



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIA DE LAS INGENIERÍAS Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

TITULO: “DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE CORTE POR PLASMA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA PLANCHAS DE ACERO”.

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Electromecánica

Autores:

Llambo Toalombo Jonathan Stalin

López Mamallacta William Héctor

Tutor:

Ing. M.Sc. Segundo Ángel Cevallos Betún

Latacunga–Ecuador

2021



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Llambo Toalombo Jonathan Stalin y López Mamallacta William Héctor, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE CORTE POR PLASMA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA PLANCHAS DE ACERO”, siendo el Ing. M.Sc. Segundo Ángel Cevallos Betún tutor del presente Trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 25 de febrero del 2021

Llambo Toalombo Jonathan Stalin

C.C. 180471744-3

López Mamallacta William Héctor

C.C. 160075601-7



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE CORTE POR PLASMA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA PLANCHAS DE ACERO”, de los postulantes Llambo Toalombo Jonathan Stalin y López Mamallacta William Héctor, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnico suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 25 de febrero del 2021

Ing. M.Sc. Segundo Ángel Cevallos Betún
C.I.:0501782437
Tutor



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de tribunal de lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias por la Universidad técnica de Cotopaxi, y por la facultad de ciencias de la ingeniería y aplicadas de la carrera de ingeniería electromecánica; por lo cual, los postulantes: Llambo Toalombo Jonathan Stalin con cédula de ciudadanía No. 180471744-3 y López Mamallacta William Héctor con cédula de ciudadanía No. 160075601-7, con el título de Proyecto de titulación: “DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE CORTE POR PLASMA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA PLANCHAS DE ACERO”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Atentamente,

Lector 1 (Presidente)

Ing. MsC. Byron Paúl Corrales Bastidas

CC: 050234776-8

Lector 2

Ing. MsC. Navarrete López Luis Miguel

CC: 180374728-4

Lector 3

Ing. MsC. Freire Andrade Verónica Paulina

CC: 050205622-9



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AGRADECIMIENTO

A Dios por cuidarme y acompañarme en todo momento, asiéndome entender que con sacrificio y dedicación todo se logra y lo más importante por regalarme una familia tan maravillosa que es el motor que me impulsa día tras día.

A mis padres Patricio y Hilda por brindarme su apoyo incondicional en cada momento de mi vida y estar siempre cuando más los necesito, ayudándome a seguir en mis metas planteadas.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por permitirme formar parte de tan prestigiosa institución y a verme brindado una educación de excelencia y calidad.

A todos los docentes que he tenido el gusto de conocer, los cuales me supieron brindar su conocimiento y apoyo para formarme como un futuro ingeniero Electromecánico.

Al Ingeniero Segundo Ángel Cevallos Betún por su calidad como docente, el cual mediante su guía y consejos me permitió llegar al final de este proyecto tan anhelado de titulación

A todos mis amigos y compañeros que de una y otra forma tuve el gusto de conocer en esta larga vida universitaria.

A todos los mencionados anteriormente les agradezco de todo corazón por siempre haber estado ahí en todo momento.

Llambo Jonathan



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme para alcanzar mis objetivos y por darme la fuerza para superar obstáculos y dificultades, mi guía durante toda mi vida.

A mis padres motores incansables y apoyo incondicional para alcanzar mis metas y sueños gracias por su amor.

Agradezco a mi Tutor, Ingeniero M.Sc. Segundo Cevallos que con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en todo el proceso para culminar este proyecto también a los docentes que me han visto crecer como persona, y gracias por sus enseñanzas y por regalarme sus conocimientos.

A mi querida Universidad por abrir sus puertas y darme la oportunidad de culminar mis estudios superiores y ser parte de la familia electromecánica, que ha sido como mi segundo hogar durante todo el proceso de mi vida universitaria.

A mis hermanos, familiares y amigos quienes a través de sus consejos y sugerencias motivaron el deseo de cumplir mis metas y objetivos dentro de la universidad.

López William



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

DEDICATORIA

Mi trabajo de titulación se lo dedico a Dios principalmente, por haberme permitido estudiar esta carrera en tan excelente Institución y no dejarme vencer hasta ver terminado mi proyecto.

A mis queridos Padres Patricio y Hilda por estar siempre presentes con sus consejos y apoyo en todo momento dentro de mi vida estudiantil y personal, haciéndome entender que el estudio es el bien más preciado que alguien puede dar.

A mi familia que estuvo presente a lo largo de toda mi formación académica, brindándome muchos consejos y motivándome a seguir adelante.

A todos mis amigos que compartieron conmigo en cada momento y estaban para ayudarme y aconsejarme sin importar nada.

Llambo Jonathan



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación principalmente lo dedico a Dios por ser el amigo que nunca me ha fallado y por guiarme siempre por el camino del bien,

A mis padres Marco López y Elvia Mamallacta, por todo su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, por su educación, consejos, paciencia, por su confianza he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, son los mejores padres.

A mis hermanos, por su cariño, apoyo y confianza que siempre fueron los pilares fundamentales para seguir adelante y también a mis tíos Miguel y Enita que me ayudaron mucho en mi vida.

López William

ÍNDICE GENERAL

PORTADA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xvi
1. INFORMACIÓN BÁSICA	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	3
2.1. Título de la propuesta tecnológica.....	3
2.2. Tipo de alcance.....	3
2.3. Área del conocimiento.....	3
2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica	3
2.5. Objeto de estudio y campo de acción	3
2.5.1. Objeto de estudio.....	3
2.5.2. Campo de acción	4
2.6. Situación problemática y problema	4
2.6.1. Situación problemática	4

2.6.1. Matriz de Identificación de problema.....	5
2.6.2. Problema.....	5
2.7. Hipótesis	5
2.8. Objetivos.....	5
2.8.1. Objetivo general	5
2.8.2. Objetivos específicos.....	5
2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos.....	6
3. MARCO TEÓRICO.....	7
3.1. Introducción.....	7
3.2. Análisis de los trabajos precedentes	7
3.3. Descripción de objeto de estudio.....	8
3.3.1. Máquina CNC (control numérico computarizado).....	8
3.3.2. Diseño de una máquina.....	17
4. METODOLOGÍA.....	20
4.1. Definición	20
4.2. Estructura funcional.....	20
4.3. Diseño dimensional	20
4.4. Selección del sistema de potencia	21
4.4.1. Elección de alternativas	21
4.4.2. Método ordinal corregido de criterios ponderados.....	21
4.5. Ecuaciones dimensionales	25
4.5.1. Diseño de guías lineales de eje en Z.....	25
4.5.2. Diseño del eje guía, de los soportes y del tornillo en X	30
4.5.3. Diseño del sistema de guiado, del tornillo y soportes del eje Y	36
4.5.4. Sistemas de chumaceras	40
4.6. Diseño de control.....	41
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	44
5.1. Introducción.....	44

5.2. Validación por el método de elementos finitos FEM.	44
5.3. Especificaciones de la máquina.....	44
5.3.1. Análisis por el método de elementos finitos de la estructura soporte	45
5.4. Sistema de control	50
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO	52
6.1. Presupuesto.....	52
6.1.1. Presupuesto directo.....	52
6.1.2. Costos indirectos	53
6.1.3. Presupuesto total.....	53
6.1.4. Análisis de costo.....	54
6.2. Análisis de impacto	55
6.2.1. Impacto práctico	55
6.2.2. Impacto tecnológico	55
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
7.1. Conclusiones.....	56
7.2. Recomendaciones	56
8. REFERENCIAS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Matriz causa - efecto	5
Figura 3.1. Diagrama de bloques de la composición de una máquina CNC	9
Figura 3.2. Mach3 CNC software de control	11
Figura 3.3. Funcionamiento de los finales de carrera en el eje Z	13
Figura 3.4. Mesa de coordenadas CNC	14
Figura 3.5. Elementos de corte por plasma	15
Figura 3.6. Diseño descriptivo de una máquina CNC	18
Figura 4.1. Máquina corte por plasma	20
Figura 4.2. Lazo abierto de control Elaborado por: Llambo y López	41
Figura 4.3. Controladores eléctricos (drivers)	42
Figura 4.4. Fuentes de poder	42
Figura 4.5. Diagrama de conexión	43
Figura 4.6. Diagrama de control para la cortadora por plasma CNC	43
Figura 5.1. Especificaciones de la máquina	44
Figura 5.2. Modelado geométrico	45
Figura 5.3. Sujeciones	45
Figura 5.4. Cargas	46
Figura 5.5. Mallado	46
Figura 5.6. Análisis de Tensiones	47
Figura 5.7. Análisis de desplazamiento	47
Figura 5.8. Análisis del Factor de Seguridad (FDS)	48
Figura 5.9. Curva de Funcion	48
Figura 5.10. Porcentaje de daño	49
Figura 5.11. Ciclo de vida total.	49
Figura 5.12. Diseño Cad-practica	50
Figura 5.13. Configuración de software SheetCam	50
Figura 5.14. Códigos G	51
Figura 5.15. Programa cargado.	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Descripción de las actividades y tareas propuestas.....	6
Tabla 3.1	Ventajas y Desventajas de una máquina CNC	9
Tabla 3.2	Tipos de softwares (CAM) Y (CAD/CAM).....	11
Tabla 3.3	Diferencias entre Tarjetas de Interfaz para CNC.....	12
Tabla 3.4	Tipos de sistemas de accionamiento.....	13
Tabla 3.5	Tipos de transmisión por potencia.....	14
Tabla 3.6	Tipos de corte por plasma.....	16
Tabla 3.7	Espesores y velocidades de corte.....	17
Tabla 4.1	Evaluación por criterio del sistema de potencia	22
Tabla 4.2	Evaluación del criterio de Eficiencia.....	22
Tabla 4.3	Evaluación del criterio de Velocidad de Avance.....	22
Tabla 4.4	Evaluación del criterio de Costos	23
Tabla 4.5	Evaluación del criterio de Facilidad de Adquisición.....	23
Tabla 4.6	Evaluación del criterio de Complejidad de Instalación	23
Tabla 4.7	Evaluación del criterio de Fricción.....	24
Tabla 4.8	Evaluación del criterio de Mantenimiento.....	24
Tabla 4.9	Evaluación por criterio del sistema de potencia	24
Tabla 4.10	Cargas de componentes constitutivos en el eje Z.....	25
Tabla 4.11	Parámetros del Factor de Modificación de superficie	28
Tabla 4.12	Efectos de temperatura de operación.....	29
Tabla 4.13	Factor de modificación de confiabilidad	29
Tabla 4.14	Cargas de componentes constitutivos en el eje X.....	30
Tabla 4.15	Cargas de rozamiento	34
Tabla 4.16	Cargas de componentes constitutivos en el soporte en el eje X	35
Tabla 4.17	Cargas de componentes constitutivos en el tornillo del eje Y	37
Tabla 4.18	Cargas de componentes constitutivos en los soportes del eje Y.....	39
Tabla 4.19	Selección de motores	42
Tabla 6.1	Costos directos de los materiales.....	52
Tabla 6.2	Detalle de costos directos por mano de obra	52
Tabla 6.3	Detalle de costos indirectos por transporte, alimentación y entre otros.	53
Tabla 6.4	Detalle de costos indirectos del Equipo Cortador de Plasma	53
Tabla 6.5	Presupuesto total.....	53

Tabla 6.6 Análisis de costos	54
Tabla 6.7 Cálculo de utilidad neto por año.....	54
Tabla 6.8 Calculo del VAN y TIR.....	55



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE CORTE POR PLASMA CON CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO PARA PLANCHAS DE ACERO”

Autores:

Jonathan Stalin Llambo Toalombo

William Héctor López Mamallacta

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar una máquina de corte por plasma controlada por control numérico computarizado para trabajar con planchas metálicas de hasta 12 mm de espesor, que es la dimensión máxima con la que trabajan los pequeños y medianos talleres metalmecánicos de la zona 3 del país. La metodología empleada en este trabajo se basó en una etapa de diseño conceptual en donde se hace referencia a la lógica de operación de la máquina y la constitución de cada una de sus partes; mediante esto se determinaron las variables iniciales a considerar, que posteriormente fueron evaluadas en la etapa de diseño dimensional en función de sus características más importantes y por métodos de cálculo aplicado a cada sistema seleccionado. En la siguiente etapa el diseño detallado se contempla mediante el empleo de software CAD donde se representan los diferentes sistemas o componentes que conforman la máquina y se procede al análisis de diseño de los mismos. Con esta información se obtiene el diseño electromecánico para una máquina que corte planchas de acero con dimensiones de 1220 x 1220 mm y espesor de hasta 12 mm, el mismo que es justificado mediante el empleo de un software de simulación CAE por el método de elementos finitos, obteniendo los siguientes resultados: la máquina puede soportar tensiones de 7 635 MPa, una deformación máxima de 2,691 mm en los soportes centrales con un factor de seguridad de 2,7, que es aceptables al ser superior al recomendado para el diseño de estructuras estáticas que se encuentra entre 1,25 y 2.

Palabras clave: máquina CNC, diseño detallado, software CAD, análisis de elementos finitos



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITLE:

Authors:

Jonathan Stalin Llambo Toalombo

William Hector López Mamallacta

ABSTRACT



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DE TRADUCCIÓN

1. INFORMACIÓN BÁSICA

Propuesto por:

Llambo Toalombo Jonathan Stalin

López Mamallacta William Héctor

Tema aprobado:

Diseño de una máquina de corte por plasma con control numérico computarizado para planchas de acero.

Carrera:

Ingeniería Electromecánica.

Director del proyecto de titulación:

Ing. M.Sc. Segundo Ángel Cevallos Betún

Equipo de trabajo

Tutor

Nombres: Segundo Ángel

Apellidos: Cevallos Betún

Cedula de identidad: 0501782437

Correo electrónico: segundo.cevallos@utc.edu.ec

Ponente 1:

Nombres: Llambo Toalombo Jonathan Stalin

Cédula de Ciudadanía: 180471744-3.

Correo electrónico: jonathan.llambo7443@utc.edu.ec

Dirección: Barrio San Felipe-calle 10 de agosto y México

Ponente 2:

Nombres: López Mamallacta William Héctor

Cédula de Ciudadanía: 160075601-7.

Correo electrónico: william.lopez6017@utc.edu.ec

Dirección: Barrio San Felipe-calle 10 de agosto y México

Lugar de ejecución

Universidad Técnica de Cotopaxi, Provincia de Cotopaxi, Catón Latacunga, Parroquia El Ejido.

Tiempo de duración del proyecto

Inicio octubre 2020 – marzo 2021

Fecha de entrega

Marzo 2021

Línea de investigación

De acuerdo a lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, la línea de investigación del presente proyecto es procesos industriales.

Sub línea de investigación

El proyecto de investigación se acoge a la sub línea de investigación: diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. Título de la propuesta tecnológica

Diseño de una máquina de corte por plasma con control numérico computarizado para planchas de acero.

2.2. Tipo de alcance

Diseño y Análisis computarizado por método de elementos finitos (FEM).

Para la elaboración de este proyecto se aplicaron los conocimientos de las asignaturas recibidas en el trayecto de la carrera Universitaria, como son: Diseño de elementos de máquinas, Resistencia de materiales, Dibujo asistido por computadora, Sistemas CAD/CAM, Circuitos eléctricos y Electrónica.

2.3. Área del conocimiento

Según la norma CINE – UNESCO establece grupos amplios y sectores de estudio [1].

Área: Ingeniería, industria y construcción.

Sub área: Ingeniería (dibujo técnico, mecánico, metal, electricidad-energía e ingeniería de procesos).

2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica

La presente investigación se enfocó en el diseño de una máquina de corte por plasma con control numérico computarizado (CNC) para cortar planchas de acero, validando la estructura por medio del análisis de elementos finitos, logrando determinar su resistencia y factor de seguridad, además mediante la simulación se logró observar los desplazamientos en los distintos ejes de la mesa; así como el análisis de los mecanismos de control electromecánico para los movimientos del equipo.

El diseño de la máquina de corte por plasma controlado por CNC, servirá como base para una futura implementación de este equipo en algún taller metalmecánico que desee mejorar su tiempo de producción.

2.5. Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1. Objeto de estudio

Diseño de una máquina de corte por plasma con control numérico computarizado.

2.5.2. Campo de acción

331315 Diseño de Máquinas, 331323 Equipo Mecánico de Transmisión de Potencia, 331209 Resistencia de Materiales y 330533 Resistencia Estructural.

2.6. Situación problémica y problema

2.6.1. Situación problémica

Los pequeños y medianos talleres metalmecánicos del país se ven obligados a realizar adelantos tecnológicos aplicables a muchas áreas, el presente estudio se enfocó principalmente en el sector metalmecánico, por ser parte de la cadena de suministros del sector de la construcción tanto civil como industrial, el mismo que se halla en crecimiento en nuestro país; es así que este sector está invirtiendo en la implementación de nuevas tecnologías que puedan ser adaptables a sus métodos tradicionales de procesos como son: máquinas herramientas asistidas por control numérico computarizado, nuevos sistemas de corte, nuevos procesos de soldaduras, automatización de procesos, entre otros. Procurando con esto optimizar recursos, minimizar tiempo de fabricación, conseguir alta calidad en piezas terminadas y desarrollar nuevos productos o servicios.

Este tipo de industria está apostando por tecnologías que les permitan cortar diferentes tipos de materiales metálicos empleados en la construcción, es por ello que de todos los sistemas de corte de materiales que existen, el corte por plasma es el que más fácilmente se podría adaptar a las nuevas tecnologías de control como es el CNC, por lo que esta investigación lo que busca es diseñar, simular y analizar una máquina con una estructura adecuada aplicada a este sector, lo que permitirá mejorar este sistema tradicional de corte.

Las máquinas de corte por plasma con control numérico computarizado que existen en el mercado nacional no están enfocados a los pequeños y medianos talleres metalmecánicos que trabajan con láminas y planchas de acero cuyas dimensiones máximas son de 1250 x 1250 mm y con espesores que van desde 1,20 mm hasta 12 mm, ya que estas tienen diseños robustos y costos muy elevados, por lo cual los pequeños metalmecánicos prefieren continuar con sus procesos de corte tradicional y de baja calidad, los mismos que incrementan su tiempo de producción. Por estos motivos el presente trabajo investigativo pretende presentar una propuesta de solución para este sector productivo de la región y del país.

2.6.1. Matriz de Identificación de problema

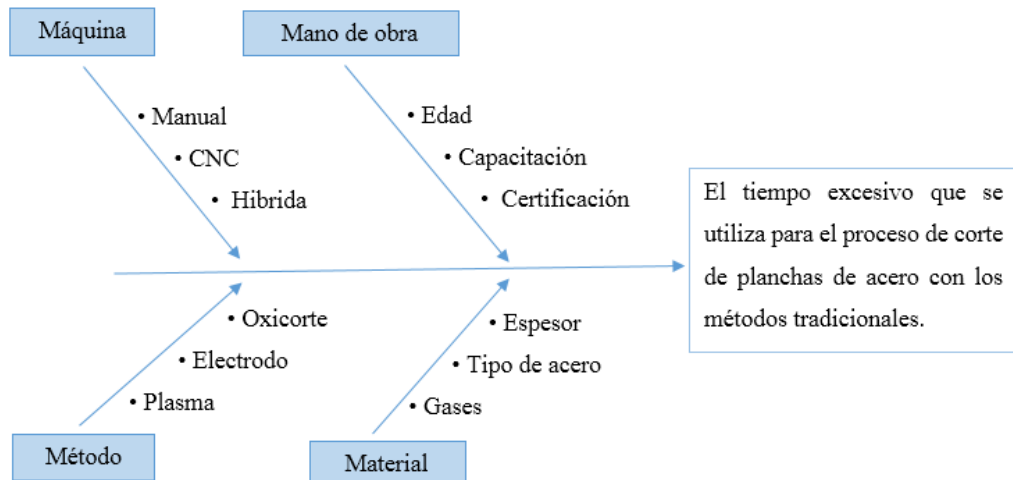


Figura 2.1. Matriz causa - efecto

Elaborado por: Llambo y López

2.6.2. Problema

El tiempo excesivo que se utiliza para el proceso de corte de planchas de acero con los métodos tradicionales.

2.7. Hipótesis

El diseño de una máquina de corte por plasma controlada por CNC, podrá ser empleado como modelo para una posterior implementación en la industria metalmecánica artesanal.

2.8. Objetivos

2.8.1. Objetivo general

Diseñar una máquina de corte por plasma controlada por CNC que permita cortar planchas de acero de hasta 12 mm de espesor que se emplea en la industria metalmecánica artesanal.

2.8.2. Objetivos específicos

- Investigar en diferentes fuentes bibliográficas la lógica de operación de los equipos de corte por plasmas y el CNC para la elaboración del proyecto de diseño.
- Definir los elementos electromecánicos y electrónicos de una máquina de corte por plasma con control numérico computarizado.
- Realizar el diseño computacional de la máquina de corte por plasma CNC, mediante justificaciones y propuestas técnicas, que permitan simular a través de software su forma final.

- Validación del alcance obtenido del diseño mediante el análisis de elementos finitos y la simulación del proceso de corte, que garantice su aplicación a futuro.

2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

Tabla 2.1 Descripción de las actividades y tareas propuestas.

Objetivos	Tareas	Resultado de actividad	Descripción de la metodología por actividad
Identificar en diferentes fuentes bibliográficas la lógica de operación de los equipos de corte por plasmas y el CNC para la elaboración del proyecto de diseño.	Revisión de las características y principio de funcionamientos de las máquinas de corte por plasma con CNC.	Recopilación de datos de investigación	Investigación documental y bibliográfica
	Análisis de diferentes proyectos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de máquinas CNC de corte por plasma.	Informe de los trabajos precedentes	Investigación documental y bibliográfica
	Estudio del principio de funcionamiento y sistemas que constituyen una máquina controlada por CNC.	Informe descriptivo de todos los sistemas o componentes de la máquina.	Investigación documental y bibliográfica
Definir los elementos electromecánicos y electrónicos de una máquina de corte por plasma con control numérico computarizado	Identificación de todos los componentes que conforma una máquina CNC de corte por plasma.	Recopilación de información que conlleve a la selección de los elementos.	Investigación documental y bibliográfica
	Selección de los elementos	Informe descriptivo del principio de funcionamiento de cada elemento seleccionado	Investigación documental y bibliográfica
Realizar el diseño computacional de la máquina de corte por plasma CNC, mediante justificaciones y propuestas técnicas, que permitan simular a través de un software su forma final.	Determinación del estudio técnico por cálculos para determinar los sistemas o componentes.	Demostración de cálculos	Investigación documental
	Identificación de los elementos o componentes mediante cálculos obtenidos y tablas normalizadas de fabricación.	Selección de todos los sistemas o componentes de la máquina CNC a diseñar	Investigación experimental
	Realización del diseño detallado mediante un software CAD.	Representación gráfica de la máquina CNC.	Investigación experimental
Validación del alcance obtenido del diseño mediante el análisis de elementos finitos y la simulación del proceso de corte, que garantice su aplicación a futuro.	Identificación y manejo del software de simulación (CAE) a utilizar.	Identificación del software de simulación (CAE).	Investigación aplicada tecnológica
	Realización de cálculos y análisis de elementos finitos (FEA).	Realización de los análisis y simulación con resultados de cálculos desarrollados.	Investigación Experimental
	Demostración del alcance del diseño de la máquina.	Demostración del alcance virtual y características técnicas de la máquina ya culminada.	Investigación Experimental

Elaborado por: Llambo y López

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Introducción

En este capítulo se abordaron todos los aspectos teóricos que permitieron desarrollar adecuadamente el proyecto, se identificó el principio de funcionamiento, las partes y componentes de una máquina CNC; con lo cual se planteó los argumentos científicos y teóricos utilizados en el presente documento.

3.2. Análisis de los trabajos precedentes

“Diseño de una Máquina Cortadora por Plasma CNC”. Este estudio fue realizado por los estudiantes Mirallas K. y Portes P. para la obtención de título de Ingeniero Mecánico en la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, julio 2016. Este proyecto se basó en diseñar una máquina CNC de corte por plasma que se la pueda construir localmente. La máquina cortadora por plasma CNC está hecha con dimensiones máximas de 1220 x1220 mm y espesor máximo de 12,7 mm para un ciclo de trabajo óptimo del equipo plasma [2].

“Diseño y Construcción de una Máquina CNC Cortadora por Plasma para Planchas de Acero de hasta 10mm de Espesor.”, esta indagación fue realizado por la estudiante Suntaxi Alejandra para la obtención de título de ingeniero electromecánico en la Universidad Internacional del Ecuador, Quito, 2017. El proyecto fue diseñar y construir una máquina CNC cortadora por plasma, en la cual dimensiona y define los parámetros para la construcción de esta máquina, seleccionando el sistema de control, realizando los cálculos necesarios para determinar los materiales para la parte mecánica y pasando a construir y ensamblar la cortadora de plasma CNC [3].

“Diseño e Implementación de un Sistema de CNC de Corte por Plasma para la Empresa Sermatex”, el proyecto fue desarrollado por el estudiante Andrés P, para la obtención de título de ingeniero en mecatrónica en la Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, enero 2012. Este proyecto fue implementar un sistema de corte por plasma CNC (control numérico computarizado), enfocado en mejorar el tiempo de producción y la calidad de cada componente a realizar por este método, con esta implementación la empresa obtendrá mayores ingresos y será reconocida nacionalmente debido a la calidad y al tiempo de entrega de cada producto [4].

“Diseño e Implementación de un Sistema Automatizado por Control Numérico Computarizado para Cortes por Plasma en los Procesos de Manufactura de la Empresa Cem Ingenieros E.I.R.L.”. Este estudio fue realizado por el estudiante Sergio Allauca para la

obtención de título de Ingeniero Mecatrónico en la Universidad Tecnológica del Perú, Lima 2017. Este proyecto se basó en diseñar y construir una máquina de corte por plasma utilizando los ejes X e Y para trayectorias en 2D, además cuenta con un eje Z para mantener la distancia óptima entre la punta de la antorcha y el metal. También consta de una interfaz donde se realiza el ingreso de parámetros que controlan la posición de los ejes y la velocidad de los motores paso a paso. Utiliza el software CAD/CAM para realizar el diseño de piezas y posterior mecanizado a través de un lenguaje de programación llamado código G [5].

“Diseño y construcción de una máquina cortadora plasma CNC en la empresa mecánica industrial “MOYA HNOS” Este proyecto fue elaborado por el estudiante Renato Carvajal para la obtención de título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Técnica de Ambato, Tungurahua 2018. Este proyecto se basó en diseñar una máquina cortadora de plasma CNC para trabajar con planchas estándares (1,22m x 2,44m) y realizar cortes en el menor tiempo posible y mejor acabado, la máquina tiene la capacidad de cortar desde 0,5mm hasta ½ plg (12,7 mm) [6].

Párrafo concluyente que sirve de base para la tesis.

Tras los trabajos precedentes citados anteriormente se obtuvo una idea clara y precisa del diseño de una máquina de corte por plasma controlada por una CNC mediante software CAD - CAE, el cual se enfoca en la optimización de materiales livianos en su estructura, resistencia, movimientos y mejoras en el proceso de corte, los mismos que serán corroborados por softwares computacionales de diseño detallado, simulación y análisis aplicado al estudio de elementos finitos, permitiendo detallar esfuerzos mecánicos que puedan afectar a la máquina en una futura implementación.

3.3. Descripción de objeto de estudio

3.3.1. Máquina CNC (control numérico computarizado)

Es una máquina que controla los movimientos y la posición de equipos o herramientas, mediante la utilización de una serie de dispositivos electrónicos y electromecánicos. Su funcionamiento principal se basa en instrucciones que reciben en forma de códigos G y códigos M, los cuales por medio de un software y un controlador se convierten en comandos de activación poniendo en marcha el sistema de accionamiento e impulsando el movimiento de los ejes [7]. A todo esto comprende sus ventajas y desventajas:

Tabla 3.1 Ventajas y Desventajas de una máquina CNC

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Da seguridad a operarios ante posibles fallas o por materiales peligrosos. • Es fácil de operar y se puede realizar todo el proceso por un solo trabajador. • Reduce el tiempo de preparación y corte del material. • Reduce el tiempo en el proceso de acabado final, al realizar un corte más exacto. • Produce menor desperdicio de material después del corte. • Realiza el corte de piezas con figuras más complicadas. • Brinda mayor precisión con relación al corte manual. • Aumenta significativamente la producción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere de una inversión inicial significativa. • Se tiene que contar con personal calificado en programación y mantenimiento destinado a este tipo de máquinas. • Se reducirá puestos de trabajo • Es necesario un gran volumen de producción para obtener su rentabilidad.

Elaborado por: Llambo y López

A continuación, se representa la composición de una máquina CNC, mediante la figura 3.1:

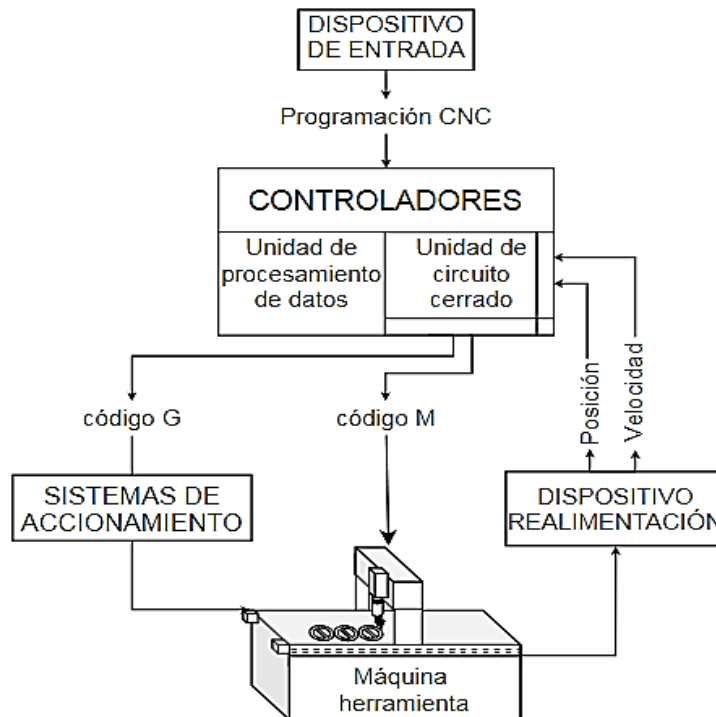


Figura 3.1. Diagrama de bloques de la composición de una máquina CNC

Fuente: [8]

3.3.1.1. Dispositivos de entrada

Los dispositivos de entrada administran y transfieren la información del software de diseño (CAD/CAM) hacia la unidad de control. Estos dispositivos son: teclados, unidades de memoria, puertos en serie y redes.

