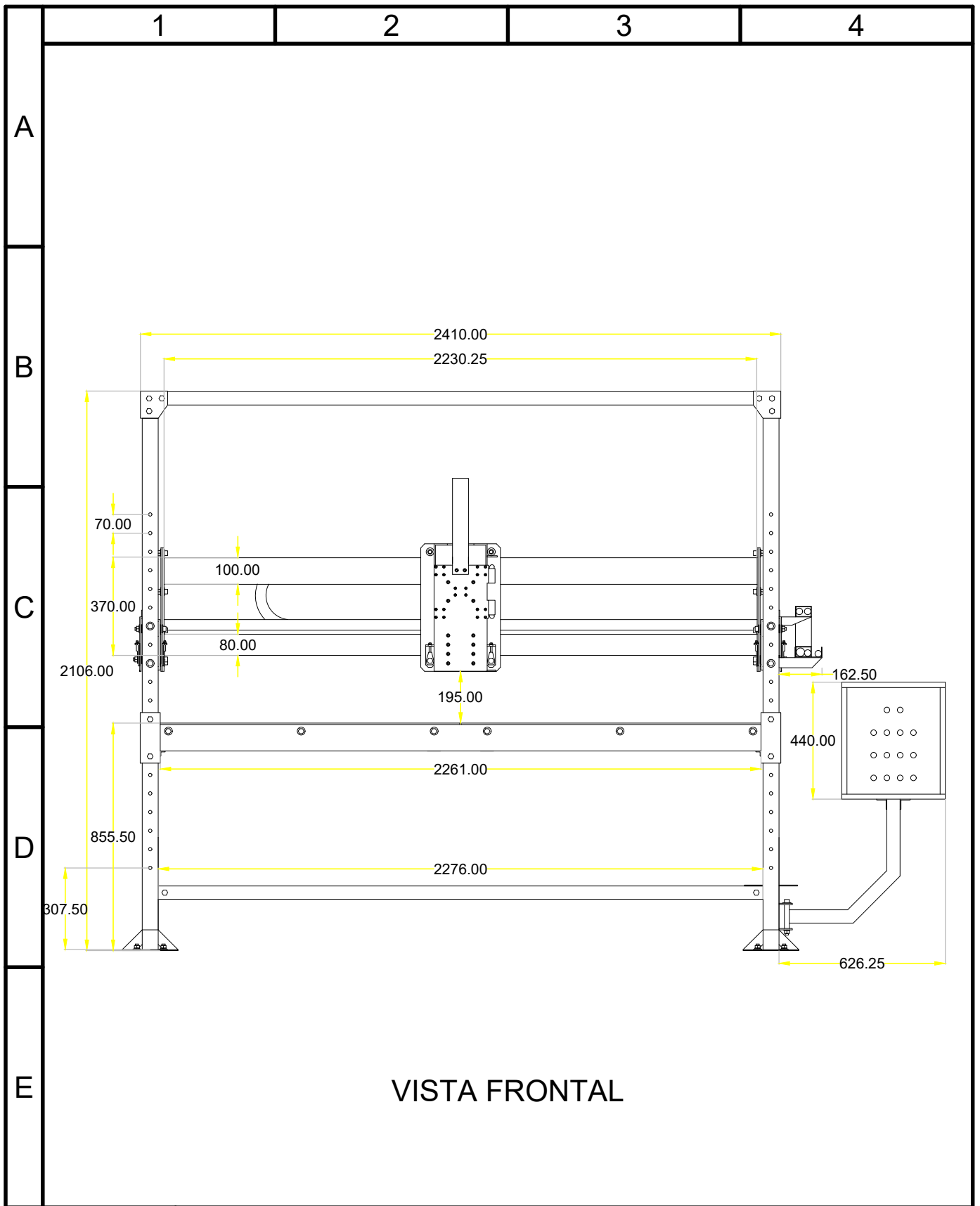
APÉNDICE R: DISEÑO DEL PANEL DE CONTROL

Figura R. 1 Panel de control

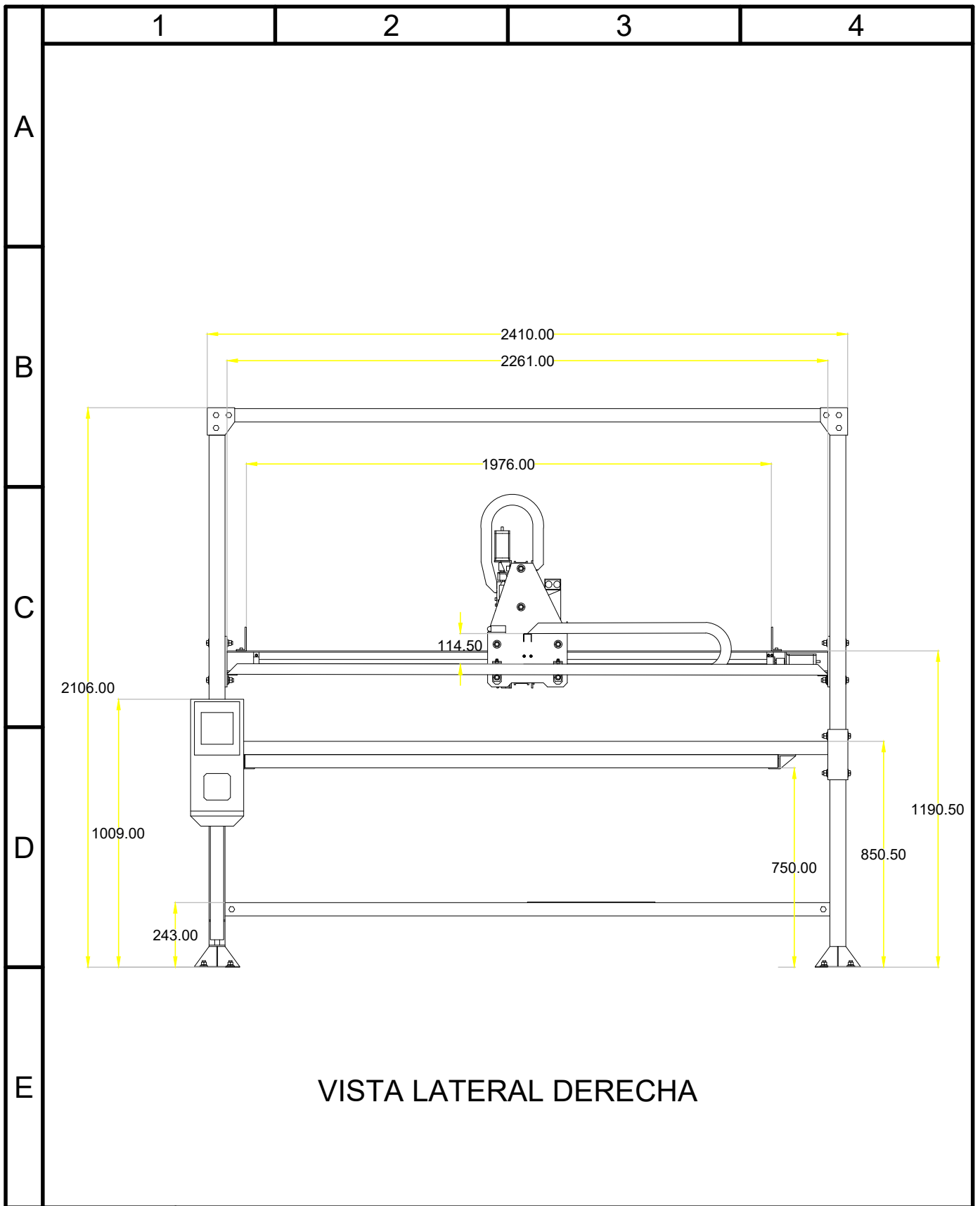


