

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

**MÁQUINA CNC PARA DESBASTE DE MADERA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN**  
**MECATRÓNICA.**

**AUTOR: JAIRO MAURICIO HARO YÉPEZ**

**DIRECTOR: ING. VÍCTOR ERAZO, MSC.**

**Ibarra, Septiembre 2017**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**

**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003638978		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Jairo Mauricio Haro Yépez		
DIRECCIÓN:	San Antonio de Ibarra, Mideros y Bolívar 4-55		
EMAIL:	jmharoy@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062-932191	TELÉFONO MÓVIL:	0987107129

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	MÁQUINA CNC PARA DESBASTE DE MADERA
AUTOR:	Jairo Mauricio Haro Yépez
FECHA:	18/09/2017
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Mecatrónica
DIRECTOR:	Ing. Víctor Erazo, MSc.

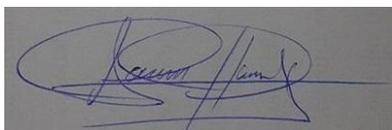
## **AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, Jairo Mauricio Haro Yépez con cédula de identidad Nro. 1003638978, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

### **CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de septiembre del 2017



Firma

Nombre: Jairo Mauricio Haro Yépez

Cédula: 1003638978



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Jairo Mauricio Haro Yépez, con cédula de identidad Nro. 1003638978, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: **MÁQUINA CNC PARA DESBASTE DE MADERA**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma

Nombre: Jairo Mauricio Haro Yépez

Cédula: 1003638978

## DECLARACIÓN

Yo, **Jairo Mauricio Haro Yépez**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte - Ibarra, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

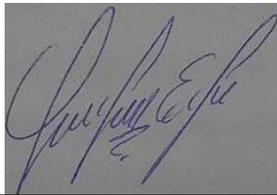


Nombre: Jairo Mauricio Haro Yépez

Cédula: 1003638978

## CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: “MÁQUINA CNC PARA DESBASTE DE MADERA”, certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Jairo Mauricio Haro Yépez, bajo mi supervisión.

A rectangular box containing a handwritten signature in dark ink. The signature is cursive and appears to read 'Víctor Erazo'.

---

Ing. Víctor Erazo, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios, por brindarme vida y salud, propia y de mi familia.

A mis padres Mónica Yépez y Edison Haro que con su bendición y ejemplo me han inculcado valores como el trabajo, lealtad, honestidad y constancia de los que me he servido para lograr mis objetivos.

A todos los profesores que me han impartido conocimiento desde mi niñez, y que cualquier gesto de agradecimiento es insuficiente.

A mi colegio, que no solo me preparó académicamente, sino igual de importante, despertó dentro de mí una devoción por la madre dolorosa, cuya imagen me acompañó a lo largo de mi carrera en mi escritorio.

A las personas que me acompañaron a lo largo de mi vida universitaria.

Al ingeniero Víctor Erazo por su acompañamiento y dirección en este trabajo de tesis.

Jairo Haro

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, que es el fruto de una entrega de esfuerzo y trabajo.

Jairo Haro

## RESUMEN

En el presente trabajo se muestra el diseño y construcción de una máquina fresadora de madera, de tipo puente móvil para el taller de carpintería “Arte y Madera” ubicado en la parroquia de San Antonio de Ibarra, la cual es reconocida por la realización de trabajos en madera de índole artesanal e industrial.

Para el diseño y construcción de esta máquina se tomó en cuenta la voz del cliente, del cual se obtuvo información necesaria para el funcionamiento deseado por el mismo.

La máquina consta de 3 ejes móviles, los cuales utilizan varillas roscadas para la transmisión de fuerza, y guías de acero y hierro en donde se asientan los carros Z, Y, X.

El sistema eléctrico se conjuga con un sistema mecánico por medio de motores paso a paso híbridos de imán permanente, los cuales están controlados por la tarjeta electrónica Arduino cargada con el firmware CNC libre, GRBL versión 9.0j, el mismo que puede ser controlado desde un computador con características técnicas muy básicas utilizando software libre como lo es el programa Universal GCode Sender.

La herramienta para la realización del mecanizado de la madera es una tupi propia del taller, y su uso para la construcción de esta máquina es un requerimiento por parte del dueño del taller.

## **ABSTRACT**

The present work shows the design and construction of a wood milling machine, mobile bridge type for the "Arte y Madera" carpentry workshop located in the parish of San Antonio de Ibarra, which is recognized for artisanal and industrial work in wood.

For the design and construction of this machine, the customer's voice was considered, from which information was obtained for the desired operation.

The machine consists at 3 axes, which use threaded rods for the transmission of force, and steel and iron guides where the Z, Y, X carts seat.

The electrical system is combined with a mechanical system by means of permanent magnet hybrid step motors, which are controlled by the Arduino electronic board loaded with the free CNC firmware, GRBL version 9.0j, which can be controlled from a Computer with very basic technical features using free software such as the Universal GCode Sender program.

The tool for machining wood is a laminate trimmer own of the workshop, and its use for the construction of this machine is a requirement on the part of the owner of the workshop.

## Índice General

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....	II
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD .....	III
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....	IV
DECLARACIÓN .....	V
CERTIFICACIÓN.....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT .....	X
Índice General.....	XI
Índice de Tablas.....	XIV
Índice de Figuras .....	XVI
CAPÍTULO 1 .....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Características de la madera. ....	1
1.1.1. Maderas prefabricadas.....	2
1.2. El fresado.....	4
1.2.1. Fresadora de puente móvil.....	5
1.2.2. Parámetros de fresado.....	5
1.2.3. Parámetros de taladrado.....	10
1.3. Sistemas de control numérico computarizado CNC.....	10

1.3.1.	Ventajas del CNC. ....	11
1.3.2.	Desventajas del CNC. ....	11
1.4.	Programación CNC. ....	12
1.5.	CAD – CAM. ....	12
CAPÍTULO 2 .....		13
2.	METODOLOGÍA. ....	13
2.1.	Requerimientos del cliente. ....	13
2.2.	Diseño por análisis funcional .....	14
2.2.1.	Módulo 1. ....	15
2.2.2.	Módulo 2 .....	22
2.2.3.	Módulo 3. ....	24
2.2.4.	Módulo 4. ....	35
2.2.5.	Módulo 5 .....	43
2.3.	Diseño del sistema mecánico. ....	44
2.3.1.	Partes y forma general de la máquina. ....	44
2.3.2.	Determinación de la fuerza de corte .....	45
2.3.3.	Diseño del carro en el eje Z .....	47
2.3.4.	Diseño del carro en el eje Y .....	66
2.3.5.	Diseño del carro en el eje X. ....	80
2.4.	Diseño del sistema electrónico .....	89
2.4.1.	Tarjeta controladora arduino .....	89

2.4.2.	Motores paso a paso y drivers. ....	91
2.4.3.	Tarjetas auxiliares.....	98
2.4.4.	Gabinete eléctrico.....	100
CAPÍTULO 3 .....		103
3.	RESULTADOS .....	103
3.1.	Pruebas de funcionamiento.....	103
CAPÍTULO 4 .....		105
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	105
4.1.	Conclusiones.....	105
4.2.	Recomendaciones .....	106
Bibliografía.....		107

## Índice de Tablas

Tabla 1. Requerimientos del cliente .....	13
Tabla 2. Evaluación de cada criterio, módulo 1 .....	19
Tabla 3. Evaluación de soluciones con respecto a costo bajo, módulo 1 .....	19
Tabla 4. Evaluación de soluciones con respecto a precisión, módulo 1 .....	20
Tabla 5. Evaluación de soluciones con respecto a facilidad, módulo 1 .....	20
Tabla 6. Evaluación de soluciones con respecto a rapidez, módulo 1 .....	21
Tabla 7. Evaluación de soluciones con respecto a detalle, módulo 1 .....	21
Tabla 8. Tabla de conclusiones para el módulo 1 .....	22
Tabla 9. Evaluación de cada criterio, módulo 3 .....	32
Tabla 10. Evaluación de soluciones con respecto a costo bajo, módulo 3 .....	33
Tabla 11. Evaluación de soluciones con respecto a precisión, módulo 3 .....	33
Tabla 12. Evaluación de soluciones con respecto a fuerza, módulo 3 .....	34
Tabla 13. Evaluación de soluciones con respecto a fácil mantenimiento, módulo 3 .....	34
Tabla 14. Evaluación de soluciones con respecto a velocidad, módulo 3 .....	35
Tabla 15. Tabla de conclusiones, módulo 3 .....	35
Tabla 16. Evaluación de cada criterio, módulo 4 .....	40
Tabla 17. Evaluación de soluciones con respecto a costo bajo, módulo 4 .....	41
Tabla 18. Evaluación de soluciones con respecto a precisión, módulo 4 .....	41
Tabla 19. Evaluación de soluciones con respecto a velocidad, módulo 4 .....	41
Tabla 20. Evaluación de soluciones con respecto a fácil mantenimiento, módulo 4 .....	42
Tabla 21. Evaluación de soluciones con respecto a fricción, módulo 4 .....	42
Tabla 22. Tabla de conclusiones módulo 4 .....	42
Tabla 23. Datos preliminares para el cálculo de los parámetros de corte .....	45
Tabla 24. Resultados de puntos críticos del eje Z .....	61

Tabla 25. Valores de acabados superficiales .....	62
Tabla 26. Tabla de factor de confiabilidad .....	63
Tabla 27. Factores para diferentes tipos de carga.....	63
Tabla 28. Resultados del cálculo de momentos con ayuda de software.....	77
Tabla 29. Resultados del cálculo de momentos con ayuda de software.....	87
Tabla 30. Descripción de entradas del firmware GRBL .....	89
Tabla 31. Descripción de salidas del firmware GRBL.....	90
Tabla 32. Datos preliminares para el cálculo de motor a pasos .....	95
Tabla 33. Características de motor paso a paso.....	97
Tabla 34. Características del driver de motor a pasos. ....	98
Tabla 35. Partes del gabinete eléctrico. ....	101

## Índice de Figuras

Figura 1. Clasificación de la madera .....	1
Figura 3. Tablero contrachapado .....	2
Figura 4. Tablero aglomerado .....	3
Figura 5. Tableros de fibras .....	3
Figura 6. Tipos de Fresadoras .....	4
Figura 7. Parámetros de corte .....	5
Figura 8. Avance .....	6
Figura 9. Profundidad de corte .....	7
Figura 10. Ángulo de posición de la plaquita .....	8
Figura 11. Sección de corte .....	9
Figura 12. Velocidad de penetración .....	10
Figura 13. Nivel 0 .....	14
Figura 14. Módulo 1 .....	15
Figura 15. Combinación de soluciones módulo 1 .....	18
Figura 16. Módulo 2 .....	22
Figura 17. Combinación de soluciones módulo 2 .....	23
Figura 18. Módulo 3 .....	24
Figura 19. Arduino Uno .....	25
Figura 20. Toshiba TB6560AHQ .....	26
Figura 21. XHC MK3 CNC Mach3 .....	28
Figura 22. Motor paso a paso .....	30
Figura 23. Servomotor .....	31
Figura 24. Combinación de soluciones módulo 3 .....	32
Figura 25. Módulo 4 .....	36

Figura 26. Final de carrera.....	36
Figura 27. Mecanismo Tuerca-Tornillo de potencia .....	37
Figura 28. Varilla roscada .....	38
Figura 29. Husillo de bolas.....	39
Figura 30. Tupi .....	39
Figura 31. Combinación de soluciones módulo 4 .....	40
Figura 32. Módulo 5 .....	43
Figura 33. Combinación de soluciones final .....	44
Figura 34. Forma general de la máquina .....	44
Figura 35. Fuerza específica de corte de metales no ferrosos . .....	46
Figura 36. Sistema de coordenadas .....	47
Figura 37. Esquema del carro eje Z.....	48
Figura 38. Diagrama de cuerpo libre modo stand-by eje Z.....	49
Figura 39. Diagrama de cuerpo libre modo taladrado eje Z.....	51
Figura 40. Descomposición de la fuerza de corte.....	53
Figura 41. Diagrama de cuerpo libre del eje Z fresado fuerzas Z .....	53
Figura 42. Diagrama de cuerpo libre del eje Z fresado fuerzas X.....	53
Figura 43. Diagrama de cuerpo libre del eje Z fresado fuerzas Y.....	55
Figura 44. Reacciones resultantes de la guía lateral derecha del carro en el eje Z en función del ángulo de corte.....	57
Figura 45. Esquema X barra lateral derecha eje Z .....	58
Figura 46. Diagrama de fuerzas X de la barra lateral derecha .....	58
Figura 47. Esquema del plano YZ de la barra lateral derecha eje Z.....	59
Figura 48. Diagrama de fuerzas Y de la barra lateral derecha .....	59
Figura 49. Área del 95% de perfil estructural rectangular .....	62

Figura 50. Esquema del carro eje Y .....	66
Figura 51. Diagrama de cuerpo libre modo stand-by eje Y.....	66
Figura 52. Diagrama de cuerpo libre modo taladrado eje Y .....	68
Figura 53. Diagrama de cuerpo libre eje Y del fresado fuerzas Z.....	70
Figura 54. Diagrama de cuerpo libre del eje Y, fresado fuerzas X .....	70
Figura 55. Diagrama de cuerpo libre del eje Y fresado fuerzas Y .....	71
Figura 56. Reacciones resultantes de la guía superior del carro Y en función del ángulo de corte .....	74
Figura 57. Esquema del plano YX de la barra superior eje Y .....	74
Figura 58. Diagramas de fuerzas en X de la guía superior del carro Y.....	74
Figura 59. Esquema del plano YZ de la barra superior eje Y .....	75
Figura 60.. Diagramas de fuerzas en Z de la guía superior del carro Y .....	76
Figura 61. Módulo de resistencia de perfiles cuadrados .....	78
Figura 62. Esquema del carro eje X .....	80
Figura 63. Diagrama de cuerpo libre modo stand-by eje X.....	80
Figura 64. Diagrama de cuerpo libre modo taladrado eje X. ....	81
Figura 65. Diagrama de cuerpo libre del eje X fresado fuerzas Z.....	82
Figura 66. Diagrama de cuerpo libre del eje X fresado fuerzas Y. ....	82
Figura 67. Reacciones resultantes de la guía del carro en el eje X en función del ángulo de corte. ....	83
Figura 68. Esquema del plano XZ de la guía lateral derecha del eje X.....	84
Figura 69. Diagramas de fuerzas en Z de la guía lateral derecha del carro X.....	84
Figura 70. Esquema del plano XY de la guía lateral derecha del eje X. ....	85
Figura 71. Diagramas de fuerzas en Y de la guía lateral derecha del carro X. ....	85
Figura 72. Módulo de resistencia de perfiles rectangulares . ....	87

Figura 73. Descripción pines del firmware GRBL en Arduino.....	89
Figura 74. Placa PCB auxiliar para Arduino .....	91
Figura 75. Clasificación de los motores paso a paso.....	91
Figura 76. Driver motor a pasos .....	92
Figura 77. Paso del tornillo .....	93
Figura 78. Motor Paso a Paso 23HS2442B .....	97
Figura 79. Parte superior del gabinete eléctrico. ....	100
Figura 80. Parte inferior del gabinete eléctrico. ....	101
Figura 81. Esquema unifilar del sistema eléctrico.....	102
Figura 82. Visualización del código G generado por Inkscape.....	103
Figura 83. Mecanizado de la figura de prueba .....	103
Figura 84. Pieza de prueba finalizada.....	104

## **Planteamiento del problema**

Hace años atrás, la carpintería en el sector de San Antonio se desarrolló básicamente con los conocimientos que se adquirían en lo que hoy es el Instituto Superior Tecnológico de Artes Plásticas “Daniel Reyes” de los cuales su herencia tanto en tallado como en pintura proceden de la Escuela Quiteña, cuando Don Daniel Reyes oriundo de San Antonio de Ibarra vuelve a su tierra natal en donde fundó, en 1880, un Liceo Artístico

Actualmente, en la industria de la carpintería en San Antonio de Ibarra, muchos talleres tallan los grabados no solo en artesanías, sino en productos como puertas, mesas, anaqueles, mueblería en general, en forma manual o semi-automática, por lo que a su actividad se la relaciona como artesanal, siendo esto, un limitante para que las pequeñas industrias crezcan en capacidad de producción y de calidad que ahora se demandan.

Según la superintendencia de compañías más del 90 % de la industria dedicada a la producción de muebles está ubicada en las provincias de Pichincha, Guayas, Azuay y Manabí. (Pro Ecuador, 2015)

Siendo la parroquia de San Antonio de Ibarra un sector referente de mueblería y artesanías en madera dentro de la provincia de Imbabura es conveniente la implementación de estrategias de desarrollo tecnológico para competir con los productores de las provincias con mayor producción.

El taller de carpintería “Arte y Madera” ubicado en la parroquia de San Antonio de Ibarra oferta decoraciones en puertas y mueblería general básicos, sencillos y repetidos en el mercado, lo que representa una desventaja competitiva para el taller, y a la vez una

XX

oportunidad de la que el taller puede beneficiarse, por lo que con el equipo a implementar se pretende automatizar el proceso de desbaste de figuras artísticas en superficies planas de madera para la producción de puertas y demás mueblería.

## **Objetivos del Proyecto**

### Objetivo General

Diseñar y construir una máquina fresadora CNC para desbaste de madera

### Objetivos Específicos

- Determinar las características y necesidades principales del equipo.
- Realizar el diseño mecánico de la máquina que conste de 3 ejes móviles lineales y el soporte adecuado para el portaherramientas.
- Diseñar el sistema de control de movimiento de avance de los tres ejes
- Seleccionar herramientas de software que interactúen con el sistema de control
- Validar el diseño y construcción del dispositivo
- Realizar un manual de funcionamiento y mantenimiento de la máquina.

## **Justificación**

En el sector de San Antonio de Ibarra, el tallado de madera es una actividad económica profundamente arraigada en la población, desde hace generaciones, existen talleres en los cuales se elaboran múltiples productos derivados de la madera, mucho del conocimiento de esta actividad, se debe al Instituto Tecnológico de artes plásticas Daniel Reyes, una institución referente en el ámbito artístico a nivel Nacional.

El propósito de la realización de este proyecto es el de contribuir con el cambio de matriz productiva en la zona 1, apoyando con esta herramienta al taller “Arte y Madera”, evitando la importación de este tipo de maquinaria.

La máquina propuesta será de ayuda para disminuir el tiempo de grabado en la madera, realizar grabados de figuras con diseños novedosos para el taller y el mercado y reducir el riesgo laboral de los trabajadores.

### **Alcance**

El trabajo propuesto se proyecta para realizar mecanizados en diferentes tipos de madera utilizando un diseño previo elaborado en un computador utilizando una herramienta rotativa de alta velocidad.

Su área de trabajo será delimitada por un mínimo de 1.0 x 0.9m, que cumplen con la mitad de la medida estándar de una puerta fabricada en el taller “Arte y Madera”.

El controlador propuesto para el proyecto será la tarjeta con hardware y software libre que mediante drivers controlará los motores paso a paso de cada eje.

Para la etapa de diseño de las figuras a maquinar se propone herramientas de software libre al igual que para la generación de código G y el software CAM.

# CAPÍTULO 1

## 1. MARCO TEÓRICO.

### 1.1. Características de la madera.

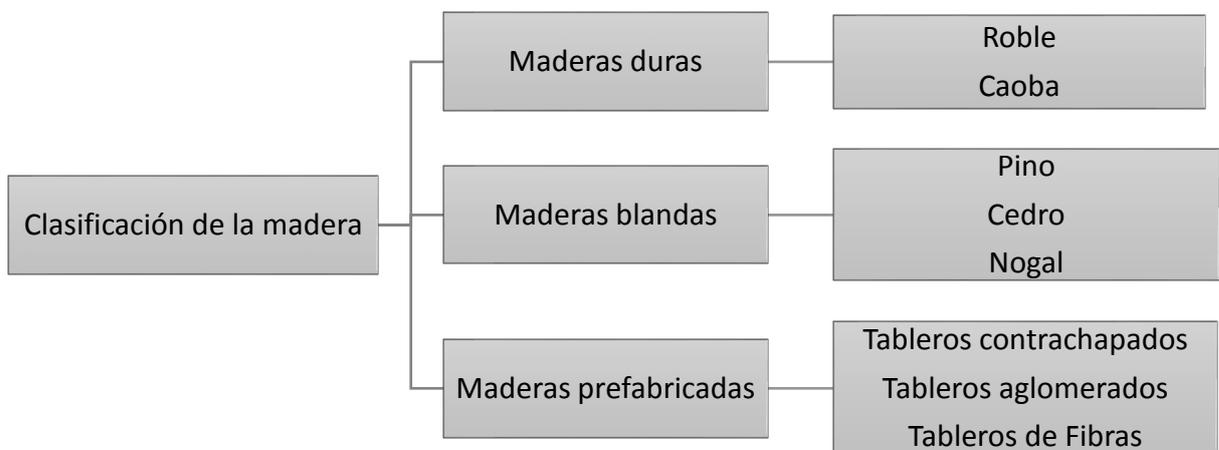
La madera ha sido una de las primeras materias primas de la que la humanidad se ha beneficiado, por sus características, la han convertido por mucho tiempo en el principal material para la construcción, combustible, armas, caza y muchas otras actividades del hombre que nos ha llevado hasta nuestros días.

Incluso hoy en día, es difícil imaginar una vivienda sin que la madera o sus derivados estén presentes en diferentes formas, tamaños y usos.

Como características principales de la madera se tiene:

- Ligero
- Se la puede trabajar con facilidad
- Es visualmente agradable
- Existen variedad de maderas y derivados para diferentes usos

En la figura 1 se puede observar los diferentes tipos de madera habitualmente usadas en muebles por el taller de carpintería “Arre y Madera”.



*Figura 1.* Clasificación de la madera

### **1.1.1. Maderas prefabricadas.**

**Tableros contrachapados.** - Están formados por chapas de madera encoladas y prensadas.

Las fibras de dos láminas consecutivas forman un ángulo de 90°. Para que las dos caras finales sean simétricas, el número de chapas utilizadas ha de ser impar.

En general, son muy sensibles a los cambios de humedad y temperatura; pueden llegar incluso a curvarse y a variar de volumen y, por tanto, de grosor.

Se utilizan en ebanistería, puertas, embalajes, construcciones agrícolas, embarcaciones (Anómio, 2014).

En la figura 2 se muestra la imagen de un tablero contrachapado.



*Figura 2.* Tablero contrachapado (Gabarró, Gabarró, s.f.)

**Tableros aglomerados.** - Se elaboran con virutas de madera adheridas entre sí con cola (90 % de virutas por 10 % de cola) y prensadas.