Programación CNC

La programación consta de un listado secuencial de instrucciones que ejecutará la máquina, estas instrucciones se conocen como programa CNC y está escrito en un lenguaje de bajo nivel denominado G y M, estandarizado por las normas ISO (Organización Internacional de Normalización), ver (Anexo I,

Tabla I. 2). En el código G describe las funciones de movimiento de la máquina, mientras que el código M describe las funciones que se requieren para el mecanizado de la pieza [9].

Software de programación

Muchas veces las piezas están diseñadas originalmente en un programa CAD, donde se guardan en un formato de dibujo DWG (formato de dibujo de AutoCAD), IGES" (Especificación inicial de intercambio de gráficos), STEP" (Estándar para el intercambio de datos del modelo de producto), DXF" (Formato de intercambio de dibujo), los mismos que simplemente no se pueden enviar directamente al software (CAM) de una máquina CNC ya que estas máquinas solo trabajan con archivos ISO o códigos G, para solucionar este inconveniente se debe proceder mediante Post Procesadores, los cuales convierten el archivo CAD en un lenguaje de programación llamado código G o código ISO [10].

3.3.1.2. Definición de Controlador CNC

El controlador es un componente clave, pues realiza la verificación de la programación CNC, modifica el programa si se encuentra con errores y activa la secuencia de comandos, haciendo accionar los ejes y siguiendo las instrucciones dadas por el usuario.

Software de control

El software para operar una máquina por CNC, es generalmente denominado software CAM (Manufactura asistida por computadora), controla los movimientos de la maquinaria con programación adquirida o generada. Por otro lado, los softwares CAD/CAM permiten el diseño de la pieza, definen la trayectoria del corte y la simulación del mecanizado. Además, es posible enviar el programa al CNC y proceder con el mecanizado de la pieza

Tabla 3.2 Tipos de softwares (CAM) Y (CAD/CAM)

Softwares (CAM)	Softwares (CAD/CAM)
Mach 3	CATIA
Cadem	SolidCAM e InventorCAM
SheetCAM	MasterCAM
Camworks	BobcadCAM
Icam	Cimatron
AlphaCAM	EdgeCAM

Elaborado por: Llambo y López

En el mercado hay muchos tipos de software, pero en lo general se utiliza el software libre Mach 3 al poderlo conseguir libremente, ser accesible y muy fácil de operar, permitiéndole a muchas empresas automatizar sus máquinas convencionales a CNC o crear sus propias máquinas de control numérico a un bajo costo [11].

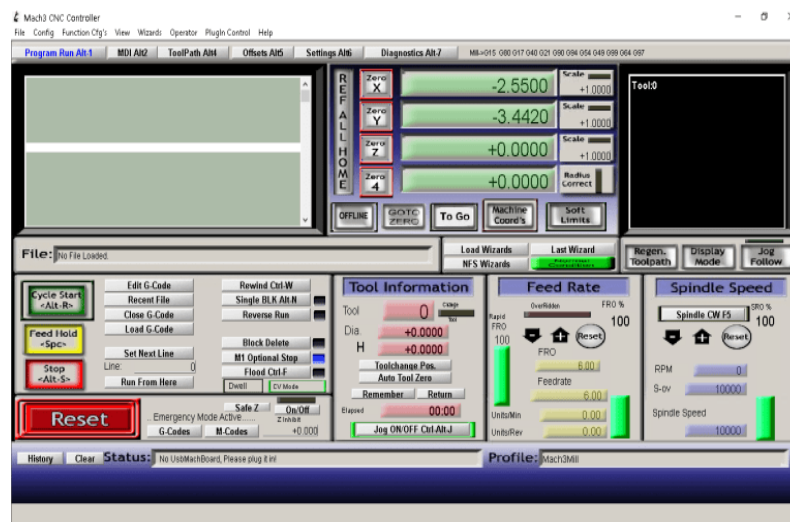


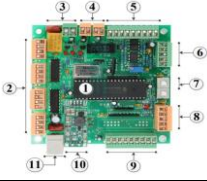


Figura 3.2. Mach3 CNC software de control

Fuente: [12]

Tarjeta de Interfaz

Esta tarjeta generalmente es donde se conectan los drivers de los motores a controlar y sus respectivos finales de carrea, en el mercado hay distintos tipos de tarjetas de interfaz, todas ellas dependen principalmente de características esenciales como:

Tabla 3.3 Diferencias entre Tarjetas de Interfaz para CNC

Características	Controladores		
	Tarjeta CNC USB con Pic 18F4550	Arduino	BL-MACH-V1.1
Imagen			
Precio	bajo	bajo	bajo
Adquisición	Mercado internacional	Mercado nacional	Mercado nacional
Voltaje de alimentación	4.2V a 5.5V.	5-12v	5-24v
Software	libre	libre	libre
Entorno gráfico	amigable	amigable	Industrial
Salidas digitales	3 a más	6 (3 ejes) a más	10 (5 ejes)
Uso	Limitado (trabajos cortos)	Limitado (trabajos cortos)	Pesado (trabajos Fuertes)
Drivers - motores PAP (A)	2-2.5 A máximo	2-2.5 A máximo	Drivers 2 - 10 amperios
Drivers - motores PAP (V)	2-35v	2-35v	2-60v
Puerto de comunicación	USB 2.0	USB 2.0	Puerto paralelo

Elabora por: Llambo y López

El más utilizado es el BL-MACH-V1.1 Mach 3 por su facil adaptabilidad y su entorno netamente industria, ademas cuenta con su propio software libre Mach 3 dedicado a trabajos pesados [13].

Pulsador de parada

Este pulsador de parada de emergencia se acciona o se pulsa cuando se presente cualquier imprevisto y sólo se podrá efectuarse manualmente.

Finales de carreras

Es un sensor que detecta la posición de un elemento móvil mediante accionamiento mecánico. Estos sensores necesitan estar en contacto con el objeto para detectar la llegada de un elemento móvil a una determinada posición [14].

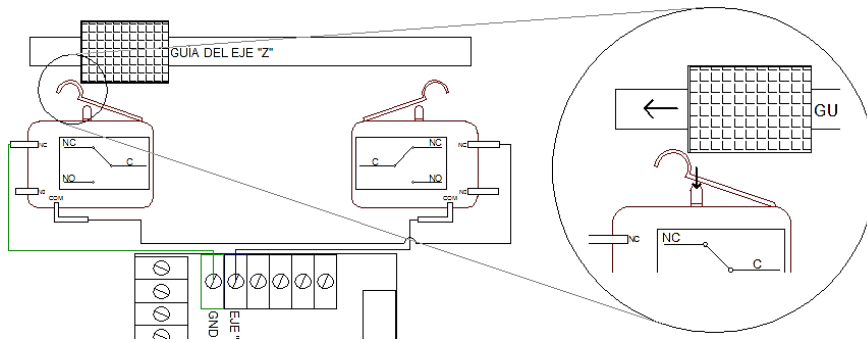


Figura 3.3. Funcionamiento de los finales de carrera en el eje Z

Elabora por: Llambo y López

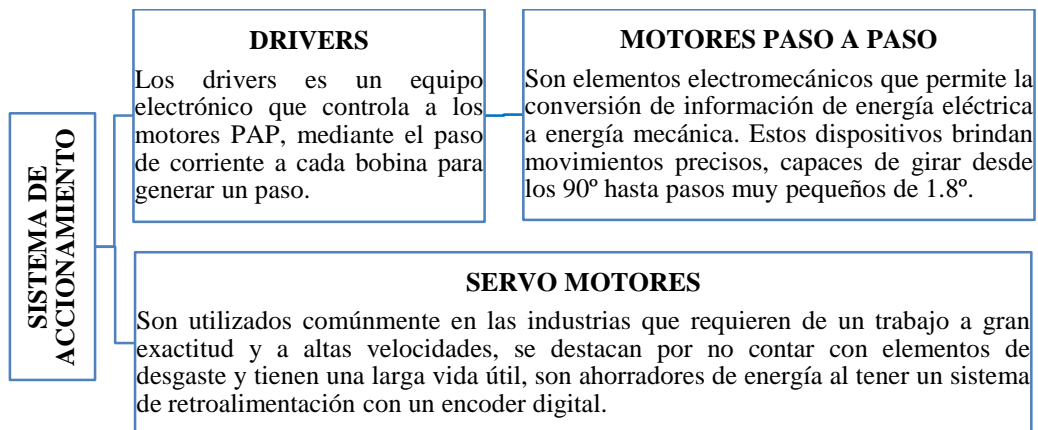
Fuente de alimentación

Una fuente de alimentación electrónica transforma la corriente alterna en corriente continua, es el principal elemento para alimentar nuestro circuito de control

3.3.1.3.Sistema de accionamiento

Los sistemas de accionamiento son elementos que tienen como objetivo principal mover o participar en el desplazamiento del sistema CNC.

Tabla 3.4 Tipos de sistemas de accionamiento



Elaborado por: Llambo y López

3.3.1.4.Máquina herramienta

Mesa de Coordenadas

Es un sistema de sujeción y movimiento utilizado en todo tipo de operación de mecanizado donde sea necesario un posicionamiento preciso y exacto, la mesa de coordenadas aplicada a un CNC está compuesta de: transmisión de potencia, guías lineales, soportes, cabezales, poleas, engranes, placas, rodamientos, herramientas de corte y materiales, los cuales permiten el

correcto desplazamiento del equipo herramienta, cabe recalcar que el material a mecanizar permanece estático y la herramienta de mecanizado es la que se desplaza mediante la mesa de coordenadas en los ejes (X, Y y Z). Todo este sistema debe estar diseñado para soportar todo el peso que sea necesario mediante su utilidad [15].

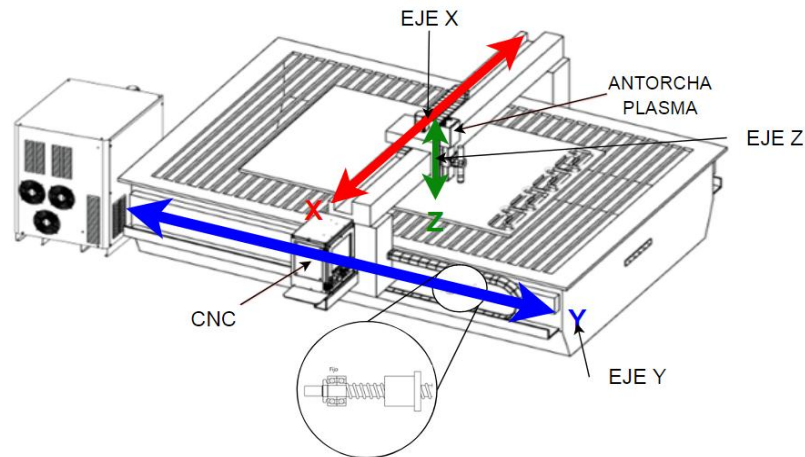


Figura 3.4. Mesa de coordenadas CNC

Fuente: [16]

Transmisión de potencia

Transforma el movimiento motriz de un equipo, en otro movimiento determinado de salida.

Tabla 3.5 Tipos de transmisión por potencia

TRANSMISIÓN DE POTENCIA	PIÑÓN CREMALLERA
	Este mecanismo está conformado por un piñón (rueda dentada) que encajan perfectamente en una cremallera, cuando el piñón gira sus dientes empujan y generan el desplazamiento lineal de la cremallera.
	HUSILLOS DE BOLAS
	Los tornillos de bolas realizan un movimiento lineal a partir de un movimiento circular proporcionado por un motor, fueron diseñados para disminuir el rozamiento de la bola con la superficie del tornillo, con esto no existirá pérdida de la potencia ejercida.
	CORREA
	La transmisión por correa consta de una cinta colocada con tensión en las poleas: conductor y conducido. Al desplazarse la cinta (correa) transmite energía desde la polea conductora a la polea conducida por medio del rozamiento que surge entre ellas.
	CADENAS.
	Las transmisiones por cadenas están compuestas por un sinnúmero de cadenas con eslabones articulados que se acoplan perfectamente a ruedas dentadas, que hacen el efecto de tracción formando un engrane.

Elaborado por: Llambo y López

Guías de movimiento lineal

Proporcionan un movimiento lineal con baja fricción, gracias a su forma que puede ser: circular y de perfil cuadrado. Los elementos que están en contacto son: rodamientos de rodillos, rodamientos de bolas o guías de contacto absoluta y configuraciones de montaje. Existen muchos tipos de guías, y todas ellas dirigidas a optimizar el desempeño en un rango específico de aplicación. Para el movimiento rectilíneo, se utilizan normalmente las guías de forma cilíndrica o prismática [17].

Chumaceras

Los rodamientos de bolas son los que dan soporte a ejes o árboles en el que la carga se transmite a través de elementos de contacto rodante y no deslizante, aportando como valor añadido una gran precisión y rigidez de trabajo ideales a máquinas CNC. Los rodamientos generalmente son piezas de acero aleado con cromo, manganeso y molibdeno, que ayuda a la ejecución de rigurosos tratamientos térmicos, resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste y a la fatiga [18].

Corte por plasma

El plasma está compuesto de electrones libres en forma de gas es decir es un conductor eléctrico. El corte por plasma consiste en calentar un gas hasta hacerlo llegar al estado de plasma. Este gas aplicado sobre cualquier superficie la calienta a muy altas temperaturas (20.000°C) en instantes y puesto que el calor estará centralizado podrá fundir y expulsar cualquier material antes que se extienda el calor sobre la superficie del material y así es como corta. Al calentar el gas se genera un arco eléctrico sobre una boquilla muy pequeña, concentrando la energía cinética propia del gas con el arco eléctrico, dando el calor necesario para obtener un chorro de plasma [19].

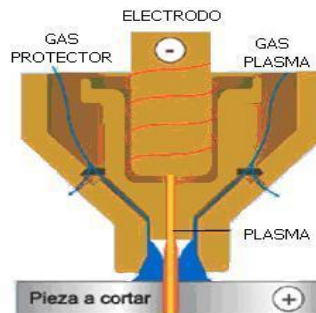


Figura 3.5. Elementos de corte por plasma

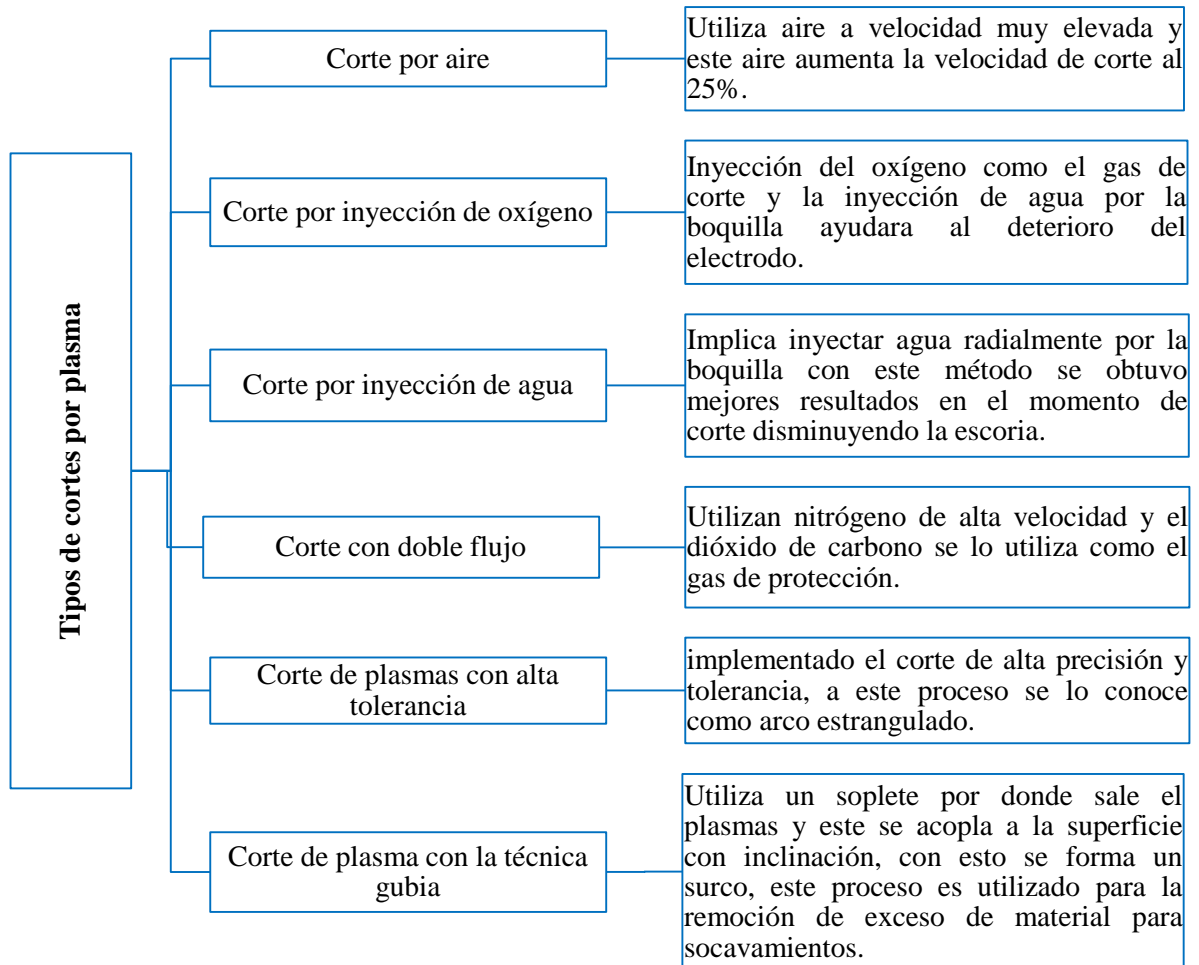
Fuente: [19]

Tipos de cortes por plasma

La característica principal del método de corte por plasma es la disminución de peligro de alteraciones por el poder calorífico que compacta la zona de corte. [20]

El plasma generado está compuesto por tipos de refrigerante y zonas que describen a continuación:

Tabla 3.6 Tipos de corte por plasma



Elaborado por: Llambo y López

Velocidades y espesores para el corte con plasma

La velocidad y espesor de corte está estrechamente relacionado al acabado final de las piezas y además dependen de otros factores importantes como es: el tipo de gases empleados, el caudal y la presión de los mismos, distancia de la boquilla con relación a la pieza a cortar, velocidad de desplazamiento y energía empleada o intensidad del arco.

Tabla 3.7 Espesores y velocidades de corte

Material	Espesor mm	Corriente Amps	Velocidades de corte de producción mm/min	Voltaje de entrada
Acero al carbono	3	45	5590	240 V, 1-F o 480V, 3-F
	6	45	2110	241 V, 1-F o 480V, 3-F
	10	45	920	242 V, 1-F o 480V, 3-F
	12	45	690	243 V, 1-F o 480V, 3-F
	16	45	400	244 V, 1-F o 480V, 3-F
Acero inoxidable	3	45	4725	245 V, 1-F o 480V, 3-F
	6	45	1695	246 V, 1-F o 480V, 3-F
	10	45	870	247 V, 1-F o 480V, 3-F
	12	45	540	248 V, 1-F o 480V, 3-F
	16	45	320	249 V, 1-F o 480V, 3-F
Aluminio	3	45	7120	250 V, 1-F o 480V, 3-F
	6	45	3095	251 V, 1-F o 480V, 3-F
	10	45	1015	252 V, 1-F o 480V, 3-F
	12	45	745	253 V, 1-F o 480V, 3-F
	16	45	340	254 V, 1-F o 480V, 3-F

Elaborado por: Llambo y López

Materiales de construcción en máquinas

Los equipos en general están contruidos de diferentes tipos de materiales dependiendo el proceso al que se lo va a utilizar. En el diseño de máquinas los aspectos más importantes en la tarea de elegir un material es tener una información clara sobre las características y propiedades de los mismos, así también la herramienta para procesar y entender esta información, ver (Anexo I, Tabla I. 3) [21].

3.3.2. Diseño de una máquina

El diseño de una máquina comprende de muchos procesos para satisfacer ciertas necesidades, implicando un suceso de toma de decisiones, especialmente descriptivos en el que se determina los recursos, sistemas y materiales para determinar el objetivo planteado. Obviamente en el diseño se proyectan todos los componentes que las conforman, definiendo a la máquina como: “combinación de materiales resistentes, dispuestos de manera específica para efectuar un trabajo mediante movimientos previstos en función de comandos de entrada”.

El proceso de diseño descriptivo consta de las siguientes fases [22]:

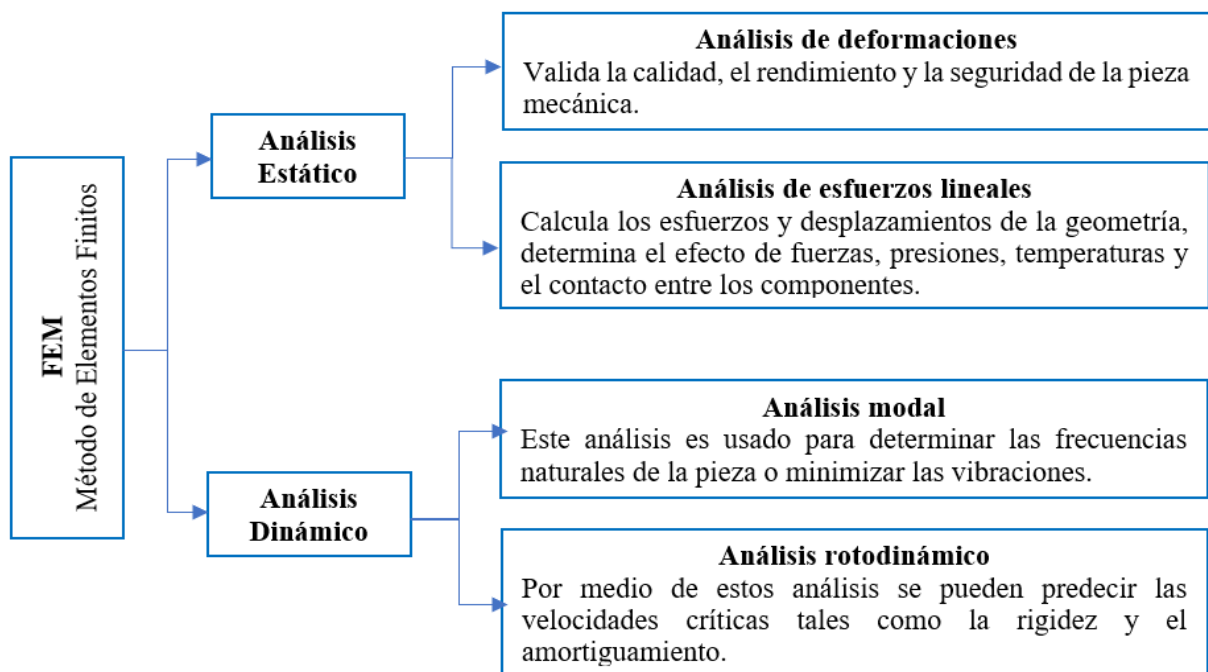
automatización en procesos como transporte, almacenamiento, mecanizado, ensamblaje y distribución de productos.

Estos sistemas CAD/CAM/CAE pueden estar dentro de un sólo paquete como: Solid Works, 3D Studio, CATIA, Solid Edge, NASTRAN, entre otros. [23]

3.3.2.1. Análisis estático y dinámico en piezas mecánicas

El análisis estático y dinámico, enfocado al diseño de piezas mecánicas se realiza mediante distintos softwares computacionales los cuales permiten evaluar el comportamiento de las piezas mecánicas bajo condiciones de operación específicas demostrando su eficiencia y la precisión ante una posible implementación. El FEM es un método de elementos finitos capaz de resolver estos problemas complejos mediante modelos matemáticos representados por ecuaciones diferenciales [24].

Tabla 3.8 Tipos de análisis de elementos finitos aplicado a diseño de estructuras



Fuente: [24]

4. METODOLOGÍA

4.1. Definición

La metodología empleada en esta investigación, es mediante el diseño conceptual y el diseño detallado con el objetivo de profundizar varias técnicas de investigación de acuerdo al tema a ejecutar, apoyándose en diferentes fuentes bibliográficas, lo cual será de un gran aporte para la implementación o repotenciación a futuro de sistemas de corte de metales en pequeñas y medianas empresas nacionales.

4.2. Estructura funcional

La máquina de corte por plasma está constituida por un soporte de eje Y delantero, un eje de transmisión, soporte de cables, catalinas, rejillas, anillos de retención, conjunto de ejes X, Y, y Z, respaldo de canaletas, base reguladora de alturas, placas bases, pernos, protectores superiores, guías y motores paso a paso.



Figura 4.1. Máquina corte por plasma

4.3. Diseño dimensional

El diseño dimensional permite conceptualizar, delimitar y determinar las dimensiones de las distintas piezas que constituyen un determinado elemento con criterio ingenieril, definido inicialmente.

El siguiente paso es delimitar la máquina de corte por plasma con Control Numérico Computarizado (CNC), de la siguiente manera:

4.4. Selección del sistema de potencia

El sistema de potencia, es un mecanismo útil para transportar o convertir cualquier tipo de energía mecánica en energía eléctrica o viceversa.

La selección del sistema de potencia se da de la siguiente manera:

4.4.1. Elección de alternativas

- Piñón – cremallera
- Tornillo de bola
- Cadena
- Banda dentada

4.4.2. Método ordinal corregido de criterios ponderados

Las ponderaciones de las alternativas a definir según Riba (Anexo II,

Tabla II. 1) son:

- 0: cuando el criterio emitido por la fila es inferior que el de las columnas
- 0.5: cuando el criterio emitido por la fila es equivalente al de las columnas
- 1: cuando el criterio emitido por la fila es superior que el de las columnas

4.4.2.1. Definición de los criterios a ponderar

1. Eficiencia
2. Velocidad de avance
3. Costo
4. Facilidad de adquisición
5. Complejidad en la instalación
6. Fricción
7. Mantenimiento

4.4.2.2. Jerarquización

$$1 = 2 > 3 > 4 = 5 > 6 > 7$$

El siguiente paso es la valoración de los criterios definidos.

Tabla 4.1 Evaluación por criterio del sistema de potencia

Criterio	Eficiencia	Velocidad de avance	Costo	Facilidad - adquisición	Complejidad en la instalación	Fricción	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderado
Eficiencia	1	0.5	1	1	1	1	1	6.5	0.23
Velocidad de avance	0.5	1	1	1	1	1	1	6.5	0.23
Costo	0	0	1	1	1	1	1	5.0	0.18
Facilidad de adquisición	0	0	0	1	0.5	1	1	3.5	0.13
Complejidad en la instalación	0	0	0	0.5	1	1	1	3.5	0.13
Fricción	0	0	0	0	0	1	1	2.0	0.07
Mantenimiento	0	0	0	0	0	0	1	1.0	0.03
Total								28	1.00

Fuente: [25]

Elaborado por: Llambo y López

Evaluación del criterio Eficiencia

Tabla 4.2 Evaluación del criterio de Eficiencia

Eficiencia	Piñón – cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderado
Piñón – cremallera	1	0	0	0	1	0,1
Tornillo de bolas	1	1	0,5	1	3,5	0,35
Cadena	1	1	1	0,5	3,5	0,35
Banda dentada	0	0	1	1	2	0,2
Total					10	1,00

Fuente: [25]

Elaborado por: Llambo y López

Evaluación del criterio Velocidad de Avance

Tabla 4.3 Evaluación del criterio de Velocidad de Avance

Velocidad de Avance	Piñón – cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderado
Piñón – cremallera	1	0,5	1	1	3,5	3,5
Tornillo de bolas	0,5	1	1	1	3,5	3,5
Cadena	0	0	1	0,5	1,5	0,15
Banda dentada	0	0	0,5	1	1,5	0,15
Total					10	1,00

Fuente: [25]

Elaborado por: Llambo y López

Evaluación del criterio de Costos

Tabla 4.4 Evaluación del criterio de Costos

Costos	Piñón – cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderado
Piñón – cremallera		0,5	0	0	1,5	0,15
Tornillo de bolas	0,5		0	0	1,5	0,15
Cadena	1	1		0,5	3,5	0,35
Banda dentada	1	1	0,5		3,5	0,35
Total					10	1,00

Fuente: [25]

Elaborado por: Llambo y López

Evaluación del criterio de Facilidad de Adquisición

Tabla 4.5 Evaluación del criterio de Facilidad de Adquisición

Facilidad de adquisición	Piñón – cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderado
Piñón – cremallera		1	0	0	2	0,2
Tornillo de bolas	0		0	0	1	0,1
Cadena	1	1		0,5	3,5	0,35
Banda dentada	1	1	0,5		3,5	0,35
Total					10	1,00

Fuente: [25]

Elaborado por: Llambo y López

Evaluación del criterio de Complejidad de Instalación

Tabla 4.6 Evaluación del criterio de Complejidad de Instalación

Complejidad de Instalación	Piñón – cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderado
Piñón – cremallera		0	0	0	1	0,1
Tornillo de bolas	1		1	1	4	0,4
Cadena	1	0		1	3	0,3
Banda dentada	1	0	0		2	0,2
Total					10	1,00

Fuente: [25]

Elaborado por: Llambo y López

Evaluación del criterio de Fricción

Tabla 4.7 Evaluación del criterio de Fricción

Fricción	Piñón – cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderado
Piñón – cremallera		0	1	0	2	0,2
Tornillo de bolas	1		1	1	4	0,4
Cadena	0	0		0,5	1,5	0,15
Banda dentada	1	0	0,5		2,5	0,25
Total					10	1,00

Fuente: [25]

Elaborado por: Llambo y López

Evaluación del criterio Mantenimiento

Tabla 4.8 Evaluación del criterio de Mantenimiento

Mantenimiento	Piñón – cremallera	Tornillo de bolas	Cadena	Banda dentada	$\Sigma+1$	Ponderado
Piñón – cremallera		0	0	0	1	0,1
Tornillo de bolas	1		1	1	4	0,4
Cadena	1	0		0,5	2,5	0,25
Banda dentada	1	0	0,5		2,5	0,25
Total					10	1,00

Fuente: [25]

Elaborado por: Llambo y López

Tabla de Criterios

Tabla 4.9 Evaluación por criterio del sistema de potencia

Criterio	Eficiencia	Velocidad de avance	Costo	Facilidad de adquisición	Complejidad en la instalación	Fricción	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderado
Piñón – cremallera	0.023	0.0805	0.027	0.0260	0.013	0.0140	0.0030	1.1855	0.2371
Tornillo de bola	0.0805	0.0805	0.027	0.0130	0.052	0.0280	0.0130	1.2940	0.2588
Cadena	0.0805	0.0345	0.063	0.0455	0.039	0.0105	0.0075	1.2805	0.2561
Banda dentada	0.046	0.0345	0.063	0.0455	0.026	0.0175	0.0075	1.2400	0.2480
Total								5.0000	1.0000

Fuente: [25]

Elaborado por: Llambo y López

Según los diferentes criterios el tornillo de bola es la mejor alternativa, donde sobresale la eficiencia con un porcentaje de 96 a 99%, con una velocidad alta de avances, con una complejidad de instalación mínima, el mecanismo tornillo de bola no requiere de mayor

complejidad en su instalación, con una fricción mínimo de 0.03 y un mantenimiento sencillo este mecanismo es de fácil ensamblado y no requiere mayor esfuerzo.