APÉNDICE S: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA

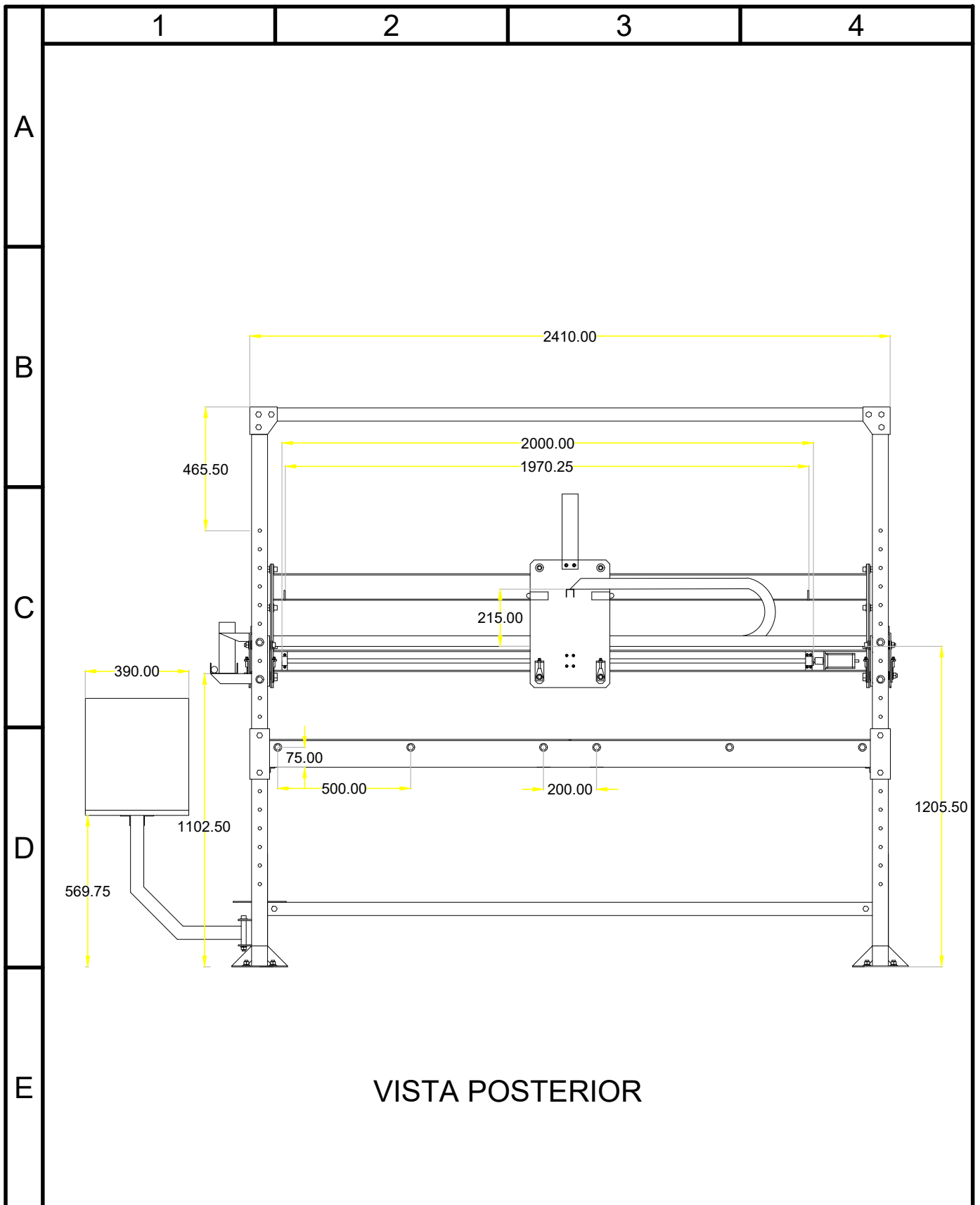
A partir de la página siguiente, se incluyen los planos correspondientes.