Para mejorar su resistencia al ambiente y su aspecto, se recubren con una chapa de madera natural o plástico (melamina) por lo que es posible encontrarlo en diferentes modelos según el agrado del cliente.

Suelen ser frágiles e indeformables, aunque algunos de los materiales que los componen, debido a su sensibilidad a los cambios de humedad y temperatura, pueden ocasionar curvaturas y variaciones de volumen.

Se usan para fabricar todo tipo de mobiliario, puertas, revestimiento de techos, tabiques, paneles aislantes en construcciones prefabricadas (Anómio, 2014).

La figura 3 muestra un ejemplo de tablero aglomerado.



**Figura 3.** Tablero aglomerado (Gabarró, Gabarró, s.f.)

**Tableros de fibras.** - Las fibras se obtienen moliendo las astillas. El resultado son pequeños hilos leñosos que se comprimen y se unen con un adhesivo de resina sintética, formando un conglomerado. Los tableros de fibras se fabrican en diferentes grados de densidad: media (DM) y baja (DB).

Son muy resistentes a la humedad y no se pudren. Se emplean para revestimientos exteriores, ya que su superficie es muy lisa (Anómio, 2014).

La figura 4 muestra un ejemplo de tablero de fibras.



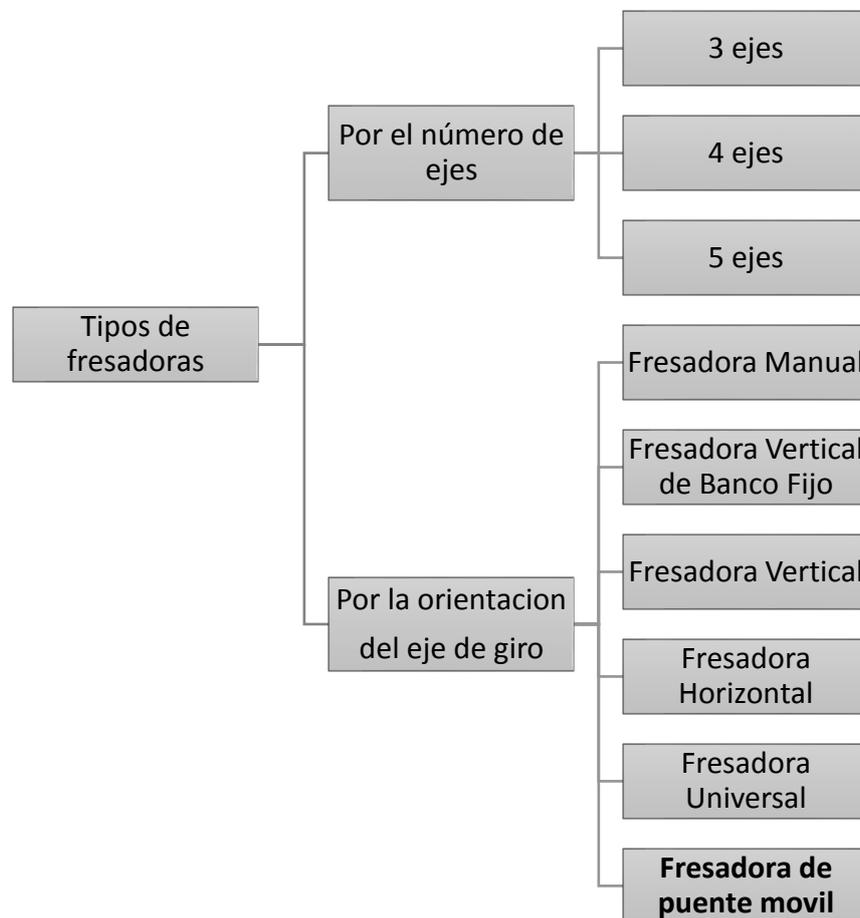
**Figura 4.** Tableros de fibras (Moldyport Tableros, 2013).

## 1.2.El fresado.

Es un proceso de mecanizado por arranque de viruta por medio de una herramienta denominada fresa, que puede tener uno o varios filos, acoplado a una herramienta rotativa de corte.

El corte del material se realiza combinando el giro de la herramienta rotativa con movimientos longitudinales en diferentes ejes de la herramienta o de la pieza (IMH, 2015).

La máquina herramienta que realiza el fresado se la denomina fresadora, y se las puede clasificar como se muestra en la figura 5



**Figura 5.** Tipos de Fresadoras (Maquinas, Herramientas y CNC, 2011)

### 1.2.1. Fresadora de puente móvil.

Son fresadoras en las que la mesa permanece inmóvil y el movimiento sucede en la herramienta, que se desliza a lo largo de la pieza a mecanizar, por medio de una estructura similar a la de un puente grúa.

Su uso principal es el de la mecanización de piezas de gran tamaño.

Es importante saber que este tipo de fresadoras no cuenta con mucha flexibilidad, dado que suelen tener uno o dos motores de gran tamaño, destinado a mover el peso del puente grúa (Maquinas, Herramientas y CNC, 2011).

### 1.2.2. Parámetros de fresado.

A continuación, se exponen los parámetros mecánicos que intervienen en el proceso de fresado.

En la figura 6 se representa gráficamente parámetros de corte como velocidad de husillo, velocidad de corte, y diámetro de la herramienta.

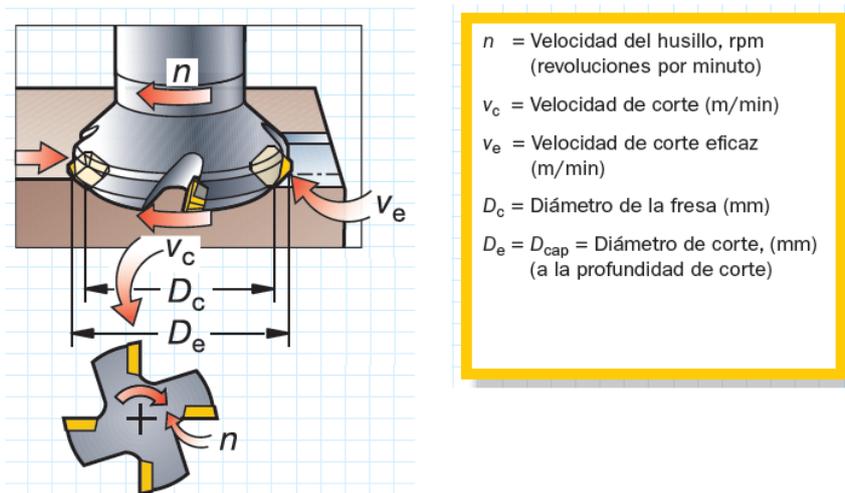


Figura 6. Parámetros de corte (SANDVIK, 2011)

**Velocidad de corte** indica la velocidad lineal del borde de la herramienta a la que el filo mecaniza la pieza.

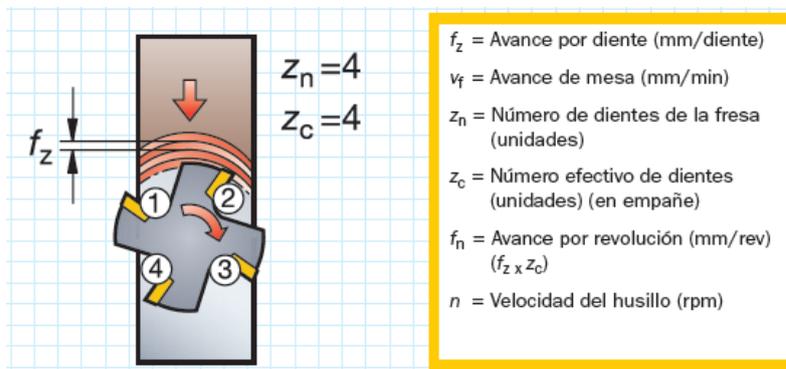
La vida de la herramienta está ligada a la velocidad de corte. Aumentándola, se acorta la vida de la herramienta. La velocidad varía dependiendo la dureza de la pieza.

**Diámetro de la herramienta** El diámetro de fresa especificado ( $D_c$ ), que tiene un diámetro de corte eficaz ( $D_e$ ) es la base de cálculo de la velocidad de corte  $v_c$  o  $v_e$ .

**La velocidad del husillo** es el número de revoluciones en rpm al que gira la herramienta (SANDVIK, 2011)

$$V_c = \pi * D * N \quad (1)$$

Fuente: (SANDVIK, 2011)



**Figura 7.** Avance (SANDVIK, 2011)

**El avance por diente.** - es el valor que se utiliza en el fresado para calcular el avance de mesa. El valor del avance por diente se calcula a partir del valor de espesor máximo de la viruta recomendado, en la figura número 7 se representa gráficamente el avance por diente.

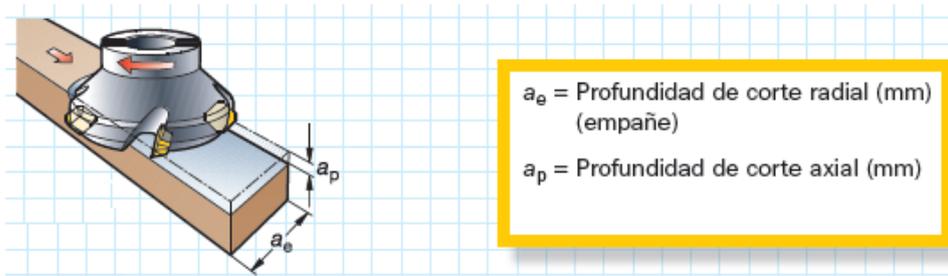
**Avance.** - Es la velocidad lineal de la herramienta a lo largo de la pieza de trabajo.

El avance por minuto (mm/min) también denominado avance de mesa, avance de máquina o velocidad de avance es el avance de la herramienta respecto a la pieza en distancia por unidad de tiempo.

**El número de dientes** de la herramienta se utiliza para determinar el avance de la mesa. (SANDVIK, 2011)

$$V_f = f_z * N * z \quad (2)$$

Fuente: (SANDVIK, 2011)



**Figura 8.** Profundidad de corte (SANDVIK, 2011)

**Profundidad de corte.** – Es la profundidad de la capa arrancada de la superficie del material base en una pasada de la herramienta de corte, en la figura 8 se representa un esquema de las profundidades de corte.

**Profundidad de corte axial** Les la parte de material que la herramienta elimina de la superficie de la pieza. Es la distancia a la que se ajusta la herramienta por debajo de la superficie sin mecanizar.

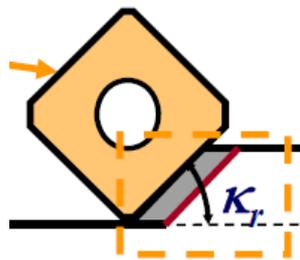
**Profundidad de corte radial** la anchura de corte radial es la anchura de la pieza sobre la que actúa el diámetro de la fresa.

**Espesor medio de viruta para filo recto. (hm)** Un valor útil para determinar la fuerza de corte específica, se utiliza para el cálculo de la potencia neta. (SANDVIK, 2011)

$$hm = \frac{360 * \sin(Kr) * ae * fz}{\pi * D * \arcsin\left(1 - \frac{2 * ae}{D}\right)} \quad (3)$$

Fuente: (SANDVIK, 2011)

Kr: Ángulo de posición de la plaquita, en la figura 9 se representa el ángulo Kr de un labio o plaquita de una fresa.



**Figura 9.** Ángulo de posición de la plaquita (Universidad Del Pais Vasco, 2013).

**Fuerza específica de corte.** El valor de la fuerza de corte específica ( $k_c$ ) es constante para cada material y se expresa en N/mm<sup>2</sup>.

$$Kc = Kc1 * hm^{-z} \quad (4)$$

Fuente: (SANDVIK, 2011)

z: factor de corrección del material

Kc1: presión específica de corte para 1 mm de espesor de viruta

**Potencia neta.** – La potencia neta es la potencia que debe ser capaz de proporcionar la máquina a los filos para impulsar la acción de mecanizado.

$$P_c = \frac{pa * pr * Vf * Kc}{60 * 10^6} \quad (5)$$

Fuente: (SANDVIK, 2011)

**Espesor máximo de viruta.** - El espesor de la viruta es un factor importante a la hora de decidir el avance por diente, para verificar que se emplea el avance de mesa más productivo. (SANDVIK, 2011)

$$hex = \frac{fz}{\sin(kr)} \quad (6)$$

Fuente: (SANDVIK, 2011)

**Sección de corte.** La sección de corte se representa en la figura 10.

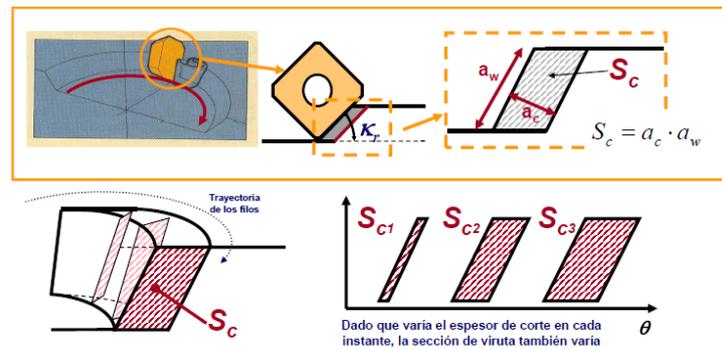


Figura 10. Sección de corte (Universidad Del Pais Vasco, 2013)

Para  $Kr=90^\circ$

$A_w=ap$

$A_c=hex$

$$S_c = ap * hex \quad (7)$$

Fuente: (SANDVIK, 2011)

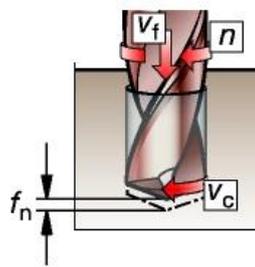
**Fuerza de corte.** – Es la fuerza de oposición que presenta el material ante la herramienta de corte.

$$F_c = K * S_c \quad (8)$$

*Fuente:* (SANDVIK, 2011)

### 1.2.3. Parámetros de taladrado

**Velocidad de penetración** es la velocidad de avance vertical que tiene la herramienta la figura 11 representa los parámetros de taladrado mencionados.



*Figura 11.* Velocidad de penetración (SANDVIK, 2011)

$$V_f = f_n * n \quad (9)$$

*Fuente:* (SANDVIK, 2011)

**Fuerza de avance** es la fuerza de reacción que genera el perforado en un material dado.

$$T = 0.5 * K_c * \frac{D_c}{2} * f_n * \sin(Kr) \quad (10)$$

*Fuente:* (SANDVIK, 2011)

### 1.3. Sistemas de control numérico computarizado CNC.

El control numérico computarizado CNC es un sistema de automatización utilizado en máquinas herramientas. Las instrucciones y comandos para realizar un trabajo en un sistema de control numérico se codifican con caracteres alfanuméricos, los cuales que, con ayuda de un procesador, se los interpreta para generar señales a controladores de actuadores los que por medio de mecanismos realiza movimientos precisos sobre una superficie o espacio.

### **1.3.1. Ventajas del CNC.**

Como ventajas de máquinas CNC se tiene:

- Integración de las operaciones de manufactura para mejorar la calidad y uniformidad del producto
- Minimizar los tiempos de ciclo y esfuerzos y, con ello, reducir los costos de mano de obra.
- Mejorar la productividad, reduciendo los costos de manufactura a través del mejor control de la producción.
- Mejorar la calidad de los productos finales empleando procesos más repetibles.
- Reducir la intervención humana, minimizando el error humano.
- Reducir daños en las piezas causados por mala manipulación.
- Aumentar el nivel de seguridad para el personal en especial bajo condiciones de trabajos pesados.
- Liberar al trabajador de tareas tediosas rutinarias y peligrosas.

### **1.3.2. Desventajas del CNC.**

Como desventajas de máquinas CNC se tiene:

- Elevado costo inicial
- Necesidad de conocimiento de la programación de código G
- Mantenimiento especializado
- Condiciones de riesgo

## **1.4. Programación CNC.**

Las máquinas herramientas que utilizan controladores CNC se manejan con un lenguaje de programación estandarizado por la ISO que consiste en simbología alfanumérica, aunque algunos fabricantes de controladores agregan sus propios códigos especiales, entre los más conocidos y utilizados se tiene:

Códigos G: Se refiere a trayectorias geométricas como líneas rectas, arcos etc.

Códigos M: automatización de funciones operativas como prender el husillo o el refrigerante.

Código S: Speed velocidad de giro del husillo.

Código F: Feed avance del mecanizado.

## **1.5. CAD – CAM.**

CAD (computer-aided design) diseño asistido por computador, son herramientas computacionales con los que se diseñan dibujos en 2D y modelos 3D con el fin de obtener una pre visualización del producto.

CAM (computer-aided manufacturing) manufactura asistida por computador, son herramientas computacionales con las cuales se simula y/o controla máquinas herramientas para la elaboración de piezas de trabajo siendo este un proceso posterior al CAD.

## CAPÍTULO 2

### 2. METODOLOGÍA

Para este trabajo se realiza una investigación de los parámetros de trabajo que el cliente requiere, con el fin de obtener información general de funcionamiento y presentar propuestas de solución basados en ingeniería mecatrónica para su construcción posterior.

#### 2.1. Requerimientos del cliente.

En la tabla número 1 se puede observar las características y requerimientos técnicos del taller de carpintería “Arte y Madera” para una fresadora de madera CNC.

**Tabla 1.** *Requerimientos del cliente*

Diseñador: Jairo Haro	Producto: Máquina CNC para desbaste de madera	Cliente: Taller de carpintería “Arte y Madera”	
Concepto	Propone	R/D	Descripción
Funcionalidad	C	R	Área de trabajo de 1000x900mm
	C	R	30 mm de máxima profundidad de trabajo en pasos
	C	R	Altura máxima de material de trabajo 50mm
	C	R	Extractor de viruta: no
	C	R	Material de trabajo MDF, Melamínico.
	C	R	Energía eléctrica 110V
	C	R	Porta-herramienta Dewalt DWE6000
Automatización	C	R	Ingreso del material manual
	C	R	Sujeción del material por mordazas
	C	D	PC para el control
Precisión	C	R	Precisión de trabajo +-2,5mm
Costo	C	R	2000 USD
Mantenimiento	C	D	Preventivo superficial

Por su forma, la fresadora de tipo puente móvil descrita en el apartado 1.2.1 es la más adecuada para satisfacer las necesidades de volumen de trabajo solicitadas por el cliente.

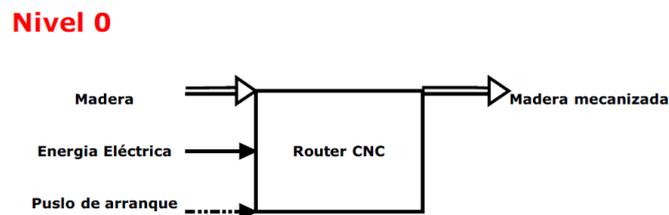
## 2.2. Diseño por análisis funcional

Para la aplicación de este método de diseño es necesario identificar la función global la misma que se define por el deseo del cliente, en este caso realizar el desbaste de madera por medio de un sistema computarizado.

En la figura 12, se muestra la función global en nivel 0.

Las subfunciones son aquellas funciones que permiten la realización de la función global, la relación entre estas se denomina interfases cuya naturaleza puede ser mecánica, de energía, de transferencia de material o de señales.

Las subfunciones se las obtiene al aumentar el nivel de la función global, tomando como punto inicial el nivel cero que se compone de un nivel primitivo y bajo una sola función presentado a continuación (Riva Romeva, 2002).



*Figura 12.* Nivel 0

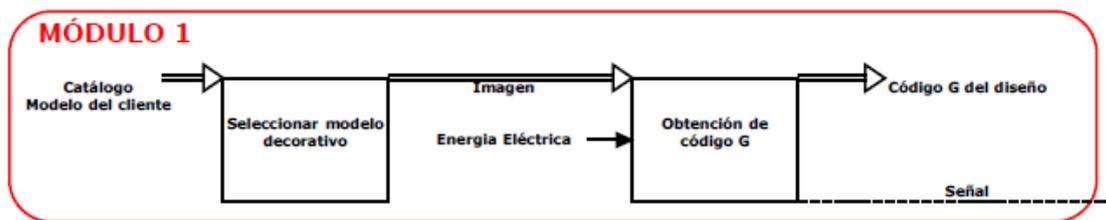
En el anexo 1 se presenta el análisis funcional realizado hasta un nivel 2 en el cual se observa un nivel adecuado de detalles de funcionamiento y características de la máquina suficiente para el análisis modular.

El análisis modular consiste en separar subfunciones e interfases en conjuntos inherentes a una tarea específica y se lo separa con polígonos para su estudio individual

A continuación, se evalúan posibles soluciones para cada uno de los módulos hasta obtener su solución adecuada, la misma que debe estar en concordancia con la información del cliente.

### 2.2.1. Módulo 1.

En la figura 13 se distingue el análisis funcional del módulo 1 de la máquina a un nivel 2 de detalle.



*Figura 13.* Módulo 1

En este módulo se desarrolla un método para obtener el código G necesario para la elaboración de los modelos artísticos.

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

- Selección del modelo artístico
- Generación del código G

Se proponen las posibles soluciones para las funciones de este módulo.

#### **Selección del modelo artístico**

Para la selección del modelo, se puede optar por dos opciones que son la de un catálogo ya definido por la empresa, o por un modelo propio del cliente de la empresa

## **Catálogo**

Es una lista ordenada y clasificada de productos y servicios que una empresa oferta para su comercialización, en este caso, una lista de imágenes que pueden ser desbastadas por la máquina.

### **Ventajas**

- Código G listo

### **Desventajas**

- Actualización permanente de catálogo

## **Modelo del cliente**

El modelo del cliente es una imagen propia digital deseada que se ajuste a las capacidades y características determinadas por la máquina.

### **Ventajas**

- Imagen de calidad de la empresa

### **Desventajas**

- Realización del código G

## **Generación del código G**

La generación del código G se la puede realizar de forma manual y por medio de software

Generación de código G de forma manual

Con este tipo de generación de código G, el tiempo del mismo se vuelve bastante extenso, conforme mayor detalle la dificultad de este es mayor, este tipo de programación es ideal para figuras relativamente sencillas.