4.5. Ecuaciones dimensionales

Las ecuaciones de dimensionamiento de la máquina de corte por plasma con control numérico computarizado para planchas de acero, se definen en base a sus parámetros de diseño que son:

- Según las dimensiones del ancho de la plancha de acero = 1220 x 1220 mm
- Espesor = 12 mm (Para el corte de planchas laminadas en caliente)

Los elementos que constituyen la máquina cortadora por plasma y que se diseñan son:

4.5.1. Diseño de guías lineales de eje en Z

El diseño del tornillo guía del eje en Z, se da en función de los componentes que lo soportan:

Tabla 4.10 Cargas de componentes constitutivos en el eje Z

Componentes	Masa (Kg)
1. Placa de antorcha	0.5
2. Antorcha	3.5
3. Acople de la antorcha	0.45
4. Bloque móvil	0.35
5. Motor a paso	0.7
Sub total	5.5
Masa de accesorio extras (10%)	0.55
Total	6.05

Elaborado por: Llambo y López

El diseño de las guías lineales del eje en Z, se da en base a las siguientes ecuaciones.

Peso (N)

$$P = mxg \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Donde:

- P = Peso de los componentes del eje en Z (N)
- m = Masa de los componentes del eje en Z (Kg)
- g= Gravedad (m/s²)

$$P = 6.05 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 59.3505 \text{ N}$$

En base a una longitud definida de 206 mm que debe tener el tornillo de bola, se determina el momento máximo.

Momento máximo (Nmm)

$$M_{\max} = \frac{P * x}{2} \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Donde:

- M_{\max} = Momento máximo (Nmm)
- P = Peso de los componentes del eje en Z (N)
- X = longitud media (m)

$$M_{\max} = \frac{59.3505 \text{ N} \times 103 \text{ mm}}{2} = 3056.55 \text{ Nmm}$$

El siguiente paso es definir el esfuerzo máximo, del material que se emplea en la construcción de la guía lineal, la cual es de acero AISI 1045, donde el $S_y = 310 \text{ MPa}$ y el $S_{ut} = 570 \text{ MPa}$.

En base a las recomendaciones dadas en el libro titulado como Diseño de Elementos de Máquinas de Robert Mott [26], recomienda que para diseños de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre, ante alguna combinación de cargas, en base a un comportamiento crítico de seguridad este debe ser mayor o igual a 4, por lo que se empleará un $F_s = 4.5$

Esfuerzo máximo (MPa)

$$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{F_s} \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Donde:

- σ_{\max} = Esfuerzo Máximo (MPa)
- S_y = Resistencia a la fluencia del material (MPa)
- F_s = Factor de seguridad

$$\sigma_{\max} = \frac{310 \text{ MPa}}{4.5} = 68.88 \text{ MPa} \approx 69 \text{ MPa} = 69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Establecido el esfuerzo máximo se delimita el módulo de sección del material a utilizar.

Módulo de sección (mm^3).

$$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\max}} \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Donde:

- S = módulo de sección del material
- M_{\max} = Momento máximo (N mm)
- σ_{\max} = Esfuerzo Máximo (MPa)

$$S = \frac{3056.55 \text{ Nmm}}{69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 44.3 \text{ mm}^3$$

Para luego proceder a delimitar el Diámetro de la guía lineal en el eje en Z.

Diámetro (mm)

$$d = \sqrt[3]{\frac{32xS}{\pi}} \quad \text{Ec. (4.5)}$$

Donde:

- d = Diámetro de las guías (mm)
- S = Módulo de sección (mm^3)

$$d = \sqrt[3]{\frac{32x44.3\text{mm}^3}{\pi}} = 7.7 \text{ mm}$$

Una vez delimitado se seleccionó un eje de acero AISI 1045, de $\varnothing = 10$ mm, para mayor seguridad, luego se determina el torque.

Torque del eje en Z (N.mm)

$$T = \left(\frac{dmxW}{2} \right) \quad \text{Ec. (4.6)}$$

Donde:

- dm =Diametro de paso (mm)
- W = Peso (Kg)

$$T = \left(\frac{10 \text{ mm} x 59.3505 \text{ N}}{2} \right) = 296.75 \text{ Nmm} = 29.675 \text{ N-cm}$$

En base al torque originado se seleccionó un Motor Paso a Paso Bipolar NEMA 17, el cual es útil para torques de 44 N-cm, con una corriente de 1.68A y un voltaje de 2.8 V y las dimensiones del motor Nema 17 se puede visualizar en el (Anexo II, Figura II. 1).

4.5.1.1. Análisis dinámico

El diseño del análisis dinámico se da de la siguiente manera:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad \text{Ec. (4.7)}$$

Donde:

- k_a = Factor de superficie
- k_b = Factor de modificación del tamaño
- k_c = Factor de carga
- k_d = Factor de temperatura
- k_e = Factor de confiabilidad
- k_f = Factor de concentración
- S'_e = Límite de Resistencia a la fatiga en viga rotatoria
- S_e = Límite de Resistencia a la fatiga en la ubicación crítica

k_a = Factor de superficie.

$$K_a = a \cdot S_{ut}^b \quad \text{Ec. (4.8)}$$

Donde

- k_a = Factor de superficie
- a = Factor
- b = Exponente
- S_{ut} = Resistencia ultima a la tensión

Se puede evidenciar los parámetros seleccionados mediante la tabla de superficie en el (Anexo II, Tabla II. 2).

Tabla 4.11 Parámetros del Factor de Modificación de superficie

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.70	4.51	-0.265

Fuente: [27, p. 337]

$$K_a = 4.51 * 570^{-0.265} = 0.84$$

kb = Factor de modificación del tamaño

$$K_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad \text{Ec. (4.9)}$$

$$K_b = 1.24 * (10 \text{ mm})^{-0.107} = 0.97$$

kc = Factor de carga

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases} \quad \text{Ec. (4.10)}$$

$$K_c = 0.85$$

kd = Factor de temperatura

Ver el (Anexo II, Tabla II. 3) Los efectos de temperatura de operación al ser lamina en frio.

Tabla 4.12 Efectos de temperatura de operación

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008

Fuente: [27, p. 337]

$$K_d = 1$$

ke = Factor de confiabilidad

$$k_e = 1 - 0.08Z_a \quad \text{Ec. (4.11)}$$

Ver el (Anexo II, Tabla II. 4) en donde se determina Z_a = Factor de Confiabilidad

Tabla 4.13 Factor de modificación de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_a
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753

Fuente: [27, p. 337]

$$k_e = 1 - 0.08 * 3.091 = 0.753$$

kf = Factores de efectos varios

$$kf = 1$$

El límite de Resistencia $S'e$ se determina de la siguiente manera:

$$S'e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200\text{kpsi (1400 MPa)} \\ 100\text{kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700\text{MPa} & S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases} \quad \text{Ec. (4.12)}$$

$$S'e = 0.5 * 570 \text{ MPa} = 285 \text{ MPa}$$

Mediante los cálculos obtenidos se procede a determinar el análisis

$$S_e = 0.84 * 0.97 * 0.85 * 1 * 0.753 * 1 * 285 = 148.63 \text{ MPa}$$

En base al criterio de fatiga la línea de Goodman modificado es:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a' = \sigma_{eq}}{S_e} + \frac{\sigma_m' = \sigma_{eqm}}{S_{ut}} \quad \text{Ec. (4.13)}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{69 \text{ MPa}}{148.63 \text{ MPa}} + \frac{69 \text{ MPa}}{570 \text{ MPa}} = 0.5853$$

$$n = 1.71$$

4.5.2. Diseño del eje guía, de los soportes y del tornillo en X

El diseño del eje guía, de los soportes y del tornillo en X, se da en base a las siguientes ecuaciones detalladas anteriormente.

4.5.2.1.Cálculo del diseño del eje guiado X

El material del eje de guiado en el eje X es el acero AISI 1045, se da en función de los componentes que lo soportan:

Tabla 4.14 Cargas de componentes constitutivos en el eje X

Componentes	Masa (Kg)
1. Placa de antorcha	0.5
2. Antorcha	3.5
3. Acople de la antorcha	0.45
4. Bloque móvil	0.35
5. Eje guía Z	0.132
6. Motor a paso	0.7
Total	5.632

Elaborado por: Llambo y López

Una vez definido la masa a cargar se procede a determinar el peso que va actuar sobre el eje.

$$P = 5.632 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 55.25 \text{ N}$$

En base a una longitud definida de 1600 mm que debe tener el eje guía, se determina el momento máximo.

$$M_{\max} = \frac{55.25\text{N} \times 800 \text{ mm}}{2} = 22100 \text{ Nmm}$$

De acuerdo a las recomendaciones del libro de Diseño de Elementos de Máquinas de Robert Mott [26], se utilizará un factor de seguridad $F_s = 4.5$ para calcular el diseño del eje guiado X.

$$\sigma_{\max} = \frac{310 \text{ MPa}}{4.5} = 68.88 \text{ MPa} \approx 69 \text{ MPa} = 69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Establecido el esfuerzo máximo se delimita el módulo de sección del material a utilizar.

$$S = \frac{22100 \text{ Nmm}}{69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 320.3 \text{ mm}^3$$

Por lo que el diámetro de la guía lineal se determina de la siguiente manera:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 320.3}{\pi}} = 14.83 \text{ mm}$$

Por seguridad se seleccionó un eje de diámetro de 16 mm, de acero AISI 1045.

Análisis dinámico

El diseño del análisis dinámico se da de la siguiente manera Ec. (4.7):

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

k_a = Factor de superficie

Ver (Anexo II. Tabla II. 2.)

$$k_a = 4.51 * 570^{-0.265} = 0.84$$

k_b = Factor de modificación del tamaño

Según las ecuaciones planteadas Ec. (4.9)

$$k_b = 1.24 * (16 \text{ mm})^{-0.107} = 0.922$$

k_c = Factor de carga

Según las fórmulas planteadas Ec. (4.10)

$$k_c = 1$$

kd = Factor de temperatura

Ver (Anexo II, Tabla II. 3)

$$k_d = 1$$

ke = Factor de confiabilidad

Ver (Anexo II Tabla II. 4)

$$k_e = 1 - 0.08 * 3.091 = 0.753$$

kf = Factores de efectos varios

$$k_f = 1$$

El límite de Resistencia S'_e se determina Ec. (4.12)

$$S'_e = 0.5 * 570 \text{ MPa} = 285 \text{ MPa}$$

$$S_e = 0.84 * 0.922 * 1 * 1 * 0.753 * 1 * 285 = 166.207 \text{ MPa}$$

En base al criterio de fatiga la línea de Goodman modificado es:

$$\frac{1}{n} = \frac{69 \text{ MPa}}{166.207 \text{ MPa}} + \frac{69 \text{ MPa}}{570 \text{ MPa}} = 0.5362$$

$$n = 1.865$$

4.5.2.2. Diseño del diámetro del tornillo de potencia del eje x

El material del tornillo de potencia en el eje X es el acero AISI 420, el cual tiene un $S_y = 276$ MPa y un $S_{ut} = 6600 \text{ Kg/cm}^2 = 647.24 \text{ MPa}$, el cual se da en función de los componentes que lo soportan:

La carga generada que debe mover el tornillo de potencia a lo largo del eje X, es definido anteriormente en la Tabla 5.5, la cual es de

$$P = 5.632 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 55.25 \text{ N}$$

En base a una longitud definida de 1689 mm que debe tener el tornillo guía, se determina el momento máximo.

$$M_{\max} = \frac{55.25 \text{ N} \times 844.5 \text{ mm}}{2} = 23329.3125 \text{ Nmm}$$

Mediante el libro de Diseño de Elementos de Máquinas de Robert Mott [26], se empleará un factor de seguridad (F_s) = 4.5 para el diseño de tornillo de potencia del eje X.

$$\sigma_{\max} = \frac{276 \text{ MPa}}{4.5} = 61.333 \text{ MPa} = 61.333 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Establecido el esfuerzo máximo se delimita el módulo de sección del material a utilizar.

$$S = \frac{23329.3125 \text{ Nmm}}{61.333 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 380.4 \text{ mm}^3$$

Por lo que el diámetro de la guía lineal se determina de la siguiente manera:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 380.4 \text{ mm}^3}{\pi}} = 15.70 \text{ mm}$$

Una vez delimitado se seleccionó un eje de acero AISI 420, de $\varnothing = 16 \text{ mm}$, para mayor seguridad.

Análisis dinámico

El diseño del análisis dinámico se da de la siguiente manera Ec. (4.7):

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

ka = Factor de superficie

Ver (Anexo II. Tabla II. 2.)

$$k_a = 4.51 * 647.24^{-0.265} = 0.81$$

kb = Factor de modificación del tamaño

Según las ecuaciones planteadas Ec. (4.9)

$$k_b = 1.24 * (16 \text{ mm})^{-0.107} = 0.92$$

kc = Factor de carga

Según las fórmulas planteadas Ec. (4.10)

$$k_c = 1$$

kd = Factor de temperatura

Ver (Anexo II, Tabla II. 3)

$$k_d = 1$$

ke = Factor de confiabilidad

Ver (Anexo II Tabla II. 4)

$$k_e = 1 - 0.08 * 3.091 = 0.753$$

kf = Factores de efectos varios

$$k_f = 1$$

El límite de Resistencia S'_e se determina Ec. (4.12).

$$S'_e = 0.5 * 647.24 \text{ MPa} = 323.62 \text{ MPa}$$

$$S_e = 0.81 * 0.92 * 1 * 1 * 0.753 * 1 * 323.62 = 179.6 \text{ MPa}$$

En base al criterio de fatiga la línea de Goodman modificado es:

$$\frac{1}{n} = \frac{61.333 \text{ MPa}}{179.6 \text{ MPa}} + \frac{61.333 \text{ MPa}}{647.24 \text{ MPa}} = 0.436$$

$$n = 2.3$$

Definición del torque del tornillo de potencia del eje x

En base a una carga definida de 55.25N, con un coeficiente de fricción delimitado por materiales de contacto en Acero con Acero y un paso de 10 mm, el torque del eje es:

Tabla 4.15 Cargas de rozamiento

Materiales en contacto	μ_e
Articulaciones humanas	0,01
Acero / Hielo	0,03
Acero / Acero	0,74
Aluminio / Acero	0,61
Cobre / Acero	0,53
Hielo / Hielo	0,1
Esquí (encerado) / Nieve (0°C)	0,1
Madera / Cuero	0,5
Madera / Madera	0,25 a 0,5
Vidrio / Vidrio	0,94

Fuente: [28]

Diámetro medio (mm)

$$d_m = d_{ext} - \frac{p}{2} \quad \text{Ec. (4.14)}$$

Donde:

- d_{ext} = diámetro externo (mm)
- d_m = Diámetro de paso (mm)
- p = Paso (mm)

$$dm = d_{ext} - \frac{p}{2} = 16 \text{ mm} - \frac{10\text{mm}}{2} = 11 \text{ mm}$$

Ángulo de hélice (grados)

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{p}{\pi * dm}\right) \quad \text{Ec. (4.15)}$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{10}{\pi * 11}\right) = 16.14^\circ$$

Torque (N.mm)

$$T = \left(\frac{dmxW}{2}\right) X \left(\frac{\mu+tang(\lambda)}{1-tang(\lambda)}\right) \quad \text{Ec. (4.16)}$$

Donde:

- T = Torque (Nmm)
- dm =Diametro de paso (mm)
- W = Peso (Kg)
- μ = Coeficiente de fricción
- λ = Ángulo de hélice

$$T = \left(\frac{11 \text{ mm}x55.25 \text{ N}}{2}\right) X \left(\frac{0.74 + tang(16.14^\circ)}{1 - 0.74 * tang(16.14^\circ)}\right) = 39.84 \text{ N - cm}$$

En base al torque originado se seleccionó un Motor Paso a Paso Bipolar NEMA17, el cual es útil para torques de hasta 45 N-cm, con una corriente de 1.68 A y un voltaje de 2.8 V ver (Anexo II, Figura II. 1).

Diseño de soportes en el eje X

El diseño de los soportes del eje X se da en función de la carga, la cual es de:

Tabla 4.16 Cargas de componentes constitutivos en el soporte en el eje X

Componentes	Masa (Kg)
1. Placa de antorcha	0.5
2. Antorcha	3.5
3. Acople de la antorcha	0.45
4. Bloque móvil	0.35
5. Eje guía Z	0.132
6. Motor a paso z	0.7
7. Motor a paso x	0.7
8. Ejes guías (2)	7.34 (2)
9. Tornillo del eje x	1.87
Sub total	22.882

Elaborado por: Llambo y López

Por lo que la carga es:

$$P = 22.882 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 224.5 \text{ N}$$

En base a una longitud definida de 1890 mm que debe tener el diseño del soporte, se determina el momento máximo.

$$M_{\max} = \frac{224.5 \text{ N} \times 945 \text{ mm}}{2} = 106076.25 \text{ Nmm}$$

Se utilizará un factor de seguridad (Fs) de 4.5, en base a las recomendaciones dadas del libro titulado como Diseño de Elementos de Máquinas de Robert Mott del [26].

Otro factor a tener en cuenta es que el perfil utilizado es de Acero ASTM A36, el cual tiene un $S_y = 250 \text{ MPa}$

$$\sigma_{\max} = \frac{250 \text{ MPa}}{4.5} = 55.555 \text{ MPa} = 55.555 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Establecido el esfuerzo máximo se delimita el módulo de sección del material a utilizar.

$$S = \frac{106076.25 \text{ Nmm}}{55.555 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1909.4 \text{ mm}^3 = 1.9094 \text{ cm}^3$$

Para el diseño del soporte guía que se debe usar es un perfil estructural tipo G

Teniendo presente que sobre el soporte van estar ubicados 2 ejes guías lineales, y el tornillo de potencia, se determinó la distancia de 150 mm y un módulo de sección de 1.9094 cm^3 , luego se seleccionó según la tabla del perfil estructural “G” ver en el (Anexo II; Tabla II. 5).

4.5.3. Diseño del sistema de guiado, del tornillo y soportes del eje Y

El diseño del sistema de guiado, del tornillo y soportes del eje Y, se da en base a las siguientes ecuaciones detalladas anteriormente.

4.5.3.1. Cálculo del diámetro del tornillo de potencia del eje Y

Tabla 4.17 Cargas de componentes constitutivos en el tornillo del eje Y

Componentes	Masa (Kg)
1. Placa de antorcha	0.5
2. Antorcha	3.5
3. Acople de la antorcha	0.45
4. Bloque móvil	0.35
5. Eje guía Z	0.132
6. Motor a paso z	0.7
7. Motor a paso x	0.7
8. Ejes guías (2)	7.34 (2)
9. Tornillo del eje x	1.87
10. Soporte guía x	4.14
Total	27.022

Elaborado por: Llambo y López

Para el diseño propuesto se considera que la cortadora de plasma va estar compuesta por 2 tornillos en el eje Y, la masa originada en cada una sería de 13.511 Kg

El material del tornillo de potencia en el eje X es el acero AISI 420, el cual tiene un $S_y = 276$ MPa y un $S_{ut} = 6600 \text{ Kg/cm}^2 = 647.24$ MPa, el cual se da en función de los componentes que lo soportan:

La carga que moverá el tornillo de potencia a lo largo del eje Z, es de

$$P = 13.511 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 132.54 \text{ N}$$

En base a una longitud definida de 1853.5 mm que debe tener el tornillo guía, se determina el momento máximo.

$$M_{\max} = \frac{132.54 \text{ N} \times 926.75 \text{ mm}}{2} = 61415.7225 \text{ Nmm}$$

Tras las recomendaciones dadas en el libro Diseño de Elementos de Máquinas de Robert Mott [26], se procede con un factor de seguridad $F_s = 4.5$.

$$\sigma_{\max} = \frac{276 \text{ MPa}}{4.5} = 61.333 \text{ MPa} = 61.333 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Establecido el esfuerzo máximo se delimita el módulo de sección del material a utilizar.

$$S = \frac{61415.7225 \text{ Nmm}}{61.333 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1001.35 \text{ mm}^3$$

Por lo que el diámetro de la guía lineal se determina de la siguiente manera:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 1001.35 \text{ mm}^3}{\pi}} = 21.686 \text{ mm}$$

Una vez delimitado se seleccionó un eje de acero AISI 420, de $\varnothing = 22 \text{ mm}$, para mayor seguridad.

Análisis dinámico

El diseño del análisis dinámico se da de la siguiente manera Ec. (4.7):

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

ka = Factor de superficie

Ver (Anexo II. Tabla II. 2.)

$$k_a = 4.51 * 647.24^{-0.265} = 0.81$$

kb = Factor de modificación del tamaño

Según las ecuaciones planteadas Ec. (4.9)

$$k_b = 1.24 * (22 \text{ mm})^{-0.107} = 0.89$$

kc = Factor de carga

Según las fórmulas planteadas Ec. (4.10)

$$k_c = 1$$

kd = Factor de temperatura

Ver (Anexo II, Tabla II. 3)

$$k_d = 1$$

ke = Factor de confiabilidad

Ver (Anexo II Tabla II. 4)

$$k_e = 1 - 0.08 * 3.091 = 0.753$$

kf = Factores de efectos varios

$$k_f = 1$$

El límite de Resistencia S'_e se determina Ec. (4.12)

$$S'_e = 0.5 * 647.24 \text{ MPa} = 323.62 \text{ MPa}$$

$$S_e = 0.81 * 0.89 * 1 * 1 * 0.753 * 1 * 323.62 = 175.673 \text{ MPa}$$

En base al criterio de fatiga la línea de Goodman modificado es:

$$\frac{1}{n} = \frac{61.333 \text{ MPa}}{175.673 \text{ MPa}} + \frac{61.333 \text{ MPa}}{647.24 \text{ MPa}} = 0.444$$

$$n = 2.252$$

Definición del torque del tornillo de potencia del eje Y

En base a una carga definida de 132.54 N, con un coeficiente de fricción delimitado por materiales de contacto en Acero con Acero y un paso de 22 mm, el torque del eje es:

Donde el diámetro medio según Ec. (4.14) es:

$$d_m = d_{ext} - \frac{p}{2} = 22 \text{ mm} - \frac{10 \text{ mm}}{2} = 17 \text{ mm}$$

Mientras el ángulo de hélice según Ec. (4.15) es:

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{10}{\pi * 17} \right) = 10.6053^\circ$$

Una vez definido todos los parámetros se determina el torque según Ec. (4.16).

$$T = \left(\frac{22 \text{ mm} * 132.54 \text{ N}}{2} \right) * X \left(\frac{0.74 + \tan(10.6053)}{1 - 0.74 * \tan(10.6053)} \right) = 1569.3 \text{ N} - \text{mm} = 156.93 \text{ N-cm}$$

En base al torque originado se seleccionó un Motor Paso a Paso Bipolar NEMA23, el cual es útil para torques de hasta 300 N-cm, con una corriente de 4.2 A y un voltaje de 12 V, ver (Anexo II, Figura II. 2).

4.5.3.2. Diseño de soportes en el eje Y

El diseño de los soportes del eje Y se da en función de las cargas que va estar sometida.

Tabla 4.18 Cargas de componentes constitutivos en los soportes del eje Y

Componentes	Masa (Kg)
1. Placa de antorcha	0.5
2. Antorcha	3.5
3. Acople de la antorcha	0.45
4. Bloque móvil	0.35
5. Eje guía Z	0.132
6. Motor a paso z	0.7
7. Motor a paso x	0.7
8. Ejes guías (2)	7.34 (2)
9. Tornillo del eje x	1.87
10. Soporte guía x	4.14
11. Tornillo eje Y (2)	4.71 (2)
Total	36.442

Elaborado por: Llambo y López

$$P = 36.442 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 357.5 \text{ N}$$

En base a una longitud definida de 1540 mm que debe tener el diseño del soporte, se determina el momento máximo.

$$M_{\max} = \frac{357.5 \text{ N} \times 770 \text{ mm}}{2} = 137637.5 \text{ Nmm}$$

Mediante el libro de Diseño de Elementos de Máquinas de Robert Mott [26], recomienda utilizar un factor de seguridad mayor o igual a 4, por lo que se empleará un $F_s = 4.5$

Otro factor que se debe tener en cuenta es que el perfil utilizado es de Acero ASTM A36, el cual tiene un $S_y = 250 \text{ MPa}$

$$\sigma_{\max} = \frac{250 \text{ MPa}}{4.5} = 55.555 \text{ MPa} = 55.555 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Establecido el esfuerzo máximo se delimita el módulo de sección del material a utilizar.

$$S = \frac{137637.5 \text{ Nmm}}{55.555 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 2477.5 \text{ mm}^3 = 2.5 \text{ cm}^3$$

Para el diseño del soporte guía se debe usar un perfil estructural cuadrado En base al módulo de sección de 2.5 cm^3 , y por seguridad se selecciona un tubo cuadrado de $50 \times 50 \times 1.2$ ver en el (Anexo II; Tabla II. 6).

4.5.4. Sistemas de chumaceras

La selección de rodamientos se da de la siguiente manera.

$$P = F_b * V \quad \text{Ec. (4.17)}$$

$$P = 1.5 * (X_i V F_r + Y_i F_a) \quad \text{Ec. (4.18)}$$

$$SI = \frac{F_a}{C_0} = 0.0052 \gg e = 0.19 \quad \text{Ec. (4.19)}$$

$$\frac{F_a}{V * F_r} \leq e \quad \text{Ec. (4.20)}$$

$$C = P \left(\frac{l_D * n_D * 60}{10^6} \right)^{1/a} \quad \text{Ec. (4.21)}$$

Donde:

- n_D = Número de Revoluciones Requeridas

- l_D = Vida útil
- F_r = Fuerza radial
- F_a = Fuerza Axial
- C = Carga Requerida
- d_{int} = Diámetro interior
- F_b = Factor de Rotación

La selección de chumaceras sigue el siguiente procedimiento

- Consideración de la vida útil se especifica en el (Anexo II, Tabla II. 7).
- El número de revoluciones máximo requerido es de 2000 rpm.
- Vida útil, $l = 30000$ h
- F_b = Carga Crítica = 357.5 N definida anteriormente
- Diámetro interior requerido = 20 mm
- Factor de Rotación = 1.2
- $a = 3$ para cojinetes de bolas

Por lo que:

$$P = 357.5 \text{ N} * 1.2 = 429 \text{ N}$$

$$C = 429 \text{ N} \left(\frac{30000 * 2000 * 60}{10^6} \right)^{1/3} = 1.98 \text{ KN}$$

Tomando en cuenta el valor de carga requerida a soportar se seleccionó la chumacera SYK 20 FE, ver (Anexo II, Tabla II. 9).

4.6. Diseño de control

El sistema de control de la máquina de corte por plasma para los ejes X, Y y Z que se maneja es de lazo abierto.

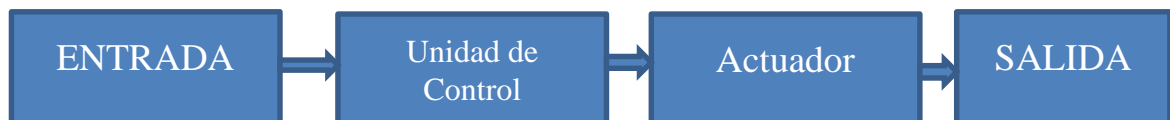


Figura 4.2. Lazo abierto de control

Elaborado por: Llambo y López

En base a la selección de motores definidos anteriormente se tiene que:

Tabla 4.19 Selección de motores

Motores seleccionados				
Posición	Motor	Voltaje (V)	Corriente (A)	Torque N cm
Eje Z	Nema17	2.8	1.68	45
Eje X	Nema17	2.8	1.68	45
Eje Y	Nema23	12	4.2	300

Elaborado por: Llambo y López

Para el motor mena 17 el cual consume 1.68 A se seleccionó un driver DM556N y para el motor Nema 23 con un consumo de 4.2A se seleccionó un drive DM860N, ver (Anexo II, Figura II. 3 y Figura II. 4).



Figura 4.3. Controladores eléctricos (drivers)

Fuente: [29] y [30]

En base a la corriente definida de cada equipo electrónico y electromecánico se seleccionó la fuente de poder requerida ver (Anexo II. Tabla II. 10).



Figura 4.4. Fuentes de poder

Fuente: [31]

En esta figura 4.5 se muestra el diagrama de conexión de la cortadora por plasma CNC, en donde se visualiza los componentes que conforma, y en la siguiente figura se muestra el diagrama de control.