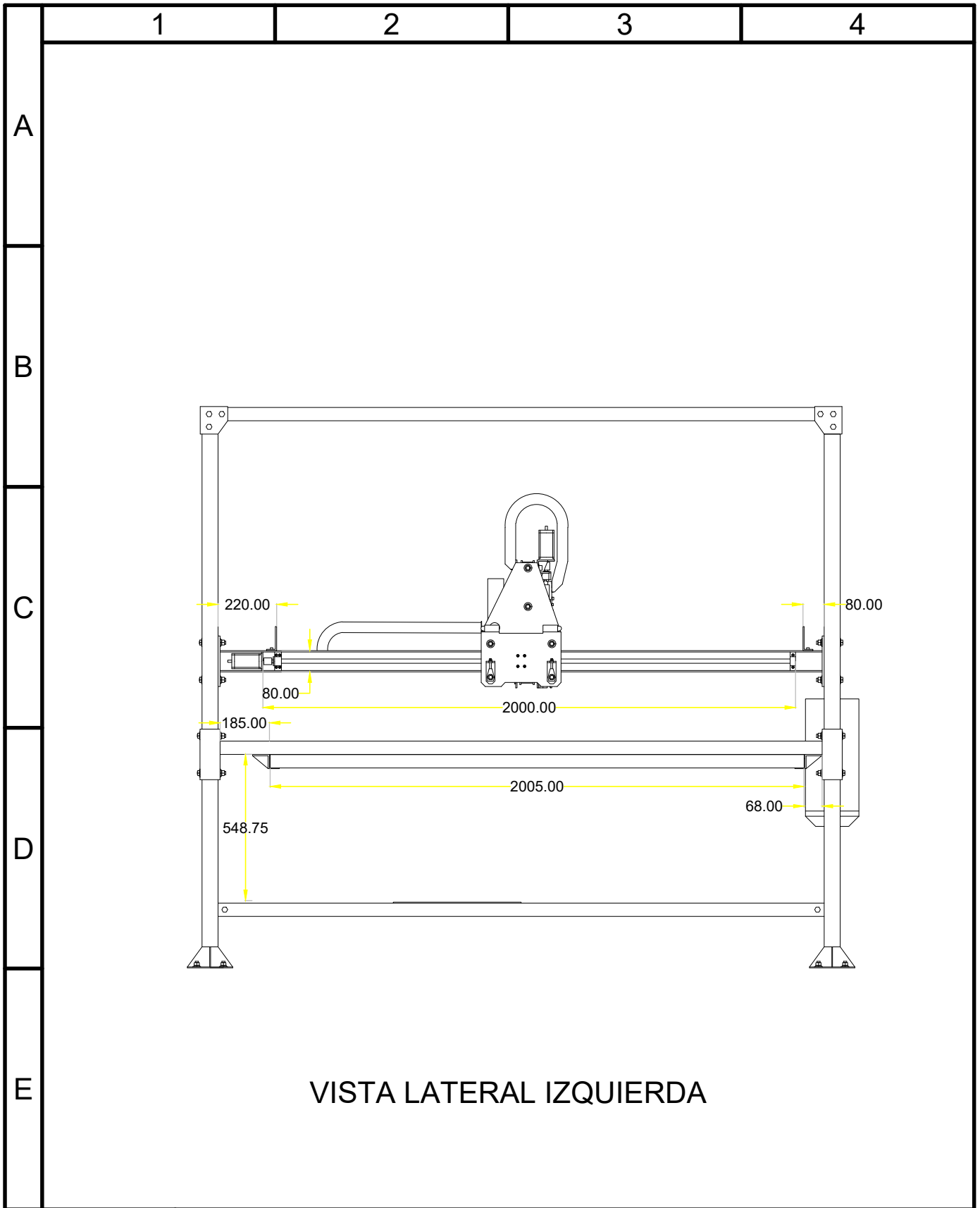
Den.:	Estructura Completa	
Alumno:	José Talavera	Facultad de Ciencias y Tecnologías
Tutor:	Ing. Derlis Arredondo	Ingeniería en Electrónica
ESC.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN TALLERES METALMECÁNICOS DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO, DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ.	Plano N°:1
1:20		Fecha:11/11/2024



Den.:	Estructura Completa		
Alumno:	José Talavera	Facultad de Ciencias y Tecnologías	
Tutor:	Ing. Derlis Arredondo	Ingeniería en Electrónica	
ESC. 1:20	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN TALLERES METALMECÁNICOS DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO, DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ.		Plano N°:2
			Fecha:11/11/2024