### **Ventajas**

- Útil para figuras simples

### **Desventajas**

- Tedioso
- Demoroso
- Costo alto

### **Generación de código G por software**

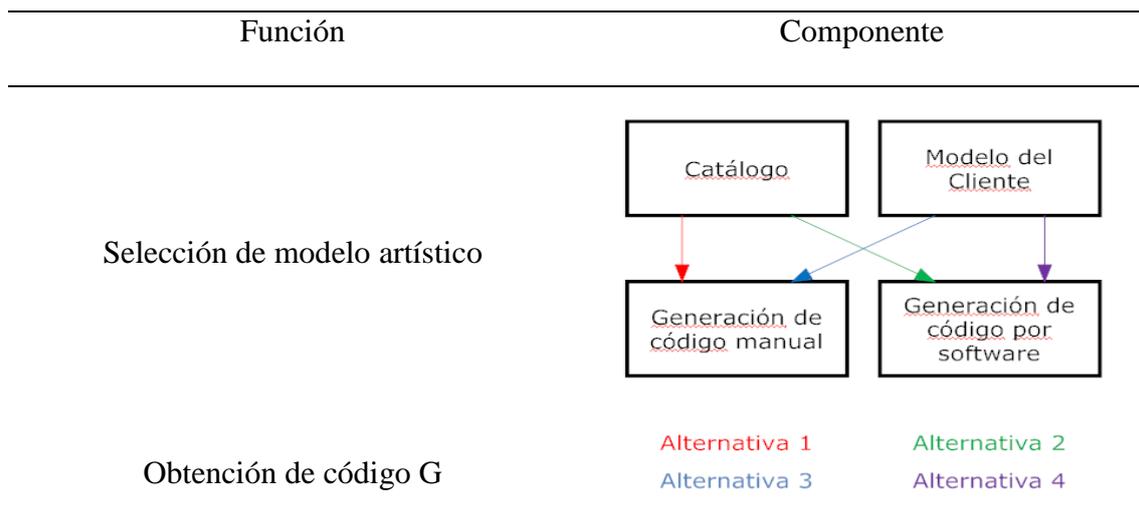
Con la ayuda de software libre, se puede obtener el código G de imágenes previas tanto por catálogo de la empresa como por un modelo del cliente, es una forma rápida para la obtención de las líneas de código necesarias y su nivel de dificultad no representa un problema.

### **Ventajas**

- Sencillo
- Capacidad para figuras complejas
- Rápido
- Costo bajo

### **Desventajas**

- Corrección por fallos



**Figura 14.** Combinación de soluciones módulo 1

La figura 14 muestra el esquema de combinación de soluciones para el módulo 1.

A continuación, se enlistan los criterios de valoración más importantes para el módulo 1 según las especificaciones del cliente.

- Costo bajo
- Precisión
- Facilidad para el operador
- Rapidez
- Capacidad de detalle

**Tabla 2.** *Evaluación de cada criterio, módulo 1*

	Costo	Precisión	Facilidad	Rapidez	Detalle	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0	0.5	0	0.5	2	0.133
Precisión	1		0.5	1	0.5	4	0.266
Facilidad	0.5	0.5		1	1	2	0.266
Rapidez	1	0			0	3	0.133
Detalle	0.5	0.5	0	1		3	0.2
					SUMA	15	1

Precisión > Capacidad de detalle = Rapidez > Costo bajo = Facilidad para el operario

A continuación, se evalúa las soluciones con respecto a los criterios de evaluación.

**Tabla 3.** *Evaluación de soluciones con respecto a costo bajo, módulo 1*

Costo bajo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0.5	0	1.5	0.15
Solución 2	1		1	0.5	3.5	0.35
Solución 3	0.5	0		0	1.5	0.15
Solución 4	1	0.5	1		3.5	0.35
				SUMA	10	1

Solución 4 = Solución 2 > Solución 3 = Solución 1

**Tabla 4.** *Evaluación de soluciones con respecto a precisión, módulo 1*

Precisión	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0.5	0	1.5	0.15
Solución 2	1		1	0.5	3.5	0.35
Solución 3	0.5	0		0	1.5	0.15
Solución 4	1	0.5	1		3.5	0.35
				SUMA	10	1

Solución 4=Solución 2> Solución 3=Solución 1

**Tabla 5.** *Evaluación de soluciones con respecto a facilidad, módulo 1*

Facilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0.5	0	1.5	0.15
Solución 2	1		1	0.5	3.5	0.35
Solución 3	0.5	0		0	1.5	0.15
Solución 4	1	0.5	1		3.5	0.35
				SUMA	10	1

Solución 4=Solución 2> Solución 3=Solución 1

**Tabla 6.** *Evaluación de soluciones con respecto a rapidez, módulo 1*

Rapidez	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0.5	0	1.5	0.15
Solución 2	1		1	0.5	3.5	0.35
Solución 3	0.5	0		0	1.5	0.15
Solución 4	1	0.5	1		3.5	0.35
				SUMA	10	1

Solución 4=Solución 2> Solución 3=Solución 1

**Tabla 7.** *Evaluación de soluciones con respecto a detalle, módulo 1*

Detalle	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	0.5	0	1.5	0.15
Solución 2	1		1	0.5	3.5	0.35
Solución 3	0.5	0		0	1.5	0.15
Solución 4	1	0.5	1		3.5	0.35
				SUMA	10	1

Solución 4=Solución 2> Solución 3=Solución 1

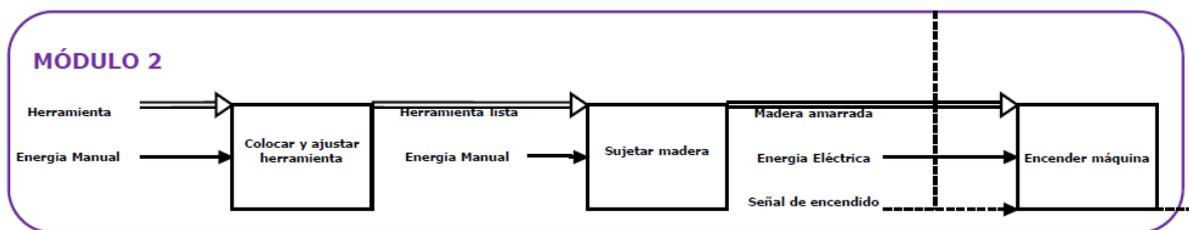
**Tabla 8.** *Tabla de conclusiones para el módulo 1*

Conclusiones	Costo	Precisión	Facilidad	Rapidez	Detalle	$\Sigma$	Ponderación
Solución 1	0.15x0.13	0.15x0.26	0.15x0.26	0.15x0.13	0.15x0.2	0.147	2
Solución 2	0.35x0.13	0.35x0.26	0.35x0.26	0.35x0.13	0.35x0.2	0.343	1
Solución 3	0.15x0.13	0.15x0.26	0.15x0.26	0.15x0.13	0.15x0.2	0.147	2
Solución 4	0.35x0.13	0.35x0.26	0.35x0.26	0.35x0.13	0.35x0.2	0.343	1
					SUMA	0.98	1

Por consiguiente, las soluciones que más se ajustan a los criterios de evaluación, son la solución 4 y 2 ya que no existe diferencia significativa a la hora de generar el código G ya sea con un modelo ya existente en el catálogo o un modelo propio del cliente.

### 2.2.2. Módulo 2

En la figura 15 se distingue el análisis funcional del módulo 2 de la máquina a un nivel 2 de detalle.



**Figura 15.** Módulo 2

En el módulo 2, se despliega una lista de acciones con el fin de poner a punto la herramienta de corte para el desbaste de la madera.

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

- Colocación y ajuste de la herramienta en el porta-herramienta
- Ajuste de la pieza
- Encendido de la máquina

Se proponen las posibles soluciones para las funciones de este módulo.

### Colocación de la herramienta en el porta-herramienta

#### Colocación Manual.

Consiste en colocar la herramienta y ajustar la herramienta al portaherramientas manualmente por parte de un operador.

### Ajuste de la pieza

#### Ajuste Manual

Consiste en amarrar la pieza a la mesa de trabajo manualmente por parte de un operador.

Encendido de la máquina

Consiste en encender la maquina por medio del botón de arranque por parte del operador.

La figura 16 muestra el esquema de combinación de soluciones para el módulo 2.

Función	Componente
Colocación de la herramienta en el porta-herramienta	Colocación manual
Ajuste de la herramienta	Ajuste manual
Encendido de la máquina	Encendido manual

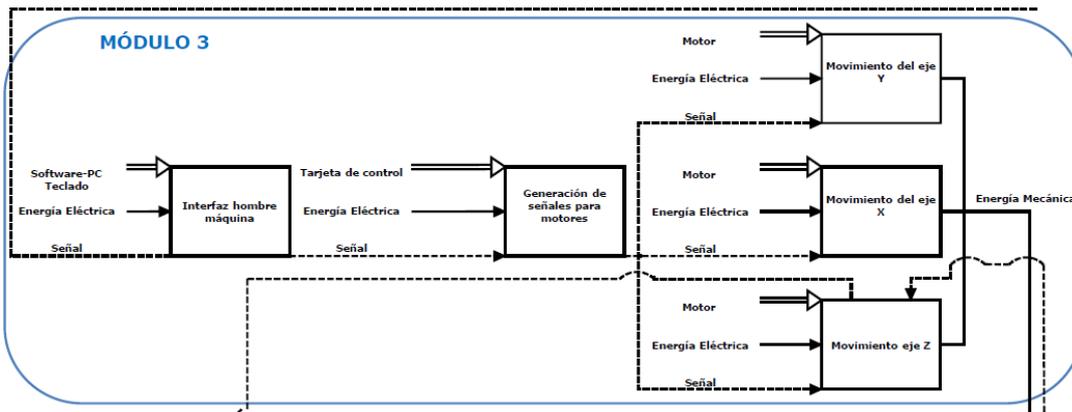
Alternativa 1

**Figura 16.** Combinación de soluciones módulo 2

En este módulo se prescinde el método de selección por tener una única solución.

### 2.2.3. Módulo 3.

En la figura 17 se distingue el análisis funcional del módulo 3 de la máquina a un nivel 2 de detalle.



*Figura 17.* Módulo 3

En este módulo se describe los pasos necesarios para el movimiento de los ejes de la máquina

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

- Interacción del usuario con la máquina
- Control de movimientos
- Movimientos de la máquina

Se proponen las posibles soluciones para las funciones de este módulo

#### **Interacción del usuario con la máquina**

Para la interacción del operador con la máquina se propone la utilización de un software cargado en una PC que se comunice con una tarjeta controladora para controlar los movimientos y el portaherramientas.

## Control de movimientos

Para el control de movimientos existen diferentes tarjetas de control con características similares.

### Arduino Uno+GRBL.

La figura 18 muestra la tarjeta electrónica Arduino



*Figura 18.* Arduino Uno (Arduino, s.f.)

### Características de Arduino UNO

- Microcontrolador Atmega 328 de 2KB de SRAM, 1KB de EEPROM y Memoria Flash de 32KB.
- 14 Entradas/Salidas digitales (6 de las cuales se puede emplear como salidas PWM).
- El voltaje de alimentación es de 5V.
- Corriente DC de cada pin digital de entrada/salida es 40mA.
- Un Oscilador de cristal de 16MHz

### Características GRBL v9.0

GRBL es un firmware que se carga al Arduino UNO para que este se convierta en una alternativa de alto performance y bajo costo para el control de movimiento de fresado por puerto paralelo. Es compatible con los estándares de código G.Arcos, círculos y movimientos helicoidales son totalmente compatibles, así como, todos los demás comandos de código G primarios. Grbl incluye la gestión plena aceleración con mira hacia adelante.

Eso significa que el controlador buscará hasta 18 movimientos en el futuro y planificar sus velocidades por delante para ofrecer una aceleración suave y sin tirones en las curvas.

- Velocidad de comunicación 115200 bauds
- Salida PWM del splindle para velocidad variable
- Numero de ejes 3 para motores PAP
- Entradas para el uso de sensores de límite para los ejes X, Y y Z, botoneras de paro y continuar, además del paro de emergencia.
- Comunicación por puerto USB, compatible con software CAM libre como Universal G code sender, Estlcam, GRBL controller, GRBL Panel.

### **Ventajas**

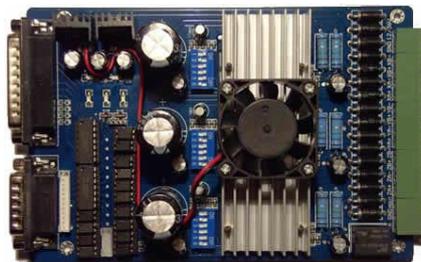
- Fácil montaje
- Fácil reparación
- Costo menor
- Comunicación por puerto USB
- Compatibilidad con software libre

### **Desventajas**

- Necesidad de drivers externos para control de motores

### **Toshiba TB6560AHQ**

La figura 19 muestra la tarjeta electrónica Toshiba TB6560AHQ.



*Figura 19.* Toshiba TB6560AHQ (Robotica CNC México , 2017)

## **Características de Tarjeta TB6560AHQ**

- Tiene el chip Toshiba TB6560AHQ de alta potencia.
- Tiene resoluciones para el ajuste micropaso desde 1 hasta 1/16, dando como resultado mayor precisión y un funcionamiento más suave.
- Configuración ajustable de la corriente, para diversos motores PAP se pueden ajustar para cada eje: el 25%, 50 %, 75 %, 100 % de la corriente total.
- Protección completa para la PC en caso de sobrecarga de corriente y exceso de temperatura.
- Incluye en su circuito salidas de relé máxima de 7.5A y 36V para el accionamiento de la herramienta de fresado.
- Entradas para el uso de sensores de límite para los ejes X, Y y Z, además del paro de emergencia.
- Posee una arquitectura universal, es decir es compatible para muchos programas CAM, como: MACH3, KCAM4, EMC2, etc.
- Tiene un diseño profesional que cuenta con procesamiento de señales con anti-jamming, es decir diseñado para evitar la interferencia de comunicación.
- Existen modelos para diferente número de ejes: 3, 4, 5, 6.
- El tráfico de datos tanto de ingreso como de salida por el puerto paralelo esta ópticamente aislado por una combinación de inversores 74HC14 y PC817.

## **Ventajas**

- Tarjeta todo en uno
- Capacidad para ejecutar comandos de código G avanzados

## **Desventajas**

- Costo mayor

- Comunicación por puerto paralelo
- Dificultad de reparación
- Drivers de motor integrados

### **XHC MK3 CNC Mach3.**

La figura 20 muestra la tarjeta electrónica XHC MK3 CNC Mach3.



*Figura 20.* XHC MK3 CNC Mach3 (Aliexpres, 2010)

### **Características de Tarjeta XHC MK3 CNC Mach3**

- Dual-procesadores, ARM + FPGA , Más potencia de procesamiento
- Compatible con todas las versiones de Mach3
- Funciona en Windows sistema operativo bits (No incluyendo Mac os)
- USB Jack no necesita instalar el controlador, Plug and play en todas las versiones de windows.
- Soporta 3-A Xis vinculación.
- Máxima frecuencia de paso de pulso es 2 MHz , Puede conectar servo controlador/controlador paso a paso .
- El indicador luminoso indica estado de trabajo diferentes, tales como conexión USB, conexión Mach3 y así sucesivamente.
- 16 entrada IO .

- A bordo fuente de alimentación aislada, No necesita fuente de alimentación externa.
- Todos los puertos IO totalmente aislado, fuerte anti-interferencia, un rendimiento estable.
- Soporte de salida PWM velocidad de giro; apoyo de husillo pulso y dirección de salida; Salida Velocidad de apoyo de husillo de 0 a 10 V de tensión analógica.
- Con una carcasa de aluminio, con eficacia interferencia de blindaje, estable y un rendimiento fiable.

### **Ventajas**

- Capacidad para ejecutar comandos de código G avanzados
- Comunicación por puerto USB
- Altas prestaciones industriales
- Control para motores paso y servo

### **Desventajas**

- Costo mayor
- Dificultad de reparación

### **Movimientos de la máquina.**

#### **Motores a pasos.**

Son motores de corriente directa utilizados en sistemas de precisión, su movimiento está dado por pasos, que refieren a una fracción de revolución según sea su característica, 1. 8°, 7. 5°, 15°, 30°, 45°, 90°.

Motores a pasos Bipolares

Se caracterizan por tener 2 bobinas, o 4 cables, su torque es mayor que el de los motores unipolares, y su control está dado por un driver que conmuta sus bobinas en el orden correcto para el movimiento en cualquier dirección o para el mantenimiento de su posición.

En la figura 21 se muestra la forma de un motor a pasos



*Figura 21.* Motor paso a paso (Stepperonline, 2017)

### **Ventajas**

- Exactitud en la posición y repetición de movimientos.
- Excelente respuesta ante arranque, parada y reversa.
- Error no es acumulativo de un paso a otro.
- Costo menor
- Control relativamente sencillo

### **Desventajas**

- No posee retroalimentación de velocidad y posición propio
- Posibles pérdidas de pasos

### **Servo motores**

Los servomotores son en general un conjunto de cuatro cosas: un motor de corriente continua, un conjunto de engranajes, un circuito de control y un sensor de posición.

Un servomotor es un motor eléctrico, que puede ser controlado tanto en velocidad como en posición, necesitados de un controlador que informa al accionamiento servo controlado sobre la necesidad de aplicar potencia para mover el servomotor hacia la posición deseada o comandada.

Los servomotores son utilizados en las más variadas aplicaciones industriales donde una elevada dinámica, control de par, precisión de velocidad y posicionamiento son factores decisivos para el aumento de la calidad y productividad.

La figura 22 muestra la forma general de un servomotor.



*Figura 22.* Servomotor (Areatecnologia, s.f.)

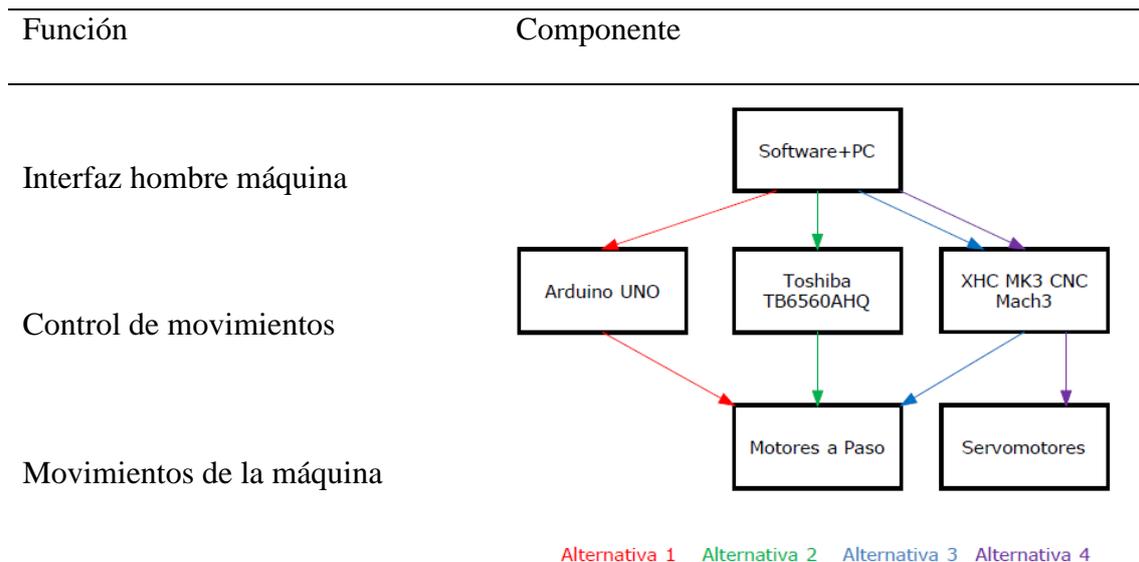
### **Ventajas**

- Alta precisión angular
- Alto torque

### **Desventajas**

- Costo mayor
- Control más avanzado

La figura 23 muestra el esquema de combinación de soluciones para el módulo 3.



**Figura 23.** Combinación de soluciones módulo 3

A continuación, se enlistan los criterios de valoración más importantes para el módulo 3

- Costo bajo
- Precisión
- Fuerza de motores
- Fácil mantenimiento
- Velocidad de movimiento

**Tabla 9.** Evaluación de cada criterio, módulo 3

	Costo	Precisión	Fuerza	Fácil M.	Velocidad	$\sum+1$	Ponderación
Costo		1	1	1	1	5	0.33
Precisión	0		1	1	1	4	0.26
Fuerza	0	0		0.5	0.5	2	0.133
Fácil M.	0	0	0.5		0	1.5	0.1
Velocidad	0	0	0.5	1		2.5	0.166
					SUMA	15	1

Costo > Precisión > Velocidad > Fuerza > Fácil M.

**Tabla 10.** *Evaluación de soluciones con respecto a costo bajo, módulo 3*

Costo bajo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	1	4	0.4
Solución 2	0		1	1	3	0.3
Solución 3	0	0		1	2	0.2
Solución 4	0	0	0	0	1	0.1
				SUMA	10	1

Solución 1 > Solución 2 > Solución 3 > Solución 4

**Tabla 11.** *Evaluación de soluciones con respecto a precisión, módulo 3*

Precisión	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	0.5	0	2	0.2
Solución 2	0.5		0.5	0	2	0.2
Solución 3	0.5	0.5		0	2	0.2
Solución 4	1	1	1		4	0.4
				SUMA	10	1

Solución 4 > Solución 1 = Solución 2 = Solución 3

**Tabla 12.** *Evaluación de soluciones con respecto a fuerza, módulo 3*

Fuerza	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	0.5	0	2	0.2
Solución 2	0.5		0.5	0	2	0.2
Solución 3	0.5	0.5		0	2	0.2
Solución 4	1	1	1		4	0.4
				SUMA	10	1

Solución 4 > Solución 1 = Solución 2 = Solución 3

**Tabla 13.** *Evaluación de soluciones con respecto a fácil mantenimiento, módulo 3*

Fácil M.	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		1	1	1	4	0.4
Solución 2	0		0.5	1	2.5	0.25
Solución 3	0	0.5		1	2.5	0.25
Solución 4	0	0	0		1	0.1
				SUMA	10	1

Solución 1 > Solución 2 = Solución 3 > Solución 4

**Tabla 14.** *Evaluación de soluciones con respecto a velocidad, módulo 3*

Velocidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	$\sum+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	0.5	0	2	0.2
Solución 2	0.5		0.5	0	2	0.2
Solución 3	0.5	0.5		0	2	0.2
Solución 4	1	1	1		4	0.4
				SUMA	10	1

Solución 4 > Solución 1 = Solución 2 = Solución 3

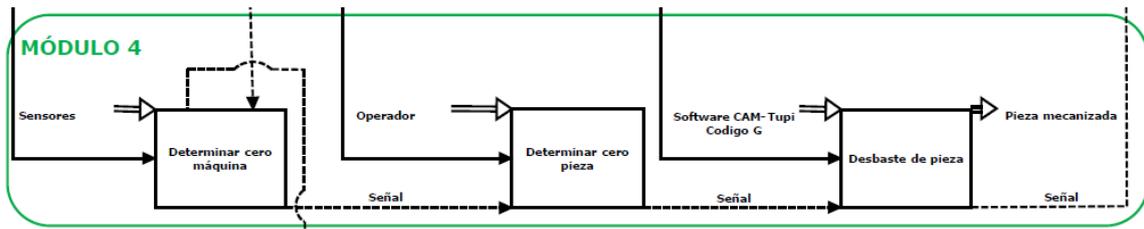
**Tabla 15.** *Tabla de conclusiones, módulo 3*

Conclusiones	Costo	Precisión	Fuerza	Fácil M.	Velocidad	$\sum$	Ponderación
Solución 1	0.4x0.33	0.2x0.26	0.2x0.13	0.4x0.1	0.2x0.16	0.282	1
Solución 2	0.3x0.33	0.2x0.26	0.2x0.13	0.25x0.1	0.2x0.16	0.234	3
Solución 3	0.2x0.33	0.2x0.26	0.2x0.13	0.25x0.1	0.2x0.16	0.201	4
Solución 4	0.1x0.33	0.4x0.26	0.4x0.13	0.1x0.1	0.4x0.16	0.263	2
					SUMA	0.98	1

Por consiguiente, la solución que más se ajusta a los criterios de evaluación es la solución uno.