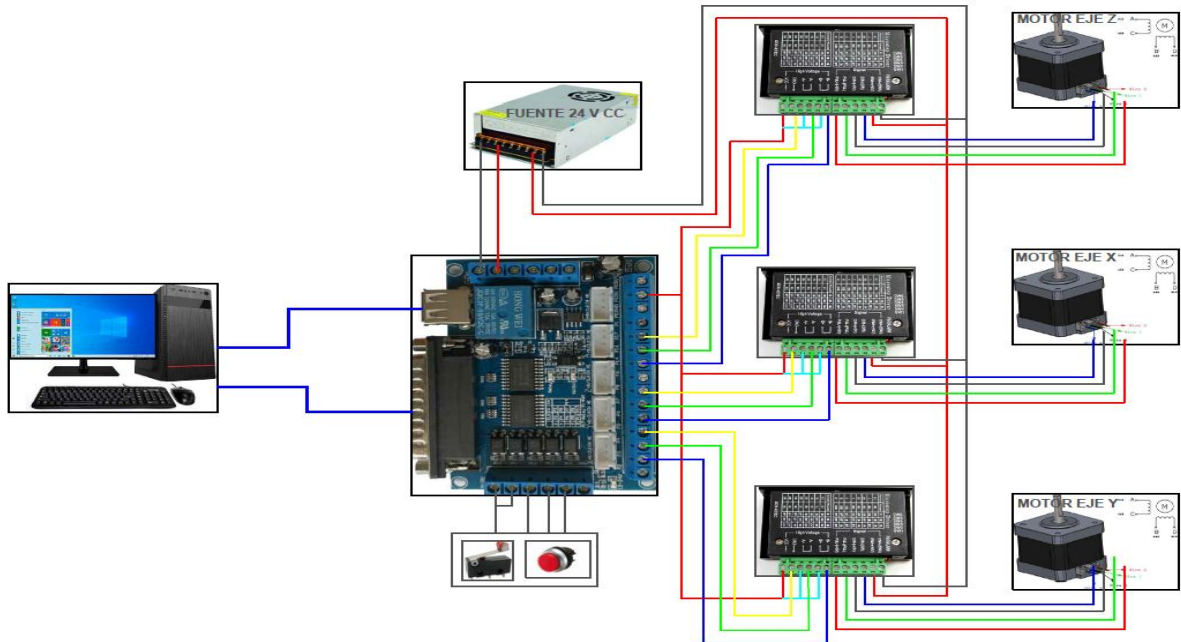


Figura 4.5. Diagrama de conexión
Elaborado por: Llambo y López

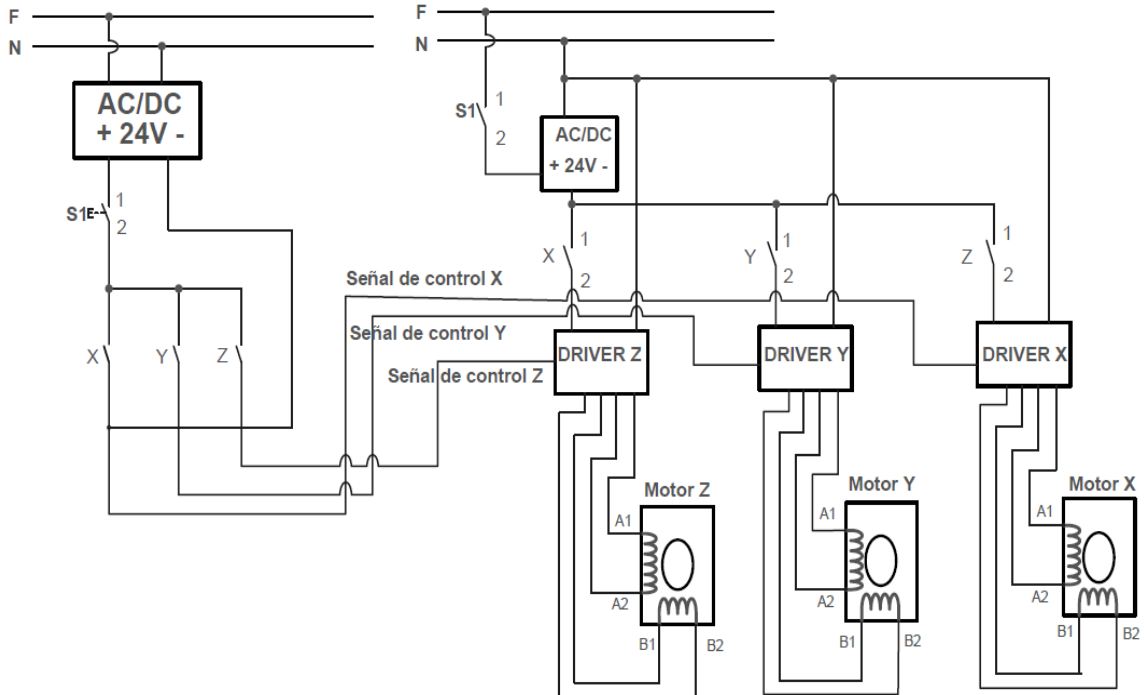


Figura 4.6. Diagrama de control para la cortadora por plasma CNC.
Elaborado por: Llambo y López

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Introducción

El diseño de una máquina de corte por plasma, se da en función de la capacidad del elemento que se desea cortar, el cual está constituido por 3 ejes, pudiendo originar movimientos en X, Y y Z, conformada por tornillos de potencia, ejes guías lineales, chumaceras, motores paso a paso, una cama de agua, engranajes helicoidales y una estructura soporte del conjunto.

5.2. Validación por el método de elementos finitos FEM.

En la siguiente sección se valida el diseño elaborado por el método de elementos finitos, el cual se da mediante el empleo del software SolidWorks Simulation (versión estudiantil).

5.3. Especificaciones de la máquina

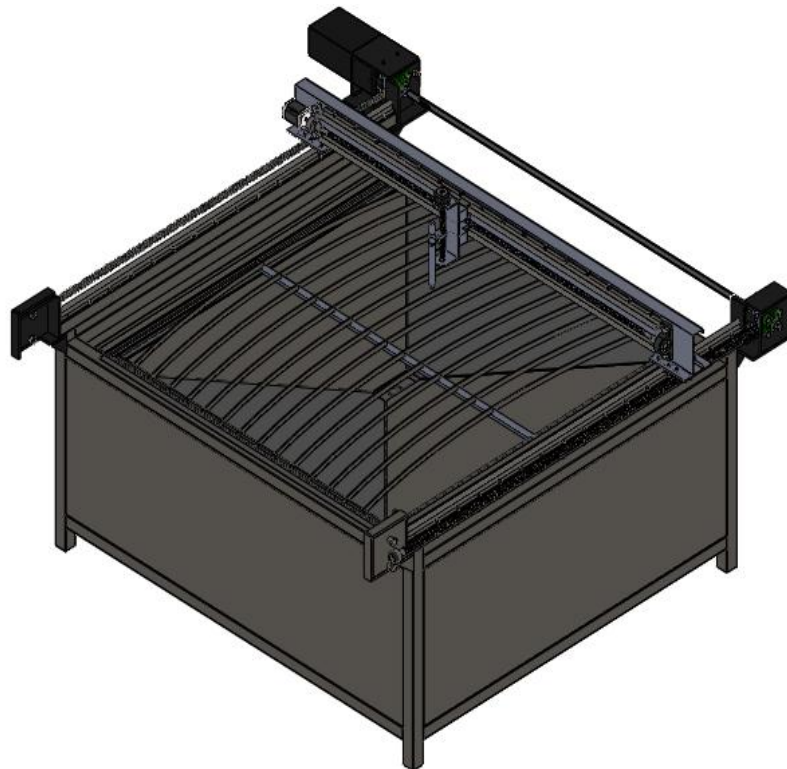


Figura 5.1. Especificaciones de la máquina

Elaborado por: Llambo y López

5.3.1. Análisis por el método de elementos finitos de la estructura soporte

5.3.1.1. Modelado geométrico

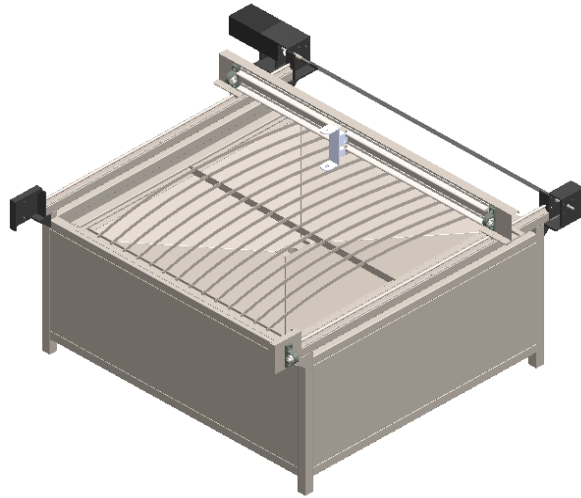


Figura 5.2. Modelado geométrico

Elaborado por: Llambo y López

Definición de las condiciones de contorno

La ubicación de las condiciones de contorno se da en base a las sujeciones.

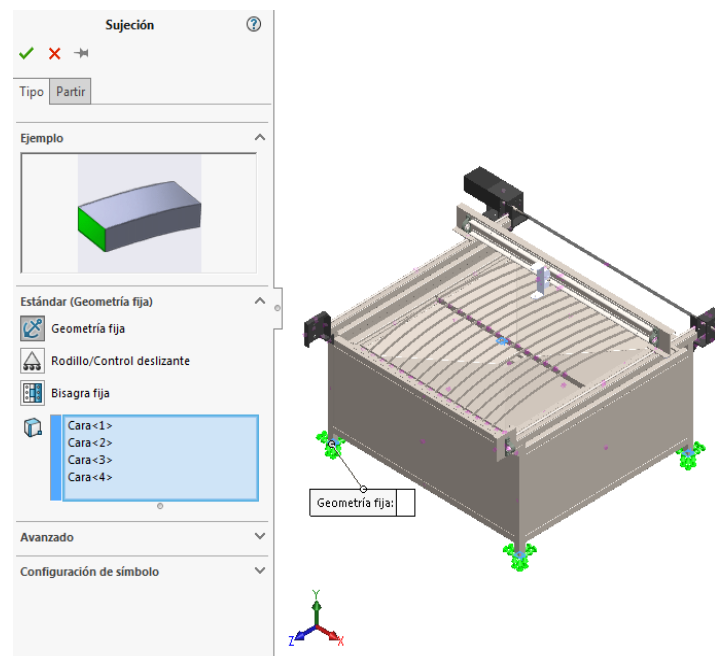


Figura 5.3. Sujeciones

Elaborado por: Llambo y López

La capacidad máxima a ubicar 1220 mm x 1220 mm x 12 mm, de material de acero ASTM A36 dando una masa de $81.79 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 802.36 \text{ N}$

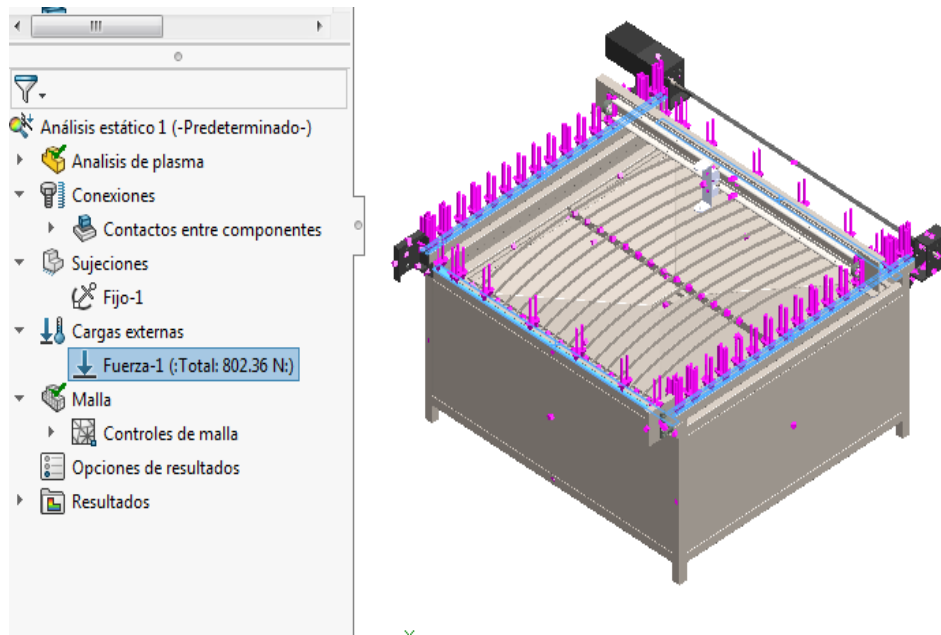


Figura 5.4. Cargas

Elaborado por: Llambo y López

El siguiente paso es el mallado de la estructura

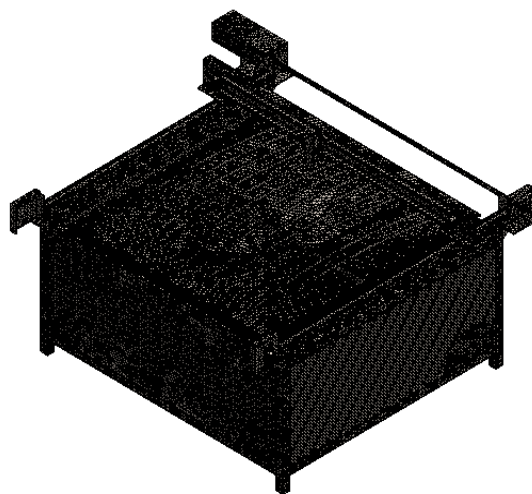


Figura 5.5. Mallado

Elaborado por: Llambo y López

Por lo que se tiene como resultados:

Análisis de Tensiones:

De acuerdo a los resultados obtenidos la tensión máxima a soportar es de 91.62 MPa, según el código de color en su mayoría está en color azul el cual no afecta al equipo de forma considerable.

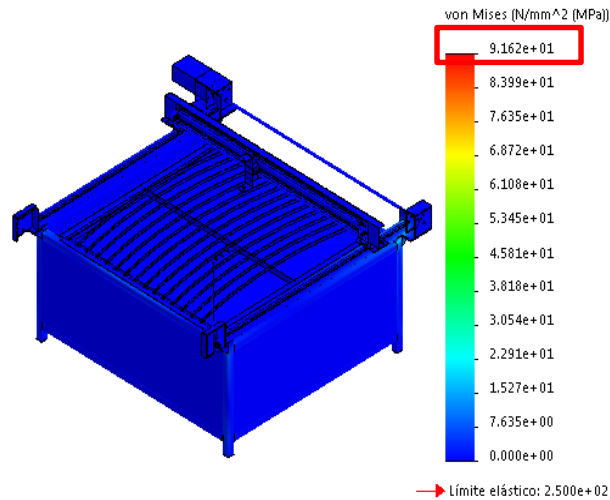


Figura 5.6. Análisis de Tensiones
Elaborado por: Llambo y López

Análisis de desplazamiento

De acuerdo a esta prueba el desplazamiento máximo de deformación es de 2.691 mm, validándose el análisis por ser un valor no tan representativo.

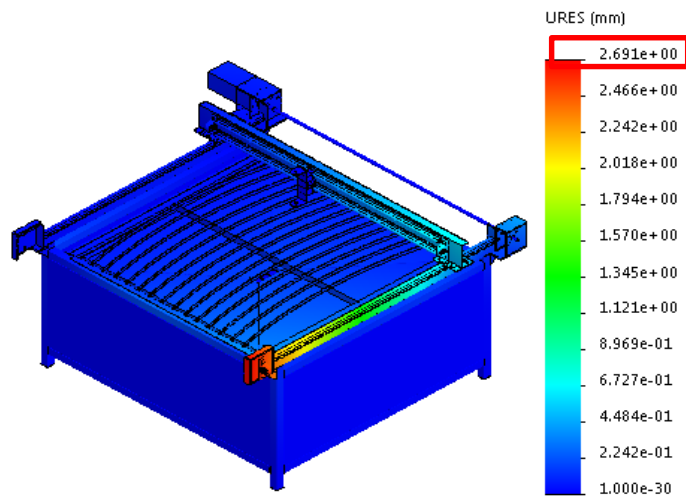


Figura 5.7. Análisis de desplazamiento
Elaborado por: Llambo y López

Análisis del Factor de Seguridad

Según el análisis del Factor de Seguridad (FDS), es aceptable, por dar un valor mínimo de 2.7 el cual según Robert Mott, en su libro de Diseño de elementos de máquinas [26], recomienda que para el diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño debe estar entre 1.25 y 2.

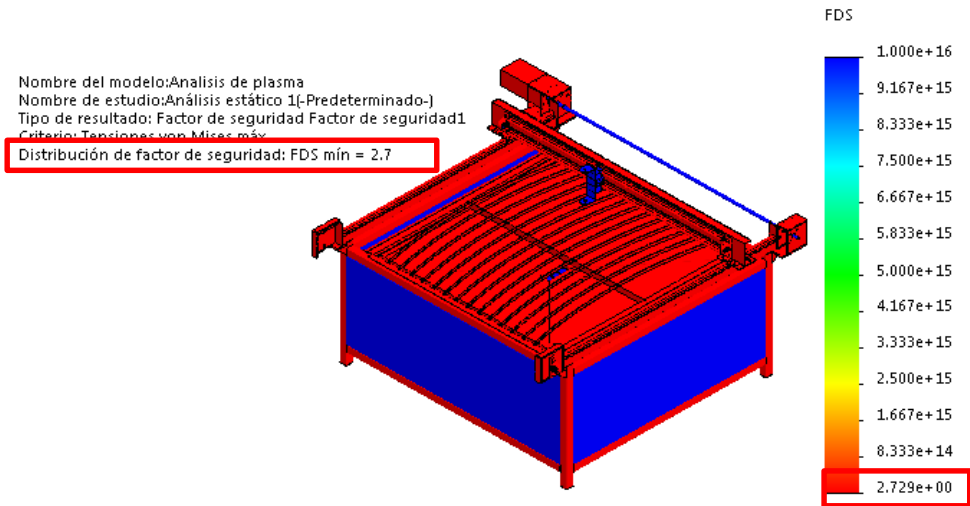


Figura 5.8. Análisis del Factor de Seguridad (FDS)

Elaborado por: Llambo y López

Diseño a fatiga.

El diseño se da con la elección de la curva de función

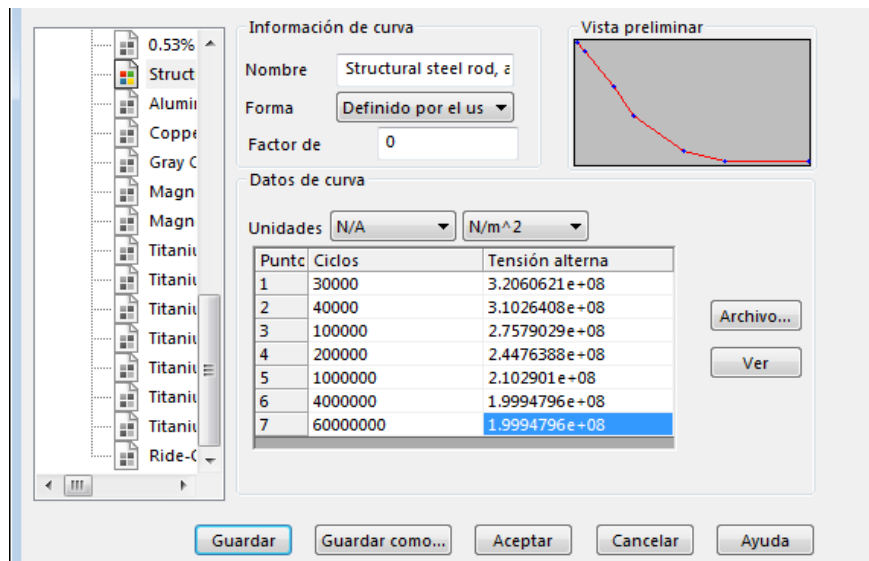


Figura 5.9. Curva de Funcion

Elaborado por: Llambo y López

Por lo que se obtiene:

Porcentaje de daño

Según los resultados dados del porcentaje de daño; es aceptable, en vista que se puede distinguir, que establece apenas un porcentaje mínimo de daño del $1,667e-003$ según la escala, la misma que es mínima.

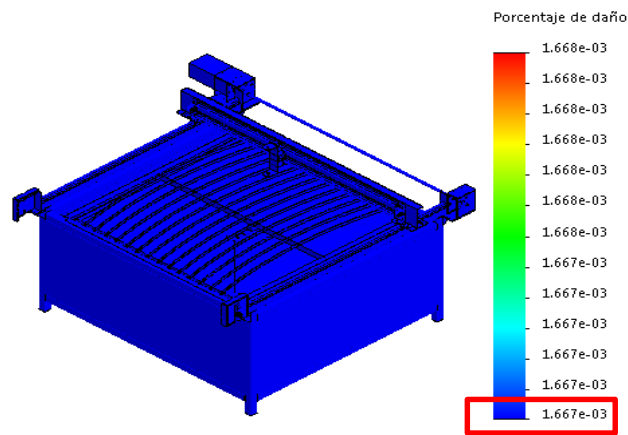


Figura 5.10. Porcentaje de daño
Elaborado por: Llambo y López

Ciclo de vida total.

Según los resultados dados del ciclo de vida total mínimo es de $6.000e+007$ según la escala establecida, el cual es considerable.

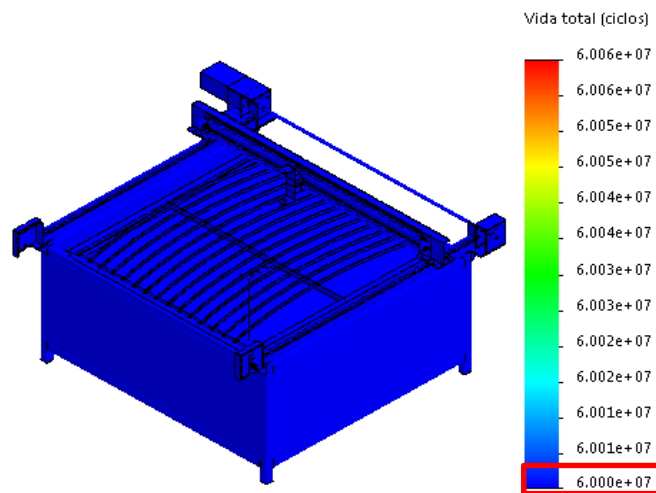


Figura 5.11. Ciclo de vida total.
Elaborado por: Llambo y López

La cual cumple 2 segundo por ciclo estableciéndose de esta manera que el soporte tiene una vida útil de $6.000e+07$ segundos la misma que sería igual a 11.42 años laborables la misma sería el ciclo de mantenimiento cada 2 años.

$$60\,000\,000 \text{ ciclos} * 2 \frac{\text{seg.}}{\text{ciclo}} = 120\,000\,000 \text{ seg.} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg.}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min.}} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}} = 4166.7 \text{ días}$$

5.4. Sistema de control

A continuación, se detalla los pasos o procesos que comprende desde el diseño CAD hasta convertir el archivo de CAD a lenguaje CNC, es decir en un lenguaje de programación llamado Código G o también llamado código ISO, y posteriormente que el software de control interprete y mande la señal a la tarjeta de interfaz de nuestra CNC.

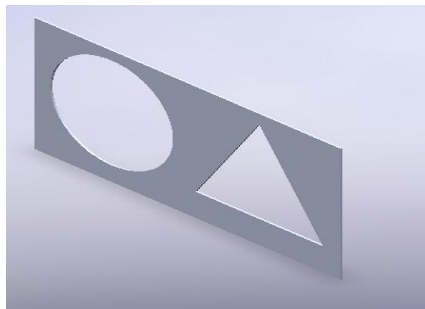


Figura 5.12. Diseño Cad-practica

Elaborado por: Llambo y López

- 1) Realizar el diseño en cualquier programa CAD, de las figuras o piezas que se desea obtener, luego guardar en archivo DXF, posteriormente ejecutar a través de un Post Procesador.
- 2) Se procede a abrir el SheetCam TNG para importar el archivo DXF al software de Post Procesamiento.
- 3) Una vez importado el archivo, se procede a dar los parámetros de corte para la pieza, se realiza una entrada a una distancia adecuada para la posición a cortar. También se realiza ediciones de contornos tanto como interior y exterior para un mejor acabado de la pieza además hay que configurar la herramienta de corte donde se tomara en cuenta la velocidad de desplazamiento, altura de corte entre otras.

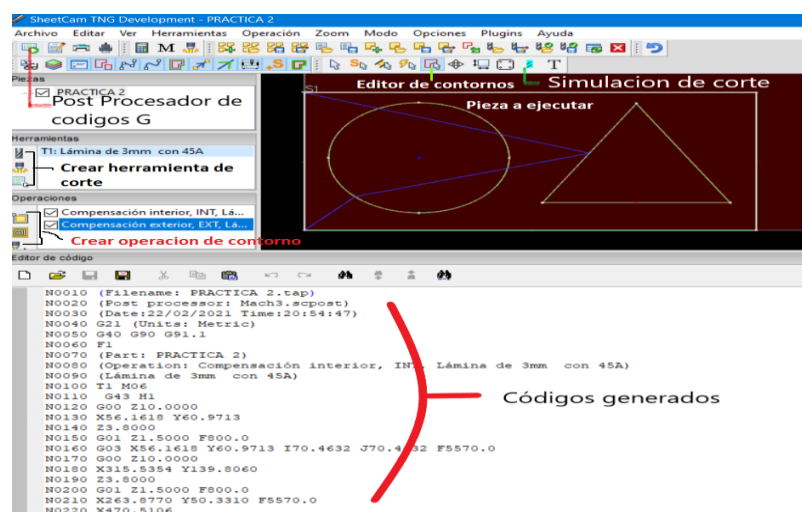


Figura 5.13. Configuración de software SheetCam

Elaborado por: Llambo y López

- 4) Ejecutar el programa Post Procesador para generar códigos G y guardar con extensión (tab).
En la siguiente figura 5.14. se aprecia los códigos G resuelto por el software SheetCam (Post Procesador-Mach3).

N0010 (Filename: PRACTICA 2.tap)	N0210 X263.8770 Y50.3310 F5570.0
N0020 (Post processor: Mach3.scpst)	N0220 X470.5106
N0030 (Date:22/02/2021 Time: 20:54:47)	N0230 X367.1938 Y229.2810
N0040 G21 (Units: Metric)	N0240 X315.5354 Y139.8060
N0050 G40 G90 G91.1	N0250 (Operation: Compensación exterior, EXT, Lámina de 3mm con 45A)
N0060 F1	N0260 G00 Z10.0000
N0070 (Part: PRACTICA 2)	N0270 X-3.0000 Y250.3500
N0080 (Operation: Compensación interior, INT, Lámina de 3mm con 45A)	N0280 Z3.8000
N0090 (Lámina de 3mm con 45A)	N0290 G01 Z1.5000 F800.0
N0100 T1 M06	N0300 X0.0000 F5570.0
N0110 G43 H1	N0310 X500.0000
N0120 G00 Z10.0000	N0320 G02 X500.3500 Y250.0000 I0.0000 J-0.3500
N0130 X56.1618 Y60.9713	N0330 G01 Y0.0000
N0140 Z3.8000	N0340 G02 X500.0000 Y-0.3500 I-0.3500 J0.0000
N0150 G01 Z1.5000 F800.0	N0350 G01 X0.0000
N0160 G03 X56.1618 Y60.9713 I70.4632 J70.4632 F5570.0	N0360 G02 X-0.3500 Y0.0000 I0.0000 J0.3500
N0170 G00 Z10.0000	N0370 G01 Y250.0000
N0180 X315.5354 Y139.8060	N0380 G03 X-2.2700 Y251.9200 I-1.9200 J0.0000
N0190 Z3.8000	N0390 G00 Z10.0000
N0200 G01 Z1.5000 F800.0	N0400 M05 M30

Figura 5.14. Códigos G

Elaborado por: Llambo y López

- 5) Finalmente se procede a importar y ejecutar el archivo generado por SheetCam, este programa se guarda con extensión (.tab), que es el que lee el software Mach 3, y una vez calibrado algunos parámetros necesarios se realiza la ejecución del programa con la tarjeta de interfaz de la CNC. La figura 5.15. se muestra la interfaz del MACH 3.

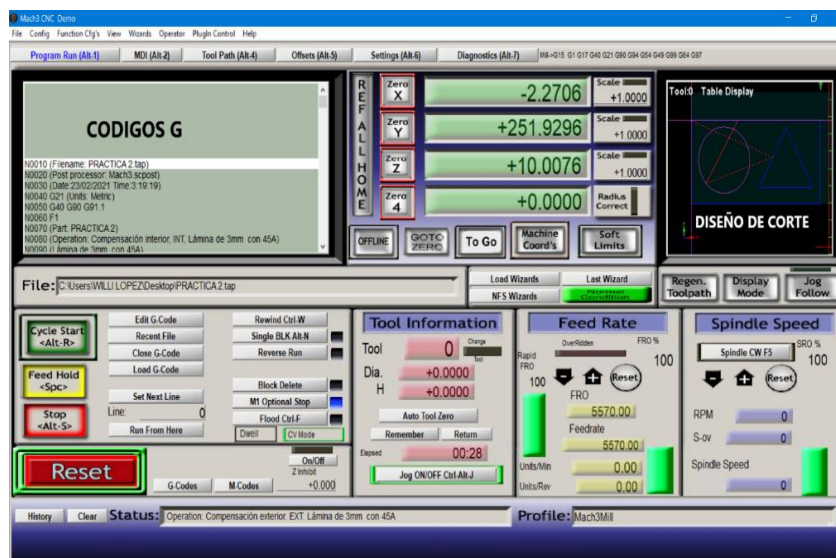


Figura 5.15. Programa cargado.

Elaborado por: Llambo y López

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO

6.1. Presupuesto

El presupuesto se divide en directos e indirectos.

6.1.1. Presupuesto directo

Los costos directos son:

Tabla 6.1 Costos directos de los materiales

Elemento	Cantidad	Valor. Unitario (\$)	Total (\$)
Estructura			
Tubo estructural 50x50x1.2	5	30.00	150.00
Plancha de 4 x 64 x 63 mm	4	10.00	40.00
Angulo de 1/4x 1/4 x 60	4	3.50	14.00
Chumacera Ø = 20 mm	6	20.00	120.00
Chumaceras de pared	4	15.00	60.00
Perfil G	0.5	54.90	27.45
Plancha de tol	6	30.00	180.00
Angulo de 20x20x3	5	15.00	75.00
Platinas de acero	15	1.00	15.00
Sistema de transmisión			
Guías longitudinales	4	100.00	400.00
Motor Paso a Paso Bipolar NEMA23.	1	75.00	75.00
Motor Paso a Paso Bipolar NEMA17 17HS19-1684S1	2	22.40	44.80
Tornillo de bolas eje Y	2	350.00	700.00
Tornillo de bolas eje X	1	168.00	168.00
Tornillo de bolas eje Z	1	125.00	125.00
Piñones helicoidales	2	25.00	50.00
Sistema eléctrico			
Fuente de poder 24Vdc-10A	1	27.25	27.25
Tarjeta de control Mach 3 CNC	1	40	40
Driver paso a paso hy-div268n-5a	3	39	117
Tablero de control	1	150	175
Protector de cable	1	40	40
Accesorios extras	1	75.00	75.00
Total			2718.5

Elaborado por: Llambo y López

Tabla 6.2 Detalle de costos directos por mano de obra

Descripción	Horas	Valor. Unitario (\$)	Total (\$)
Soldado	12	8.00	96.00
Doblado	4	5.50	22.00
Cortado	5	5.00	25.00
Taladrado	5	3.00	15.00
Armado		400.00	400.00
Total			558

Elaborado por: Llambo y López

6.1.2. Costos indirectos

En esta sección se ubican los costos por transporte, alimentación, gastos varios, también posible adquisición de equipo de cortadora de plasma

Tabla 6.3 Detalle de costos indirectos por transporte, alimentación y entre otros.

Descripción	Total (\$)
Transporte	40.00
Alimentación	50.00
Extras	60.00
Total	150.00

Elaborado por: Llambo y López

Tabla 6.4 Detalle de costos indirectos del Equipo Cortador de Plasma

Descripción	Valor unitario (\$)
Equipo plasma Powermax 45XP	3412.00
Total	3412.00

Elaborado por: Llambo y López

El total de costos indirectos por transporte, alimentación, gastos varios, también posible adquisición de equipo de cortadora de plasma es de \$ 3562.00 dólares americanos.

6.1.3. Presupuesto total

Tabla 6.5 Presupuesto total

Descripción	Total (\$)
Costos directos de materiales	2718.50
Costos directos por mano de obra	558.00
Costos indirectos por transportes, alimentación...etc.	150.00
Costos indirectos por Equipo de cortadora de Plasma	3412.00
Sub Total	6838.50
Imprevistos al 10%	683.85
Total	7522.35

Elaborado por: Llambo y López

El presupuesto total del presente proyecto es de \$ 7522.35 luego de haber considerado todas las variables, el análisis de costos directos e indirectos entre el material que se puede conseguir en nuestro país y la mano de obra comprendida en el mismo. Además se hizo una relación entre costos con máquinas dentro y fuera del país, ver (Anexo IV, Tabla IV. 1).