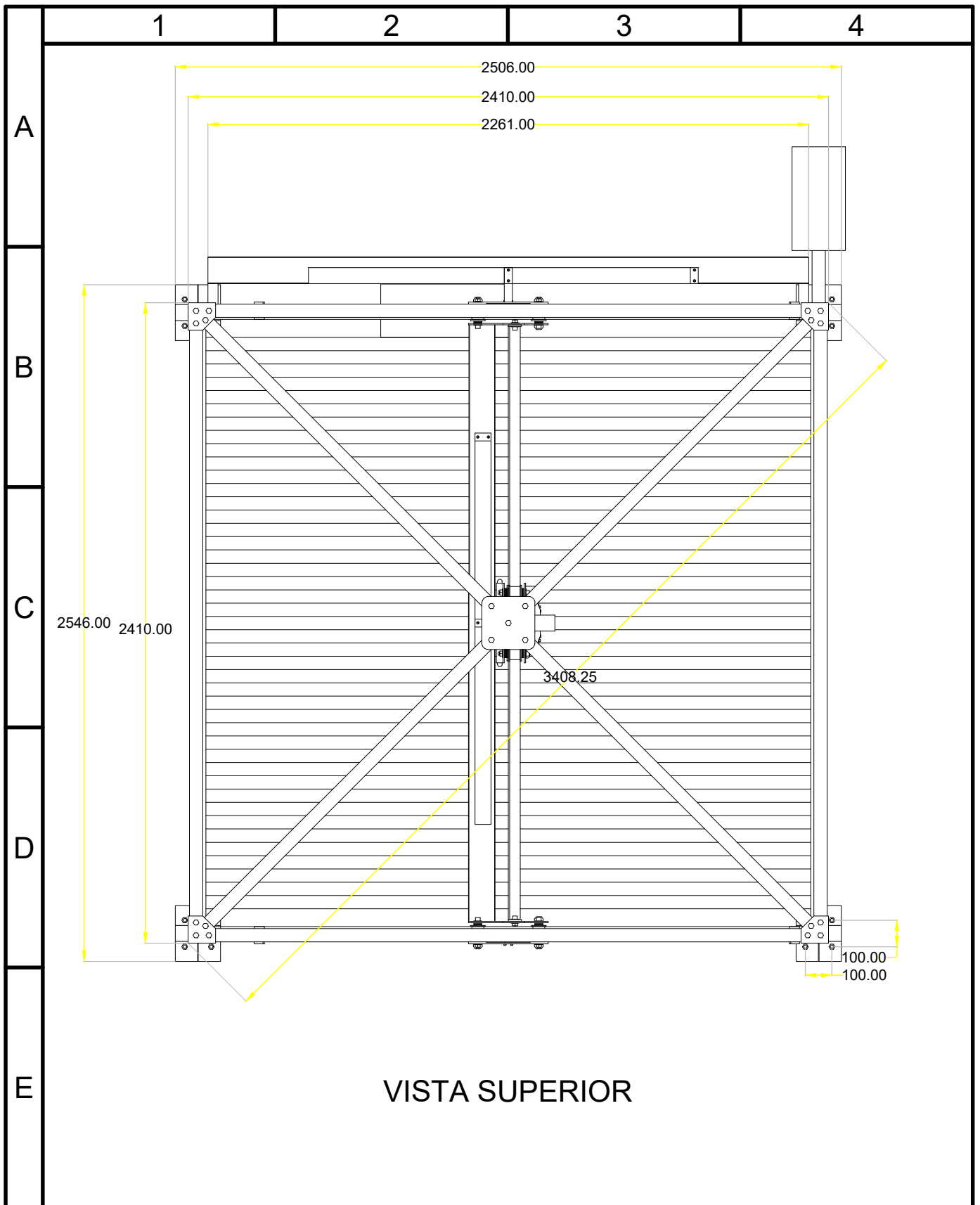


Den.:	Estructura Completa	
Alumno:	José Talavera	Facultad de Ciencias y Tecnologías
Tutor:	Ing. Derlis Arredondo	Ingeniería en Electrónica
ESC.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN TALLERES METALMECÁNICOS DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO, DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ.	Plano N°:3
1:20		Fecha:11/11/2024

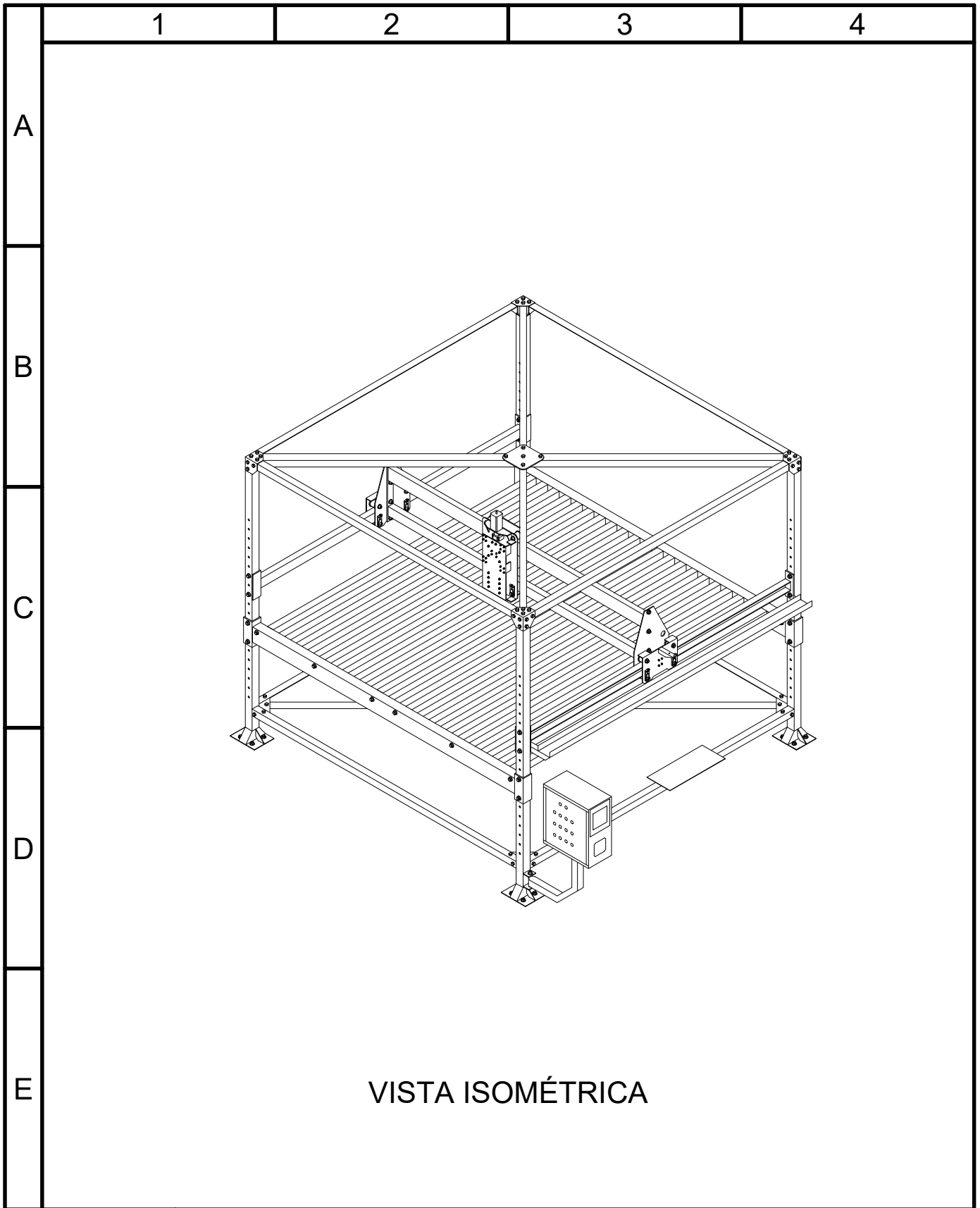


VISTA LATERAL IZQUIERDA

Den.:	Estructura Completa		
Alumno:	José Talavera	Facultad de Ciencias y Tecnologías	
Tutor:	Ing. Derlis Arredondo	Ingeniería en Electrónica	
ESC. 1:20	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN TALLERES METALMECÁNICOS DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO, DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ.		Plano N°:4
			Fecha:11/11/2024