#### 2.2.4. Módulo 4.

En la figura 24 se distingue el análisis funcional del módulo 4 de la máquina a un nivel 2 de detalle.



**Figura 24.** Módulo 4

Este módulo corresponde a la parte mecánica que interviene en el desbaste de la madera

- Puesta a punto de la máquina
- Desbaste de la madera

Se proponen las posibles soluciones para las funciones de este módulo:

### **Puesta a punto de la máquina**

En esta función se establece el cero máquina que se refiere a la localización inicial de la máquina y de donde parten todos sus movimientos, para ello se hace uso de finales de carrera mostrado en la figura 25 que identifican un punto seguro en el espacio de trabajo de la máquina que sirve de referencia para todos los movimientos posteriores.

A la vez, en este paso se establece el cero pieza, que se refiera a un parámetro de localización de la pieza con respecto al cero máquina, este paso se lo realiza de forma manual-visual identificando la forma de la pieza a mecanizar.



**Figura 25.** Final de carrera (Sensoritytips, 2013)

## **Desbaste de la madera**

Para transformar el movimiento circular a lineal y tomando en cuenta las potencias involucradas, se propone mecanismos de transformación de movimiento angular en lineal como son:

### **Tornillo de Potencia-Tuerca**

Los tornillos de potencia son aquellos destinados a la transmisión de potencia y movimiento, y que generalmente se utilizan para convertir un movimiento angular o de giro, en un movimiento de traslación o lineal, acompañado además de una transmisión de esfuerzo.



*Figura 26.* Mecanismo Tuerca-Tornillo de potencia

Fuente: (O3ozono, 2014)

### **Ventajas**

- Construcción local
- Paso extenso

### **Desventajas**

- Costo medio
- Alto rozamiento
- Necesita lubricación

### **Varilla roscada-Tuerca**

Es una varilla que presenta un roscado externo, generalmente se lo realiza de acero.



*Figura 27.* Varilla roscada (Proyectos de Tecnología, 2013)

### **Ventajas**

- Costo bajo
- Presencia en el mercado local
- Precisión media

### **Desventajas**

- Alto rozamiento
- Paso pequeño
- Necesita lubricación

### **Husillo de bolas**

Los husillos a bolas son muy similares a los tornillos de potencia con la excepción de un cojinete de bolas se monta en el tren entre el tornillo y la tuerca, en una pista de rodadura de recirculación. Las roscas de tornillo tienen formas redondeadas para adaptarse a la forma de las bolas. La función, la terminología y las fórmulas son las mismas que se encuentran con tornillos de potencia, sin embargo, el rendimiento de los tornillos de bolas es muy superior. La acción de rodadura de las bolas contra la acción de deslizamiento de la tuerca ACME proporciona ventajas significativas.



**Figura 28.** Husillo de bolas (Direct Industry, s.f.)

### **Ventajas**

- Precisión alta
- Bajo rozamiento
- Paso extenso

### **Desventajas**

- Presencia en el mercado extranjero
- Costo mayor

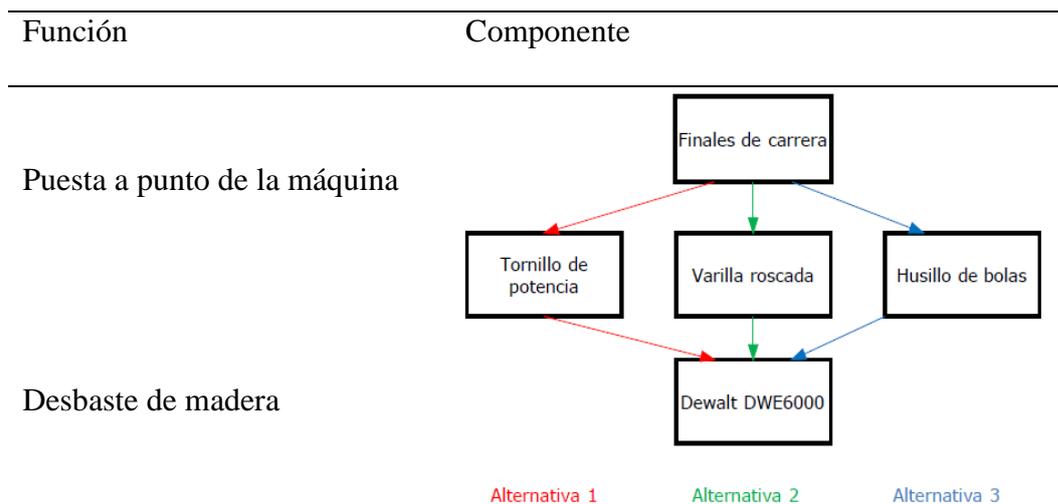
### **Tupi**

La tupi es una herramienta rotativa a la cual se acopla una fresa que sirve para mecanizar material por medio de arranque de viruta, se utiliza una tupi del taller como solución única ya que este es un requerimiento de la empresa la figura 29 muestra la forma de la tupi utilizada en el taller “Arte y Madera”.



**Figura 29.** Tupi (International Tool, s.f.)

La figura 30 muestra el esquema de combinación de soluciones para el módulo 4.



**Figura 30.** Combinación de soluciones módulo 4

A continuación, se enlistan los criterios de valoración más importantes para el módulo tres.

- Costo bajo
- Precisión
- Velocidad
- Fácil mantenimiento
- Fricción baja

**Tabla 16.** Evaluación de cada criterio, módulo 4

	Costo	Precisión	Velocidad	Fácil M.	Fricción	$\sum +1$	Ponderación
Costo		1	1	1	1	5	0.33
Precisión	0		1	1	1	4	0.26
Velocidad	0	0		0.5	0.5	2	0.133
Fácil M.	0	0	0.5		0.5	2	0.133
Fricción	0	0	0.5	0.5		2	0.133
						SUMA	15
							1

Costo > Precisión > Velocidad = Fácil M. = Fricción

---

**Tabla 17.** Evaluación de soluciones con respecto a costo bajo, módulo 4

Costo bajo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0	1	2	0.33
Solución 2	1		1	3	0.5
Solución 3	0	0		1	0.16
				6	1

Solución 2 > Solución 1 > Solución 3

---

**Tabla 18.** Evaluación de soluciones con respecto a precisión, módulo 4

Precisión	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	0	1.5	0.25
Solución 2	0.5		0	1.5	0.25
Solución 3	1	1		3	0.5
				6	1

Solución 3 > Solución 1 = Solución 2

---

**Tabla 19.** Evaluación de soluciones con respecto a velocidad, módulo 4

Velocidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		1	0	2	0.33
Solución 2	0		0	1	0.16
Solución 3	1	1		3	0.5
				6	1

Solución 3 > Solución 1 > Solución 2

**Tabla 20.** Evaluación de soluciones con respecto a fácil mantenimiento, módulo 4

Fácil M.	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1	2.5	0.416
Solución 2	0.5		1	2.5	0.416
Solución 3	0	0		1	0.16
				6	1

Solución 2 = Solución 1 > Solución 3

**Tabla 21.** Evaluación de soluciones con respecto a fricción, módulo 4

Fricción	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución 1		0.5	0	1.5	0.25
Solución 2	0.5		0	1.5	0.25
Solución 3	1	1		3	0.5
				6	1

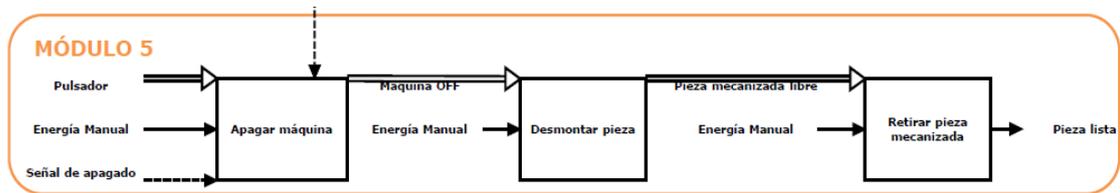
Solución 3 > Solución 1 = Solución 2

**Tabla 22.** Tabla de conclusiones módulo 4

Conclusiones	Costo	Precisión	Velocidad	Fácil M.	Fricción	$\Sigma$	Ponderación
<b>Solución 1</b>	0.33x0.33	0.33x0.26	0.33x0.13	0.416x0.13	0.25x0.13	0,30338	3
<b>Solución 2</b>	0.5x0.33	0.16x0.26	0.16x0.13	0.416x0.13	0.25x0.13	0,33738	1
<b>Solución 3</b>	0.16x0.33	0.5x0.26	0.5x0.13	0.16x0.13	0.5x0.13	0,3336	2
					SUMA	0.98	1

## 2.2.5. Módulo 5

En la figura 31 se distingue el análisis funcional del módulo 5 de la máquina a un nivel 2 de detalle.



*Figura 31.* Módulo 5

En el último módulo, se describe los pasos para el desmontaje de la pieza ya desbastada.

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

- Desmontaje de la pieza mecanizada

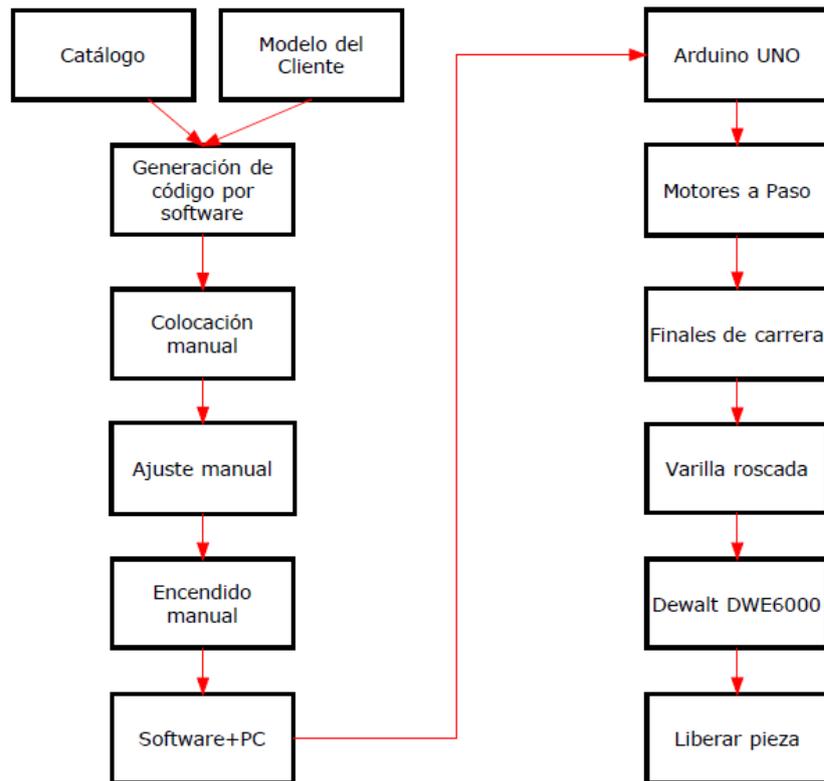
Se proponen las posibles soluciones para las funciones de este módulo:

Desmontaje de la pieza mecanizada

Para el desmontaje de la pieza mecanizada se apaga la máquina, se desamarra la pieza ya mecanizada y se retira de la mesa de trabajo manualmente.

En este módulo se prescinde el método de selección por tener una única solución.

De este análisis se obtiene el funcionamiento y partes principales de las que se compone la máquina a desarrollar, en la figura 32 se detallan los mismos.

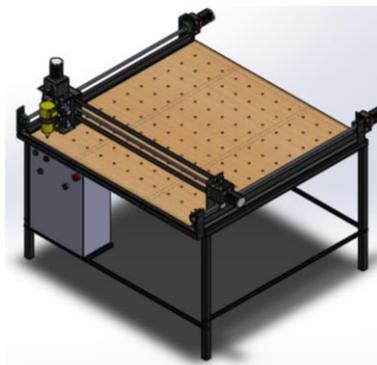


*Figura 32.* Combinación de soluciones final

## 2.3. Diseño del sistema mecánico

### 2.3.1. Partes y forma general de la máquina

Con la información obtenida previamente, se realiza un esquema funcional-estructural de la máquina con ayuda de un software de diseño el cual se presenta en la figura 33.



*Figura 33.* Forma general de la máquina

### 2.3.2. Determinación de la fuerza de corte

La fuerza de corte aparece cuando la herramienta perfora la superficie de un material y lo desgarrar, por lo tanto, esta fuerza debe ser considerada para el diseño de la máquina.

Para un diseño conservador, se obtendrá la fuerza de corte con condiciones críticas de la máquina y del material.

En la tabla 23, se expone los elementos y cálculos necesarios para determinar la fuerza de corte, con fórmulas y datos obtenidos del catálogo SANDVIK:

**Tabla 23.** Datos preliminares para el cálculo de los parámetros de corte

Simbología	Valor	Unidades	Descripción
Pm	500	W	Potencia del motor
N	33000	rpm	Velocidad del motor
z	2	-	Número de dientes de la herramienta
D	9	mm	Diámetro de la herramienta
ae	9	mm	Profundidad de corte radial
Vf	300	mm/min	Velocidad de avance
Kr	90	°	Ángulo de la fresa

#### **Fresado Lateral:**

Para calcular la fuerza de corte en el fresado lateral se tiene:

Con ayuda de la ecuación número dos del apartado 1.2.2, obtenemos el avance por diente:

$$fz = \frac{Vf}{N * z} = 0.005\text{mm}$$

Con ayuda de la ecuación número tres del apartado 1.2.2, obtenemos el espesor medio de viruta:

$$hm = \frac{360 * \sin(Kr) * ae * fz}{\pi * D * \arcsin\left(1 - \frac{2 * ae}{D}\right)} = 0.003\text{mm}$$

Fuerza especifica de corte:

No existe un único valor de fuerza especifica de corte para la madera, pues la variedad de esta y sus condiciones hace que este valor fluctuó en diferentes bibliografías, por lo que, por cuestiones de cálculo, se procede a trabajar con un material con características mecánicas superiores al de la madera para garantizar un acercamiento conservador a la realidad, en este caso se ha seleccionado el valor del aluminio comercial puro que se detalla en la figura 34

Código MC	Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, $k_{ct}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$m_c$	
N1.1.Z.UT	1	1	comercial puro	Z	UT	30 HB	350	0.25
N1.2.Z.UT	1	2	aleaciones AISI, Si ≤1%	Z	UT	60 HB	400	0.25
N1.2.Z.AG	1	2		Z	AG	100 HB	650	0.25
N1.2.S.UT	1	2		S	UT	75 HB	410	0.25
N1.2.C.NS	1	2	aleaciones con base de aluminio	C	NS	80 HB	410	0.25

**Figura 34.** Fuerza especifica de corte de metales no ferrosos (SANDVIK, 2011).

Para obtener la fuerza especifica de corte se tiene la ecuación número cuatro del apartado 1.2.2.

$$Kc = Kc1 * hm^{-mc} = 1495.5 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Potencia de corte de la herramienta:

Es la potencia real con la que la máquina desbasta la madera, se toma el 90% porque la máquina es nueva.

$$Pc = Pm * 0.9 = 450W$$

Profundidad de corte axial máximo:

Despejando la ecuación cinco correspondiente a la potencia de corte del apartado 1.2.2, podemos obtener la profundidad máxima a la que la tupí es capaz de desbastar el material.

$$a_p = \frac{P_c}{a_e * V_f * K_c} = 6.627 \text{ mm}$$

Espesor máximo de viruta se obtiene de la ecuación seis del apartado 1.2.2

$$h_{ex} = \frac{f_z}{\sin(kr)} = 0.005 \text{ mm}$$

Con ayuda de la ecuación número siete del apartado 1.2.2, obtenemos la sección de corte:

$$S_c = a_p * h_{ex} = 0.03 \text{ mm}^2$$

Fuerza de corte:

$$F_c = K_c * S_c = 45.45 \text{ N}$$

Taladrado:

Para calcular el empuje generado por el taladrado se tiene:

Avance por vuelta lo obtenemos de la ecuación 9 del apartado 1.2.3

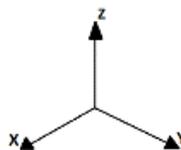
$$f_n = \frac{v_f}{N} = 0.009 \text{ mm/vuelta}$$

La fuerza de avance se obtiene de la ecuación 10 del apartado 1.2.3

$$T = 0.5 * K_c * \frac{d}{2} * f_n * \sin(kr) = 30.27 \text{ N}$$

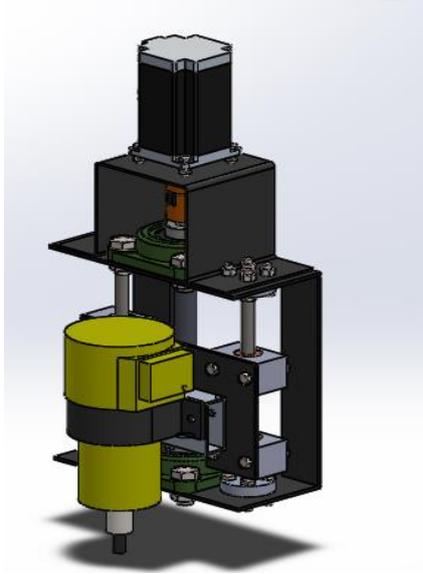
### 2.3.3. Diseño del carro en el eje Z

El sistema de coordenadas para los siguientes cálculos se muestra en la figura 35.



**Figura 35.** Sistema de coordenadas

Haciendo uso de un sistema computacional de diseño se propone el siguiente esquema para el carro del eje Z, el mismo que se muestra en la figura 36.



**Figura 36.** Esquema del carro eje Z

En el que se aprecia las partes principales como:

- El portaherramientas (tupí).
- Una mordaza para el portaherramientas.
- Una plancha para soportar al portaherramientas.
- Cuatro bocines para soportar la plancha.
- Dos ejes para soportar los bocines y a la vez para guiarlos.
- Una varilla roscada y una tuerca para realizar el movimiento sobre el eje Z.
- Dos chumaceras de piso para soportar la varilla roscada y permitir su rotación.
- Un motor paso a paso y un acople lovejoy para transmitir potencia a la varilla roscada.

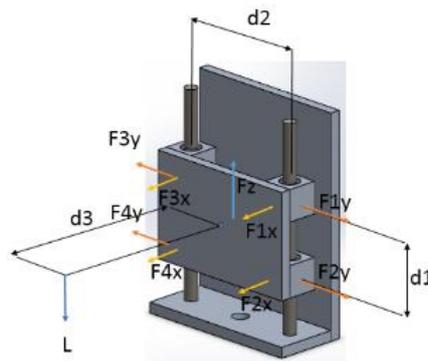
Cálculos de los ejes guías del carro en Z:

Para el diseño de los ejes se debe considerar las cargas a los que estos están sometidos, en este caso dichas cargas se generan por la fuerza de corte, y el peso que soporta, a continuación, se realiza en cálculo de las reacciones generadas por estas fuerzas sobre los ejes.

Existen tres tipos de estado a los que los ejes están sometidos; modo stand-by, modo taladrado y el modo fresado, por lo cual se procede a realizar los cálculos de reacciones en cada uno de estos.

### **Análisis de reacciones en modo stand-by eje Z.**

La figura 37 muestra el diagrama de cuerpo libre del eje Z en estado stand-by.