6.1.4. Análisis de costo

Para la realización del análisis de costos se estimaron los siguientes valores:

Tabla 6.6 Análisis de costos

	Horas	\$
Por hora	1	10
Día	8	80
Semana	40	400
Producción mensual	160	1600
Producción anual	1920	19200

Elaborado por: Llambo y López

6.1.4.1. Cálculo del VAN y la TIR

El cálculo de utilidad neto por año se estima mediante (el valor de ingresos netos – el valor de egresos – el valor de impuestos de ley) resultando:

Tabla 6.7 Cálculo de utilidad neto por año

Años	0	1	2	3	4	5
(+) Saldo Inicial		0,00	-333,00	4652,51	7655,25	9389,78
Ingreso						
Producción		19200	19200	19200	19200	19200
(+) Total Ingresos		19200	19200	19200	19200	19200
Egresos						
Gastos de Materiales	7522,35					
Gastos de Mano de Obra (1 persona)	500	6000,00	6142,80	6289,00	6438,68	6591,92
Gastos Varios	400	4800,00	4914,24	5031,20	5150,94	5273,53
Costo de operación y mantenimiento.		500,00	511,90	524,08	536,56	549,33
Perdida del ejercicio anterior		8422,35	0,00	0,00	0,00	0,00
(-) Total Egresos	8422,35	-19722,35	-11568,94	-11844,28	-12126,17	-12414,78
Utilidad antes del Impuesto	-8422,35	-522,35	7298,06	12008,23	14729,07	16175,01
Impuesto a las Utilidades (25%)		-130,59	1824,52	3002,06	3682,27	4043,75
Utilidad después del Impuesto		-391,76	5473,55	9006,18	11046,81	12131,26
Participación de los Trabajadores (15%)		-58,76	821,03	1350,93	1657,02	1819,69
Utilidad Neta	-8422,35	-333,00	4652,51	7655,25	9389,78	10311,57

Elaborado por: Llambo y López

Mediante esto se procede al cálculo del TMAR (Tasa mínima aceptable de rendimiento) en donde se calcula el 4.8% como porcentaje anual de crecimiento entre los años estimados.

Tabla 6.8 Calculo del VAN y TIR

Años	Utilidad Neta
0	-C\$8422,35
1	-C\$333,00
2	C\$4652,51
3	C\$7655,25
4	C\$9389,78
5	C\$10311,57

TMAR	4.8%
TIR	44,01%
VAN	\$18.087,73
VAN	0.00

Si $TIR \geq TMAR$ - Acéptese la Inversión.

Si $VAN \geq 0$ - Acéptese la Inversión.

Elaborado por: Llambo y López

Tras el cálculo realizado del valor actual neto (VAN) se proyectó ser mayor o igual que cero, y de igual manera el TIR (tasa de interés o rentabilidad) es mayor que el TMAR (tasa mínima atractiva de retorno) tras este análisis se estima aceptable la inversión a futuro ver (Anexo IV, Tabla IV. 2).

6.2. Análisis de impacto

6.2.1. Impacto práctico

El tema de tesis propuesto abarca gran cantidad de información relacionada con elementos de producción definida en soporte estructural, donde el traslado del carro en las coordenadas en X, Y y Z, destacan elementos motrices como: el motor, los tornillos, la antorcha, los elementos de guías. Información que será de gran ayuda para la enseñanza de los estudiantes de generaciones actuales y futuras de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

6.2.2. Impacto tecnológico

El diseño de la máquina de corte por plasma se emplea conocimientos de diseño mecánico, selección de materiales actuales que se pueden encontrar en el mercado local y nacional, con tecnología muy avanzada, validando la selección de materiales por el método de elementos finitos, aplicando conocimientos actuales de ingeniería, para su adecuado dimensionamiento, permitiendo detectar errores significativos que puedan perjudicar al desarrollo, por lo que se reducen a lo mínimo, mediante un software especial designado para el diseño.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- La revisión de fuentes bibliográficas tanto físicas como virtuales, así como el aporte de trabajos precedentes relacionados con este tema de investigación permitió comprender de mejor manera cómo funcionan los sistemas que componen una máquina controlada por CNC.
- El diseño se inicia seleccionando el sistema de potencia mediante el método de RIBA donde la elección de la alternativa principal es el tornillo de bola; al dimensionar la máquina el tornillo guía en Z debe tener un $\varnothing = 10$ mm, con un motor de paso a paso NEMA17, diseñando los soportes, ejes y tornillo en X donde se debe emplear un diámetro de $\varnothing 16$ mm, seleccionando un perfil estructural G de 150 x 50 x15 x 2, mientras que en Y, se dimensiono un tornillo de $\varnothing = 22$ mm seleccionando un motor NEMA23, mientras que los soportes son elaborados de tubo estructural cuadrado de 50x50x1.2, determinando el empleo de chumaceras con código SYK 20FE.
- Los resultados obtenidos mediante el análisis de elementos finitos y simulación fueron los siguientes: análisis de tensiones aceptables 7.635 MPa, deformación de 2.691 mm en los soportes centrales y un factor de seguridad de 2.7. Finalmente, para comprobar el sistema de control de la máquina CNC se realizó una simulación en el software mach 3 con esto permitiendo controlar el desplazamiento y la velocidad de corte.

7.2. Recomendaciones

- Se debe tener en cuenta el equipo de cortadora de plasma ya que se puede variar el costo de la fabricación de la máquina CNC dependiendo de las necesidades o requerimientos que el cliente lo requiera.
- Al momento de una futura implementación se debe tomar en cuenta las protecciones contra las frecuencias altas que produce el equipo plasma para el encendido de la antorcha, la cual puede dañar la electrónica.
- Implementar equipos adicionales como un sistema de ventilación para contrarrestar, cantidad excesiva de humo en procesos de corte de larga duración.

8. REFERENCIAS

- [1] CINE, «UNESCO,» 07 1996. [En línea]. Available: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000105765_spa. [Último acceso: 12 06 2019].
- [2] K. D. Mirallas Secaira y P. J. Portes Rojas , «Diseño de una Máquina Cortadora por Plasma CNC.,» Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2016.
- [3] A. Suntaxi, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC CORTADORA POR PLASMA PARA PLANCHAS DE ACERO DE HASTA 10mm DE ESPESOR,» UNIVERSIDAD INTERNACIONAL ECUADOR, Quito, 2017.
- [4] A. Perez Revelo, «Diseño e Implementacion de un Sistema de Control Numérico Computarizado de Corte por Plasma para la Empresa SEMATEX.,» Universidad Tecnológica Equinocial, Quito, 2012.
- [5] S. Allauca, «Diseño e Implementación de un Sistema Automatizado por Control Numérico Computarizado para Cortes por Plasma en los Procesos de Manufactura de la Empresa Cem Ingenieros E.I.R.L,» Universidad Tenológico del Perú, Lima, 2017.
- [6] R. Carvajal Cabrera, «Diseño y construcción de una máquina cortadora plasma CNC en la empresa mecánica industrial “MOYA HNOS,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.
- [7] R. Artiaga, G. Bolaños, A. Martínez y E. Reyes, «Universidad de EL Salvador,» 2015. [En línea]. Available: <https://n9.cl/82z3>. [Último acceso: 21 Junio 2020].
- [8] E. Angulo Elizari, «Proceso de fabricación y sistema de medición de sistemas flexure para aplicaciones micro,» Julio 2017. [En línea]. Available: <https://url2.cl/nxN7B>. [Último acceso: 01 Junio 2020].
- [9] R. Artiga Rivera, G. Bolaños Castillo, A. Martinez Rivas y E. Reyes Magaña, «UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR,» 2015. [En línea]. Available: <https://n9.cl/82z3>.
- [10] M. Muñoz, «Post Procesadores,» 19 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://marcosmunoz.com/post-procesadores-que-son/>. [Último acceso: 21 Febrero 2021].
- [11] S. Kisiki, «Introducción al sistema CNC,» 2011. [En línea]. Available: http://railgun.pme-legend.com/mach3_cnc_manual.pdf.

- [12] PERÚ, TECNOCIENCIA, «Software de control MACH3 para CNC.,» 12 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.tecnocienciaperu.com/electronica/software-de-control-mach3-para-cnc-detalles-de-la-aplicacion/>. [Último acceso: 22 Febrero 2021].
- [13] Aliexpress, «Motion mch 3,» 2017. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/wholesale/Venta-al-por-mayor-tarjetas-cnc.html>.
- [14] Grupo Novelec, «Finales de carrera,» 21 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://blog.gruponovelec.com/electricidad/finales-de-carrera-que-son-y-caracteristicas-principales/>. [Último acceso: 21 Febrero 2021].
- [15] L. MERLIN, «LEROY MERLIN,» © Leroy Merlín España S.L.U, 2019. [En línea]. Available: <https://www.leroymerlin.es/bricopedia/mesa-de-coordenadas>. [Último acceso: 20 1 2020].
- [16] Hypertherm, «CNC y THC,» © 2020 Hypertherm, Inc., [En línea]. Available: <https://www.hypertherm.com/es/learn/cutting-education/understanding-cncs-and-thcs/>.
- [17] D. M, «Introducción a la tecnología CNC,» 2015. [En línea].
- [18] O. E. Prof. Ing. MAYER, «COJINETES DE RODADURA (RODAMIENTOS) TEÓRICO,» SETIEMBRE 2 002. .
- [19] S. Lapenta, «Corte por plasma,» Argentina, 2009.
- [20] C. C. A.-S. Alike, «Corte por plasma,» Chile, 2009.
- [21] C. R. Romeva, Selección de materiales en el diseño de máquinas, Catalunya: EDICIONS UPC, 2008.
- [22] P. Orlon, INGENIERIA DE DISEÑO, Moscú: Mir.Moscú, 1985.
- [23] U. d. Cataluña, «Open Course Ware,» [En línea]. Available: http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/expresion-grafica/eg_tema_2.pdf. [Último acceso: 20 Agosto 2020].
- [24] E. C, «CARMAN- Análisis Estático y Dinámico,» 17 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://grupocarman.com/blog/2017/12/17/analisis-estatico-y-dinamico/>. [Último acceso: 20 Agosto 2020].
- [25] C. Riba, Diseño concurrente, España: ETSEIB - UPC, 2002.
- [26] R. Mott, de "Resistencia de materiales", México, Pearson educación, 2009.
- [27] Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica, México D.F.: McGraw-Hill, 2015.
- [28] Serway y Jewett, Física para ciencias e ingeniería, México D.F, 2008.

- [29] «stepperonline.com,» [En línea]. Available: <https://www.omc-stepperonline.com/big-sale-digital-stepper-driver-2-6-7-2a-24v-110vdc-18-80vac-for-nema-34-stepper-motor.html>.
- [30] «desertcart,» [En línea]. Available: <https://suriname.desertcart.com/products/120713554-stepperonline-digital-stepper-driver-low-speed-low-noise-control-signal-voltage-5-v-24-v-current-1-4-5-6-a-15-36-vac-20-50-vdc-for-nema-17-23-24-stepper-motor>.
- [31] <https://www.amazon.com/>, «<https://www.amazon.com/>,» [En línea]. Available: https://www.amazon.com/-/es/LRS-350-24-alimentaci%C3%B3n-conmutaci%C3%B3n-impresora-industrial/dp/B07VRK86SP/ref=pd_day0_3?pd_rd_w=Nz3f8&pf_rd_p=8ca997d7-1ea0-4c8f-9e14-a6d756b83e30&pf_rd_r=RH1TPSNT7W86ZY0ATRQ1&pd_rd_r=02164d05-03c6-45d4-a66a-e6ec10675719.
- [32] d. d. d. I. U. N. d. I. P. Taller de tecnología, «Programación de control numérico ISO standard (CÓDIGO G),» p. 13.
- [33] <http://www.acerosotero.cl/>, «acerosotero,» 2019. [En línea]. Available: http://www.acerosotero.cl/pdf/catalogo_aceros_otero_2019.pdf.
- [34] NEMA23 , «Motor Paso a Paso Bipolar NEMA23 Modelo 57BYGH115-003B,» 2017. [En línea]. Available: https://electropro.pe/index.php?route=product/product&product_id=852. [Último acceso: 26 Agosto 2020].
- [35] DIPAC, «Productos de Acero,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/>. [Último acceso: 26 Agosto 2020].
- [36] SKF, Rodamientos Y unidades de rodamientos SKF energéticamente eficientes, EEUU: Grupo SKF 2015, 2015.
- [37] M. Lertora, «Chumaceras y Reductores pendulares,» Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://n9.cl/cz7uq>. [Último acceso: 24 Agosto 2020].
- [38] DIPAC, «DIPAC- Catálogos de Productos de Acero,» [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/>. [Último acceso: 24 Agosto 2020].
- [39] hypertherm, «hypertherm,» [En línea]. Available: <https://www.hypertherm.com/es/hypertherm/powermax/powermax45-xp/>.

ANEXOS

Anexos I. Marco teórico



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo I

Pág.

Tabla I. 1 Matriz de operacionalización de variables

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Esfuerzo	Parámetros de diseño	Esfuerzo máximo permisible de la estructura	Pascales (N.m ²)	cálculos simulación	Software análisis elementos finitos
Ciclos de vida		Clico de vida útil de los distintos sistemas y mecanismos	(Horas) L=horas	Cálculos Estimaciones en tablas	Tablas ponderadas
Desplazamiento	Parámetros de análisis de diseño	Desplazamiento de deformación de los ejes	(milímetros) $\Delta x = x_f \cdot x_0$	Medición Simulación.	Software
Factor de seguridad		Factor de seguridad ante esfuerzos	(adimensional) $f_s \geq 1, 2, 3, \dots, n.$	Cálculos tablas, simulación	Software de análisis elementos finitos

Fuente: [32]

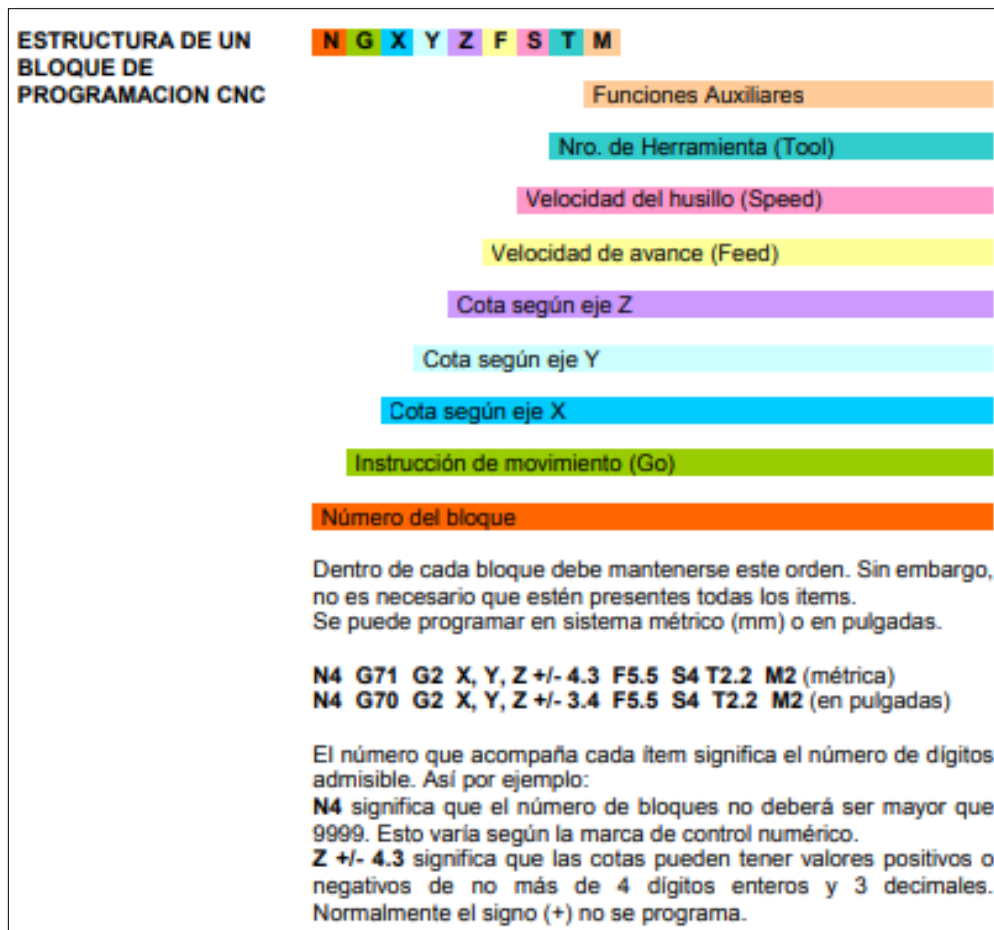


FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo I

Pág. 9

Tabla I. 2 Estructura de un bloque de programación CNC



Fuente: [32]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo I

Pág. 9

Tabla I. 2 Instrucciones de movimientos o preparatorias (funciones G)

G00	* **	Posicionamiento rápido	G56	**	Traslado de origen
G01	**	Interpolación Lineal	G57	**	Traslado de origen
G02	**	Interpolación Circular en sentido horario	G58	**	Traslado de origen
G03	**	Interpolación Circular en sentido antihorario	G59	**	Traslado de origen
G04		Temporización	G70	**	Programación en pulgadas
G05	* **	Arista matada	G71	**	Programación en milímetros
G06		Interpolación Circular con centro en absolutas	G72	**	Escalado definido por K
G07	* **	Arista viva	G73	**	Giro de sistema de coordenadas
G08		Arco tangente a la trayectoria anterior	G74		Búsqueda de cero máquina
G09		Interpolación Circular definida por tres puntos	G75		Trabajo con palpador
G10	* **	Anulación imagen espejo	G75 N2		Ciclos fijos de palpador
G11	**	Imagen espejo en eje X	G76		Creación de bloques
G12	**	Imagen espejo en eje Y	G79	**	Ciclo fijo definido por el usuario
G13	**	Imagen espejo en eje Z	G80	* **	Anulación de ciclos fijos
G17	* **	Plano XY	G81	**	Ciclo fijo de taladrado
G18	**	Plano XZ	G82	**	Ciclo fijo de taladrado con temporización
G19	**	Plano YZ	G83	**	Ciclo fijo de taladrado profundo
G20		Llamada a sub-rutina standard	G84	**	Ciclo fijo de roscado con macho
G21		Llamada a sub-rutina paramétrica	G85	**	Ciclo fijo de escarificado
G22		Definición de sub-rutina standard	G86	**	Ciclo fijo de alesado con retroceso en G00
G23		Definición de sub-rutina paramétrica	G87	**	Ciclo fijo de cajera rectangular
G24		Final de definición de sub-rutina	G88	**	Ciclo fijo de cajera circular
G25		Llamada incondicional	G89	**	Ciclo fijo de alesado con retroceso en G01
G26		Llamada condicional si igual a 0	G90	* **	Programación en absolutas
G27		Llamada condicional si distinto de 0	G91	**	Programación en incrementales
G28		Llamada condicional si menor	G92		Preselección de cotas
G29		Llamada condicional si mayor o igual	G93		Coordenadas polares
G30		Visualizar error definido por K	G94	* **	F en mm/min
G31		Guardar origen de coordenadas	G95	**	F en mm/rev
G32		Recuperar origen de coordenadas	G96	**	F constante
G33	**	Roscado electrónico	G97	* **	F del tip constante
G36		Redondeo controlado de aristas	G98	* **	Vuelta al plano de seguridad
G37		Entrada tangencial	G99	* **	Vuelta al plano de referencia
G38		Salida tangencial			
G39		Achaflanado			
G40	* **	Anulación de compensación de radio			
G41	**	Compensación de radio a la izquierda			
G42	**	Compensación de radio a la derecha			
G43	**	Compensación de longitud			
G44	**	Anulación de compensación de longitud			
G47	**	Bloque único			
G48	* **	Anulación de bloque único			
G49	**	Feed programable			
G50	**	Carga de longitudes de herramienta			
G53	**	Traslado de origen			
G54	**	Traslado de origen			
G55	**	Traslado de origen			

(*) Son las instrucciones que, por defecto, asume el control numérico cuando se lo inicia, o después de **M02, M30, RESET** o **EMERGENCIA**.

(**) **MODAL** Significa que una vez que aparece la instrucción, ésta permanece activa hasta que sea reemplazada por otra instrucción o por **M02, M30, RESET** o **EMERGENCIA**.

En un mismo bloque se pueden programar todas las funciones **G** que se quiera y en cualquier orden salvo **G20, G21, G22, G23, G24, G25, G26, G27, G28, G29, G30, G31, G32, G50, G52, G53/59, G72, G73, G74, G92**. Estas funciones deben ser programadas en bloques por separado. Si en el mismo bloque se programan funciones incompatibles se detiene la ejecución del programa.

Fuente: [32]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo I

Pág. 9

Tabla I. 2 Funciones M (auxiliares)

M00	Parada de programa
M01	Parada condicional del programa
M02	Final del programa
M03	Arranque del husillo en sentido horario
M04	Arranque del husillo en sentido anti-horario
M05	Parada del husillo
M06	Cambio de herramienta
M30	Final del programa con reseteo de variables

Fuente: [32]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Tabla I. 3 Aceros aplicado en la construcción de máquinas

Aceros de const

AISI / SAE 1045

Características

Acero de mediano contenido de carbono utilizado ampliamente en elementos estructurales que requieran mediana resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo. Posee baja soldabilidad, buena maquinabilidad y excelente forjabilidad.

Formas			Color

Aplicaciones

Es utilizado para todo tipo de elementos que requieren dureza y tenacidad como ejes, manivelas, chavetas, pernos, tuercas, cadenas, engranajes de baja velocidad, espárragos, acoplamientos, bielas, pasadores, cigüeñales y piezas estampadas. Puede ser sometido a temple y revenido.

Estado de Suministro	Rango de Medidas
Forjado	230mm - 600mm
Laminado con tolerancia DIN 1013	½" a 320mm
Trefilado con tolerancia ISO 286-2 h11.	6mm a 65mm

Composición Química				
% C	% Mn	% Si	% P	% S
0,43 - 0,50	0,60 - 0,90	0,15 - 0,35	≤ 0,04	≤ 0,05

Propiedades Mecánicas Acero Laminado (Valores típicos)			
Dureza (HB)	Esfuerzo Fluencia (min.) (Kg / mm2)	Esfuerzo Tracción (min.) (Kg / mm2)	Elongación (min.)%
170 - 190	40	63 - 73	15

ASTM A36

Características

Acero estructural de baja resistencia y buena soldabilidad, para aplicaciones que requieran propiedades mecánicas garantizadas.

Forma	Color

Aplicaciones

Pernos de anclaje, pernos para aplicaciones livianas, tensores y pasadores de baja resistencia.

Estado de Suministro	Rango de Medidas
Laminado con tolerancia DIN 1013	5/8" a 3½"

Composición Química (Valores típicos)				
% C	% Mn	% Si	% P	% S
≤ 0,28	0,60 - 0,90	≤ 0,40	≤ 0,04	≤ 0,05

Composición Mecánicas		
Esfuerzo Fluencia (min.) (Kg / mm2)	Esfuerzo Tracción (min.) (Kg / mm2)	Elongación (min.)%
25,5	40,8	20

I

Barras de acero inoxidable



construcción mecánica

AISI 304

Características

Acero inoxidable austenítico, aleado con Cromo y Níquel y bajo contenido de Carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión. No es templeable ni magnético. Puede ser fácilmente trabajado en frío.

Formas			Color

Aplicaciones

Debido a su buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, este acero es utilizado en diferentes piezas, elementos estructurales y de fijación para la industria alimenticia, vitivinícola, frutícola, acuícola, minera y construcción. En elementos ornamentales y utensilios domésticos.

Estado de Suministro	Rango de Medidas
Con tolerancia dimensional ISO 286-2 h11	½" a 7"

Propiedades Mecánicas Acero Laminado		
Esfuerzo Fluencia (min.) (Mpa)	Esfuerzo Tracción (min.) (MPa)	Elongación (min.) %
205	515	40

Composición Química							
AISI	% C (máx.)	% Mn (máx.)	% Si (máx.)	% Cr	% Ni	% P (máx.)	% S (máx.)
304	0,08	2,00	1,00	18,00 - 20,00	8,00 - 11,00	0,045	0,03



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo I.

Pág. 13

Tabla I. 3 Aceros aplicado en la construcción de máquinas



Barras de acero inoxidable

AISI 420

Características

El acero AISI 420 es un acero inoxidable martensítico, templable y ferromagnético, con resistencia a la corrosión en atmósfera rural urbana y en agua dulce luego del tratamiento térmico de temple. Se comercializa en estado recocido.

Aplicaciones

Se recomienda para piezas que necesitan tener gran resistencia al desgaste y una resistencia media a la corrosión. Se utiliza para fabricar partes de válvulas y bombas, grifería, cuchillos, instrumentos quirúrgicos, herramientas manuales y discos de freno.

Forma	Color
○	

Estado de Suministro	Rango de Medidas
Con tolerancia dimensional ISO 286-2 h11	3/4" a 6"

Propiedades Mecánicas		Composición Química					
Bajo Tratamiento	Dureza Máxima	% C	% Mn (máx.)	% Si (máx.)	% Cr	% P (máx.)	% S (máx.)
Térmico de Recocido	255 HB	≥ 0,15	1,00	1,00	12,00 - 14,00	0,04	0,03

cción mecánica

Fuente: [33]

Anexos II. Metodología



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II

Pág. 19

Tabla II. 1 Método ordinal corregido de criterios ponderados de C. Riba

Método ordinal corregido de criterios ponderados

MÉTODO	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
Método ordinal corregido de criterios ponderados	Evaluación entre diversas alternativas y criterios	Tablas de evaluaciones de alternativas y criterios

Este método de diseño, corresponde hacer una evaluación de las mismas que sirva de base para la posterior toma de decisiones. Estas evaluaciones en general no se centran sobre un determinado elemento, sino que se deben ponderar distintos aspectos como alternativas y criterios.

Alternativas.

Como mínimo debe de disponerse de dos alternativas (lo más adecuado es entre 3 y 6) cuyas características deben ser diferentes.

Criterios.

Hay que establecer los criterios en base a los cuales las alternativas deberán ser evaluadas, así como también la ponderación relativa entre ellas.

Poniéndolos en orden de preferencia a su evaluación global, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos, donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los siguientes valores:

1	Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas
0,5	Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente (=) al de las columnas
0	Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; <) que el de las columnas

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna 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 respectivo criterio.

Fuente: [25]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II

Pág. 24-37

Tabla II. 2 Parámetros del Factor de superficie

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: [27, p. 337]

Tabla II. 3 Efectos de temperatura de operación

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Fuente: [27, p. 337]

Tabla II. 4 Factor de modificación de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_α
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: [27, p. 337]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II.

Pág. 26 y 35

Descripción

Motor Paso A Paso Nema 17 1.68 A 45 Ncm Cmprodemaq

Precio incluye IVA
6 Meses de garantía

Este motor paso a paso bipolar Nema 17 con ángulo de paso de 1,8 grados y tamaño 42x42x48 mm. Tiene 4 cables, cada fase consume 1,68 A, con un par de retención de 45 Ncm (64 oz.in). Es una muy buena opción para impresoras 3D.

Especificaciones eléctricas:

Manufacturer Part Number: 17HS19-1684S1

Motor Type: Bipolar Stepper

Step Angle: 1.8 deg

Holding Torque: 45Ncm(64oz.in)

Rated Current/phase: 1.68A

Voltage: 2.8V

Phase Resistance: 1.65ohms

Inductance: 2.8mH \pm 20%(1KHz)

Especificaciones generales

Frame Size: 42 x 42mm

Body Length: 48mm

Shaft Diameter: F5mm

Front Shaft Length: 24mm

Number of Leads: 4

Lead Length: 1000mm

Weight: 390g



Figura II. 1. Dimensiones del motor nema17, eje Z y eje X

Fuente: [34]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II.

Pág. 39

ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS

- Tipo: Motor a pasos bipolar híbrido
- Nombre: Nema 23
- Modelo: OK57H18112A
- Marca: OUKEDA
- Peso: 1.6 Kg
- Tamaño: 56.5 x 56.5 x 113 mm
- Voltaje nominal: 12V ~ 24V DC
- Corriente: 4.2 A / Fase
- Fase: 2 fases
- Sosteniendo Torque: 300 Ncm ó 3 N.m
- Torque en kg-cm: 30.59 k.cm
- Ángulo de paso: 1.8 grados
- Resistencia / Fase: 1.0 Ω
- Inductancia de fase: 5mH
- Êtel Tipo D 20 x Φ 8mm



Figura II. 2. Motor nema23, eje Y

Fuente: [34]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II.