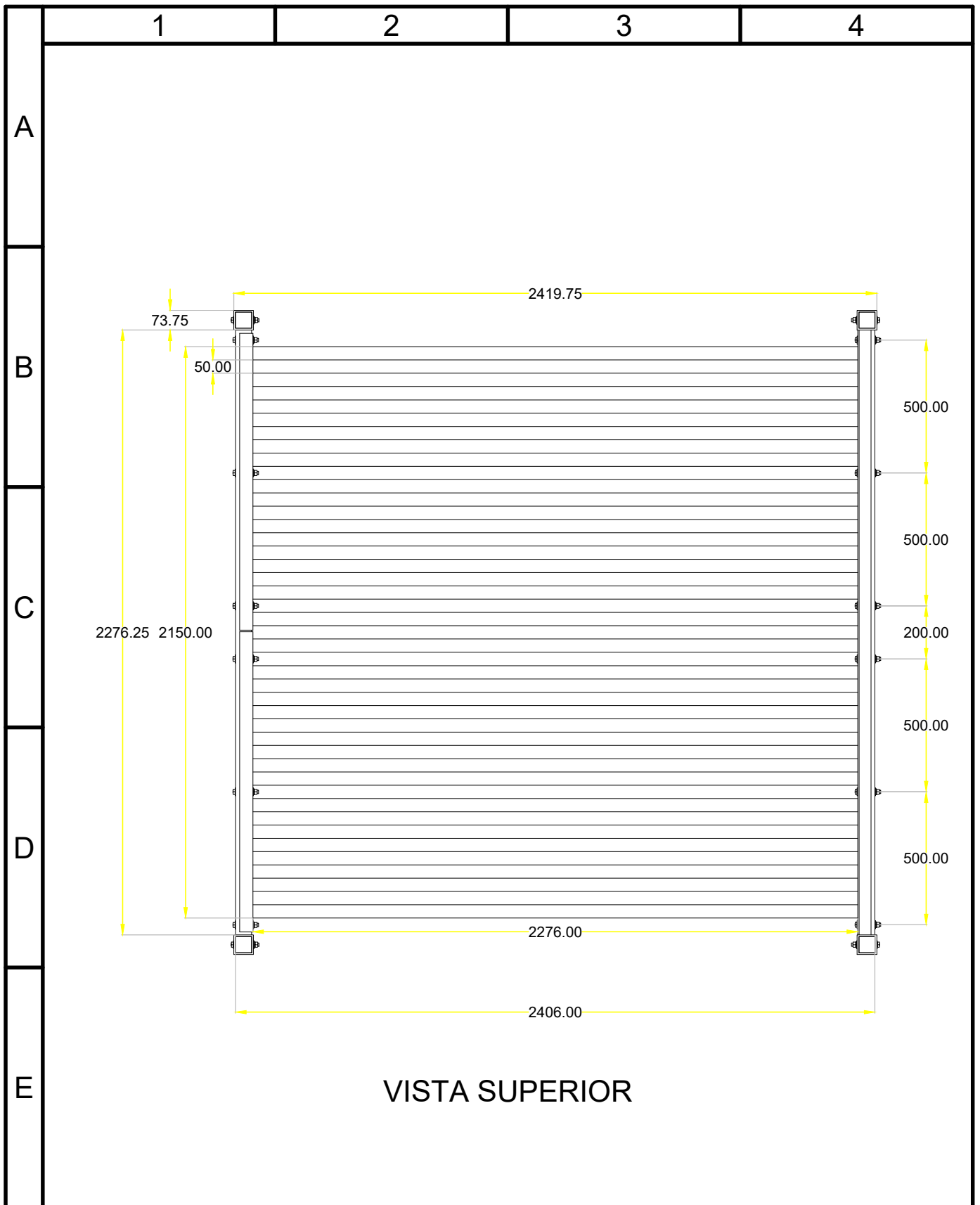


Den.:	Estructura Completa	
Alumno:	José Talavera	Facultad de Ciencias y Tecnologías
Tutor:	Ing. Derlis Arredondo	Ingeniería en Electrónica
ESC.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN TALLERES METALMECÁNICOS DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO, DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ.	Plano N°:5
1:20		Fecha:11/11/2024