**Figura 37.** Diagrama de cuerpo libre modo stand-by eje Z

Los datos necesarios para realizar los cálculos de reacciones sobre los ejes son:

$$L = W$$

$$W = 14.7 \text{ N} \quad \text{Peso de la tupi}$$

$$d1 = 80\text{mm}$$

$$d2 = 130\text{mm}$$

$$d3 = 75\text{mm}$$

$$d4 = 130\text{mm}$$

Se procede a realizar la sumatoria de fuerzas y momentos.

$$\sum F_x = 0$$

$$F1_x + F2_x + F3_x + F4_x = 0$$

Por simetría se tiene:

$$F2_x = F4_x$$

$$F3_x = F1_x$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{1y} + F_{2y} - F_{3y} - F_{4y} = 0$$

Por simetría se tiene:

$$F_{1y} = -F_{3y}$$

$$F_{2y} = -F_{4y}$$

Por lo que:

$$2F_{1y} + 2F_{2y} = 0$$

$$F_{1y} = -F_{2y}$$

$$\sum F_z = 0$$

$$-L + F_z = 0$$

$$F_z = L$$

$$\sum M_{1x} = 0$$

$$\frac{d}{2} * L - \frac{d_2}{2} * F_z + F_{2y} * d_1 - F_{4y} * d_1 = 0$$

$$2F_{2y} * d_1 = 0$$

Entonces

$$F_{1y} = F_{2y} = F_{3y} = F_{4y} = 0$$

$$\sum M_{1y} = 0$$

$$d_3 * L - F_{2x} * d_1 - F_{4x} * d_1 = 0$$

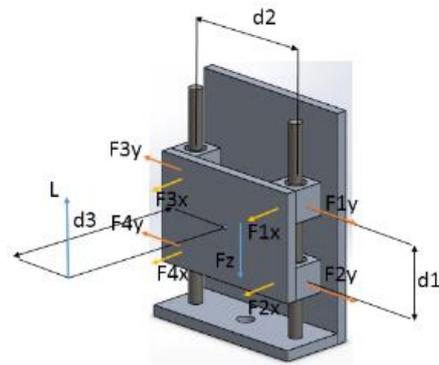
$$d_3 * L - 2 * F_{2x} * d_1 = 0$$

Las reacciones resultantes en los ejes son:

$$F_{1x} = F_{3x} = -\frac{L}{2} * \frac{d_3}{d_1} = -6.891N$$

$$F_{2x} = F_{4x} = \frac{L}{2} * \frac{d_3}{d_1} = 6.891N$$

### Análisis de reacciones del taladrado eje Z.



**Figura 38.** Diagrama de cuerpo libre modo taladrado eje Z

Para el taladrado se tiene la siguiente fuerza

$$L = T - W = 15.57N$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} = 0$$

Por simetría se tiene

$$F_{2x} = F_{4x}$$

$$F_{3x} = F_{1x}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{1y} - F_{2y} + F_{3y} - F_{4y} = 0$$

Por simetría se tiene

$$F_{1y} = -F_{3y}$$

$$F_{2y} = -F_{4y}$$

$$2F_{1y} + 2F_{2y} = 0$$

$$F_{1y} = -F_{2y}$$

$$\sum F_z = 0$$

$$L - Fz = 0$$

$$Fz = L$$

$$\Sigma M1x = 0$$

$$-\frac{d}{2} * L + \frac{d2}{2} * Fz + F2y * d1 - F4y * d1 = 0$$

$$2F2y * d1 = 0$$

$$F1y = 0$$

$$F2y = 0$$

$$F3y = 0$$

$$F4y = 0$$

$$\Sigma M1y = 0$$

$$-d3 * L - F2x * d1 - F4x * d1 = 0$$

$$-d3 * L - 2 * F2x * d1 = 0$$

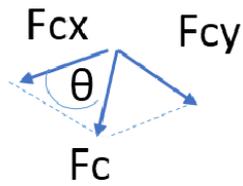
Las reacciones resultantes en los ejes son:

$$F1x = F3x = \frac{L}{2} * \frac{d3}{d1} = 7.298N$$

$$F2x = F4x = -\frac{L}{2} * \frac{d3}{d1} = -7.298N$$

### **Análisis del fresado eje Z.**

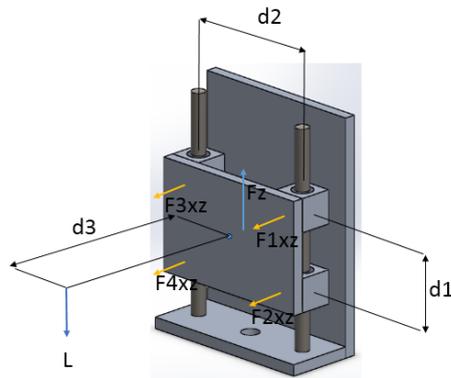
Para el análisis del fresado se lo realiza en tres partes, la primera que corresponde a las fuerzas ya calculadas en el modo stand-by, puesto que no se ejerce más fuerzas en el eje Z, la segunda cuando la fuerza de corte está en dirección X y la tercera cuando está en dirección Y, al final se realiza la suma de estas tres fuerzas para obtener la ecuación correspondiente en función del ángulo de corte.



**Figura 39.** Descomposición de la fuerza de corte

$$F_{cx} = \cos(\theta) * F_c$$

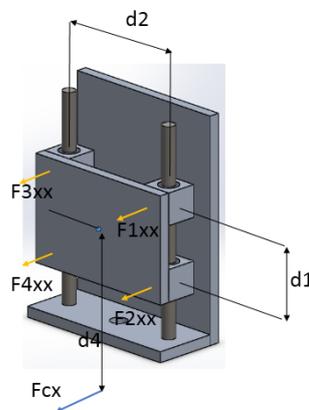
$$F_{cy} = \text{sen}(\theta) * F_c$$



**Figura 40.** Diagrama de cuerpo libre del eje Z fresado fuerzas Z

$$F_{1xz} = F_{3xz} = -\frac{L}{2} * \frac{d3}{d1}$$

$$F_{2xz} = F_{4xz} = \frac{L}{2} * \frac{d3}{d1}$$



**Figura 41.** Diagrama de cuerpo libre del eje Z fresado fuerzas X

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{1xx} + F_{2xx} + F_{3xx} + F_{4xx} + F_{cx} = 0$$

Por simetría se tiene:

$$F_{2xx} = F_{4xx}$$

$$F_{3xx} = F_{1xx}$$

Por lo que

$$2F_{2xx} + 2F_{1xx} + F_{cx} = 0$$

$$F_{1xx} = -F_{2xx} - \frac{F_{cx}}{2}$$

Dado que no existen fuerzas en las coordenadas "Y" y "Z" se tiene:

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum F_z = 0$$

$$\sum M_{1y} = 0$$

$$-F_{cx} * \left( d_4 + \frac{d_1}{2} \right) - F_{2xx} * d_1 - F_{4xx} * d_1 = 0$$

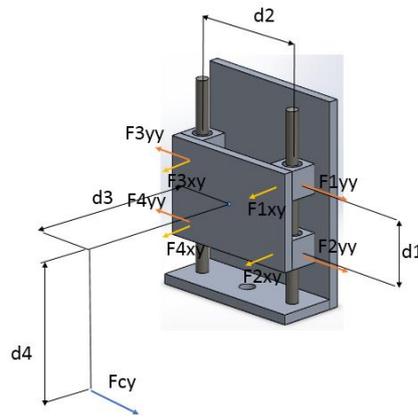
$$-F_{cx} * \left( d_4 + \frac{d_1}{2} \right) - 2 * F_{2xx} * d_1 = 0$$

$$2 * F_{2xx} * d_1 = -F_{cx} * d_4 - \frac{F_{cx} * d_1}{2}$$

$$F_{2xx} = \frac{F_{cx} * d_4}{2 * d_1} - \frac{F_{cx}}{4} = F_{cx} \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{2} * \left( \frac{d_4}{d_1} \right) \right)$$

$$F_{1xx} = F_{cx} \left( \frac{1}{4} + \frac{1}{2} * \left( \frac{d_4}{d_1} \right) \right) - \frac{F_{cx}}{2} = \frac{F_{cx}}{4} + \frac{F_{cx}}{2} * \left( \frac{d_4}{d_1} \right) - \frac{F_{cx}}{2} = -\frac{F_{cx}}{4} + \frac{F_{cx}}{2} * \left( \frac{d_4}{d_1} \right)$$

$$F_{1xx} = F_{cx} \left( -\frac{1}{4} + \frac{1}{2} * \left( \frac{d_4}{d_1} \right) \right)$$



**Figura 42.** Diagrama de cuerpo libre del eje Z fresado fuerzas Y

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{1xy} + F_{2xy} + F_{3xy} + F_{4xy} = 0$$

Por simetría se tiene:

$$F_{3xy} = F_{4xy}$$

$$F_{2xy} = F_{1xy}$$

Por lo que

$$F_{1xy} = -F_{3xy}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{1yy} + F_{2yy} - F_{3yy} - F_{4yy} + F_{cy} = 0$$

Por simetría se tiene:

$$F_{2yy} = -F_{4yy}$$

$$F_{1yy} = -F_{3yy}$$

Por lo que

$$2F_{1yy} + 2F_{2yy} + F_{cy} = 0$$

$$F_{1yy} = -F_{2yy} - F_{cy}/2$$

$$\sum F_z = 0$$

$$\sum M_{1z} = 0$$

$$F_{3xy} * d_2 + F_{4xy} * d_2 - F_{cy} * d_3 = 0$$

$$2F_{3xy} * d_2 = F_{cy} * d_3$$

$$F_{4xy} = F_{3xy} = \frac{F_{cy} * d_3}{2 * d_2}$$

$$F_{2xy} = F_{1xy} = -\frac{F_{cy} * d_3}{2 * d_2}$$

$$\Sigma M_{1x} = 0$$

$$-F_{4yy} * d_1 + F_{2yy} * d_1 + F_{cy} * \left(d_4 - \frac{d_1}{2}\right) = 0$$

$$2F_{2yy} * d_1 = -F_{cy} * \left(d_4 - \frac{d_1}{2}\right)$$

$$F_{2yy} = \frac{F_{cy} * d_4}{2 * d_1} - \frac{F_{cy}}{4} = F_{cy} * \left(-\frac{1}{4} - \frac{1}{2} * \left(\frac{d_4}{d_1}\right)\right)$$

$$F_{1yy} = F_{cy} * \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{2} * \left(\frac{d_4}{d_1}\right)\right) - \frac{F_{cy}}{2} = \frac{F_{cy}}{4} + \frac{F_{cy}}{2} * \frac{d_4}{d_1} - \frac{F_{cy}}{2} = \frac{F_{cy}}{4} + \frac{F_{cy}}{2} * \frac{d_4}{d_1}$$

$$F_{1yy} = F_{cy} * \left(-\frac{1}{4} + \frac{1}{2} * \frac{d_4}{d_1}\right)$$

Dado que la construcción de este eje es simétrica, es suficiente tomar en cuenta nada más la barra lateral derecha para la simplificación de cálculos.

Las reacciones del punto 1 y 2 dependen del ángulo de corte en el que la máquina está desbastando, por lo que al sumar algebraicamente las reacciones en estos puntos se obtiene las siguientes ecuaciones.

### **Punto 1**

$$F_{1xf} = F_{1xz} + F_{1xx} + F_{1xy}$$

$$F_{1xf} = -\frac{L * d_3}{2 * d_1} + F_{cx} * \left(-\frac{1}{4} + \left(\frac{d_4}{2 * d_1}\right)\right) - F_{cy} * \left(\frac{d_3}{2 * d_2}\right)$$

$$F_{1yf} = F_{1yy}$$

$$F1yf = Fcy * \left( -\frac{1}{4} + \left( \frac{1}{2} * \frac{d4}{d1} \right) \right)$$

**Punto2**

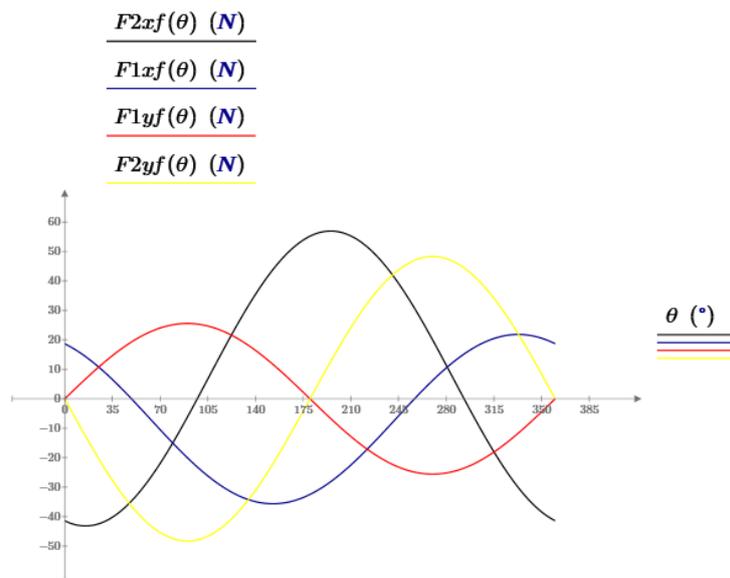
$$F2xf = F2xz + F2xx + F2xy$$

$$F2xf = \frac{L * d3}{2 * d1} + Fcx * \left( -\frac{1}{4} - \left( \frac{d4}{2 * d1} \right) \right) - Fcy * \left( \frac{d3}{2 * d2} \right)$$

$$F2yf = F2yy$$

$$F2yf = Fcy * \left( -\frac{1}{4} - \left( \frac{1}{2} * \frac{d4}{d1} \right) \right)$$

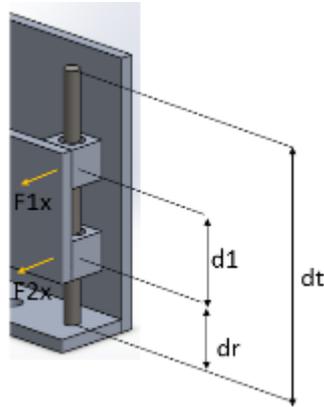
En la figura 43 se muestra gráficamente el comportamiento de las reacciones de la barra de guía lateral derecha perteneciente al carro del eje Z.



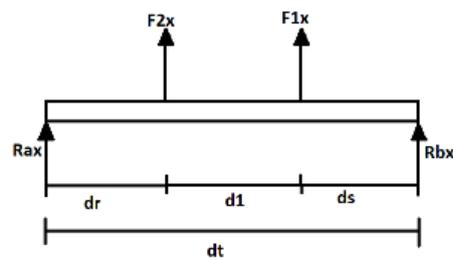
**Figura 43.** Reacciones resultantes de la guía lateral derecha del carro en el eje Z en función del ángulo de corte

## Cálculo de momentos en la barra lateral derecha del carro del eje Z

### Momentos en el plano XZ



**Figura 44.** Esquema X barra lateral derecha eje Z



**Figura 45.** Diagrama de fuerzas X de la barra lateral derecha

Fuerzas

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{ax} + F_{2x} + F_{1x} + R_{bx} = 0$$

$$R_{ax} + R_{bx} = -F_{2x} - F_{1x}$$

$$\sum M_{1y} = 0$$

$$d_r * F_{2x} + (d_r + d_1) * F_{1x} + d_t * R_{bx} = 0$$

$$R_{bx} = \frac{-F_{2x} * d_r - F_{1x} * (d_r + d_1)}{d_t}$$

$$R_{ax} = -F_{2x} - F_{1x} - R_{bx}$$

Cortantes

$$V_{ax} = R_{ax}$$

$$V_{2x} = V_{ax} + F_{2x}$$

$$V_{1x} = V_{2x} + F_{1x}$$

$$V_{bx} = V_{1x} + R_{bx}$$

Momentos

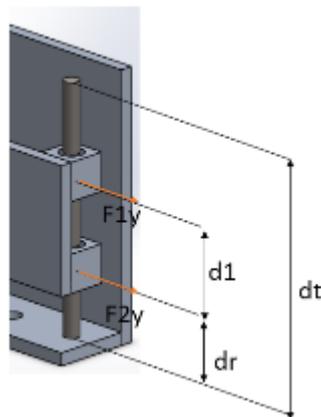
$$M_{ay} = 0$$

$$M_{2y} = M_{ay} + V_{ax} * d_r$$

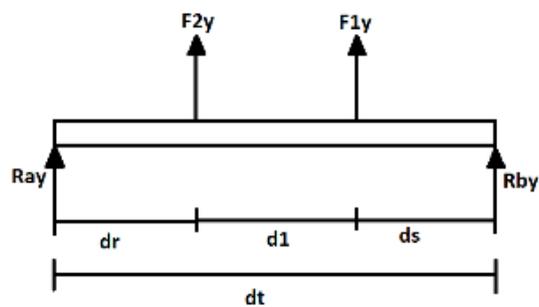
$$M_{1y} = M_{2y} + V_{2x} * d_1$$

$$M_{by} = M_{1y} + V_{1x} * d_s$$

Momentos en el plano YZ



*Figura 46.* Esquema del plano YZ de la barra lateral derecha eje Z



*Figura 47.* Diagrama de fuerzas Y de la barra lateral derecha

Fuerzas

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{ay} + F_{2y} + F_{1y} + R_{by} = 0$$

$$R_{ay} + R_{by} = -F_{2y} - F_{1y}$$

$$\sum M_{1y} = 0$$

$$dr * F_{2y} + (dr + d1) * F_{1y} + dt * R_{by} = 0$$

$$R_{by} = -\frac{F_{2y} * dr - F_{1y} * (dr + d1)}{dt}$$

$$R_{ay} = -F_{2y} - F_{1y} - R_{by}$$

Cortantes

$$V_{ay} = R_{ay}$$

$$V_{2y} = V_{ay} + F_{2y}$$

$$V_{1y} = V_{2y} + F_{1y}$$

$$V_{by} = V_{1y} + R_{by}$$

Momentos

$$M_{ax} = 0$$

$$M_{2x} = M_{ax} + V_{ay} * dr$$

$$M_{1x} = M_{2x} + V_{2y} * d1$$

$$M_{bx} = M_{1x} + V_{1y} * ds$$

Momentos en el punto 1 y 2

$$M_1 = \sqrt{M_{1x}^2 + M_{1y}^2}$$

$$M_2 = \sqrt{M_{2x}^2 + M_{2y}^2}$$

Resultados del cálculo de momentos

Con ayuda de software, se obtuvo los siguientes datos del punto crítico de la guía, el

programa realizado se muestra en el anexo 4.

**Tabla 24.** Resultados de puntos críticos del eje Z

Máquina en modo	Parámetro		
	Distancia hacia el punto crítico	Momento máximo	Momento mínimo
Stand by	105 mm	229.7 Nmm	-45.94 Nmm
Taladrado	105 mm	-243.27 Nmm	48.65 Nmm
Fresado	65 mm	2234.9 Nmm (a 227 °)	-1927.5Nmm (a 26°)

Para un diseño conservador los ejes se diseñan en función de teoría de fatiga.

A continuación, se detallan los parámetros de cálculo de fatiga.

Límite de fatiga sin corregir:

$$Se' = \frac{Su}{2} \quad (11)$$

*Fuente:* (Garcia, Abella, & Boada, 2008)

#### **Factor de acabado superficial**

$$Cs = A * sut^b \quad (12)$$

*Fuente:* (Garcia, Abella, & Boada, 2008)

**Tabla 25.** Valores de acabados superficiales

Acabado superficial	Coefficiente A (MPa)	Exponente b
Pulido	1	0
Acabado fino (esmerilado, rectificado)	1.58	-0.085
Mecanizado sin acaba/estirado en frio	4.51	-0.265
Laminado en caliente	57.7	-0.718
Forjado	272	-0.995

Nota: Recuperado de (Garcia, Abella, & Boada, 2008).

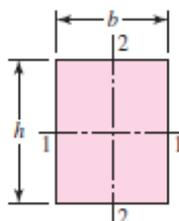
### Factor de tamaño

Para una sección circular maciza.

$$Ct = 1.24 * d^{-1.107} \quad (13)$$

Fuente: (Shigley, 2008)

Para una sección no circular se aplica el método del área del 95%, en la siguiente figura se muestra el diámetro equivalente de un área rectangular.



**Figura 48.** Área del 95% de perfil estructural rectangular

Fuente: (Shigley, 2008)

$$de = 0.808 * \sqrt{h * b} \quad (14)$$

Fuente: (Shigley, 2008)

### Factor de confiabilidad.

**Tabla 26.** *Tabla de factor de confiabilidad*

Confiabilidad	Coefficiente Cf
0.5	1
0.9	0.897
0.99	0.868
0.999	0.814
0.999	0.753

Nota: Recuperado de (Garcia, Abella, & Boada, 2008).

### Factor de temperatura

Ct=1                      T<=450°C

Fuente: (Garcia, Abella, & Boada, 2008).

### Factor de carga

**Tabla 27.** *Factores para diferentes tipos de carga*

Ce	Tipo de carga
1	Flexión
0.85	Axial
0.59	Torsión

Nota: Recuperado de (Shigley, 2008).

### Ecuación de Marin

$$Se = Se' * Ce * Cs * Cf * Ct * CT \quad (15)$$

Fuente: (Garcia, Abella, & Boada, 2008)

## Factor de seguridad según Soderberg

$$Nf = \left( \frac{\sigma a}{Se} + \frac{\sigma m}{Sy} \right)^{-1} \quad (16)$$

Fuente: (Garcia, Abella, & Boada, 2008)

A continuación, se realiza los cálculos para un eje de acero inoxidable de 3/8 in y 200 mm de largo

Datos:

d=9.53mm

Datos de Acero AISI 304

Sy=170MPa

Su=485MPa

(SUMITEC, 2017)

Módulo de resistencia de una sección circular:

$$S = \frac{d^3 * \pi}{32} = 84.973\text{mm}^3$$

Mmax=2234.9 Nmm

Mmin=-1927.5 Nmm

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{S} = 26.301\text{MPa}$$

$$\sigma_{min} = \frac{M_{min}}{S} = -22.68\text{MPa}$$

Esfuerzo medio:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 1.809\text{MPa}$$

Esfuerzo alternante:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 24.493\text{MPa}$$

Coeficientes de Marin

$$Se' = 0.5 * Sut = 242.5$$

Factor de carga:

$$Ce = 1$$

Acabado superficial

$$Cs = A * Sut^b$$

$$A = 1.58$$

$$b = -0.085$$

$$Cs = 0.915$$

Factor de confiabilidad

$$Cf = 0.753$$

Factor de temperatura

$$CT = 1$$

Factor de tamaño

$$Ct = 1.24 * d^{-0.107} = 0.975$$

Ecuación de Marin

$$Se = 166.163MPa$$

Utilizando la ecuación de Soderberg

$$Nf = \left( \frac{\sigma a}{Se} + \frac{\sigma m}{Sy} \right)^{-1}$$

$$Nf = 6.327$$

### 2.3.4. Diseño del carro en el eje Y

Haciendo uso de un sistema computacional de diseño se propone el siguiente esquema para el carro del eje Y, el mismo que se representa en la figura número 49.