Pág. 36

Tabla II. 5 Perfil estructural “G”

DIMENSIONES				PESOS			SECCION	EJE X-X			PROPIEDADES		
A	B	C	e	6metros	1metro	I		W	I	I	W	I	
mm	mm	mm	mm	Kg	Kg	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	
60	30	10	1.5	9.19	1.53	1.95	11.02	3.67	2.38	2.43	1.25	1.12	
60	30	10	2	11.94	1.99	2.54	13.98	4.66	2.35	3.01	2.85	1.09	
60	30	10	3	16.98	2.83	3.61	18.9	6.3	2.29	3.87	3.69	1.04	
80	40	15	1.5	13.18	2.20	2.80	27.43	6.86	3.13	6.39	2.53	1.51	
80	40	15	2	16.68	2.78	3.54	35.30	8.81	3.16	8.07	3.18	1.51	
80	40	15	3	24.06	4.01	5.11	49.00	12.30	3.10	10.80	4.27	1.46	
100	50	15	2	20.40	3.40	4.34	69.20	13.80	4.00	15.00	4.57	1.86	
100	50	15	3	29.70	4.95	6.31	97.80	19.60	3.94	20.50	6.25	1.80	
100	50	20	4	40.26	6.71	8.55	126.70	25.34	3.85	28.50	9.05	1.83	
100	50	25	5	51.12	8.52	10.86	152.51	30.50	3.75	36.52	12.09	1.83	
125	50	15	2	22.80	3.80	4.84	116.00	18.60	4.91	16.20	4.69	1.83	
125	50	15	3	33.24	5.54	7.06	165.00	26.50	4.84	22.20	6.43	1.77	
125	50	20	4	44.99	7.49	9.55	217.00	34.70	4.77	30.90	9.32	1.80	
125	50	25	5	57.00	9.50	12.11	264.32	42.29	4.67	39.88	12.46	1.82	
125	50	30	6	70.78	11.78	14.73	307.13	49.14	4.56	48.69	15.81	1.81	
150	50	15	2	25.14	4.14	5.34	179.00	23.80	5.79	17.10	4.78	1.79	
150	50	15	3	36.78	6.13	7.81	255.00	34.00	5.72	23.50	6.56	1.73	
150	50	20	4	49.68	8.28	10.50	337.00	44.90	5.65	32.90	9.52	1.77	
150	75	25	5	74.70	12.45	15.86	545.36	72.71	5.86	117.22	24.17	2.72	
150	75	30	6	93.42	15.57	19.23	641.40	85.52	5.77	114.47	30.57	2.74	
175	50	15	2	27.48	4.58	5.84	258.00	29.40	6.64	17.90	4.85	1.75	
175	50	15	3	40.32	6.72	8.56	369.00	42.20	6.57	24.60	6.66	1.70	
175	75	25	4	65.40	10.9	13.90	653.00	74.60	6.84	105.00	20.90	2.75	
175	75	25	5	80.58	13.43	17.11	785.95	89.82	6.78	123.88	24.63	2.69	

Fuente: [35]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II

Pág. 40

Tabla II. 6 Perfil estructural cuadrado

DIMENSIONES		PESO Kg/m	AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPEJOR mm		AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
12	0,8	0,30	0,37	0,09	0,14	0,48
12	1,0	0,37	0,50	0,11	0,18	0,47
15	0,8	0,36	0,45	0,15	0,20	0,58
15	1,0	0,45	0,61	0,20	0,26	0,57
20	0,8	0,49	0,61	0,38	0,38	0,79
20	1,0	0,60	0,83	0,50	0,50	0,77
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
25	0,8	0,61	0,77	0,76	0,61	0,99
25	1,0	0,76	1,05	1,00	0,80	0,98
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
30	0,8	0,74	0,93	1,33	0,89	1,19
30	1,0	0,92	1,27	1,77	1,18	1,18
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,47	1,15
40	0,8	0,99	1,25	3,21	1,61	1,60
40	1,0	1,23	1,71	4,32	2,16	1,59
40	1,2	1,47	1,86	4,68	2,34	1,59
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
50	1,2	1,84	2,34	9,30	3,72	1,99
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97

Fuente: [35]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II

Pág. 41

Tabla II. 7 Vida útil especificada

Valores orientativos de la vida útil especificada de los diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida útil especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	> 100 000

Fuente: [36]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II

Pág. 41

Tabla II. 8 Tipos de chumaceras

Rodamientos de bolas

Cargas: Baja-Moderada

– Radial y/o Axial

Velocidad: baja-alta

Desalineamiento: 2° Static

– Auto compensado

Expansión: Only SCH-E



Rodamientos de rodillos cónicos

Cargas: Baja-Pesada

– Radial y/o Axial

Velocidad: baja-moderada

Desalineamiento: ~4° estático*

– Manualmente alineable

Expansión: Lo determina el diseño de la carcasa*

*Type E no acomoda Des. ni Exp.



Rodamientos de rodillos esféricos

Cargas: Moderada-Pesada

– Radial \geq Axial

Velocidad: baja-alta

Desalineamiento: $\leq 1^\circ$

– Auto compensado

– Permite mov. dinámico

Expansión: Convertible en terreno



Fuente: [37]

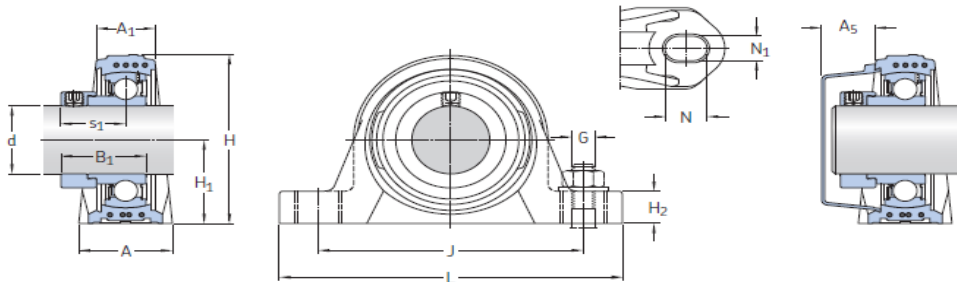


FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II

Pág. 40

Tabla II. 9 Selección de chumaceras



Dimensiones

d	A	A ₁	B ₁	H	H ₁	H ₂	J	L	N	N ₁	G	s ₁	A ₅
mm													
20	32	21	31	64	33,3	16	96	126	17,6	12,4	M10	23,9	18,5
25	32	22	30,9	70,5	36,5	16	105	134	17,6	12,4	M10	23,4	18
30	40	25	35,6	82	42,9	19	121	159	21,4	14,4	M12	26,6	20
35	45	27	38,8	93	47,6	19	126	164	21,4	14,4	M12	29,3	22
40	48	30	43,6	99	49,2	19	136	176	21,4	14,4	M12	33,1	23,5

Capacidad de carga básica dinámica	Capacidad de carga estática	Carga límite de fatiga	Velocidad límite	Masa	Designación del soporte	Designación del rodamiento	Designación adecuada de la tapa lateral	Designación de la unidad
C	C ₀	P _u	r. p. m.	kg	–	–	–	–
kN	kN	kN	r. p. m.	kg	–	–	–	–
12,7	6,55	0,28	8 500	0,26	SYK 504	E2.YET 204	ECY 204	SYK 20 FE
14	7,8	0,335	7 000	0,31	SYK 505	E2.YET 205	ECY 205	SYK 25 FE
19,5	11,2	0,475	6 300	0,50	SYK 506	E2.YET 206	ECY 206	SYK 30 FE
25,5	15,3	0,655	5 300	0,69	SYK 507	E2.YET 207	ECY 207	SYK 35 FE
30,7	19	0,8	4 800	0,86	SYK 508	E2.YET 208	ECY 208	SYK 40 FE

Fuente: [36]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Características principales:

- Amplio rango de voltaje de la señal de control, de + 5V a 24V. Se puede utilizar directamente sin ningún circuito externo.
- Control de corriente media, salida de corriente sinusoidal bifásica
- El algoritmo DSP servo microstep, bajo ruido, baja vibración
- El máximo, el voltaje de la fuente de alimentación puede ser 80VAC / 110VDC
- Corriente máxima de salida de 2.6A a 7.2A
- La corriente de reposo se puede ajustar a la mitad
- Puede accionar motores paso a paso de 4, 6 y 8 cables de dos fases y cuatro fases
- Entrada de señal de aislamiento de optoacoplador de alta velocidad, frecuencia de respuesta de pulso de hasta 200 kHz
- Fuerte capacidad de interferencia anti-alta frecuencia
- Fácil de configurar la corriente de salida
- Precisión de micropasos: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 5, 10, 20, 25, 40, 50, 100, 125
- Protección contra sobretensión, subtensión, sobrecorriente y cortocircuito de fase a fase

Especificaciones electricas:

- Voltaje de entrada: 24 V – 110 V CC / 18 – 80 V CA
- Corriente máxima de salida: 2.6 – 7.2A
- Frecuencia máxima de pulso de señal: 200 KHZ
- Voltaje de la señal de control: + 5 – 24 VCC
- Corriente de señal de control: 7 – 16mA
- Resistencia de aislamiento: 500 MΩ

Entorno operativo y otras especificaciones

- Enfriamiento: enfriamiento neto o enfriamiento forzado
- Medio ambiente: a prueba de polvo, niebla de aceite y gases corrosivos
- Temperatura ambiente: 0 °C – + 50 °C
- Humedad: 40 – 90% RH
- Temperatura máxima de funcionamiento: 70 °C
- Vibración: 10 – 55 Hz / 0,15 mm
- Temperatura de almacenamiento: -20 °C – 125 °C
- Peso aproximado. 500 g (17,64 onzas)



Figura II. 3. Driver DM860N

Fuente: [29]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Descripción

- Poco ruido, baja velocidad del motor.
- Amplio rango de voltaje de la señal de control, de + 5V a 24V.
- La velocidad máxima del motor: 500 RPM. (Valor recomendado: 200 RPM).
- Protección contra sobretensión, subtensión, sobrecorriente y cortocircuito de fase a fase.
- Adecuado para motor paso a paso Nema 17, 23, 24.
- >Ver más detalles del producto.
- Importado de EE . UU .

El DM556N es un controlador paso a paso totalmente digital desarrollado con un algoritmo de control DSP avanzado basado en la última tecnología de control de movimiento . Es especialmente eficaz en dispositivos en los que los usuarios esperan un bajo coste y poco ruido. Su función de autoidentificación del motor y autoconfiguración de parámetros ofrece una configuración rápida para motores óptimos con diferentes motores.

Características principales:

- * Amplio rango de voltaje de la señal de control, de + 5V a 24V. Se puede usar directamente sin ningún circuito externo
- * Bajo nivel de ruido, baja velocidad del motor
- * Control de corriente promedio, salida de corriente sinusoidal de dos fases
- * El algoritmo DSP de micropasos servo, baja vibración
- * El máx. El voltaje de la fuente de alimentación puede ser de 40 VCA / 50 VCC
- * La corriente de reposo se puede ajustar a la mitad
- * Puede conducir motores paso a paso de 4, 6 y 8 cables, bifásicos y de cuatro fases
- * Entrada de señal de aislamiento de optoacoplador de alta velocidad, frecuencia de respuesta de pulso hasta 200 kHz
- * Fuerte capacidad de interferencia anti-alta frecuencia
- * Precisión de micropasos: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 5, 10, 20, 25, 40, 50, 100, 125
- * Sobretensión, subtensión, sobrecorriente y fase a fase protección contra cortocircuitos
- * La velocidad máxima del motor: 500 RPM. (Valor recomendado: 200 RPM). Si necesita una velocidad de motor más alta, recomiende DM556T

Especificaciones eléctricas:

- * Voltaje de entrada: 20V ~ 50VDC / 15 ~ 40VAC
- * Corriente máxima de salida: 1.4 ~ 5.6A
- * Frecuencia máxima de pulso de señal: 200KHZ
- * Voltaje de señal de control: + 5 ~ 24VDC
- * Corriente de señal de control: 7 ~ 16mA
- * Resistencia de aislamiento: 500MΩ

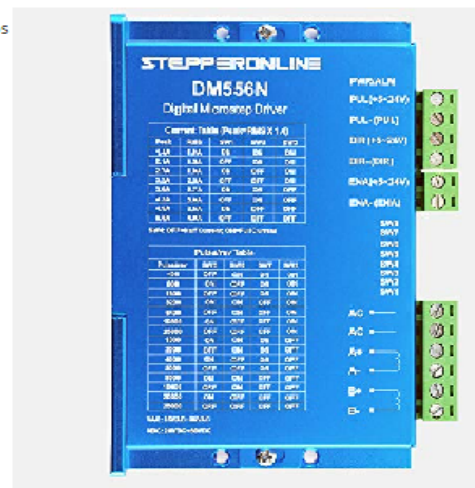


Figura II. 4. Driver DM556N

Fuente: [30]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Tabla II. 10 Cargas para la selección de la fuente de poder

Cargas	Voltaje (V)	Corriente (A) If
Controlador CNC BL-MACH-V1.1	24V	3.5A
NEMA17 + Driver DM556N	24V	5.2A
NEMA17 + Driver DM556N	24V	5.2A
NEMA23 + Driver DM860N	24v	6.2A

Elaborado por: Llambo y López

Según las cargas obtenidas se pasa a calcular la corriente de suministro mediante la siguiente formula:

$$I_s = \left(\frac{2}{3}\right) * (\sum I_f)$$

$$I_s = \left(\frac{2}{3}\right) * (3.5+5.2+5.2+6.2+0.12)A$$

$$I_s = (13.48A)$$

Para luego multiplicar **I_s** por el voltaje de entrada y sacar la potencia requerida.

$$P = (13.48A) * (24V) W$$

$$P = 323.52W$$

Con todo esto se logra seleccionar la fuente de alimentación de conmutación de CC, 24V 14.6A 350W. la cual aparte de suministrar la potencia requerida tambien cuenta con protecciones de cortocircuito, sobrecarga, sobretensión y un ventilador que se acciona con temperaturas superiores a 122 °F.



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



LRS-350 series

■ Features

- AC input range selectable by switch
- Withstand 300VAC surge input for 5 second
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage / Over temperature
- Forced air cooling by built-in DC fan
- Built-in cooling Fan ON-OFF control
- 1U low profile
- Withstand 5G vibration test
- LED indicator for power on
- No load power consumption < 0.75W
- 100% full load burn-in test
- High operating temperature up to 70°C
- Operating altitude up to 5000 meters (Note.8)
- High efficiency, long life and high reliability

■ Description

LRS-350 series is a 350W single-output enclosed type power supply with 30mm of low profile design. Adopting the input of 115VAC or 230VAC (select by switch), the entire series provides an output voltage line of 3.3V, 4.2V, 5V, 12V, 15V, 24V, 36V and 48V.

In addition to the high efficiency up to 89%, with the built-in long life fan LRS-350 can work under -25~+70°C with full load. Delivering an extremely low no load power consumption (less than 0.75W), it allows the end system to easily meet the worldwide energy requirement. LRS-350 has the complete protection functions and 5G anti-vibration capability; it is complied with the international safety regulations such as IEC/UL 62368-1. LRS-350 series serves as a high price-to-performance power supply solution for various industrial applications.



■ Applications

- Industrial automation machinery
- Industrial control system
- Mechanical and electrical equipment
- Electronic instruments, equipments or apparatus

■ Model Encoding

LRS - 350 - 3.3

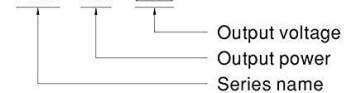


Figura II. 5. Fuente conmutada Mean Well Lrs-350-24

Fuente: [31]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II

Pág. 40

SPECIFICATION

MODEL	LRS-350-3.3	LRS-350-4.2	LRS-350-5	LRS-350-12	LRS-350-15	LRS-350-24	LRS-350-36	LRS-350-48		
OUTPUT	DC VOLTAGE	3.3V	4.2V	5V	12V	15V	24V	36V	48V	
	RATED CURRENT	60A	60A	60A	29A	23.2A	14.6A	9.7A	7.3A	
	CURRENT RANGE	0 ~ 60A	0 ~ 60A	0 ~ 60A	0 ~ 29A	0 ~ 23.2A	0 ~ 14.6A	0 ~ 9.7A	0 ~ 7.3A	
	RATED POWER	198W	252W	300W	348W	348W	350.4W	349.2W	350.4W	
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	150mVp-p	200mVp-p	200mVp-p	
	VOLTAGE ADJ. RANGE	2.97 ~ 3.6V	3.6 ~ 4.4V	4.5 ~ 5.5V	10.2 ~ 13.8V	13.5 ~ 18V	21.6 ~ 28.8V	32.4 ~ 39.6V	43.2 ~ 52.8V	
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±4.0%	±4.0%	±3.0%	±1.5%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	
	LINE REGULATION Note.4	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	
	LOAD REGULATION Note.5	±2.5%	±2.5%	±2.0%	±1.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	
	SETUP, RISE TIME	1300ms, 50ms/230VAC		1300ms, 50ms/115VAC at full load						
HOLD UP TIME (Typ.)	16ms/230VAC		12ms/115VAC at full load							
INPUT	VOLTAGE RANGE	90 ~ 132VAC / 180 ~ 264VAC by switch		240 ~ 370VDC (switch on 230VAC)						
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz								
	EFFICIENCY (Typ.)	79.5%	81.5%	83.5%	85%	86%	88%	88.5%	89%	
	AC CURRENT (Typ.)	6.8A/115VAC		3.4A/230VAC						
	INRUSH CURRENT (Typ.)	60A/115VAC		60A/230VAC						
	LEAKAGE CURRENT	<2mA / 240VAC								
PROTECTION	OVER LOAD	110 ~ 140% rated output power 3.3~36V Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed. 48V Shut down and latch off o/p voltage, re-power on to recover.								
	OVER VOLTAGE	3.8 ~ 4.45V	4.6 ~ 5.4V	5.75 ~ 6.75V	13.8 ~ 16.2V	18 ~ 21V	28.8 ~ 33.6V	41.4 ~ 46.8V	55.2 ~ 64.8V	
	OVER TEMPERATURE	3.3~36V Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed. 48V Shut down and latch off o/p voltage, re-power on to recover.								
FUNCTION	FAN ON/OFF CONTROL (Typ.)	RTH3 ≥ 50°C FAN ON, ≤ 40°C FAN OFF								
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-25 ~ +70°C (Refer to "Derating Curve")								
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing								
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH								
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)								
SAFETY	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 5G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes								
	SAFETY STANDARDS	IEC/UL 62368-1, BSMI CNS14336-1, EAC TP TC 004, KC K60950-1(for LRS-350-12/24 only) approved								
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC		I/P-FG:2KVAC		O/P-FG:0.5KVAC				
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms/500VDC / 25°C / 70% RH								
	EMC EMISSION	Compliance to BSMI CNS13438, EAC TP TC 020, KC KN32, KN35(for LRS-350-12/24 only)								
	EMC IMMUNITY	Compliance to EAC TP TC 020, KC KN32, KN35(for LRS-350-12/24 only)								
OTHERS	MTBF	327.9K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)								
	DIMENSION	215*115*30mm (L*W*H)								
	PACKING	0.76Kg; 15pcs/12.4Kg/0.78CUFT								
NOTE	<ol style="list-style-type: none"> All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25 °C of ambient temperature. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation. Line regulation is measured from low line to high line at rated load. Load regulation is measured from 0% to 100% rated load. Length of set up time is measured at cold first start. Turning ON/OFF the power supply very quickly may lead to increase of the set up time. The 150% peak load capability is built in for up to 1 second for 12~48V.LRS-350 will enter hiccup mode if the peak load is delivered for over 1 second and will recover once it resumes to the rated current level(115VAC/230VAC). The ambient temperature derating of 5 °C /1000m is needed for operating altitude greater than 2000m(6500ft). This power supply does not meet the harmonic current requirements outlined by EN61000-3-2. Please do not use this power supply under the following conditions: 									

Figura II. 6. Fuente conmutada Mean Well Lrs-350-24

Fuente: [31]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II.

Tabla II. 11 Ángulos

**PERFILES IMPORTADOS
ANGULOS**

Especificaciones Generales

- Calidad** : ASTM A 36 SAE 1008
- Otras calidades** : Previa Consulta
- Largo normal** : 6,00 m
- Otros largos** : Previa Consulta
- Acabado** : Natural
- Otro acabado** : Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	a	e			
AL 20X2	20	2	0.60	3.62	0.76
AL 20X3	20	3	0.87	5.27	1.11
AL 25X2	25	2	0.75	4.56	0.96
AL 25X3	25	3	1.11	6.68	1.41
AL 25X4	25	4	1.45	8.75	1.84
AL 30X3	30	3	1.36	8.13	1.71
AL 30X4	30	4	1.77	10.63	2.24
AL 40X3	40	3	1.81	11.00	2.31
AL 40X4	40	4	2.39	14.34	3.04
AL 40X6	40	6	3.49	21.34	4.44
AL 50X3	50	3	2.29	13.85	2.91
AL 50X4	50	4	3.02	18.33	3.84
AL 50X6	50	6	4.43	26.58	5.64
AL 60X6	60	6	5.37	32.54	6.84
AL 60X8	60	8	7.09	42.54	9.03
AL 65X6	65	6	5.84	35.25	7.44
AL 70X6	70	6	6.32	38.28	8.05
AL 75X6	75	6	6.78	40.65	8.64
AL 75X8	75	8	8.92	54.18	11.36
AL 80X8	80	8	9.14	56.95	11.64
AL 100X6	100	6	9.14	56.95	11.64
AL 100X8	100	8	12.06	74.05	15.36
AL 100X10	100	10	15.04	90.21	19.15
AL 100X12	100	12	18.26	109.54	22.56

Fuente: [38]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II.

Tabla II. 12 Platinas en aceros inoxidables – AISI 304

DIMENSIONES		PESO		AREA
mm		kg/m	kg/6m	cm2
a	e			
12	3	0.28	1.70	0.36
12	4	0.38	2.45	0.48
12	6	0.57	3.40	0.72
19	3	0.45	2.68	0.57
19	4	0.60	3.58	0.76
19	6	0.89	5.37	1.15
25	3	0.59	3.53	0.75
25	4	0.79	4.71	1.00
25	6	1.18	7.07	1.50
30	3	0.71	4.24	0.90
30	4	0.94	5.65	1.20
30	6	1.41	8.47	1.80
30	9	2.12	12.71	2.70
30	12	2.83	16.95	3.60
38	3	0.89	5.37	1.15
38	4	1.19	7.16	1.52
38	6	1.79	11.40	2.28
38	9	2.69	16.11	3.42
38	12	3.58	21.48	4.56
50	3	1.18	7.08	1.50
50	4	1.58	9.42	2.00
50	6	2.26	14.16	3.00
50	9	3.53	21.20	4.50
50	12	4.71	28.26	6.00
65	6	3.06	18.37	3.90
65	9	4.59	27.55	5.85
65	12	6.12	36.73	7.80
75	6	3.53	21.20	4.50
75	9	5.30	31.80	6.75
75	8	7.07	28.26	9.00
75	12	7.07	42.39	9.00
100	6	4.71	28.26	6.00
100	8	7.07	37.68	9.00
100	9	7.07	43.00	9.00
100	12	9.42	58.00	12.00
120	12	67.82	67.82	14.40
150	15	105.88	105.88	22.50
150	20	145.44	145.00	30.00

Fuente: [38]

Anexos III. Análisis de Resultados



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo III.

Tabla III. 1 Dimensionamiento de la máquina según cálculos

Dimensionamiento del Tornillo guía en eje Z		
Fórmula	Resultado	Ecuación
$P = m \times g$	59.3505 N	Ec. (4.1)
$M_{\max} = \frac{P \cdot X}{2}$	3056.55 Nmm	Ec. (4.2)
$\sigma_{\max} = \frac{Sy}{FS}$	$69 \frac{N}{mm^2}$	Ec. (4.3)
$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\max}}$	44.3 mm^3	Ec. (4.4)
$d = \sqrt[3]{\frac{32xS}{\pi}}$	7.7 mm	Ec. (4.5)
$T = \left(\frac{dmxW}{2} \right)$	29.675 N-cm	Ec. (4.6)
$ka = aS_{ut}^b$	0.84	Ec. (4.7)
$kb = 1.24 * (d)^{-0.107}$	0.97	Ec. (4.8)
$ke = 1 - 0.08Za$	0.753	Ec. (4.11)
$Se = Ka*Kb*Kc*Kd*Ke*Kf*S'e$	148.63 MPa	Ec. (4.12)
$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_{a'} = \sigma_{eq}}{S_e} + \frac{\sigma_{m'} = \sigma_{eqm}}{S_{ut}}$	0.5853 n = 1.70	Ec. (4.13)

Elaborado por: Llambo y López



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo III.

Tabla III. 1 Dimensionamiento de la máquina según cálculos

Diseño del eje guiado X		
$P = m \times g$	55.25 N	Ec. (4.1)
$M_{\max} = \frac{P X}{2}$	22100 Nmm	Ec. (4.2)
$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{FS}$	$69 \frac{N}{mm^2}$	Ec. (4.3)
$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\max}}$	320.3 mm ³	Ec. (4.4)
$d = \sqrt[3]{\frac{32xS}{\pi}}$	14.83 mm	Ec. (4.5)
$ka = aS_{ut}^b$	0.84	Ec. (4.7)
$kb = 1.24 * (d)^{-0.107}$	0.922	Ec. (4.8)
$ke = 1 - 0.08Za$	0.753	Ec. (4.11)
$Se = Ka*Kb*Kc*Kd*Ke*Kf*S'e$	166.207 MPa	Ec. (4.12)
$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a' = \sigma_{eq}}{S_e} + \frac{\sigma_m' = \sigma_{eqm}}{S_{ut}}$	0.5362 n = 1.86	Ec. (4.13)

Diseño del diámetro del tornillo de potencia del eje x		
$P = m \times g$	55.25 N	Ec. (4.1)
$M_{\max} = \frac{P X}{2}$	23329.3125 Nmm	Ec. (4.2)
$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{FS}$	$61.333 \frac{N}{mm^2}$	Ec. (4.3)
$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\max}}$	380.4 mm ³	Ec. (4.4)
$d = \sqrt[3]{\frac{32xS}{\pi}}$	15.7 mm	Ec. (4.5)
$ka = aS_{ut}^b$	0.81	Ec. (4.7)

$kb = 1.24 * (d)^{-0.107}$	0.92	Ec. (4.8)
$ke = 1 - 0.08Za$	0.753	Ec. (4.11)
$Se = Ka*Kb*Kc*Kd*Ke*Kf*S'e$	179.6 MPa	Ec. (4.12)
$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a' = \sigma_{eq}}{S_e} + \frac{\sigma_m' = \sigma_{eqm}}{S_{ut}}$	0.436 n = 2.3	Ec. (4.13)
$dm = d_{ext} - \frac{p}{2}$	11 mm	Ec. (4.14)
$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{p}{\pi * dm}\right)$	16.14°	Ec. (4.15)
$T = \left(\frac{dmxW}{2}\right)X\left(\frac{\mu + \text{tang}(\lambda)}{1 - \mu * \text{tang}(\lambda)}\right)$	398.4 N - mm	Ec. (4.16)
Diseño de soportes en el eje X		
$P = m * g$	224.5 N	Ec. (4.1)
$M_{\max} = \frac{P * X}{2}$	106076.25 Nmm	Ec. (4.2)
$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{FS}$	55.555 $\frac{N}{\text{mm}^2}$	Ec. (4.3)
$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\max}}$	1.9094 mm ³	Ec. (4.4)

Elaborado por: Llambo y López



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II.

Tabla III. 1 Dimensionamiento de la máquina según cálculos

Diseño del diámetro del tornillo de potencia del eje Y		
$P = m \times g$	132.54 N	Ec. (4.1)
$M_{\max} = \frac{P X}{2}$	61415.7225 Nmm	Ec. (4.2)
$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{F S}$	$61.333 \frac{N}{mm^2}$	Ec. (4.3)
$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\max}}$	1001.35 mm ³	Ec. (4.4)
$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times S}{\pi}}$	21.686mm	Ec. (4.5)
$ka = a S_{ut}^b$	0.81	Ec. (4.7)
$kb = 1.24 * (d)^{-0.107}$	0.89	Ec. (4.8)
$ke = 1 - 0.08Za$	0.753	Ec. (4.11)
$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Kf * S'e$	175.67 MP	Ec. (4.12)
$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_{a'} = \sigma_{eq}}{S_e} + \frac{\sigma_{m'} = \sigma_{eqm}}{S_{ut}}$	0.444 n = 2.25	Ec. (4.13)
$T = \left(\frac{dm \times W}{2}\right) X \left(\frac{\mu + \tan(\lambda)}{1 - \mu * \tan(\lambda)}\right)$	156.93 N-cm	Ec. (4.16)
$dm = d_{ext} - \frac{p}{2}$	17 mm	Ec. (4.14)
$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{p}{\pi * dm}\right)$	10.6053°	Ec. (4.15)
Diseño de soportes en el eje Y		
$P = m \times g$	357.5 N	Ec. (4.1)

$M_{\max} = \frac{P X}{2}$	137637.5 Nmm	Ec. (4.2)
$\sigma_{\max} = \frac{S y}{F S}$	$55.555 \frac{N}{\text{mm}^2}$	Ec. (4.3)
$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\max}}$	2.5 mm ³	Ec. (4.4)

Diseño de chumacera

$C = P \left(\frac{l_D * n_D * 60}{10^6} \right)^{1/a}$	1.98 KN	Ec. (4.21)
--	---------	--------------

Elaborado por: Llambo y López

**Anexos IV. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE
IMPACTO**






FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo IV.

Pág. 56

Tabla IV. 1 Análisis de costos de Máquinas CNC para corte por plasma

MÁQUINAS CNC PARA CORTE POR PLASMA			
Marca:	CNC Ecuador	CNC MASTER	Extreme Welding
Modelo	P1313	SERIE 6000	Extreme Intecut S
Echo en:	Importada	Ecuador	USA
dimensiones:	X 1300 mm, Y 2800 mm	1220x2440mm	1220x2440mm
Página web	https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-427138508-plasma-cnc-para-corte-metal-importada-_JM#position=5&type=item&tracking_id=3b0e2926-7304-423a-8462-651c6bee8096	https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-425157698-mesa-de-corte-plasma-cnc-master-6100-_JM?quantity=1#position=23&type=item&tracking_id=8fddcae8-8701-47fe-adf0-c606d331ce41	https://www.codinter.com/co/producto/mesa-corte-plasma-trabajo-ligero-extreme-intecut-s/
Imagen			
Costo	US\$11000,00	US\$ 7.499	US\$ 19.000
Detalle a valorar	no incluye un equipo plasma	no incluye equipo plasma	no incluye equipo plasma

Elaborado por: Llambo y López



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo IV.

Tabla IV.1.1 Máquina de corte por plasma

Hypertherm®

Powermax45® XP

Sistema de plasma de calidad profesional para corte, ranurado y marcado de metal de 16 mm de espesor.



Capacidad	Espesor	Velocidad de corte
	Corte	
Recomendado	16 mm	500 mm/min
	22 mm	250 mm/min
Corte de separación (corte manual)	29 mm	125 mm/min
Perforación*	12 mm	
* Capacidad de perforación para uso manual o con control de altura de la antorcha automática		
Capacidad	Tasa de remoción de metal	Perfil de la ranura
	Ranurado	
Ranura común	3,4 kg por hora	3,2 mm P x 6,8 mm A

Fácil de usar y con diseño versátil

- El tamaño reducido y el peso liviano ofrecen portabilidad excepcional para un sistema de corte con capacidad nominal de 16 mm.
- Uso manual y mecanizado con interfaz CNC y conexión de antorcha FastConnect™.
- Tecnología patentada de corte con arrastre que facilita el uso, incluso a los operadores novatos.
- Acomete diferentes trabajos con varios estilos de antorcha y consumibles fáciles de usar.
- No es necesario cambiar la presión de aire. La tecnología Smart Sense™ asegura que siempre esté bien regulada.
- Marcado y ranurado de precisión con el nuevo proceso de bajo amperaje.

Máxima productividad

- Concluye los trabajos más rápido con velocidades de corte una y media veces mayores que las del oxicorte en acero al carbono de 6 mm.
- Menos retrabajos de limpieza y desbaste dada la calidad superior de corte y ranurado.
- Duramax Lock: Permite el rápido reemplazo de consumibles sin la necesidad de apagar el equipo con la nueva función inhabilitación de antorcha.

Resistente y confiable

- Antorchas Duramax® Lock concebidas para resistir a impactos y al calor.
- Tecnología SpringStart™ para un arranque consistente y una antorcha más confiable.
- Confiabilidad Hypertherm Certified™ que asegura el rendimiento en las condiciones más exigentes.