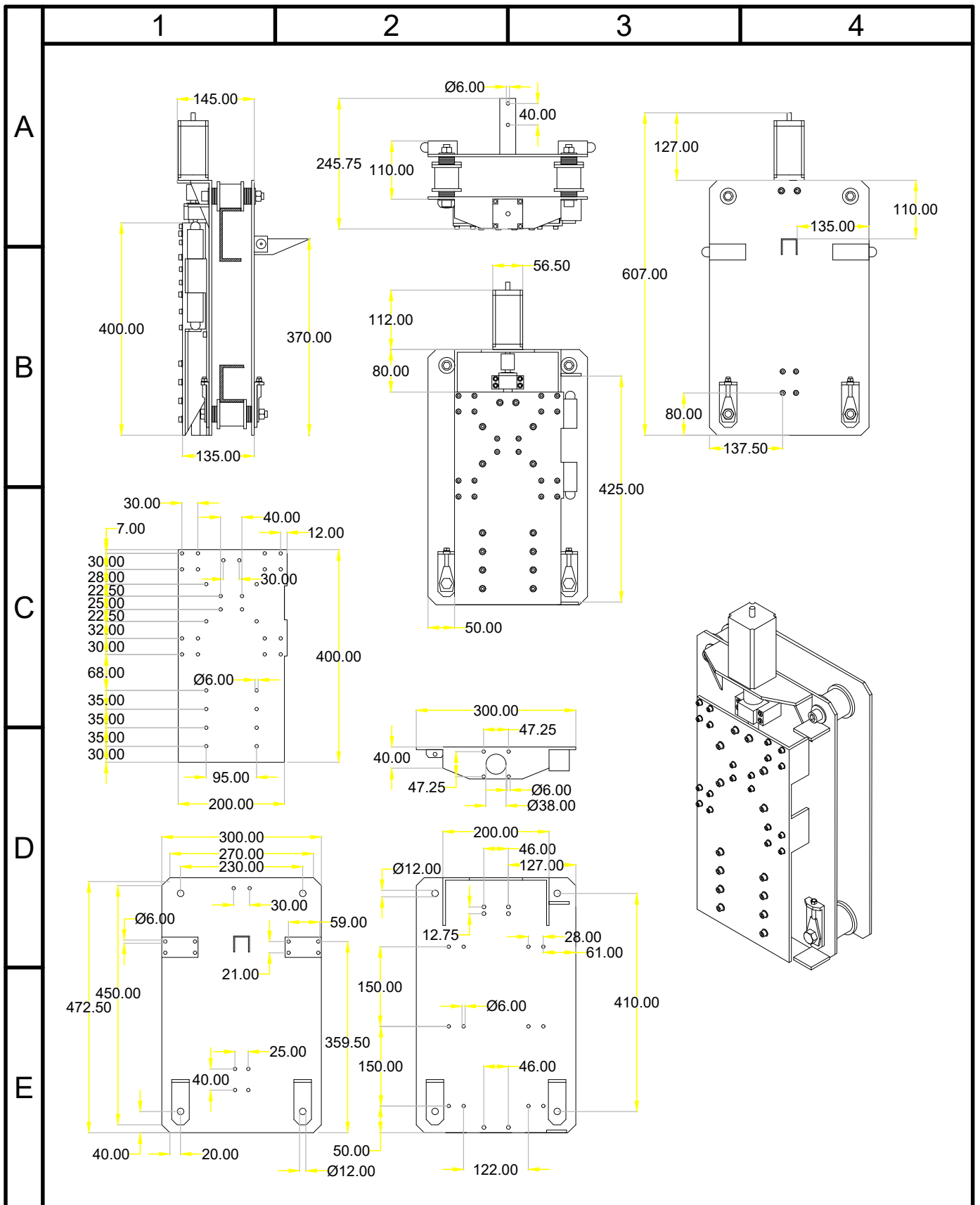


VISTA ISOMÉTRICA

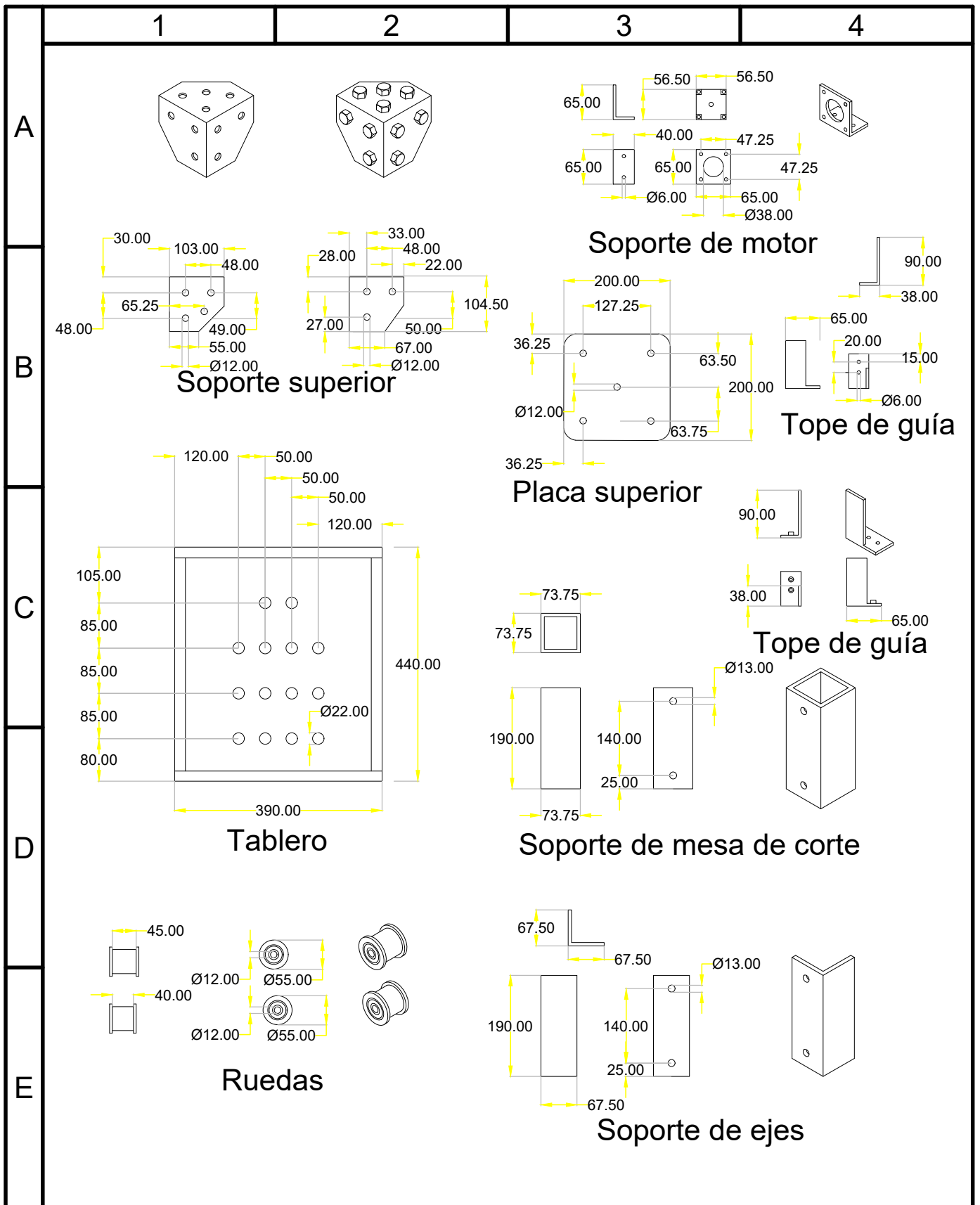
Den.:	Estructura Completa		
Alumno:	José Talavera	Facultad de Ciencias y Tecnologías	
Tutor:	Ing. Derlis Arredondo	Ingeniería en Electrónica	
ESC. 1:40	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN TALLERES METALMECÁNICOS DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO, DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ.		Plano N°:6
			Fecha:11/11/2024