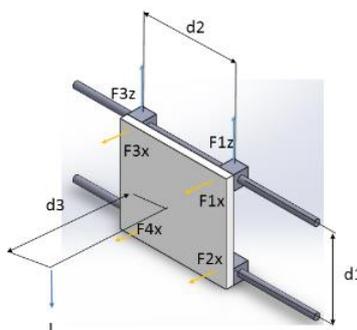


*Figura 49.* Esquema del carro eje Y

- En el que se aprecia las partes principales como:
- Un carro móvil compuesto de rodamientos y perfiles angulares
- Dos tubos cuadrados como ejes y guías para el carro
- Una varilla roscada y tuerca para el movimiento horizontal
- Un motor paso a paso y un acople lovejoy para la transmisión de potencia
- Dos chumaceras de piso para soportar la varilla roscada y permitir su rotación.
- Dos planchas como apoyo de los ejes y chumaceras con rodamientos para el movimiento en el eje Y

**Cálculos de los ejes guías del carro en Y:**

**Análisis de reacciones en modo stand-by eje Y**



*Figura 50.* Diagrama de cuerpo libre modo stand-by eje Y

Los datos necesarios para realizar los cálculos de reacciones sobre los ejes son:

$$L = W$$

$$W=49N \quad \text{Peso del carro Z + peso del carro Y}$$

$$d1 = 135\text{mm}$$

$$d2 = 115\text{mm}$$

$$d3 = 148\text{mm}$$

$$d4 = 146\text{mm}$$

Se procede a realizar la sumatoria de fuerzas y momentos.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} = 0$$

Por simetría se tiene:

$$F_{2x} = F_{4x}$$

$$F_{3x} = F_{1x}$$

Por lo que:

$$2F_{2x} + 2F_{1x} = 0$$

$$F_{1x} = -F_{2x}$$

$$\Sigma F_z = 0$$

$$-F_{1z} - F_{3z} - L = 0$$

$$F_{1z} = F_{3z}$$

$$-2F_{1z} - L = 0$$

$$F_{1z} = -L/2$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma M_{1x} = 0$$

$$\frac{d2}{2} * L - d2 * F_{3z} = 0$$

$$F_{3z} = F_{1z} = \frac{L}{2} = 24.5N$$

$$\Sigma M_{1y} = 0$$

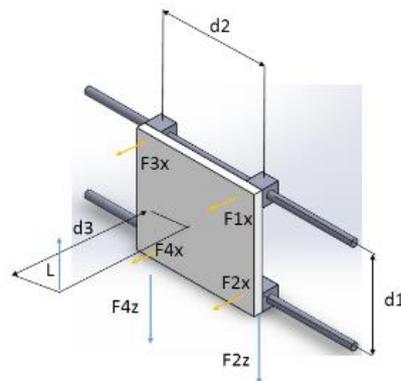
$$d3 * L - F_{2x} * d1 - F_{4x} * d1 = 0$$

$$d2 * L - 2F_{2x} * d1 = 0$$

$$F_{2x} = F_{4x} = \frac{L * d3}{2 * d1} = 26.859$$

$$F_{1x} = F_{3x} = -\frac{L * d3}{2 * d1} = -26.859$$

**Análisis de reacciones en el modo taladrado en el eje Y**



**Figura 51.** Diagrama de cuerpo libre modo taladrado eje Y

$$L = T - W$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} = 0$$

$$F_{2x} = F_{4x}$$

$$F_{3x} = F_{1x}$$

$$2F_{2x} + 2F_{1x} = 0$$

$$F_{1x} = -F_{2x}$$

$$\Sigma F_z = 0$$

$$L - F_{4z} - F_{2z} = 0$$

$$F_{2z} = F_{4z}$$

$$-F_{2z} + L = 0$$

$$F_{2z} = \frac{L}{2}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma M_{1x} = 0$$

$$-\frac{d_2}{2} * L + F_{4z} * d_2 = 0$$

$$F_{4z} = F_{2z} = \frac{L}{2} = -9.635N$$

Un valor negativo de  $F_{4z}$  y  $F_{2z}$ , indica un valor positivo en  $F_{3z}$  y  $F_{1z}$  respectivamente, esto se debe a que la construcción del sistema de deslizamiento no permite la acción de reacciones positivas en  $F_{4z}$  y  $F_{2z}$ .

$$\Sigma M_{1y} = 0$$

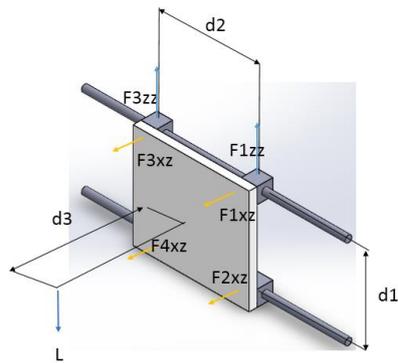
$$-d_3 * L - F_{2x} * d_1 - F_{4x} * d_1 = 0$$

$$-d_3 * L - 2F_{2x} * d_1 = 0$$

$$F_{2x} = F_{4x} = -\frac{L * d_3}{2 * d_1} = 12.052$$

$$F_{1x} = F_{3x} = \frac{L * d_3}{2 * d_1} = -12.052$$

**Análisis de reacciones en el modo fresado en el eje Y.**

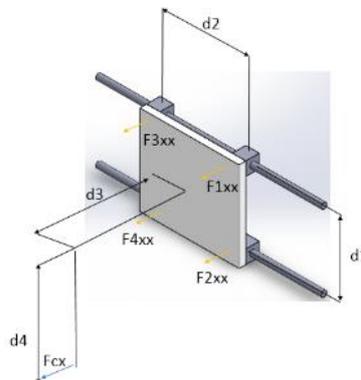


**Figura 52.** Diagrama de cuerpo libre eje Y del fresado fuerzas Z

$$F1xz = F3xz = -\frac{L * d3}{2 * d2}$$

$$F2xz = F4xz = \frac{L * d3}{2 * d2}$$

$$F3zz = F1zz = \frac{L}{2}$$



**Figura 53.** Diagrama de cuerpo libre del eje Y, fresado fuerzas X

$$\Sigma Fx = 0$$

$$F1xx + F2xx + F3xx + F4xx + Fcx = 0$$

Por simetría se tiene:

$$F1xx = F3xx$$

$$F2xx = F4xx$$

Por lo que

$$2F_{2xx} + 2F_{1xx} + F_{cx} = 0$$

$$F_{1xx} = -F_{2xx} - \frac{F_{2cx}}{2}$$

Dado que no existen fuerzas en las coordenadas “Y” y “Z” se tiene:

$$\Sigma F_z = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

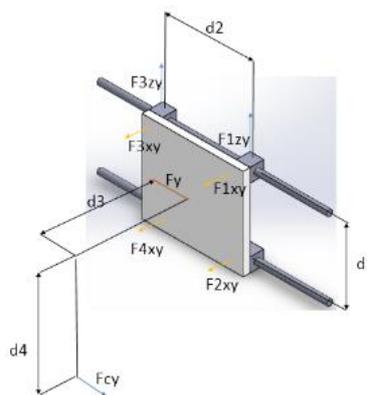
$$\Sigma M_{1y} = 0$$

$$-d_1 * F_{2xx} - d_1 * F_{4xx} - \left( d_4 + \frac{d_1}{2} \right) * F_{cx} = 0$$

$$-2 * d_1 * F_{2xx} - d_4 * F_{cx} - \frac{d_1}{2} * F_{cx} = 0$$

$$F_{2xx} = -\frac{d_4 * F_{cx}}{d_1 * 2} - \frac{F_{cx}}{4}$$

$$F_{1xx} = \frac{d_4 * F_{cx}}{d_1 * 2} + \frac{F_{cx}}{4} - \frac{F_{cx}}{2} = \frac{d_4 * F_{cx}}{d_1 * 2} - \frac{F_{cx}}{4}$$



**Figura 54.** Diagrama de cuerpo libre del eje Y fresado fuerzas Y

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{1xy} + F_{2xy} + F_{3xy} + F_{4xy} = 0$$

Por simetría se tiene:

$$F_{4xy} = F_{3xy}$$

$$F_{2xy} = F_{1xy}$$

Por lo que

$$2F_{1xy} + 2F_{3xy} = 0$$

$$F_{1xy} = -F_{3xy}$$

$$\Sigma F_z = 0$$

$$-F_{3zy} - F_{1zy} = 0$$

$$F_{1zy} = -F_{3zy}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_{cy} - F_y = 0$$

$$F_{cy} = F_y$$

$$\Sigma M_{1z} = 0$$

$$d_2 * F_{3xy} + d_2 * F_{4xy} + d_3 * F_{cy} = 0$$

$$2 * d_2 * F_{3xy} + d_3 * F_{cy} = 0$$

$$F_{3xy} = -\frac{d_3 * F_{cy}}{d_2 * 2}$$

$$F_{1xy} = \frac{d_3 * F_{cy}}{d_2 * 2}$$

$$\Sigma M_{1x} = 0$$

$$-F_{3zy} * d_2 - F_y * \frac{d_1}{2} + F_{cy} \left( d_4 * \frac{d_1}{2} \right) = 0$$

$$F_{3zy} = F_{cy} * \frac{d_4}{d_2}$$

$$F_{1zy} = -F_{cy} * \frac{d_4}{d_2}$$

Dado que la barra superior está sujeta a mayores esfuerzos, se realizará el cálculo en esta, descartando el cálculo de la inferior, pero construyéndola con las mismas características.

Punto1

$$F1xf = F1xz + F1xx + F1xy$$

$$F1xf = -\frac{L * d3}{2 * d1} + Fcx * \left( -\frac{1}{4} + \left( \frac{d4}{2 * d1} \right) \right) + Fcy * \left( \frac{d3}{2 * d2} \right)$$

$$F1zf = F1zz + F1zy$$

$$F1zyf = \frac{L}{2} - Fcy * \frac{d4}{d2}$$

Punto3

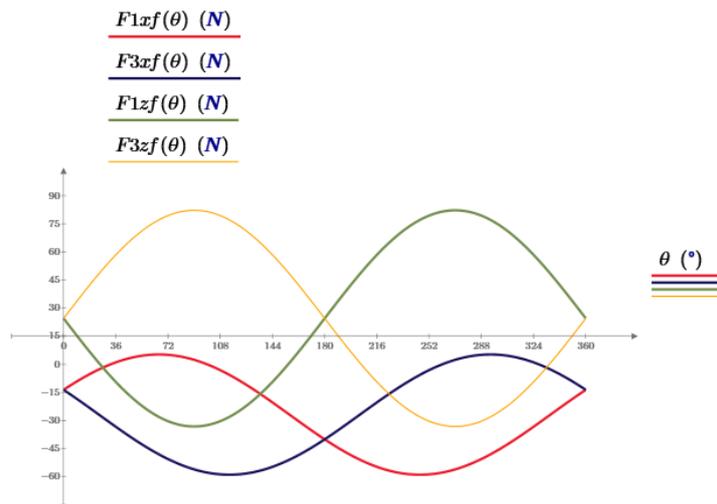
$$F3xf = F3xz + F3xx + F3xy$$

$$F3xf = -\frac{L * d3}{2 * d1} + Fcx * \left( -\frac{1}{4} + \left( \frac{d4}{2 * d1} \right) \right) - Fcy * \left( \frac{d3}{2 * d2} \right)$$

$$F3zf = F3zz + F3zy$$

$$F3zyf = \frac{L}{2} + Fcy * \frac{d4}{d2}$$

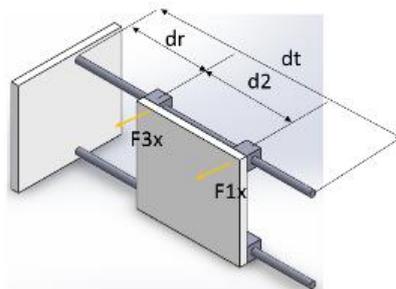
En la figura 55 se muestra gráficamente el comportamiento de las reacciones de la barra de guía superior perteneciente al carro del eje Y.



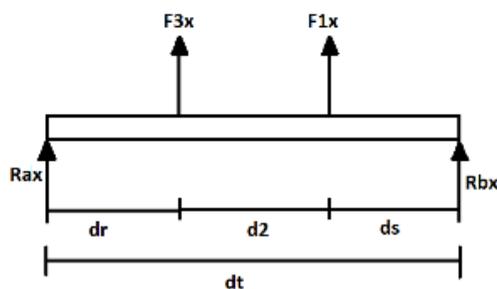
**Figura 55.** Reacciones resultantes de la guía superior del carro Y en función del ángulo de corte

**Cálculo de momentos en la barra superior del carro del eje Y**

**Momentos en el plano YX**



**Figura 56.** Esquema del plano YX de la barra superior eje Y



**Figura 57.** Diagramas de fuerzas en X de la guía superior del carro Y

**Cálculo de reacciones**

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_{ax} + F_{3x} + F_{1x} + R_{bx} = 0$$

$$R_{ax} + F_{3x} = 0 - F_{3x} - F_{1x}$$

$$\Sigma M_{az} = 0$$

$$dr * F_{3x} + (dr + d2) * F_{1x} + dt * R_{bx} = 0$$

$$R_{bx} = \frac{-F_{3x} * dr - F_{1x} * (dr + d2)}{dt}$$

$$R_{ax} = -F_{3x} - F_{1x} - R_{bx}$$

Cortantes

$$V_{ax} = R_{ax}$$

$$V_{3x} = V_{ax} + F_{3xf}$$

$$V_{1x} = V_{3x} + F_{1xf}$$

$$V_{bx} = V_{1x} + R_{bx}$$

Momentos

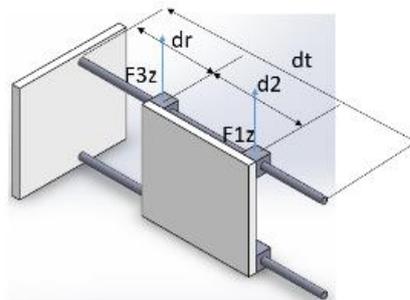
$$M_{az} = 0$$

$$M_{3z} = M_a + V_{ax} * dr$$

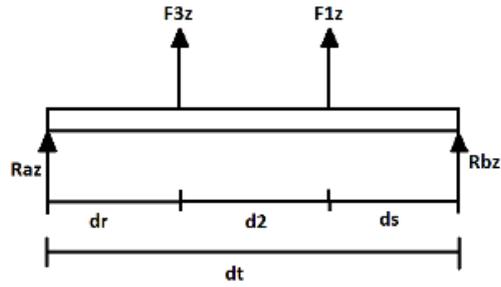
$$M_{1z} = M_{3z} + V_{3x} * d2$$

$$M_{bz} = M_{1z} + V_{1x} * ds$$

Momentos en el plano YZ



**Figura 58.** Esquema del plano YZ de la barra superior eje Y



**Figura 59.** Diagramas de fuerzas en Z de la guía superior del carro Y

Cálculo de reacciones:

$$\Sigma F_z = 0$$

$$R_{az} + F_{3z} + F_{1z} + R_{bz} = 0$$

$$R_{az} + F_{3z} = 0 - F_{3z} - F_{1z}$$

$$\Sigma M_{ay} = 0$$

$$dr * F_{3z} + (dr + d_2) * F_{1z} + dt * R_{bz} = 0$$

$$R_{bz} = \frac{-F_{3z} * dr - F_{1z} * (dr + d_2)}{dt}$$

$$R_{az} = -F_{3z} - F_{1z} - R_{bz}$$

Cortantes:

$$V_{az} = R_{az}$$

$$V_{3z} = V_{az} + F_{3z}$$

$$V_{1z} = V_{3z} + F_{1z}$$

$$V_{bz} = V_{1z} + R_{bz}$$

Momentos:

$$M_{ax} = 0$$

$$M_{3x} = M_{ax} + V_{az} * dr$$

$$M_{1x} = M_{3x} + V_{3z} * d_2$$

$$M_{bx} = M_{1x} + V_{1z} * ds$$

Momentos en el punto 1 y 3

$$M1 = \sqrt{(M1x)^2 + (M1y)^2}$$

$$M1 = \sqrt{(M3x)^2 + (M3y)^2}$$

Resultados del cálculo de momentos

Con ayuda de software, se obtuvo los siguientes datos del punto crítico de la guía, el programa realizado se muestra en el anexo 4.

**Tabla 28.** Resultados del cálculo de momentos con ayuda de software

Máquina en modo	Parámetro		
	Distancia hacia el punto crítico	Momento máximo	Momento mínimo
Stand by	619 mm	19408.63 Nmm	3269.18 Nmm
Taladrado	619 mm	36180 Nmm	6297.98 Nmm
Fresado	619 mm	29520 Nmm (a 253 °)	13820 Nmm (a 25°)

Cálculos por Fatiga

Para un tubo hueco cuadrado de 2cm de lado y 1.5mm de espesor y 1200mm de largo

Lado = 2cm

Espesor = 2mm

Sy=220.65MPa

Sut=310.28MPa

Módulo de resistencia de una sección cuadrada:

S=0.58cm<sup>3</sup>

DIMENSIONES		PESO Kg/m	AREA cm <sup>2</sup>	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm			I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	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

**Figura 60.** Módulo de resistencia de perfiles cuadrados (Dipac, 2016)

$M_{max}=16404 \text{ Nmm}$

$M_{min}=13646 \text{ Nmm}$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{S} = 12.334$$

$$\sigma_{min} = \frac{M_{min}}{S} = 10.26 \text{ MPa}$$

Esfuerzo medio:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 11.297 \text{ MPa}$$

Esfuerzo alternante:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 1.037 \text{ MPa}$$

Coefficientes de Marin

$$Se' = 0.5 * Sut$$

$$Se' = 155.14 \text{ MPa}$$

Factor de carga:

$$Ce = 1$$

Acabado superficial

$$C_s = A * S_{ut}^b$$

$$A = 57.7$$

$$b = -0.718$$

$$C_s = 0.938$$

Factor de confiabilidad

$$C_f = 0.753$$

Factor de temperatura

$$C_T = 1$$

Factor de tamaño

Diámetro equivalente = 28.56mm

$$C_t = 1.24 * d_e^{-0.107} = 0.866$$

Ecuación de Marin

$$S_e = S_e' * C_e * C_s * C_f * C_t * C_T$$

$$S_e = 94.901 MPa$$

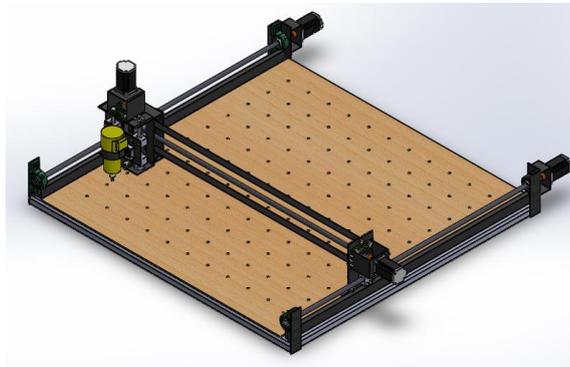
Utilizando la ecuación de Soderberg

$$N_f = \left( \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} \right)^{-1}$$

$$N_f = 16.097$$

### 2.3.5. Diseño del carro en el eje X

Haciendo uso de un sistema computacional de diseño se propone el siguiente esquema para el carro del eje X, el que se muestra en la figura 61.

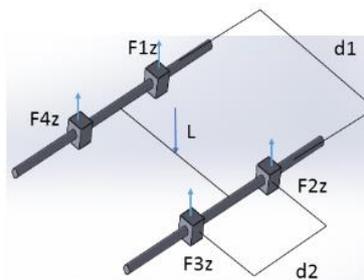


*Figura 61.* Esquema del carro eje X

- En el que se aprecia las partes principales como:
- Dos tubos perfiles cuadrados como ejes y guías para el carro
- Dos varillas roscadas y dos tuercas para el movimiento horizontal
- Dos motores paso a paso con acoples lovejoy para la transmisión de potencia
- Cuatro chumaceras de pared para soportar las varillas roscadas y permitir su rotación.
- Un cuadro estructural donde se asientan las piezas y mesa de madera.

### Cálculos de los ejes guías del carro en X

#### Análisis de reacciones en modo stand-by en el eje X.



*Figura 62.* Diagrama de cuerpo libre modo stand-by eje X

$$L=W=147N$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma y_x = 0$$

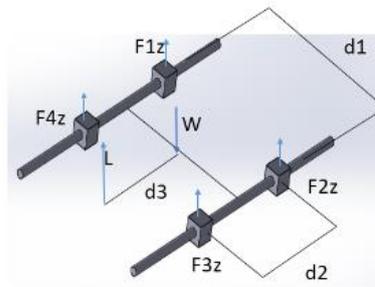
$$\Sigma F_z = 0$$

$$-L + F_{1z} + F_{2z} + F_{3z} + F_{4z} = 0$$

$$F_{1z} = F_{2z} = F_{3z} = F_{4z}$$

$$F_{2z} = \frac{L}{4} = 36.75N$$

**Análisis de reacciones taladrado en el eje X**



**Figura 63.** Diagrama de cuerpo libre modo taladrado eje X.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma y = 0$$

$$\Sigma F_z = 0$$

$$L + F_{1z} + F_{2z} + F_{3z} + F_{4z} - W = 0$$

$$F_{1z} = F_{2z}$$

$$F_{3z} = F_{4z}$$

$$2F_{2z} + 2F_{3z} + L - W = 0$$

$$F_{2z} = -F_{3z} - \frac{L}{2} + \frac{W}{2}$$

$$\Sigma M_{2y} = 0$$

$$-d2 * F4z - d2 * F3z - L * \left(\frac{d2}{2} + d3\right) + W * \frac{d2}{2} = 0$$

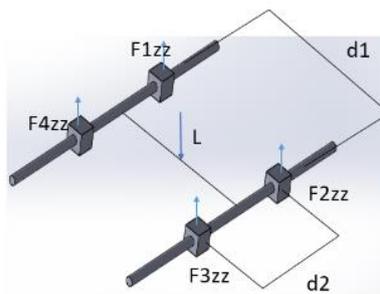
$$2 * F3z * d2 = -L * \left(\frac{d2}{2} + d3\right) + W * \frac{d2}{2}$$

$$F4z = F3z = -L * \left(\frac{1}{4} + \frac{d3}{2 * d2}\right) + \frac{W}{4} = 9.105N$$

$$F2z = \frac{L}{4} + \frac{L * d3}{2 * d2} - \frac{W}{4} - \frac{L}{2} + \frac{W}{2}$$

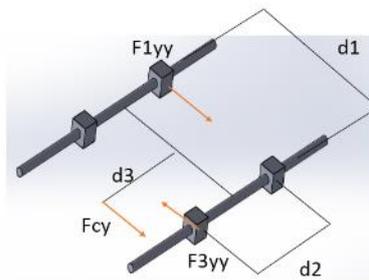
$$F1z = F2z = L * \left(-\frac{1}{4} + \frac{d3}{2 * d2}\right) + \frac{W}{4} = 49.26N$$

### Análisis de reacciones en el fresado en el eje X



**Figura 64.** Diagrama de cuerpo libre del eje X fresado fuerzas Z.

$$F2zz = F3zz = 36.75N$$



**Figura 65.** Diagrama de cuerpo libre del eje X fresado fuerzas Y.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma z = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_{1yy} + F_{cy} - F_{3yy} = 0$$

$$F_{1yy} = F_{3yy} - F_{cy}$$

$$\Sigma M_{1z} = 0$$

$$F_{cy} * \left( \frac{d_2}{2} + d_3 \right) - F_{3yy} * d_2 = 0$$

$$F_{3yy} = F_{cy} \left( \frac{1}{2} + \frac{d_3}{d_2} \right)$$

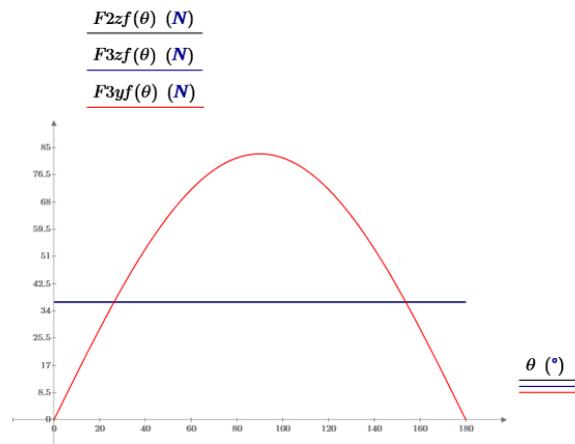
Punto3

$$F_{3zf} = F_{3zz} = 36.75\text{N}$$

$$F_{3yf} = F_{3yy} = F_{cy} \left( \frac{1}{2} + \frac{d_3}{d_2} \right)$$

Punto2

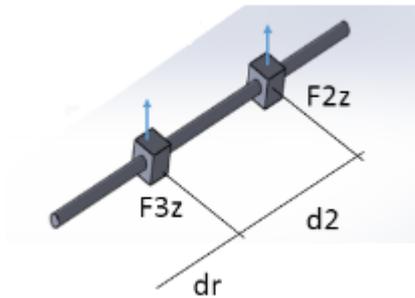
$$F_{2zf} = F_{2zz} = 36.75\text{N}$$



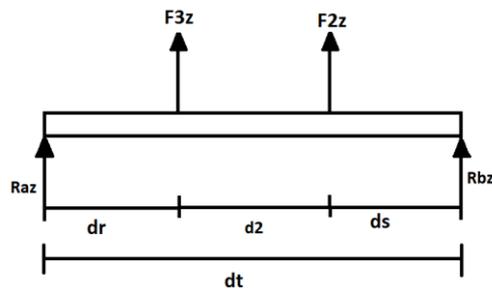
**Figura 66.** Reacciones resultantes de la guía del carro en el eje X en función del ángulo de corte.