Estilos estándar de antorchas Duramax Lock
(visitar www.hypertherm.com para más opciones de antorchas)



Antorcha manual 75° Duramax Lock

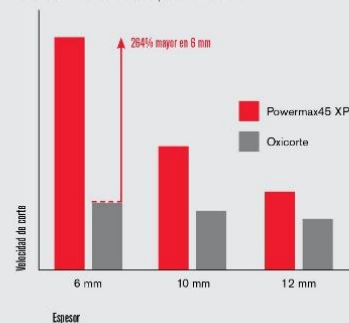


Antorcha manual 15° Duramax Lock



Antorcha mecanizada Duramax Lock

Rendimiento de corte relativo, acero al carbono



Fuente: [39]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II

Tabla IV.1.1 Máquina de corte por plasma

Especificaciones

Voltajes de entrada ($\pm 10\%$)	230 V, 1-F, 50-60 Hz 400 V, 3-F, 50-60 Hz
Corriente de entrada a 6,5 kW	230 V, 1-F, 33 A 400 V, 3-F, 10 A
Corriente de salida	10-45 A
Voltaje de salida nominal	145 VCD
Ciclo de trabajo a 40 °C	50% a 45 A, 230 V, 1-F 60% a 41 A, 230 V, 1-F 100% a 32 A, 230 V, 1-F 50% a 45 A, 400 V, 3-F 60% a 41 A, 400 V, 3-F 100% a 32 A, 400 V, 3-F
Voltaje en circuito abierto	275 VCD
Dimensiones con manijas	442 mm P; 173 mm A; 357 mm L
Peso con antorcha de 6,1 m	15 kg
Alimentación de gas	Corte: aire (limpio, seco y libre de aceite), nitrógeno, F5 Ranurado: aire (limpio, seco y libre de aceite), nitrógeno, F5 Marcado: aire (limpio, seco y libre de aceite), argón
Presión/rango de flujo de entrada de gas recomendados	188 l/min a 5,9 bar
Longitud cable potencia de alimentación	3 m
Tipo fuente de energía	Inversor - IGBT
Requisito al motor	12,5 kVA (10 kW) plena capacidad, salida 45 A
Eficacia eléctrica	88%
Capacidad de reciclado	100%
Certificaciones	CCC para uso en China. CE, RCM, CU, GOST-TR, UkrSEPRO y Serbia AAA para uso en Europa, Australia, Bielorrusia, Kazajstán, Rusia, Serbia, Ucrania y otros países donde se acepten estos marcados.
Garantía	Fuente de energía: 3 años Antorcha: 1 año

Fuente: [39]



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Anexo II.

Pág. 57

Tabla IV. 2 Análisis de costos mediante el cálculo del VAN y la TIR

CÁLCULO DEL VAN Y TIR

Años	Utilidad Neta
0	-C\$ 7.208,38
1	-C\$ 324,09
2	C\$ 3.874,99
3	C\$ 6.357,73
4	C\$ 7.741,68
5	C\$ 8.420,43

TMAR	5,00%
TIR=	42,3863%
VAN	C\$ 14.456,47
VAN =	0,0000

Si TIR ≥ TMAR - Acéptese la inversión

Si VAN ≥ 0 - Acéptese la inversión

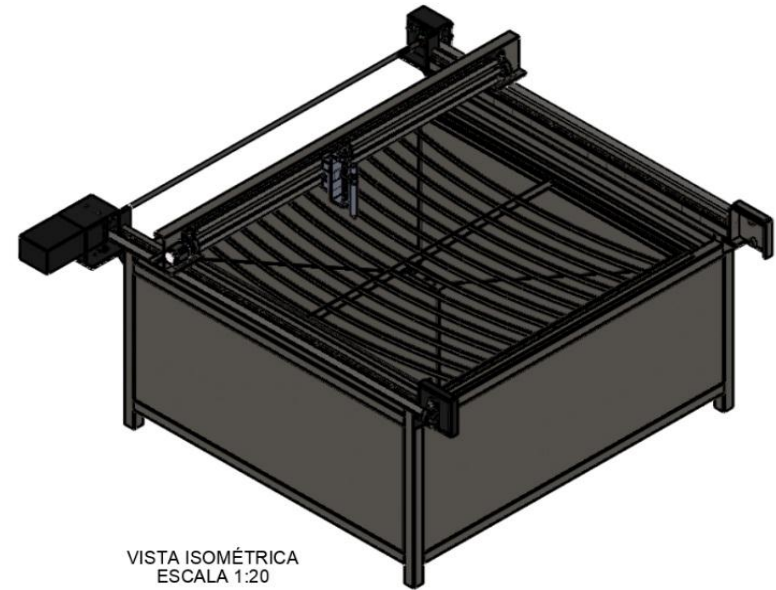
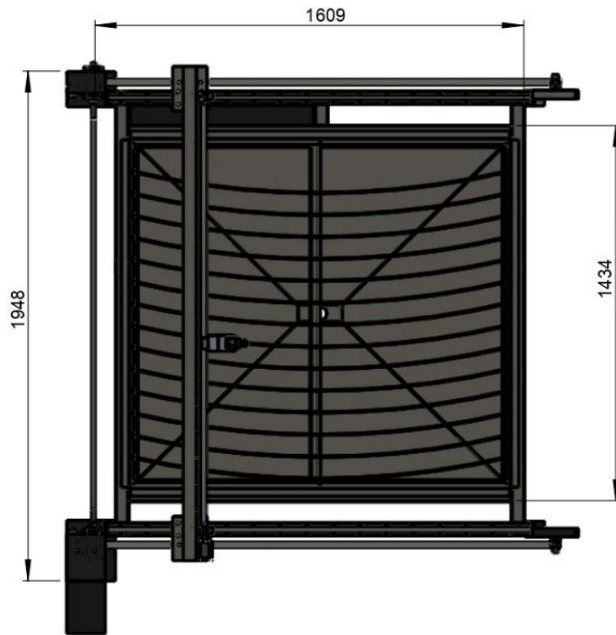
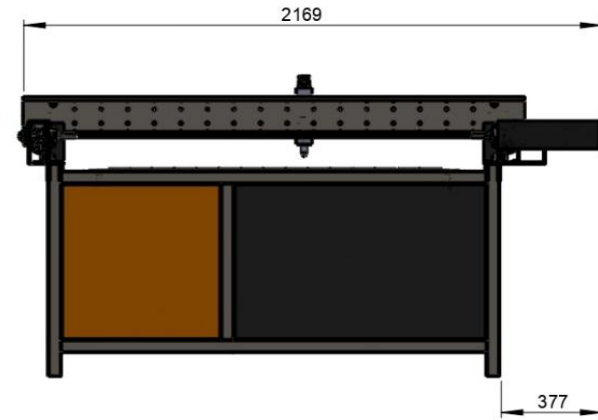
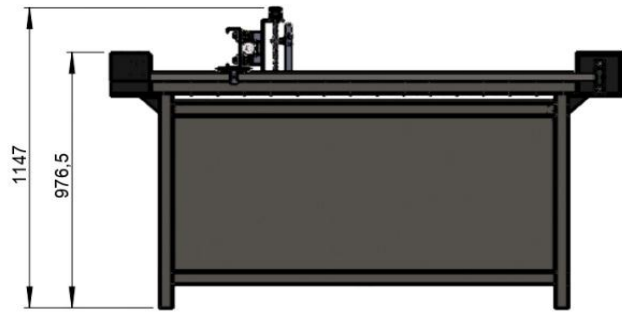
VAN =	Inversion Inicial	+	$\frac{FNE1}{(1+i)^1}$	+	$\frac{FNE2}{(1+i)^2}$	+	$\frac{FNE3}{(1+i)^3}$	+	...	+	$\frac{FNE_n}{(1+i)^n}$
CÁLCULO DEL VAN											
INICIAL	-7.208,38										
TMAR	5,00%										
VAN =	-7.208,38		$\frac{-324,09}{1,0500}$		$\frac{3.874,99}{1,1025}$		$\frac{6.357,73}{1,1576}$		$\frac{7.741,68}{1,21550625}$		$\frac{8.420,43}{1,276281563}$
VAN =	-7.208,38		-308,6580		3.514,7256		5.492,0437		6.369,1025		6.597,6295
VAN =	C\$ 14.456,47										

VAN =	Inversion Inicial	+	$\frac{FNE1}{(1+TIR)^1}$	+	$\frac{FNE2}{(1+TIR)^2}$	+	$\frac{FNE3}{(1+TIR)^3}$	+	...	+	$\frac{FNE_n}{(1+TIR)^n}$
COMPROBACION DE LA TIR											
INICIAL	-C\$ 7.208,38										
TIR	42,3863% Si TIR ≥ TMAR Acéptese la inversión										
VAN =	-C\$ 7.208,38		$\frac{-324,09}{1,4239}$		$\frac{3.874,99}{2,0274}$		$\frac{6.357,73}{2,8867}$		$\frac{7.741,68}{4,110292158}$		$\frac{8.420,43}{5,852492497}$
VAN =	-C\$ 7.208,38		-227,6138		1.911,3212		2.202,4059		1.883,4875		1.438,7772
VAN =	0,0000= Si VAN ≥ 0 - Acéptese la inversión										

Análisis de las alternativas		
VAN	TIR	
Si VAN ≥ 0	Si TIR ≥ TMAR	Acéptese la inversión
Si VAN < 0	Si TIR < TMAR	Rechácese la inversión

Elaborado por: Llambo y López

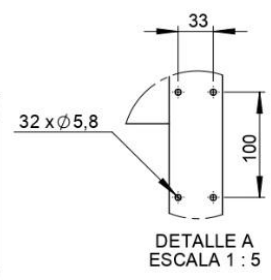
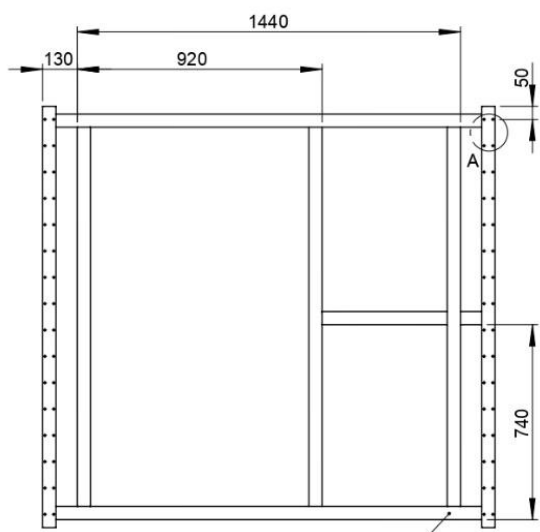
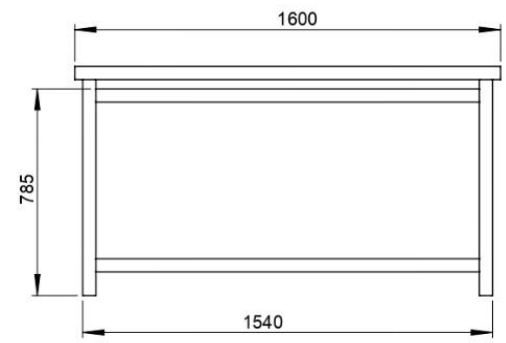
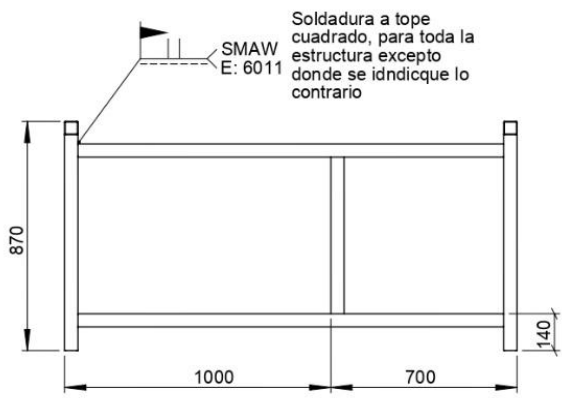
PLANOS



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:20

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI				
Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA			
Dib. 20/08/20	Llambo - López	1:20				
Rev. 20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc					
Apro.	DOCENTE					
Materiales:		Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:	
ASTM A36		±1	1	Titulación II	CORTADORA POR PLASMA	

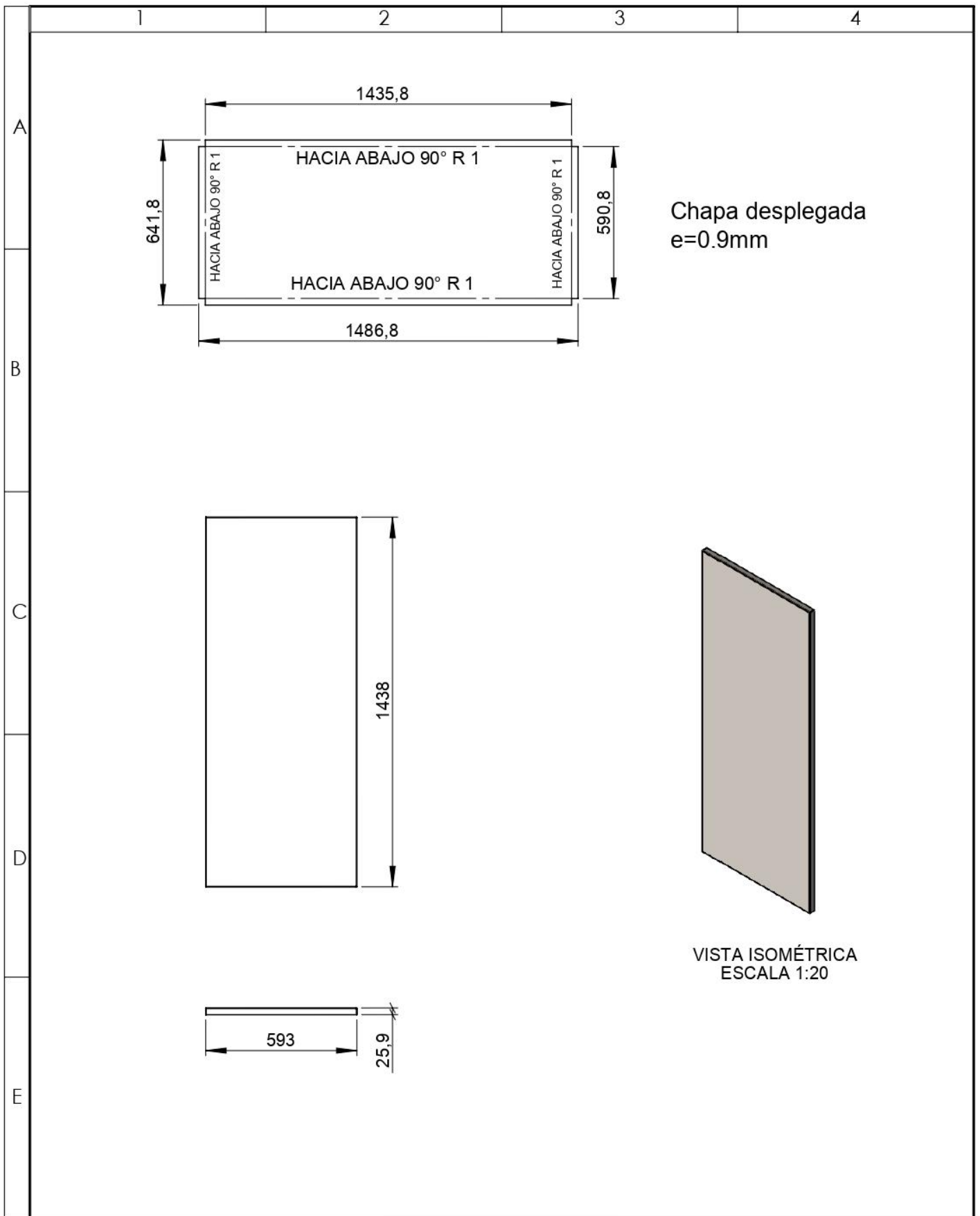
N6 PULIDO



Tubo estructural cuadrado 50x2 para toda la estructura



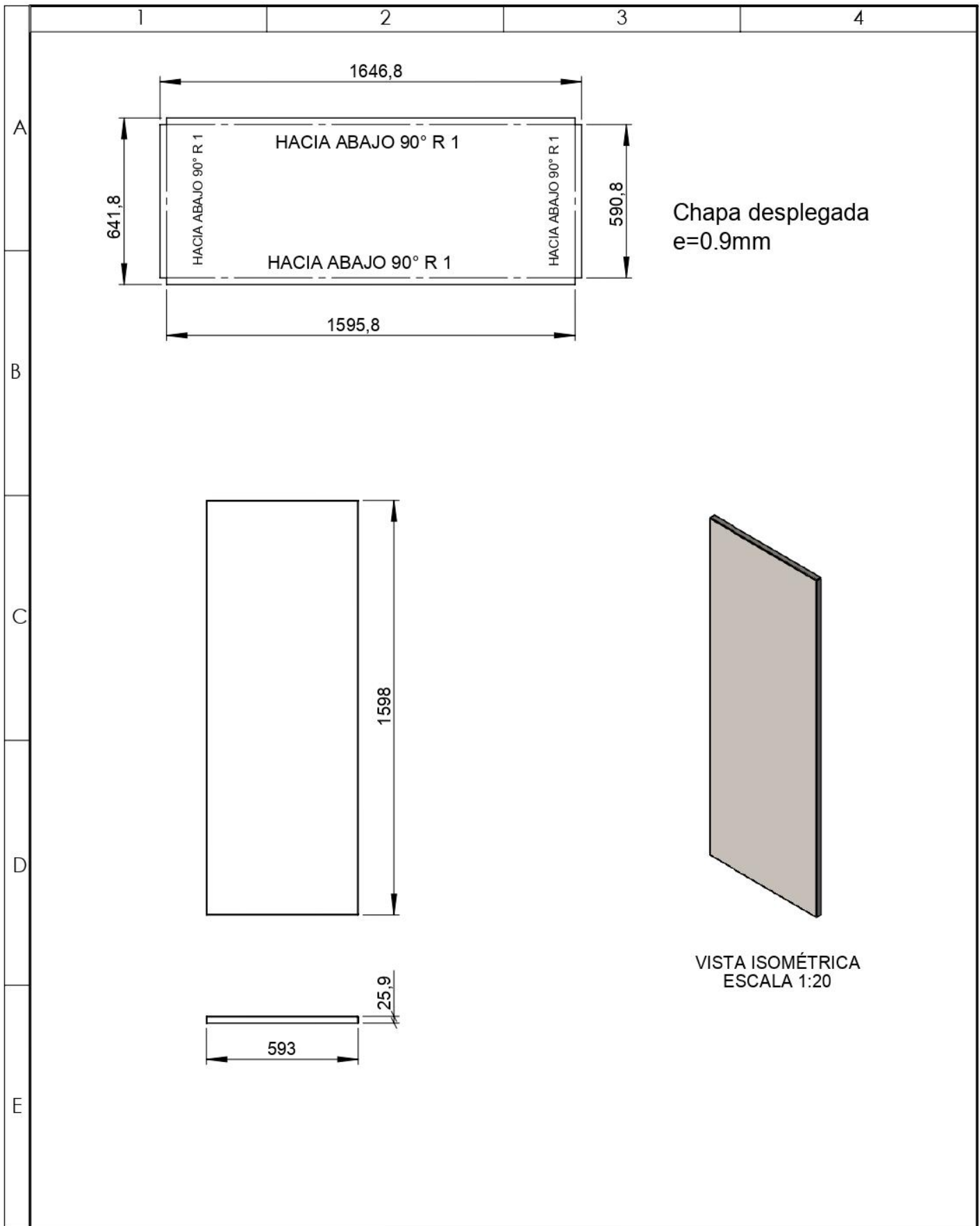
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		
Dib. 20/08/20	Llambo - López	1:20			
Rev. 20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc				
Apro.	DOCENTE				
Materiales:		Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:
ASTM A36		±1	2	Titulación II	ESTRUCTURA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



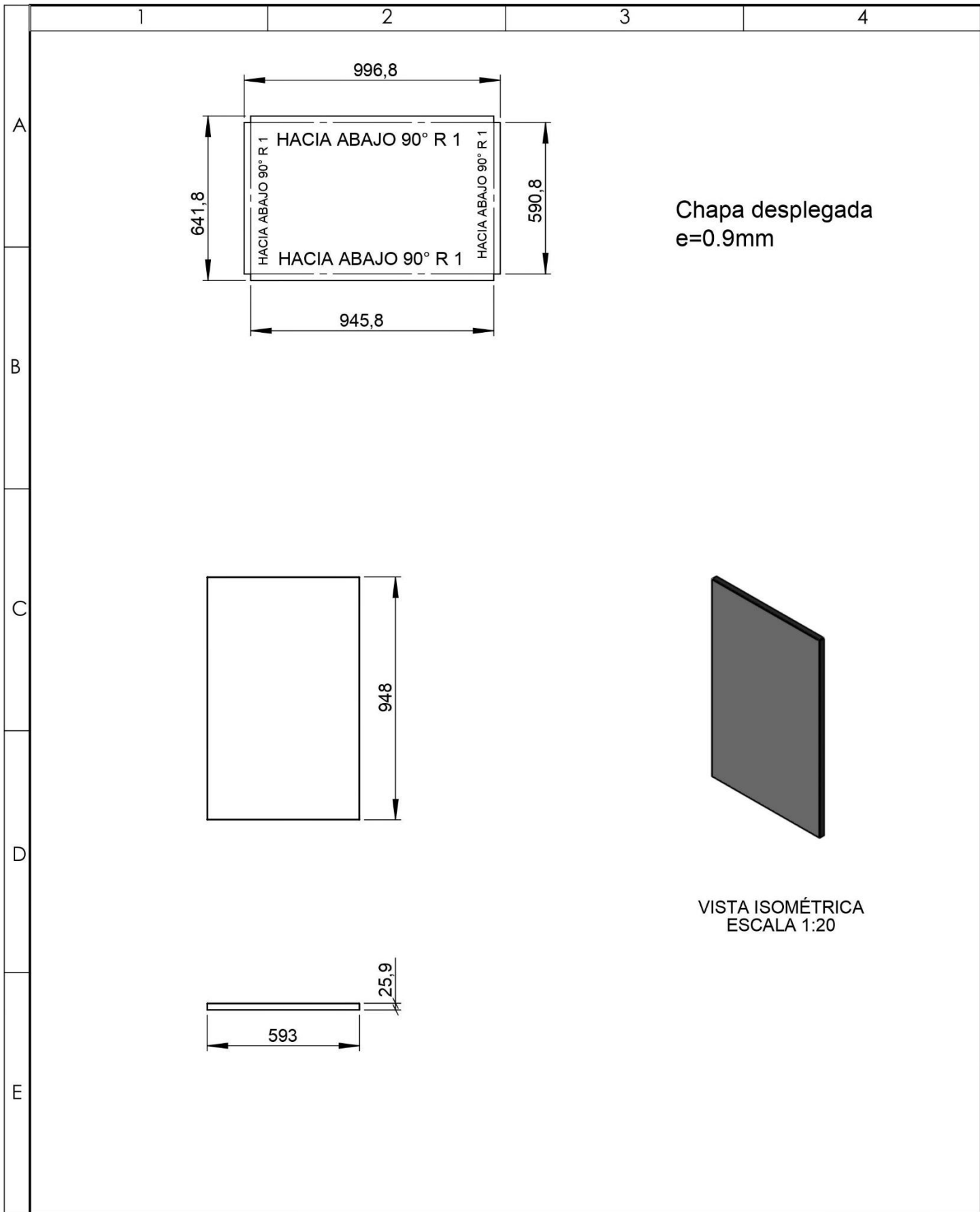
Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib. 20/08/20	Llambo - López	1:20		
Rev. 20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc.			
Apro.	DOCENTE			
Materiales:	Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:
ASTM A36	±1	3	Titulación II	CHAPA LATERAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



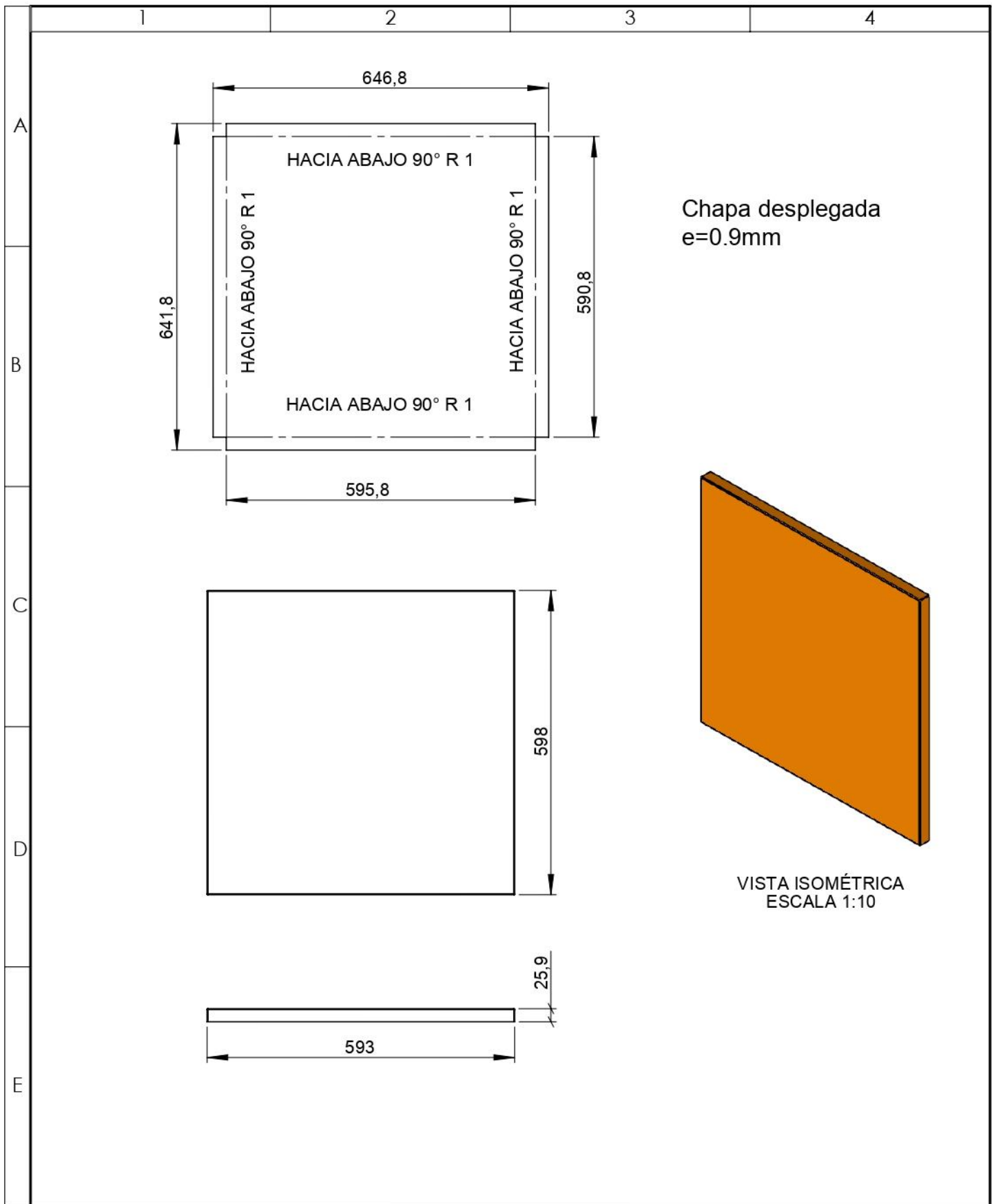
Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		
Dib. 20/08/20	Llambo - López	1:20			
Rev. 20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc.				
Apro.	DOCENTE				
Materiales:		Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:
ASTM A36		±1	4	Titulación II	CHAPA POSTERIOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



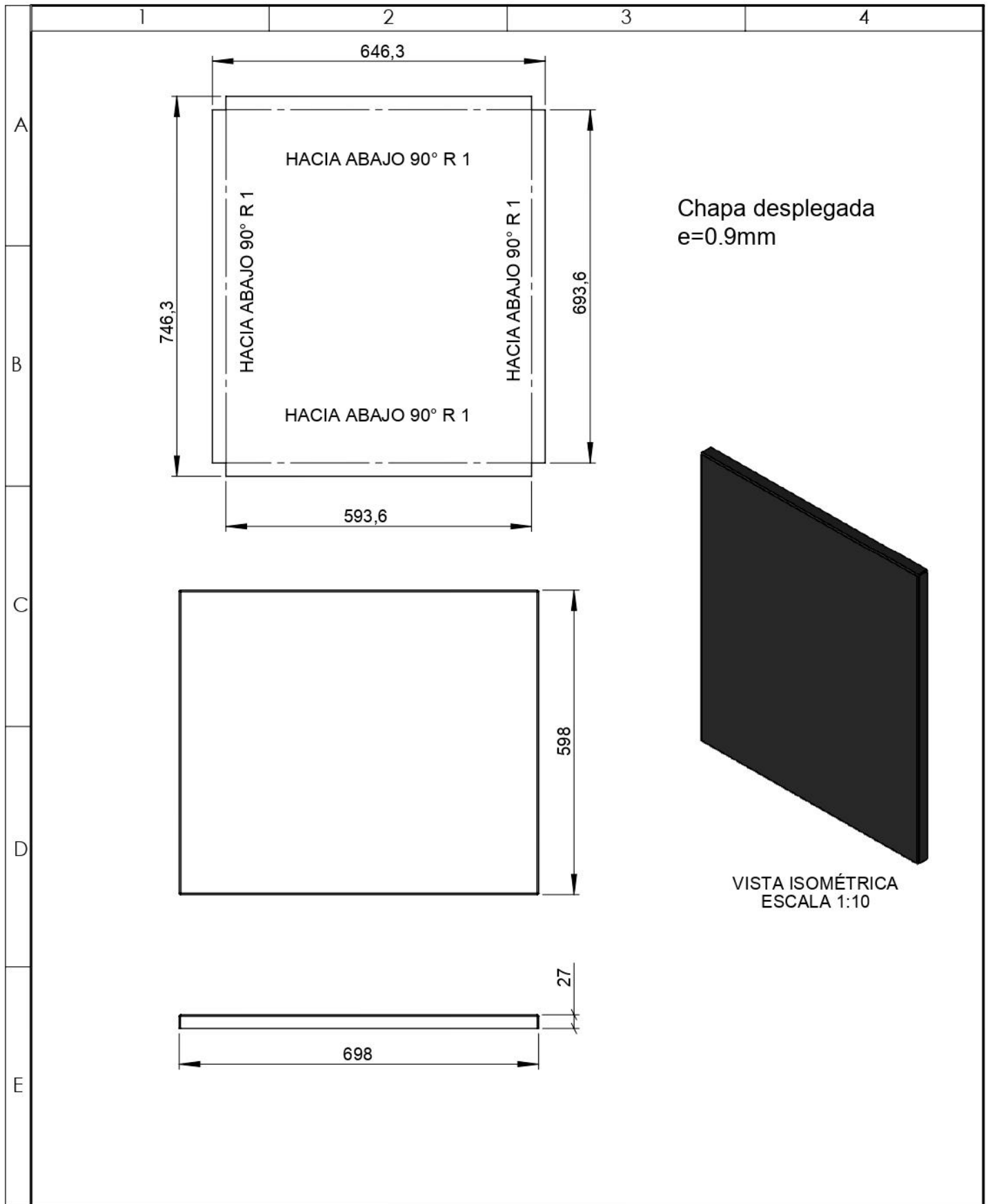
	Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	20/08/20	Llambo - López	1:20		
Rev.	20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc.			
Apro.		DOCENTE			
Materiales:		Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:
ASTM A36		±1	5	Titulación II	CHAPA FRONTAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