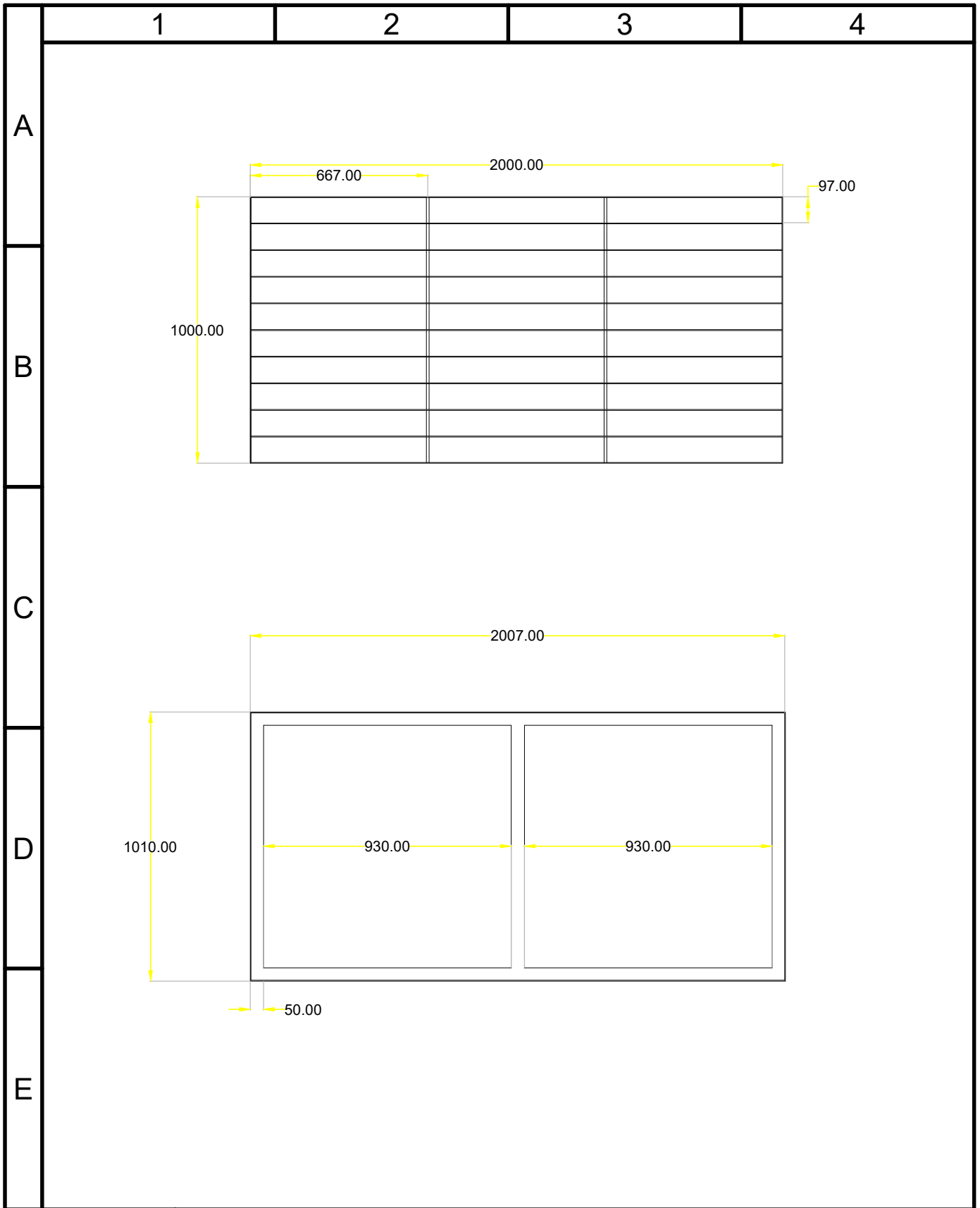
Den.:	Mesa de corte	
Alumno:	José Talavera	Facultad de Ciencias y Tecnologías
Tutor:	Ing. Derlis Arredondo	Ingeniería en Electrónica
ESC. 1:20	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN TALLERES METALMECÁNICOS DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO, DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ.	Plano N°:7
		Fecha:11/11/2024



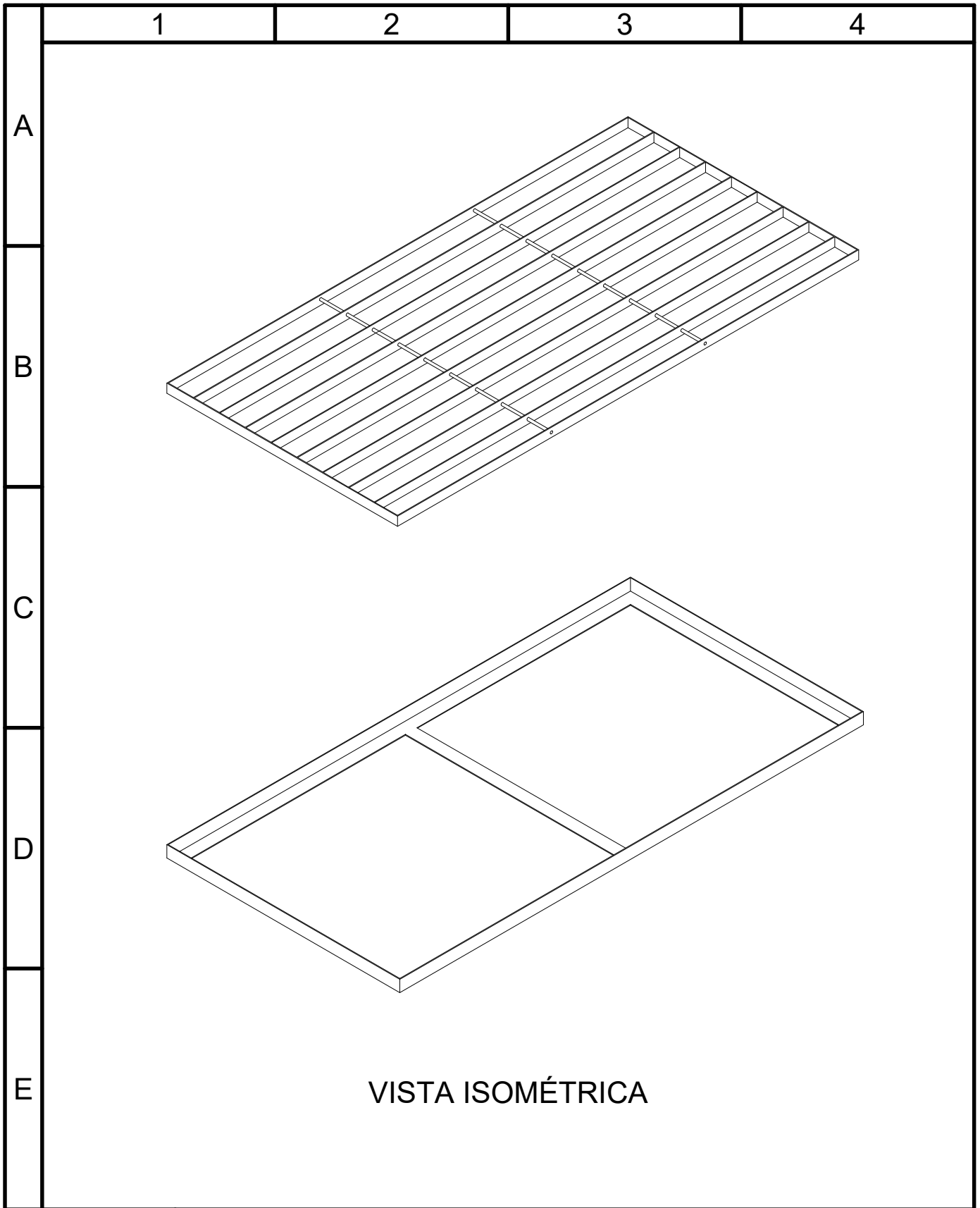
Den.:	Plataforma del Eje X-Z	
Alumno:	José Talavera	Facultad de Ciencias y Tecnologías
Tutor:	Ing. Derlis Arredondo	Ingeniería en Electrónica
ESC.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN TALLERES METALMECÁNICOS DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO, DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ.	
1:10		Plano N°:9
		Fecha:11/11/2024