## Cálculo de momentos en la lateral derecha del carro del eje X.

### Momentos en el plano XZ



**Figura 67.** Esquema del plano XZ de la guía lateral derecha del eje X.



**Figura 68.** Diagramas de fuerzas en Z de la guía lateral derecha del carro X.

Cálculo de reacciones.

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{az} + F_{2z} + F_{1z} + R_{bz} = 0$$

$$R_{az} + R_{bz} = -F_{3z} - F_{2z}$$

$$\sum M_{ay} = 0$$

$$dr * F_{3z} + (dr + d_2) * F_{2z} + dt * R_{bz} = 0$$

$$R_{bz} = \frac{-F_{3z} * dr - F_{2z}(dr + d_2)}{dt}$$

$$R_{az} = -F_{3z} - F_{2z} - R_{bz}$$

Cortantes.

$$V_{az} = R_{az}$$

$$V_{3z} = V_{az} + F_{3z}$$

$$V_{2z} = V_{3z} + F_{2z}$$

$$V_{bz} = V_{2z} + R_{bz}$$

Momentos.

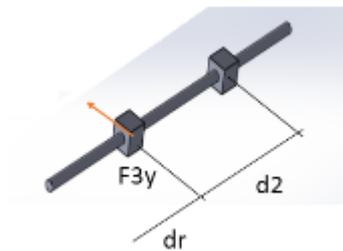
$$M_{ay} = 0$$

$$M_{3y} = M_{ay} + V_{az} * dr$$

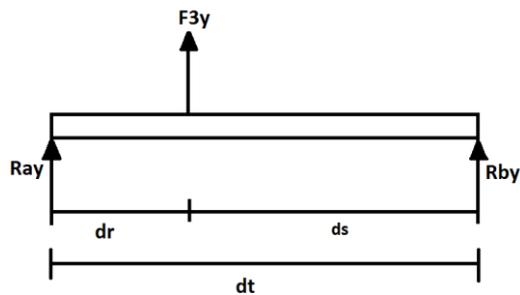
$$M_{2y} = M_{3y} + V_{3z} * d_2$$

$$M_{by} = M_{2y} + V_{2z} * ds$$

**Momentos en el plano XY.**



*Figura 69.* Esquema del plano XY de la guía lateral derecha del eje X.



*Figura 70.* Diagramas de fuerzas en Y de la guía lateral derecha del carro X.

**Cálculo de reacciones:**

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{ay} + F_{3y} + R_{by} = 0$$

$$R_{ay} + R_{by} = -F_{3y}$$

$$\Sigma M_{az} = 0$$

$$dr * F_{3y} + dt * R_{by} = 0$$

$$R_{by} = \frac{-F_{3y} * dr}{dt}$$

$$R_{ay} = -F_{3y} - R_{by}$$

Cortantes:

$$V_{ay} = R_{ay}$$

$$V_{3y} = V_{ay} + F_{3y}$$

$$V_{by} = V_{3y} + R_{by}$$

Momentos

$$M_{az} = 0$$

$$M_{3z} = M_{az} + V_{ay} * dr$$

$$M_{bz} = M_{3z} + V_{2y} * ds$$

Momentos en el punto 2 y 3

$$M_2 = \sqrt{(M_{2y})^2}$$

$$M_3 = \sqrt{(M_{3z})^2 + (M_{3y})^2}$$

### **Resultados del cálculo de momentos**

Con ayuda de software, se obtuvo los siguientes datos del punto crítico de la guía, el programa realizado se muestra en el anexo 4.

**Tabla 29.** Resultados del cálculo de momentos con ayuda de software

Máquina en modo	Parámetro		
	Distancia hacia el punto crítico	Momento máximo	Momento mínimo
Stand by	580 mm	20469 Nmm	2394 Nmm
Taladrado	515 mm	17212Nmm	1958 Nmm
Fresado	580 mm	22402 Nmm (a 90 °)	20469 Nmm (a 0°)

Cálculos por Fatiga

Para un tubo hueco rectangular de 40x20 mm y 2mm de espesor y 1210mm de largo

Lado mayor=40mm

Lado menor=20mm

Espesor=2mm

Sy=220.65MPa

Sut=310.28MPa

Módulo de resistencia de una sección rectangular:

S=1.33cm<sup>3</sup>

DIMENSIONES			AREA	EJES X-X			EJES Y-Y			
A mm	B mm	ESPEJOR mm	PESO Kg/m	AREA cm2	I cm4	W cm3	i cm	I cm4	W cm3	i cm
20	40	1,2	1,09	1,32	2,61	1,30	1,12	0,88	0,88	0,83
20	40	1,5	1,35	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
20	40	2,0	1,78	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,5	1,71	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02
25	50	2,0	2,25	2,74	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
25	50	3,0	3,30	4,14	12,56	5,02	1,74	3,99	3,19	0,99
30	50	1,5	1,88	2,25	7,27	2,91	1,80	3,32	2,21	1,21

**Figura 71.** Módulo de resistencia de perfiles rectangulares (Dipac, 2016).

Mmax=22402 Nmm

Mmin=20469 Nmm

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{S} = 16.844MPa$$

$$\sigma_{min} = \frac{M_{min}}{S} = 15.39MPa$$

Esfuerzo medio:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 16.117MPa$$

Esfuerzo alternante:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 0.727MPa$$

Coefficientes de Marin

$$Se' = 0.5 * Sut$$

$$Se' = 155.14MPa$$

Factor de carga:

$$Ce = 1$$

Acabado superficial

$$Cs = A * Sut^b$$

$$A = 57.7$$

$$b = -0.718$$

$$Cs = 0.938$$

Factor de confiabilidad

$$Cf = 0.753$$

Factor de temperatura

$$CT = 1$$

Factor de tamaño

Diámetro equivalente = 28.56mm

$$Ct = 1.24 * de^{-0.107} = 0.866$$

Ecuación de Marin

$$Se = Se' * Ce * Cs * Cf * Ct * CT = 94.901MPa$$

Utilizando la ecuación de Soderberg

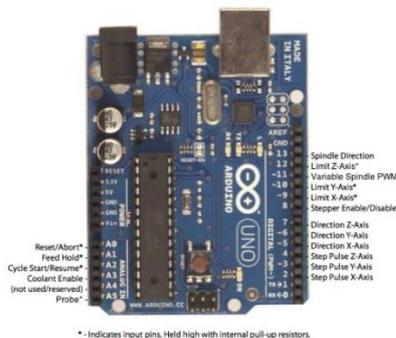
$$Nf = \left( \frac{\sigma a}{Se} + \frac{\sigma m}{Sy} \right)^{-1} = 12.392$$

## 2.4. Diseño del sistema electrónico

Se compone de dispositivos de automatización y de potencia necesario para realizar la lectura de código CNC, realizar movimientos ordenados y precisos en los tres ejes y para el control de la herramienta para el desbaste de la madera.

### 2.4.1. Tarjeta controladora arduino

Para realizar el sistema electrónico, se parte de la tarjeta controladora, en este caso la tarjeta Arduino, cargado con el firmware GRBL versión 0.9j el mismo que presenta la siguiente configuración de entradas y salidas mostrado en la figura 72.



**Figura 72.** Descripción pines del firmware GRBL en Arduino

Fuente: (Github, 2017)

### Descripción general de entradas y salidas.

**Tabla 30.** Descripción de entradas del firmware GRBL

Pines	Función
PinA0: Reset/Abort.	Detiene las instrucciones y reinicia la comunicación con la PC.
PinA1: Pausa.	Detiene las instrucciones previas.
PinA2: Continuar.	Continúa las instrucciones previas.
PinA5: Prueba.	Configuración para el cero Z.
Pin (9, 10, 12).	Sensores finales de carrera del eje X, Y, Z(respectivamente).

**Tabla 31.** Descripción de salidas del firmware GRBL

Pines	Función
PinA3.	Señal para la activación del refrigerante.
Pin (2, 3, 4).	Señal para movimientos de los motores X, Y, Z(respectivamente).
Pin (5, 6, 7).	Dirección de los motores X, Y, Z(respectivamente).
Pin8.	Habilitación de los motores.
Pin11.	Señal para la activación y velocidad del portaherramientas.
Pin13.	Dirección del portaherramientas.

### **Acondicionamiento de la placa controladora**

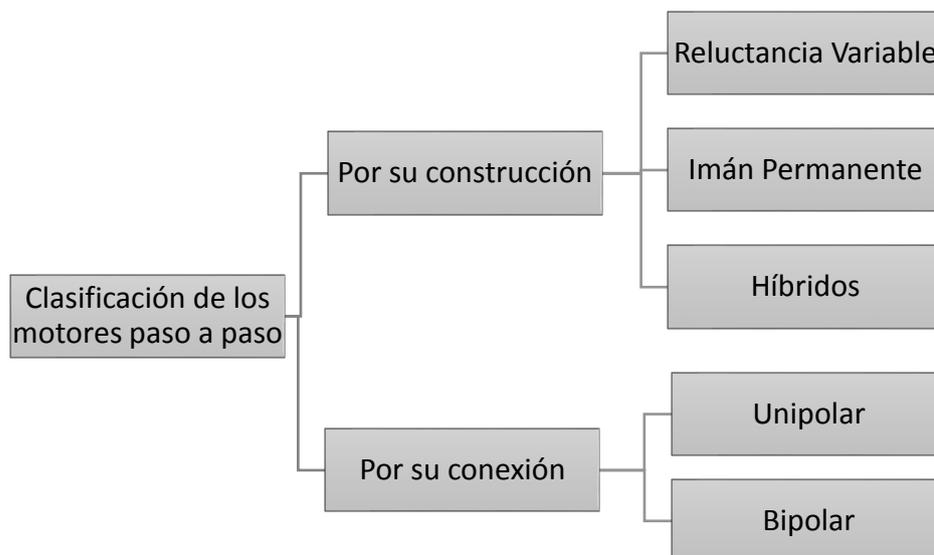
Para realizar un cableado adecuado, se procede a hacer una placa en PCB, que se conecte de manera sencilla al Arduino por medio de espadines macho y medidas adecuadas, con el fin de obtener borneras para la conexión por cable de tamaño adecuado con los demás elementos de la máquina, la figura 73 muestra la placa realizada montada sobre la tarjeta arduino.



**Figura 73.** Placa PCB auxiliar para Arduino

### 2.4.2. Motores paso a paso y drivers.

Los motores paso a paso los podemos clasificar de la siguiente manera mostrado en la figura 74.



**Figura 74.** Clasificación de los motores paso a paso

Por sus cualidades, los motores utilizados para este tipo de maquinaria son los motores híbridos bipolares, que presentan las siguientes características:

- Alta precisión, dado que es posible controlar la posición del eje rotor hasta 1.8 grados de movimiento angular.
- Alto torque, Tienen un torque mayor que los motores unipolares.

### Driver para motores a pasos

La figura 75 muestra un driver para motor a pasos.



**Figura 75.** Driver motor a pasos (ACT motor, 2013)

Son dispositivos necesarios para realizar una correcta y ordenada conmutación de las bobinas de los motores a pasos, según sean las instrucciones generadas por el sistema Arduino, además, proporcionan el control de corriente que es suministrado a los motores a pasos.

Para su selección se toma características como:

- Voltaje de entrada
- Corriente de entrada
- Corriente de salida
- Temperatura de trabajo
- Peso
- Costo

#### **2.4.2.1. Cálculo de motores.**

Torque de motor:

$$T_m = (T_L + T_a) * S_f \quad (17)$$

*Fuente:* (Oriental Motor, 2013)

Torque de aceleración:

$$T_a = J_{tot} * \left( \frac{2 * f * \pi * \phi}{t_a * 360^\circ} \right) \quad (18)$$

*Fuente:* (Berger Lahr)

f = Frecuencia de pasos

t<sub>a</sub> = Tiempo de aceleración

J<sub>tot</sub> = Inercia total del sistema

Φ = Resolución del motor

Frecuencia de pasos:

$$f = \frac{v * Z * i}{h} \quad (19)$$

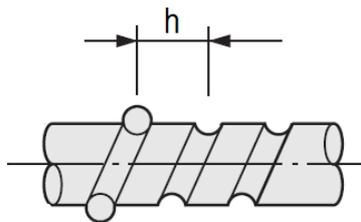
*Fuente:* (Berger Lahr)

v = Avance

Z = número de pasos por revolución

i = relación, motor / tornillo

h = paso del tornillo



**Figura 76.** Paso del tornillo (Oriental Motor, 2013)

Inercia total:

$$J_{tot} = J_{rot} + J_{trans} + J_{mot} \quad (20)$$

*Fuente:* (Berger Lahr)

J<sub>t</sub> = Inercia del tornillo

J<sub>w</sub> = Inercia de la masa

Jmot = Inercia del motor

Inercia del tornillo:

$$Iv = r^4 * L * \gamma * \pi * 0.5 \quad (21)$$

*Fuente:* (Berger Lahr)

r = radio del tornillo

L = longitud del tornillo

$\gamma$  = densidad del tornillo

Inercia de la masa:

$$Iw = m * \left( \frac{h}{2 * \pi} \right)^2 \quad (22)$$

*Fuente:* (Berger Lahr)

m = masa del carro

Inercia total:

$$It = Iv + Iw + Imot \quad (23)$$

*Fuente:* (Berger Lahr)

Torque de carga:

$$TL = F * \left( \frac{h}{2 * \pi * \eta} + rb * ub \right) * \frac{1}{i} \quad (24)$$

*Fuente:* (Berger Lahr)

F: Fuerza total en la tuerca

h: Paso del tornillo

$\eta$  = coeficiente de eficiencia de conversión de par en fuerza axial

rb\*ub = relación, coeficiente de fricción \* radio del tornillo

Fuerza total en la tuerca:

$$F = u * G + F_m + F_{pre} \quad (25)$$

*Fuente:* (Berger Lahr)

u = coeficiente de fricción.

F<sub>m</sub> = Fuerza en movimiento, fuerza de corte para este caso.

G = peso del carro.

F<sub>pre</sub> = Fuerza existente con el sistema “spring loaded counter nut”

El cálculo de los motores se realiza en el eje X dado que este tiene las características más críticas.

**Tabla 32.** *Datos preliminares para el cálculo de motor a pasos*

Simbología	Valor	Unidades	Descripción
W	15	Kg	Masa del eje X
F <sub>c</sub>	45.45	N	Fuerza de corte
V <sub>f</sub>	300	mm/min	Avance
h	2.309	mm	Paso del tornillo
d	16	mm	Diámetro de varilla roscada
L	1200	mm	Longitud de varilla roscada
t	0.2	s	Tiempo de aceleración
φ	1.8	grados	Resolución del motor
γ	7.87	gm/cm <sup>3</sup>	Densidad del hierro (ATPP, 2008)
u	0.11	-	Coficiente de fricción bronce-acero (Berger Lahr)

### Cálculos de motores a pasos:

Inercia de la varilla roscada:

$$Iv = r^4 * L * \gamma * \pi * 0.5 = 0.608 \text{ kg cm}^2$$

Inercia de la masa del carro:

$$Iw = W * \left(\frac{h}{2 * \pi}\right)^2 = 0.02 \text{ kg cm}^2$$

Inercia total

$$It = Iv + Iw + Imot = 0.628 \text{ kg cm}^2$$

Im= 0, Inercia del motor, valor 0 preliminar

Torque de aceleración:

$$Ta = Jtot * \left(\frac{2 * f * \pi * \phi}{ta * 360^\circ}\right) = 0.004Nm$$

Fuerza total en la tuerca:

$$F = u * G + Fm + Fpre = 61.95N$$

Torque de carga:

$$TL = F * \left(\frac{h}{2 * \pi * \eta} + rb * ub\right) * \frac{1}{i} = 0.169Nm$$

Torque de motor:

$$Tm = (TL + Ta) * Sf = 0.519Nm$$

Con esta información se procede a seleccionar motores paso a paso que cumplan con estos requisitos y con el presupuesto.

**Tabla 33.** Características de motor paso a paso

Marca	ACT motor
Model	23HS2442B
Step Angle	1.8 °
Rate Current	4.2A
Rate voltage	3.78
Holding torque	3Nm
Inertia	800 g cm <sup>2</sup>
Motor weight	1.5Kg

Nota. Recuperado de (ACT motor, 2013)



**Figura 77.** Motor Paso a Paso 23HS2442B (ACT motor, 2013)

Para un funcionamiento conservador, el motor se utilizará con una corriente de 3 A, tanto para precautelar el motor como el driver del mismo por lo que su torque se reduce a 2Nm.

Una vez seleccionado el motor paso a paso se vuelve a realizar el cálculo de la inercia total con la inercia del motor, se con los demás cálculos

Inercia total

$$I_t = I_v + I_w + I_{mot} = 1.448 \text{ kg cm}^2$$

Torque de aceleración:

$$T_a = J_{tot} * \left( \frac{2 * f * \pi * \phi}{t_a * 360^\circ} \right) = 0.01 \text{ Nm}$$

Fuerza total en la tuerca:

$$F = u * G + Fm + Fpre = 61.95N$$

Torque de carga:

$$TL = F * \left( \frac{h}{2 * \pi * \eta} + rb * ub \right) * \frac{1}{i} = 0.169Nm$$

Torque de motor:

$$Tm = (TL + Ta) * Sf = 0.536 Nm$$

Para el control de este motor se selecciona el driver DM542 con las siguientes características:

**Tabla 34.** Características del driver de motor a pasos.

Característica	Descripción
Marca	ACT motor
Model	DM542
Input Voltage	18 VDC – 50VDC
Input Current	<4.0 A
Output Current	1.0A– 4.2A
Working Temperature	-10°C – 45 °C

Nota. Recuperado de (ACT motor, 2013).

### 2.4.3. Tarjetas auxiliares.

Existen tres tarjetas auxiliares necesarias para el funcionamiento de la máquina CNC las cuales son:

- **Tarjeta auxiliar para los límites del eje X (TA1).**

El firmware GRBL 0.9j cargado en el Arduino, ofrece la capacidad de detectar un sensor límite de carrera para cada eje, X, Y, Z.

Dado que el procedimiento propuesto presenta dos motores en el eje X, es necesario un sistema de detección de sensores finales de carrera de los movimientos de estos dos motores de manera singular, y los integre a la función Home (la detección del cero máquina) del firmware GRBL, importante para este tipo de máquinas, para lo cual se hace uso de compuertas operacionales que obedezcan a una lógica previamente analizada.

El anexo 2 se muestra el esquema electrónico necesario para lograr el objetivo anteriormente mencionado.

- **Tarjeta auxiliar para el ventilador (TA2).**

Dentro del gabinete eléctrico se sitúan los drivers para los cuatro motores a paso, por lo que se genera dentro del mismo, un aumento de temperatura, para lo cual se propone un sistema de ventilación artificial basado en un ventilador que disipe el calor generado por los drivers y los demás componentes electrónicos dentro del gabinete. Para la activación de este, se propone una tarjeta que permita la regulación de la activación y desactivación del ventilador haciendo uso de potenciómetros y de un timer 555 para la regulación del tiempo, la regulación del tiempo de activación y desactivación se lo realiza por medio de experimentación según la máquina lo requiera y este dentro unos parámetros normales de temperatura.

El anexo 2 se muestra el esquema electrónico necesario para lograr el objetivo anteriormente mencionado.

- **Tarjeta auxiliar para activación de tupi (TA3).**

La herramienta rotativa (tupi) funciona con 110VAC, por lo que es necesario una etapa de potencia que permita su activación con la señal de 5VDC entregada por el pin 11 del Arduino, dado que se dispone de un relé de 120V con la capacidad de conmutar la tupi, se realiza una tarjeta auxiliar que permita conjugar la señal del Arduino con este relé

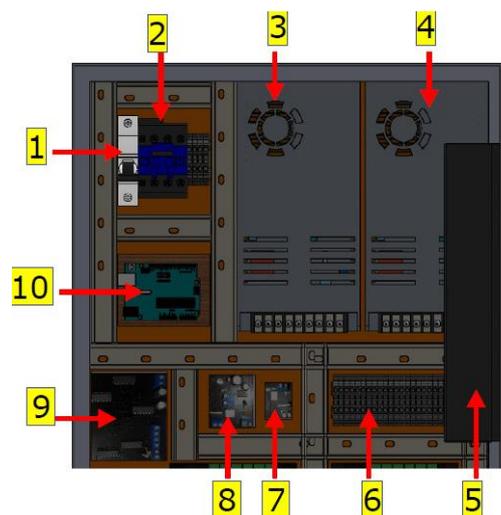
Para la activación de la bobina del relé, se hace uso de un triac y un optotriac como se muestra en el anexo 2.

#### 2.4.4. Gabinete eléctrico.

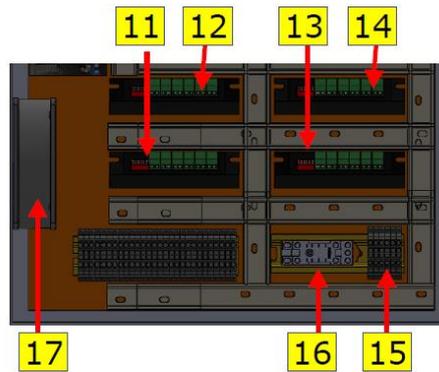
Una vez seleccionados los elementos eléctricos y electrónicos se procede a montarlos en un gabinete que aisle y proteja dichos elementos, para lo cual se realiza un diseño previo en un software CAD con el fin de garantizar el espacio necesario de los componentes.

##### 2.4.4.1. Partes del gabinete eléctrico.

El Anexo 5 muestra el diagrama del gabinete electrico completo, a continuacion se presenta las partes del gabinete electrico.