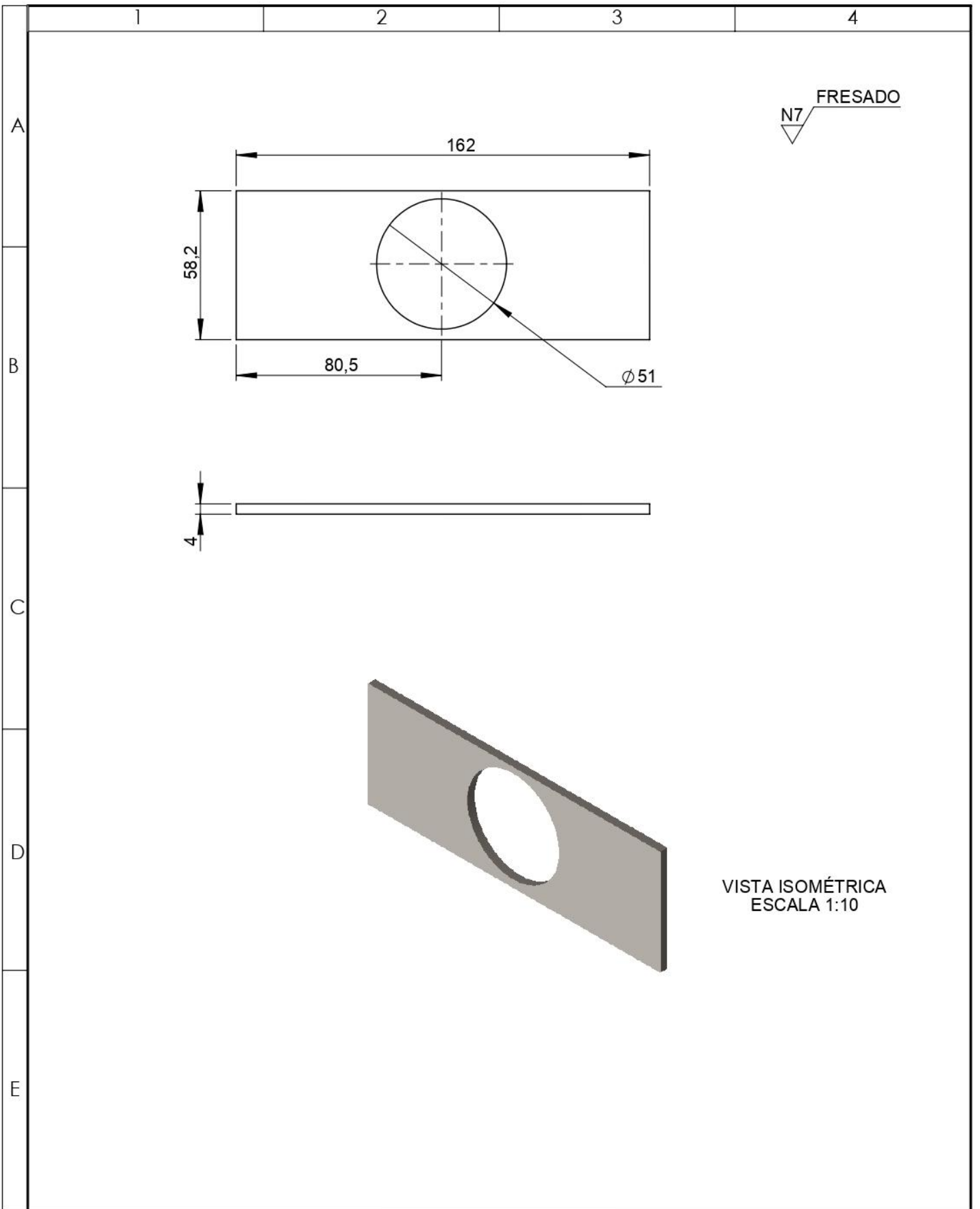
Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib. 20/08/20	Llambo - López	1:10		
Rev. 20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc.			
Apro.	DOCENTE			
Materiales:	Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:
ASTM A36	±1	6	Titulación II	CHAPA DE COMPUERTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



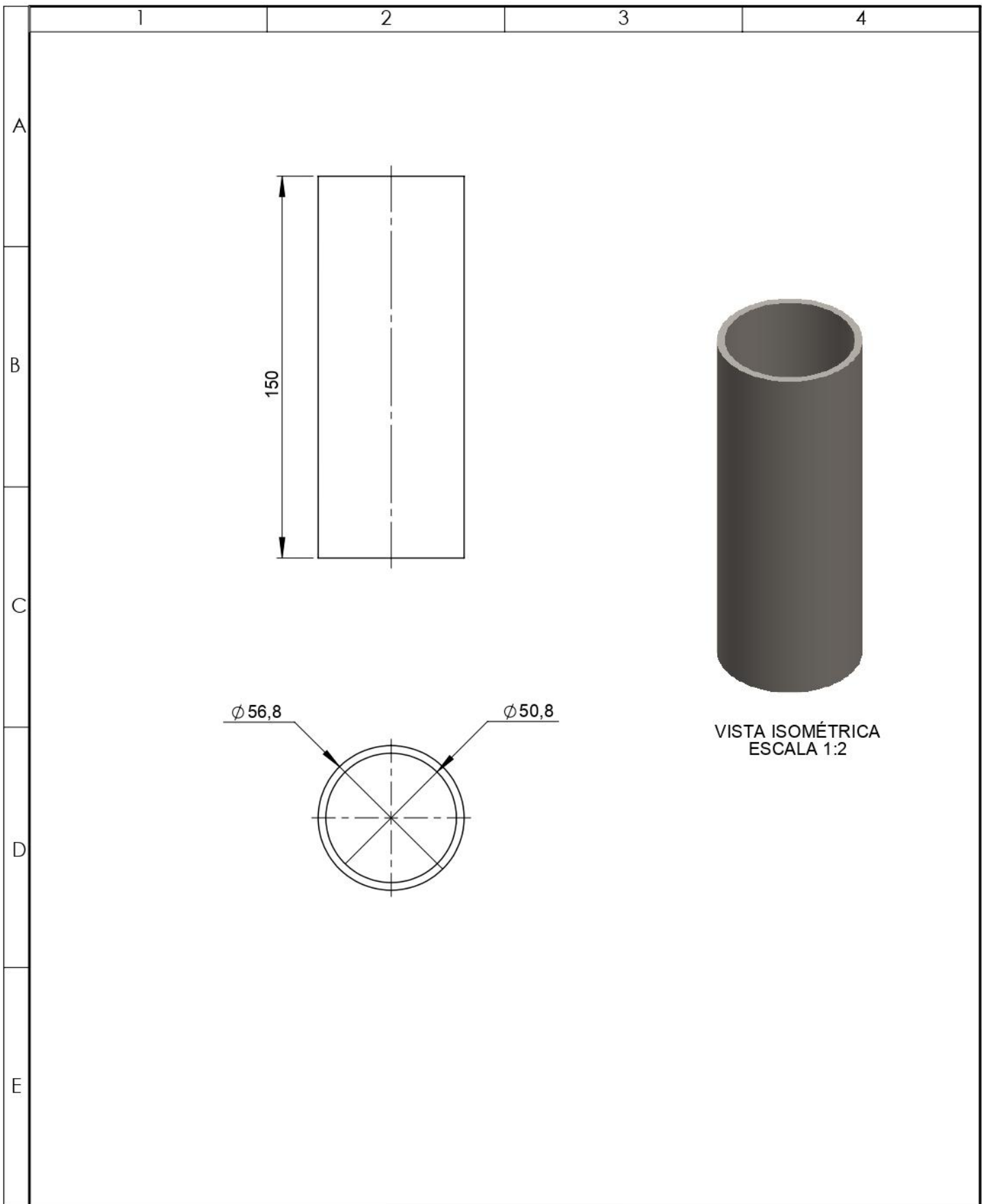
	Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	20/08/20	Llambo - López	1:10		
Rev.	20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc.			
Apro.		DOCENTE			
Materiales:		Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:
ASTM A36		±1	7	Titulación II	CHAPA DE PISO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		
Dib. 20/08/20	Llambo - López				1:10
Rev. 20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc.				
Apro.	DOCENTE	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:	
ASTM A36	±1	8	Titulación II	PLACA	



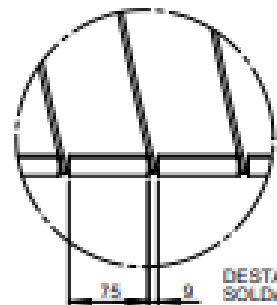
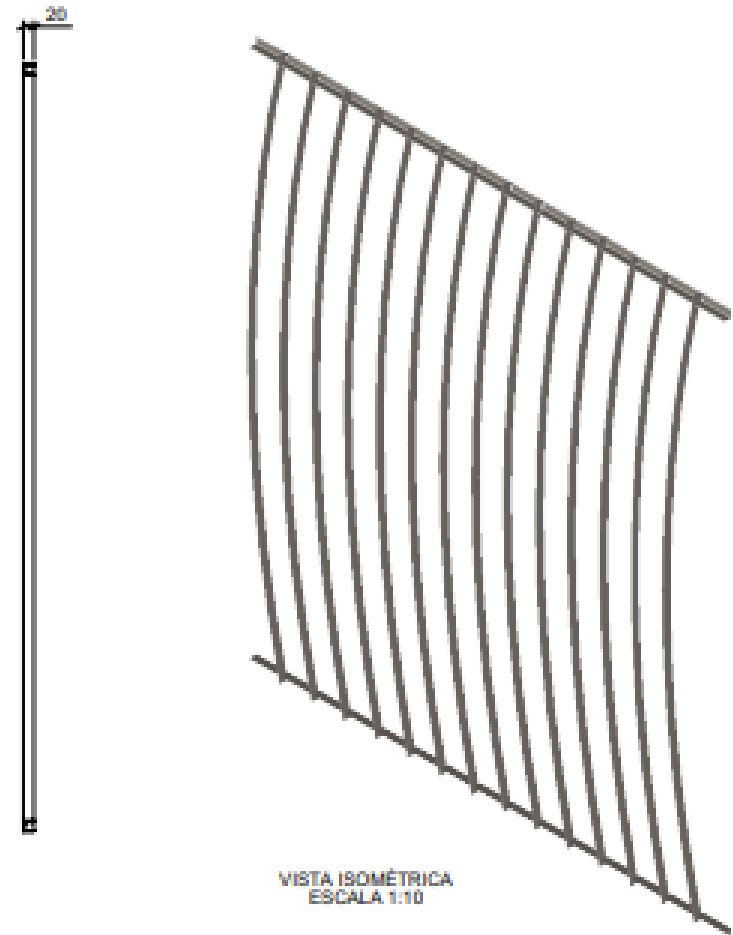
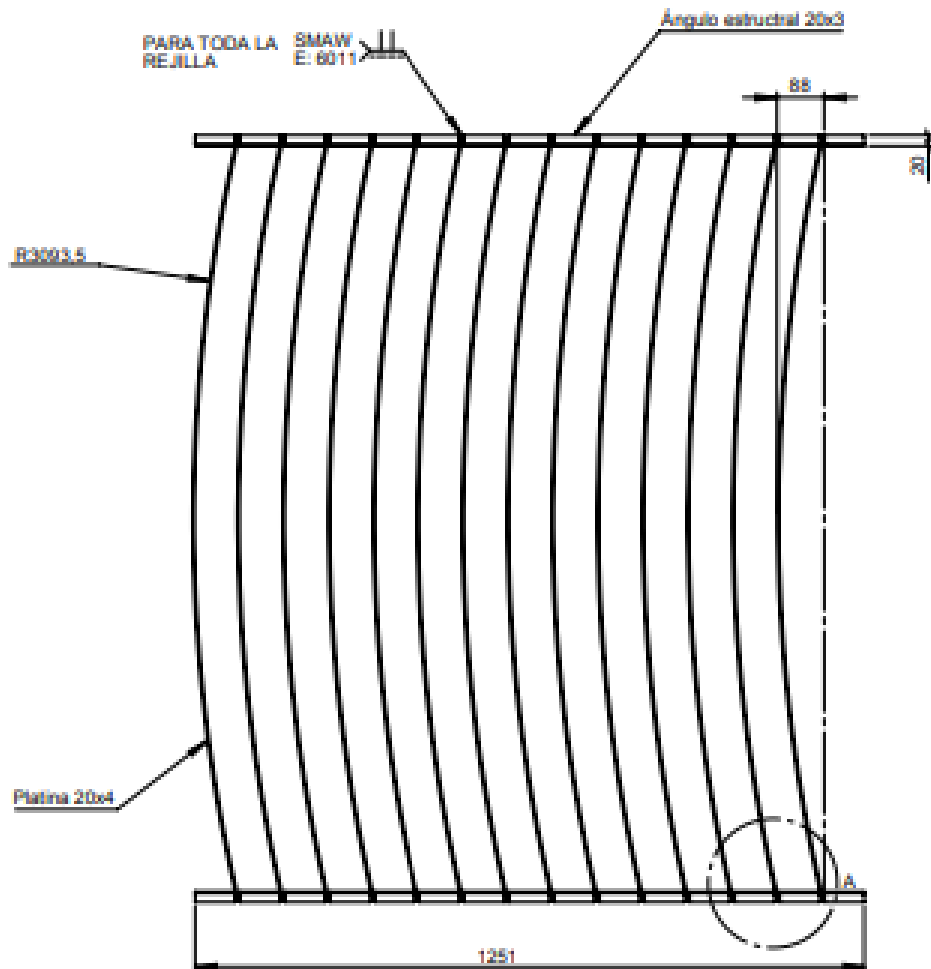
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



	Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	20/08/20	Llambo - López	1:2		
Rev.	20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc.			
Apro.		DOCENTE			
Materiales:		Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:
ASTM A36		±1	9	Titulación II	CILINDRO



DETALLE A
ESCALA 1:5

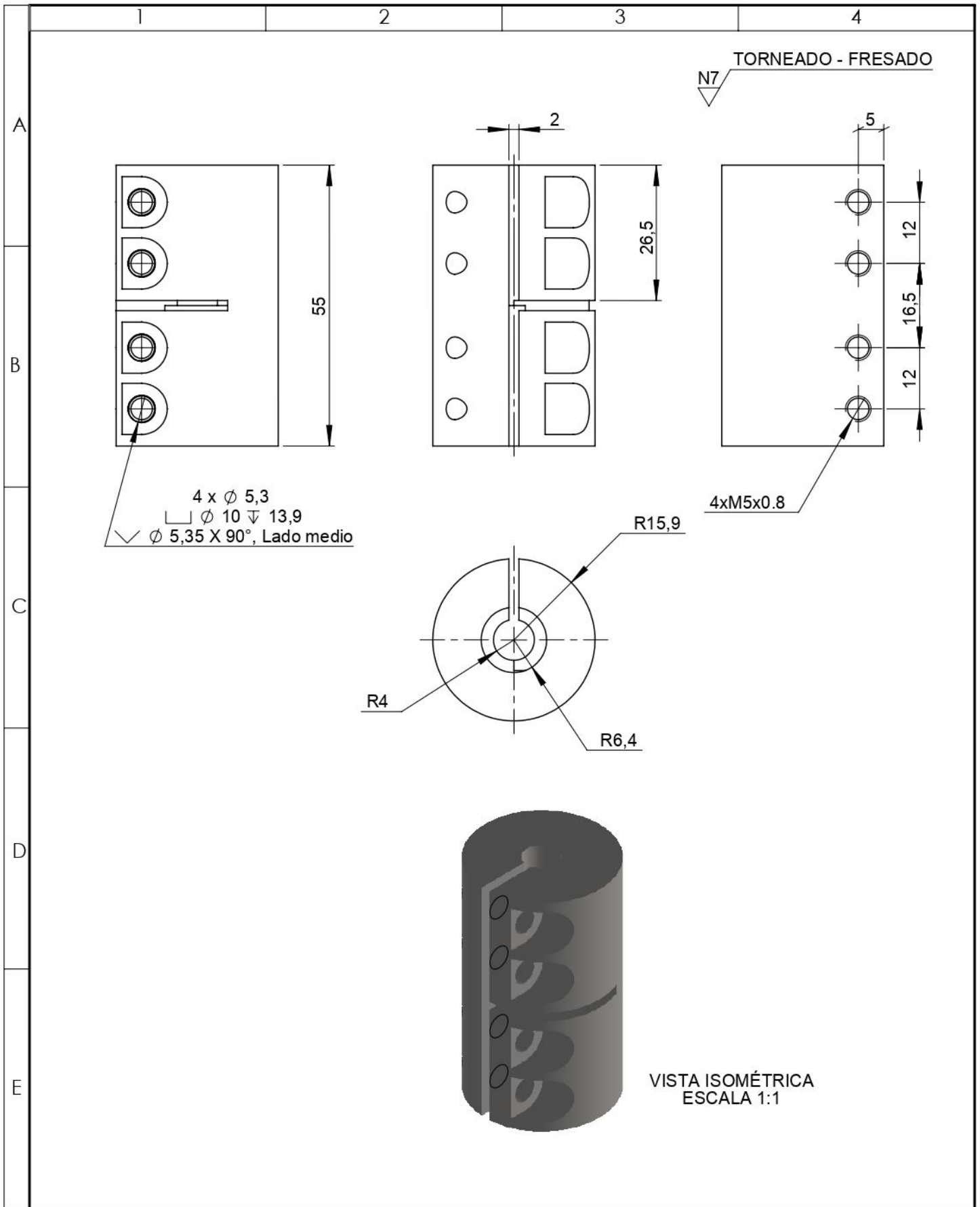
DETALLE DE
SOLDADURA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



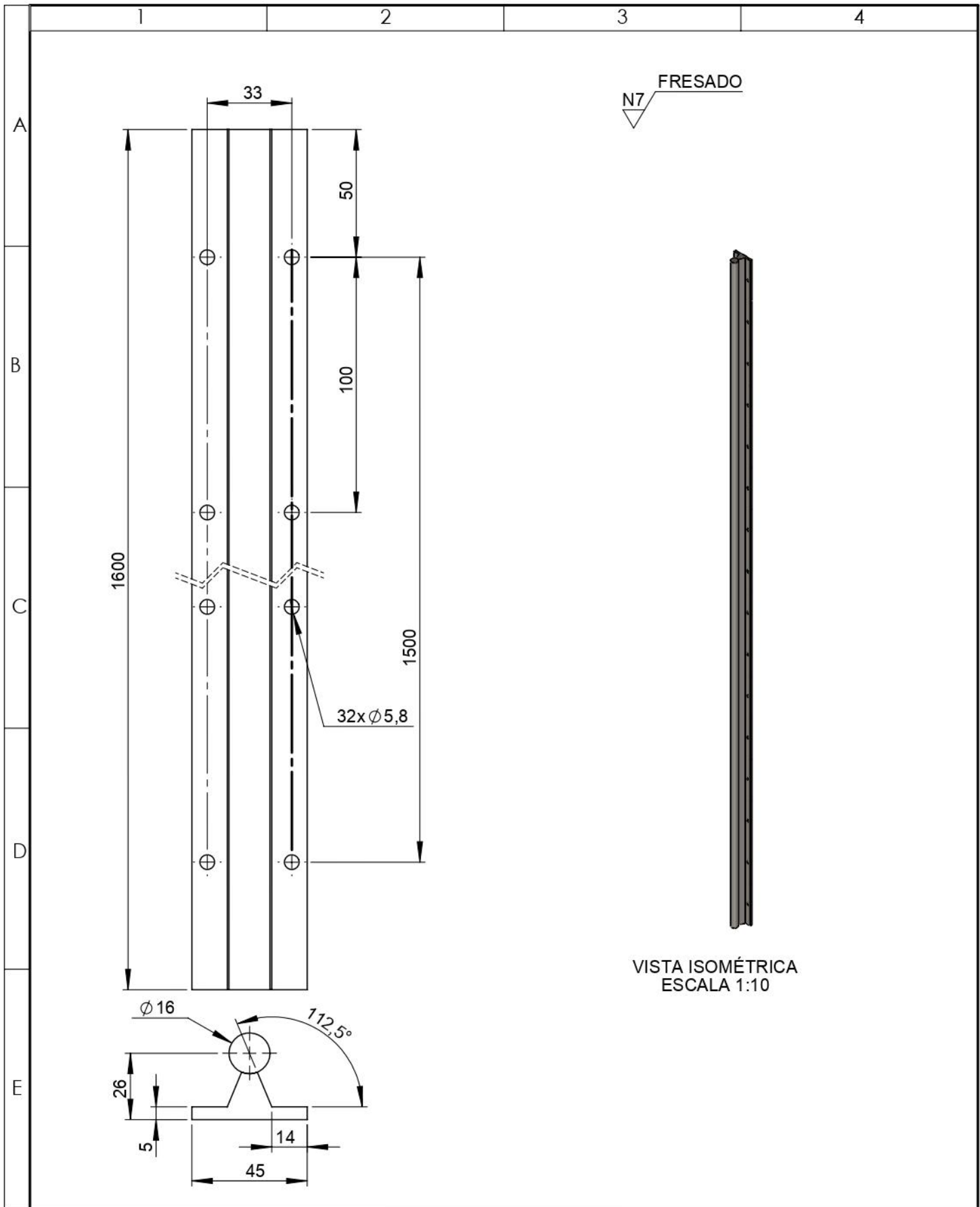
Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA	
Dib. 20/08/20	Llámbo - López	1:10		
Rev. 20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Mac. DOCENTE			
Apro.			Asignatura:	Denominación:
Materiales:		Tolerancias:	Número Lámina:	REJILLA
ASTM A36		±1	10	Titulación II



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib. 20/08/20	Llambo - López	1:1		
Rev. 20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc.			
Apro.	DOCENTE		Asignatura:	Denominación:
Materiales:	Tolerancias:	Número Lámina:	Titulación II	ACOPLE EJE
ASTM A36	± 1	11		



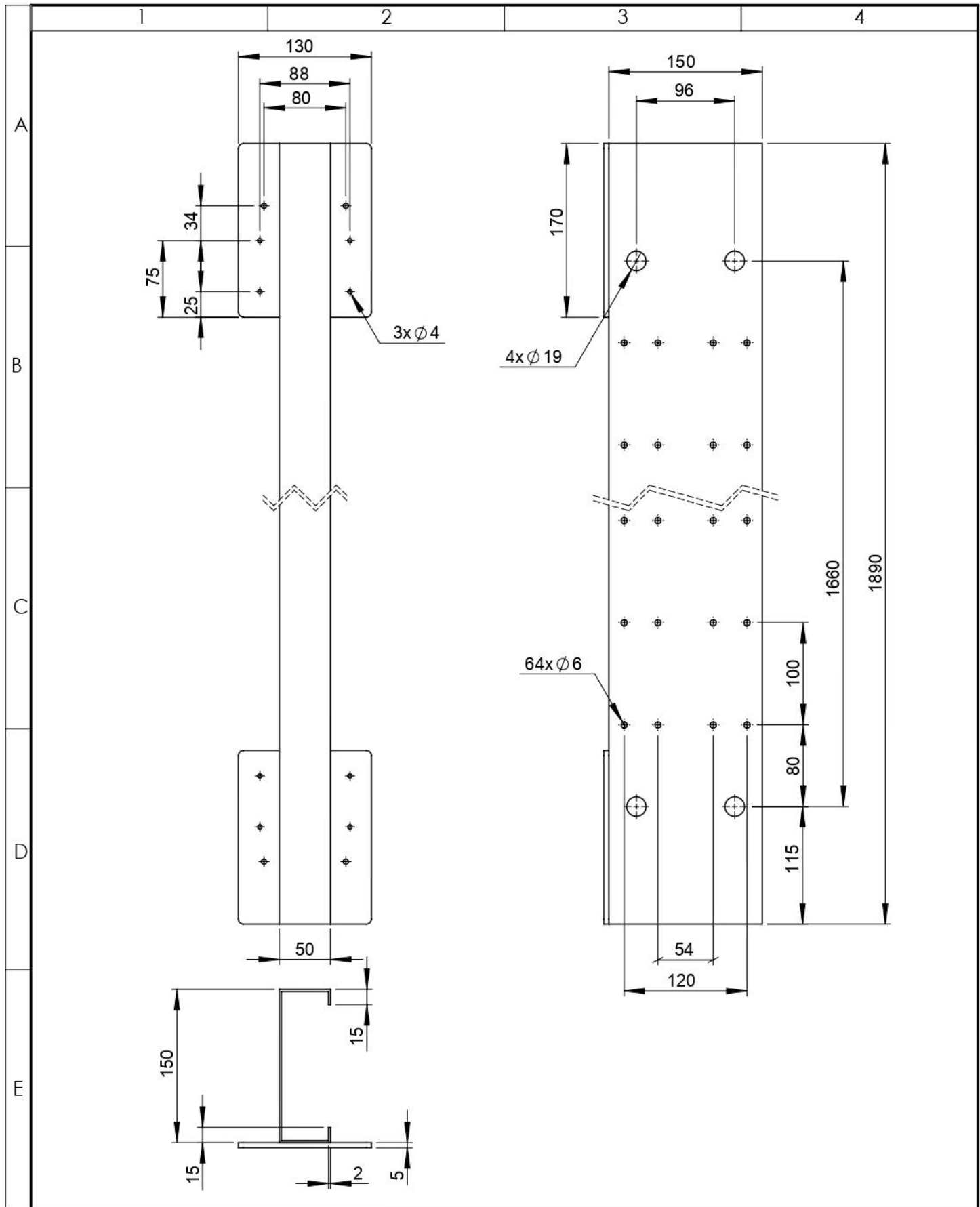
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:10



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



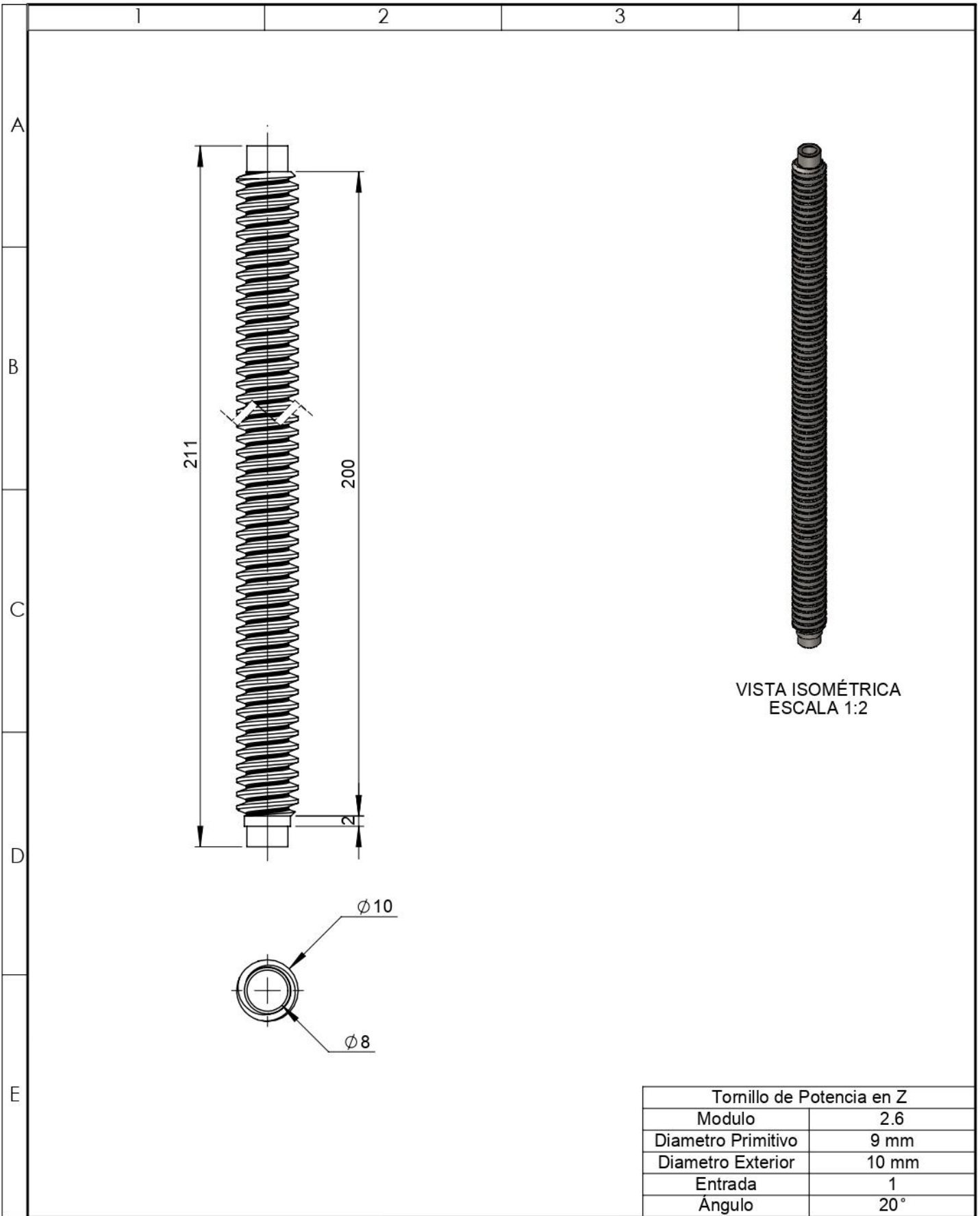
Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib. 20/08/20	Llambo - López	1:1		
Rev. 20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc.			
Apro.	DOCENTE			
Materiales:	Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:
AISI 1045	±1	12	Titulación II	GUÍA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib. 20/08/20	Llambo - López	1:1		
Rev. 20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc.			
Apro.	DOCENTE			
Materiales:	Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:
ASTM A36	±1	13	Titulación II	GUÍA



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:2

Tornillo de Potencia en Z	
Modulo	2.6
Diametro Primitivo	9 mm
Diametro Exterior	10 mm
Entrada	1
Ángulo	20°



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



Fecha:	Nombre:	Escala:	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib. 20/08/20	Llambo - López			
Rev. 20/08/20	Ing. Cevallos Segundo Msc.	1:1		
Apro.:	DOCENTE			
Materiales:	Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:
AISI 1045	±1	14	Titulación II	TORNILLO DE POTENCIA EN Z