Den.:	Componentes		
Alumno:	José Talavera	Facultad de Ciencias y Tecnologías	
Tutor:	Ing. Derlis Arredondo	Ingeniería en Electrónica	
ESC.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN TALLERES METALMECÁNICOS DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO, DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ.		Plano N°:10
1:10			Fecha:11/11/2024



Den.:	Bandeja/ Rejilla	
Alumno:	José Talavera	Facultad de Ciencias y Tecnologías
Tutor:	Ing. Derlis Arredondo	Ingeniería en Electrónica
ESC.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN TALLERES METALMECÁNICOS DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO, DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ.	Plano N°:11
1:20		Fecha:11/11/2024



VISTA ISOMÉTRICA

Den.:	Bandeja/Rejilla		
Alumno:	José Talavera	Facultad de Ciencias y Tecnologías	
Tutor:	Ing. Derlis Arredondo	Ingeniería en Electrónica	
ESC. 1:20	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN TALLERES METALMECÁNICOS DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO, DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ.		Plano N°:12
			Fecha:11/11/2024

APÉNDICE U: CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA

Apéndice U.1: Cálculo de la resolución de pasos.

La fórmula para calcular la resolución de pasos es:

$$R_P = \frac{P_R}{A_R}$$

(R_P) Resolución de pasos. (paso/mm)

(P_R) Pasos por revolución. (paso/rev)

(A_R) Avance por revolución del husillo. (mm/rev)

Sustituyendo los valores dados:

$$R_P = \frac{200 \text{ paso/rev}}{5 \text{ mm/rev}} = 40 \text{ paso/mm} \rightarrow R_P = 40 \text{ paso/mm}$$

Apéndice U.2: Cálculo de la velocidad de avance máxima.

La fórmula para calcular la velocidad de avance máxima es:

$$V_{m\acute{a}x} = A_R \times V_M$$

$(V_{m\acute{a}x})$ Velocidad de avance máxima. (mm/min)

(A_R) Avance por revolución del husillo. (mm/rev)

(V_M) Velocidad del motor. (rev/min)

Sustituyendo los valores dados:

$$V_{m\acute{a}x} = 5 \text{ mm/rev} \times 400 \text{ rev/min} = 2000 \text{ mm/min} \rightarrow V_{m\acute{a}x} = 2000 \text{ mm/min}$$

Apéndice U.3: Cálculo de la aceleración máxima.

La fórmula para calcular la aceleración máxima es:

$$A_{m\acute{a}x} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{60 \times t}$$

$(A_{m\acute{a}x})$ Aceleración máxima. (mm/s²)

$(V_{m\acute{a}x})$ Velocidad de avance máxima. (mm/min)

(t) Tiempo de aceleración (s)

Sustituyendo los valores dados:

$$A_{m\acute{a}x} = \frac{2000 \text{ mm/min}}{60 \times 0.267 \text{ s}} = 124.84 \text{ mm/s}^2 \rightarrow A_{m\acute{a}x} = 125 \text{ mm/s}^2$$

8-BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Kandray, Programmable automation technologies, Industrial Press, 2010.
- [2] M. e. I. F. D. d. C. Rodríguez, Programación automática de maquinas CNC, Cuautitlán: Facultad de estudios superiores, 2008.
- [3] E. S. H. J. Peter J. Hoffman, Precision Machining Technology, Cengage Learning, 2012.
- [4] M. F. Castilla, Vanguardias computacionales, Granada: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada, 2018.
- [5] S. Jeon, «Grbl CNC controller,» Github, 22 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://github.com/grbl/grbl>. [Último acceso: 11 Noviembre 2024].
- [6] J. Breiler, «Universal-G-Code-Sender,» Github, 1 Diciembre 2023. [En línea]. Available: https://winder.github.io/ugs_website/. [Último acceso: 11 Noviembre 2024].
- [7] C. R. Romeva, Diseño concurrente, Barcelona: Edicions UPC, 2002.
- [8] Petersen Industria & Hogar S.A., Proceso de corte por plasma, Asunción : Petersen Industria & Hogar S.A., 2022.
- [9] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, Diseño y desarrollo de productos, McGraw-Hill, 2009.
- [10] R. L. Mott, Resistencia de Materiales, Pearson Education, 2009.
- [11] Aluflex Group, Ball screws.
- [12] A. G. Erviti Lara, Influencia de Parámetros de Corte en la Rugosidad Superficial en Procesos de Fresado, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2015.
- [13] A. L. Casillas, Máquinas cálculos de taller, Ediciones Maquinas.

Diseño y construcción de un prototipo de máquina CNC para la optimización de procesos en talleres metalmecánicos de la Ciudad de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú
José Adrián Talavera Chaves - 2024

- [14] EasyEDA, «EasyEDA,» EasyEDA, 2013. [En línea]. Available: <https://easyeda.com/es>. [Último acceso: 11 Noviembre 2014].
- [15] Equipo Inkscape, «Inkscape Draw Freely.,» Inkscape, 2003. [En línea]. Available: <https://inkscape.org/es/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2024].
- [16] A. Sánchez, P. Blanes y J. Cuenca, «Flaticon,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.flaticon.es/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2014].
- [17] Comunidad LibreCAD, «LibreCAD,» Comunidad LibreCAD, 2011. [En línea]. Available: <https://librecad.org/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2024].
- [18] Xavier y Benoit, «QElectroTech,» QElectroTech, 2008. [En línea]. Available: <https://qelectrotech.org/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2024].