*Figura 78.* Parte superior del gabinete eléctrico.



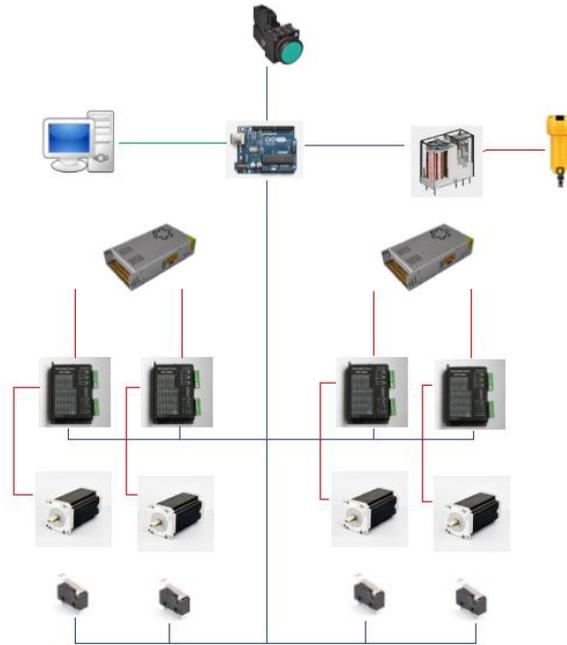
**Figura 79.** Parte inferior del gabinete eléctrico.

**Tabla 35.** Partes del gabinete eléctrico.

Número	Dispositivo
1	Breaker de alimentación
2	Contactador
3-4	Fuente de poder conmutada
5	Filtro de aire
6-15	Borneras
7	TA3
8	TA2
9	TA1
10	Arduino
11-12-13-14	Drivers motores a paso
16	Relé para tupi
17	Ventilador

### 2.4.4.2. Esquema eléctrico.

En la siguiente figura, se muestra un esquema unifilar general de las conexiones del sistema eléctrico de la máquina.



**Figura 80.** Esquema unifilar del sistema eléctrico

En el anexo 5 se aprecia los diagramas eléctricos con mayor detalle.

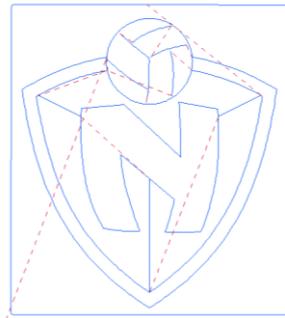
## CAPÍTULO 3

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Pruebas de funcionamiento.

Para comprobar el buen funcionamiento de la máquina se procede a realizar un grabado que contenga formas variadas.

Para lo cual se realiza en primera instancia, la generación de código G del dibujo.



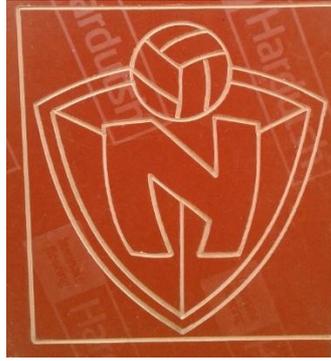
*Figura 81.* Visualización del código G generado por Inkscape

Posteriormente se coloca una plancha de madera aglomerada y se procede a realizar el mecanizado.



*Figura 82.* Mecanizado de la figura de prueba

Al terminar el proceso de mecanizado, se procede a desmontar la pieza y con ayuda de una lija fina se realiza un proceso breve de acabado.



***Figura 83.*** Pieza de prueba finalizada

Al terminar el proceso, se obtiene un grabado estético satisfactorio ante los ojos del cliente.

## CAPÍTULO 4

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones.

- Se diseñó y construyó una máquina fresadora CNC para desbaste de madera para el taller de carpintería “Arte y Madera” con un volumen de trabajo de 100 x 90 x 6 cm.
- La voz del cliente que se muestra en la tabla 1 fue determinante para la realización del trabajo, pues proporcionó lineamientos importantes al diseño y construcción de la máquina, de los cuales se hizo uso, para determinar materiales y elementos adecuados para la construcción de la máquina.
- El diseño mecánico de la máquina se ajustó a las necesidades planteadas y el costo de su construcción está dentro del presupuesto establecido.
- Las partes más críticas del sistema de control de la máquina como son, la tarjeta Arduino, y los motores paso a paso brindaron un funcionamiento satisfactorio para las necesidades presentadas por el cliente.
- El software Inkscape, Universal Gcode Sender, y el firmware GRBL 9.0j, cumple con las necesidades tanto en el momento del diseño de figuras artísticas como en el mecanizado de ellas.
- Con las pruebas de funcionamiento se verificó el funcionamiento adecuado de la máquina ya que resultaron satisfactorias y de agrado del cliente.
- Se realizó el manual de funcionamiento y mantenimiento para su entrega conjunta con la máquina al propietario del taller de carpintería “Arte y Madera”.

## **4.2.Recomendaciones**

- Diseñar el sistema mecánico y eléctrico con el mayor detalle posible para evitar gastos innecesarios y alteraciones de diseño.
- Para la construcción de máquinas de tipo CNC de mediana y largas dimensiones se recomienda considerar el sistema piñón-cremallera con el que se obtiene una mayor velocidad de avance.
- Realizar una tabla a modo empírico que relacione velocidades de avance y materiales con ayuda de la experiencia del maestro en carpintería y pegarlo en un lugar visible en la posición de trabajo del operador.
- El uso correcto del manual de funcionamiento y mantenimiento de la máquina permitirán seguridad del operario y de la máquina.
- Se recomienda la investigación y desarrollo de sistemas de movimiento lineal con control lazo cerrado en la carrera de ingeniería en mecatrónica.
- Se recomienda la investigación y desarrollo de una interfaz para controladores basados en la plataforma GRBL con el fin de omitir la presencia de un computador en el entorno de trabajo.

## Bibliografía

- (2013). Obtenido de Moldyport Tableros: <http://www.moldyport.com/tablero-mdf/>
- ACT motor. (2013). Obtenido de Act motor: [http://www.act-motor.com/product/23hs\\_en.html](http://www.act-motor.com/product/23hs_en.html)
- Aliexpres. (2010). Obtenido de [https://es.aliexpress.com/store/product/XHC-MK3-CNC-Mach3-USB-3-Axis-Motion-Control-Card-Breakout-Board-200KHz-SM639-SD/402081\\_1746907291.html](https://es.aliexpress.com/store/product/XHC-MK3-CNC-Mach3-USB-3-Axis-Motion-Control-Card-Breakout-Board-200KHz-SM639-SD/402081_1746907291.html)
- Anómio. (2014). Obtenido de La madera y sus derivados: [http://jesuspayares1103.weebly.com/uploads/2/7/1/7/27174083/tecno\\_madera.pdf](http://jesuspayares1103.weebly.com/uploads/2/7/1/7/27174083/tecno_madera.pdf)
- Arduino. (s.f.). Obtenido de Arduino: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Areatecnologia. (s.f.). Obtenido de Areatecnologia: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/servomotor.html>
- ATPP. (2008). Obtenido de <http://www.atpplleal.com/Pujat/file/DENSIDAD%20Y%20PESO%20ESPECIFIC%20O.pdf>
- Berger Lahr. (s.f.). Obtenido de [http://www.esteca55.com.ar/downloads/Selection\\_PaP1-1.pdf](http://www.esteca55.com.ar/downloads/Selection_PaP1-1.pdf)
- Dipac. (2016). Obtenido de Dipac: <http://www.dipacmanta.com/>
- Direct Industry. (s.f.). Obtenido de Direct Industry: <http://www.directindustry.es/prod/norelem/product-7884-416728.html>
- Ebay. (s.f.). Obtenido de Ebay: [http://www.ebay.com/itm/ACT-Motor-GmbH-4Axis-Nema23-CNC-Kit-23HS2442B-Dual-Shaft-4-2A-112mm-425oz-in/252471185868?ssPageName=STRK%3AMEBIDX%3AIT&\\_trksid=p2060353.m1438.l2649](http://www.ebay.com/itm/ACT-Motor-GmbH-4Axis-Nema23-CNC-Kit-23HS2442B-Dual-Shaft-4-2A-112mm-425oz-in/252471185868?ssPageName=STRK%3AMEBIDX%3AIT&_trksid=p2060353.m1438.l2649)

Gabarró. (s.f.). Obtenido de Gabarró: <http://www.gabarro.com/es/tableros/tableros-aglomerados/>?

Gabarró. (s.f.). Obtenido de Gabarró: <http://www.gabarro.com/es/tableros/tableros-contrachapados>

Garcia, J. S., Abella, B., & Boada, B. (13 de 10 de 2008). *Resistencia a la fatiga*. Obtenido de OCW - UC3M: [http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-de-maquinas/material-de-estudio/fatiga\\_transparencias.pdf](http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/disenio-de-maquinas/material-de-estudio/fatiga_transparencias.pdf)

Github. (2017). Obtenido de Github: <https://github.com/grbl/grbl/wiki/Connecting-Grbl>

IMH. (2015). Obtenido de <http://www.imh.eus/es/comunicacion/dokumentazio-irekia/manuales/introduccion-a-los-procesos-de-fabricacion/conformacion-por-mecanizado/mecanizado-por-arranque-de-viruta/fresado>

International Tool. (s.f.). Obtenido de International Tool: <http://www.internationaltool.com/dewalt-dwe6000-laminate-trimmer>

Maquinas, Herramientas y CNC. (9 de Septiembre de 2011). *Máquinas, Herramientas y CNC*. Obtenido de <https://pyrosisproyect.wordpress.com/category/fresadora/>

O3ozono. (12 de Febrero de 2014). Obtenido de O3ozono: <https://o3ozono.wordpress.com/entradas-2/page/4/>

Oriental Motor. (2013). Obtenido de [http://www.orientalmotor.com/products/pdfs/2012-2013/G/usa\\_tech\\_calculation.pdf](http://www.orientalmotor.com/products/pdfs/2012-2013/G/usa_tech_calculation.pdf)

Pro Ecuador. (2015). Obtenido de [http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/12/PROEC\\_AS2015\\_MUEBLES\\_ACABADOS\\_CONSTRUCCION.pdf](http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/12/PROEC_AS2015_MUEBLES_ACABADOS_CONSTRUCCION.pdf)

Proyectos de Tecnología. (31 de Mayo de 2013). Obtenido de Taller de tecnología: <http://www.tallerdetecnologia.es/joomla/materiales/85-varillaroscad>

Riva Romeva, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona.

Robotica CNC México . (2017). Obtenido de [http://www.roboticacnc.com.mx/controladoras\\_cnc.html](http://www.roboticacnc.com.mx/controladoras_cnc.html)

SANDVIK. (2011). *Sandvik Coromant*. Recuperado el 8 de Enero de 2017, de [http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/es-es/rotating/rot\\_d.pdf](http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/es-es/rotating/rot_d.pdf)

Sensoritytips. (23 de Agosto de 2013). Obtenido de <https://sensoritytips.wordpress.com/2013/08/>

Shigley, J. E. (2008). *Diseño de ingeniería mecánica*. México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Stepperonline. (2017). Obtenido de <http://www.omc-stepperonline.com/high-torque-nema-23-cnc-stepper-motor-113mm-3nm425ozin-23hs454204s-p-127.html>

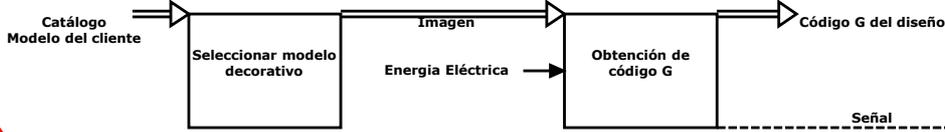
SUMITEC. (2017). Obtenido de SUMITEC: <http://www.sumiteccr.com/acero/inoxidable/AI07.pdf>

Universidad Del Pais Vasco. (16 de Julio de 2013). *Tecnología Mecánica*. Obtenido de [http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/723\\_ca.pdf](http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/723_ca.pdf)

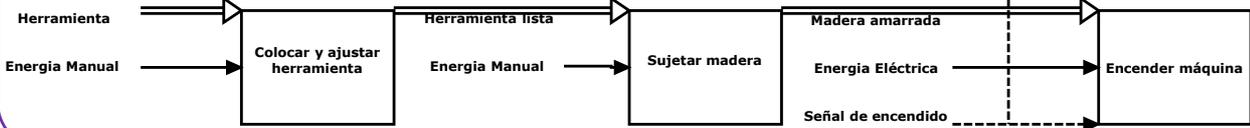
ANEXO 1

ANÁLISIS FUNCIONAL

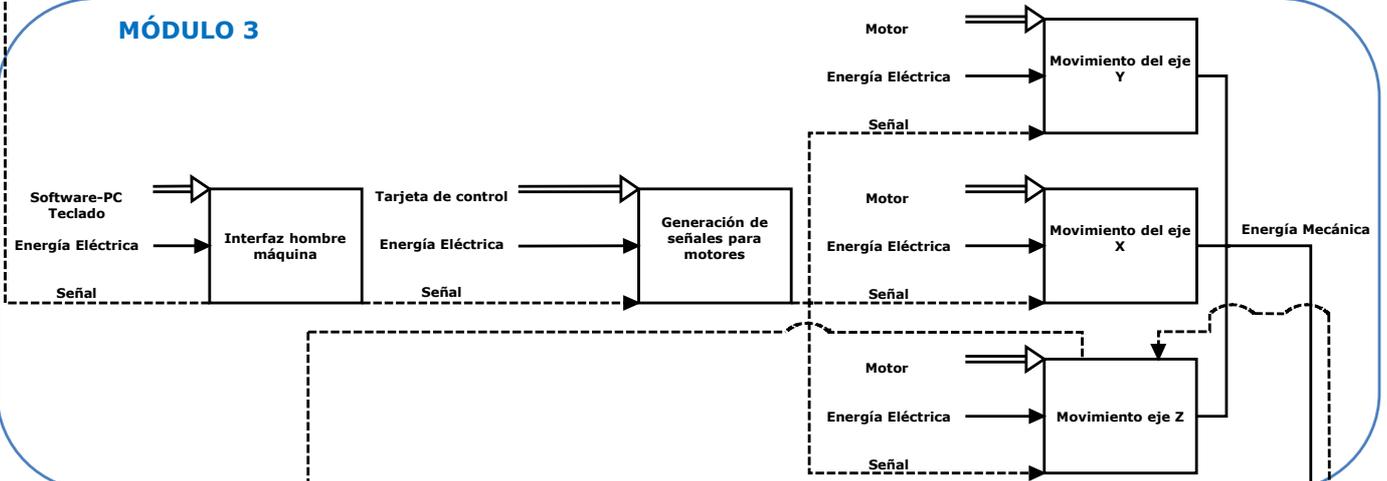
### MÓDULO 1



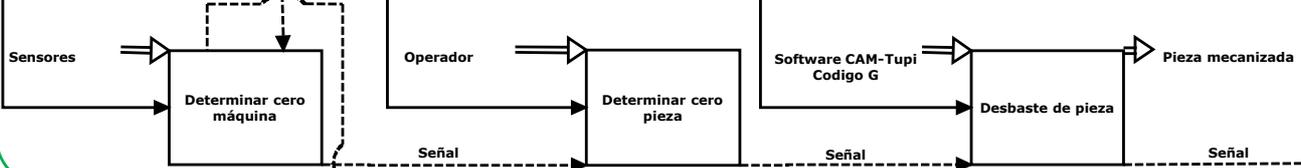
### MÓDULO 2



### MÓDULO 3



### MÓDULO 4



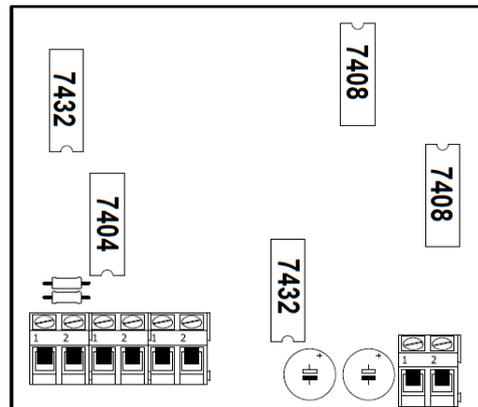
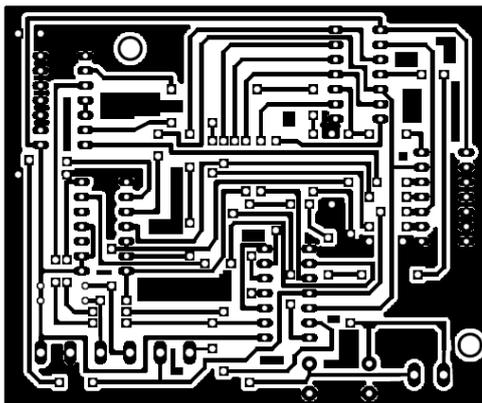
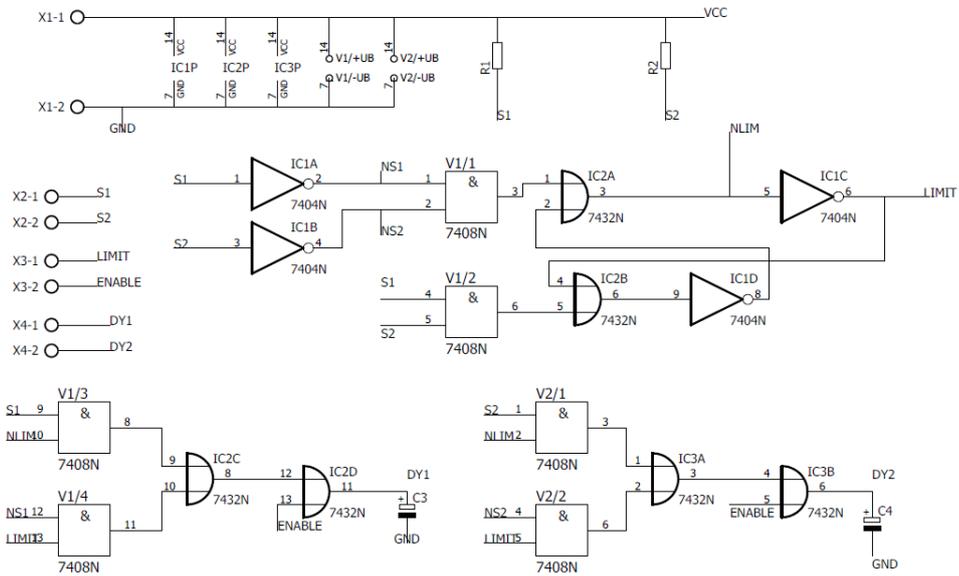
### MÓDULO 5



## ANEXO 2

# ESQUEMAS DE PLACAS ELECTRÓNICAS

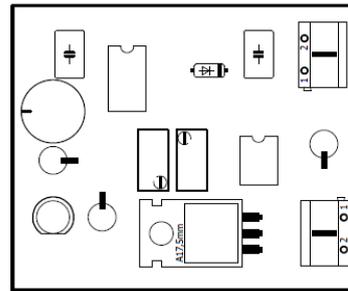
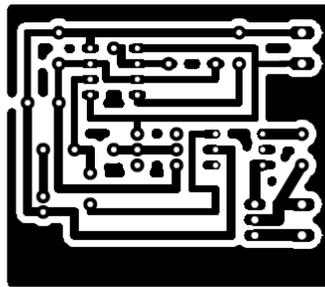
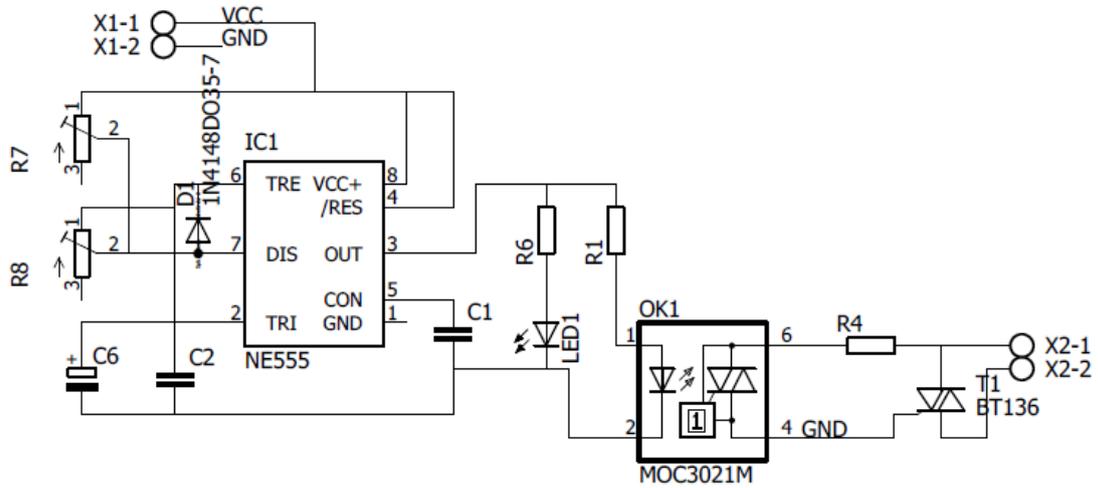
## Esquema electrónico y PCB de la Tarjeta auxiliar 1:



$C4=C3=100\mu\text{F}$

$R1=R2=10\text{K}$

## Esquema electrónico y PCB de la Tarjeta auxiliar 2:



$R1=R6=330\Omega$   $\frac{1}{4}$  W

$R7=R8=1M\Omega$

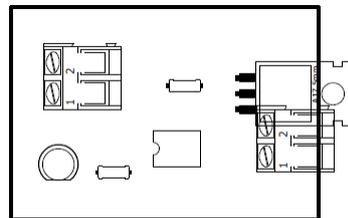
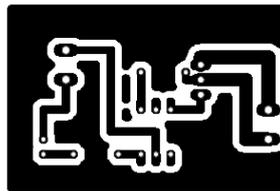
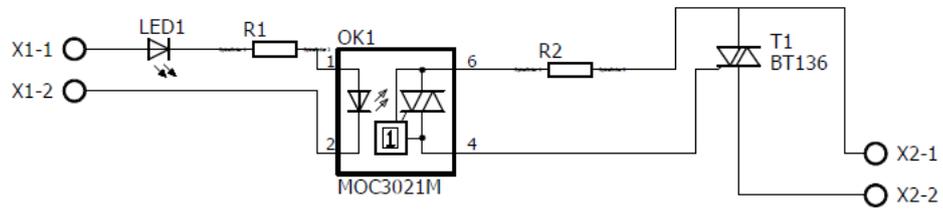
$C6=220\mu F$

$C2=100\mu F$

$C1=0.1\mu F$

$R4=330\Omega$   $\frac{1}{2}$  W

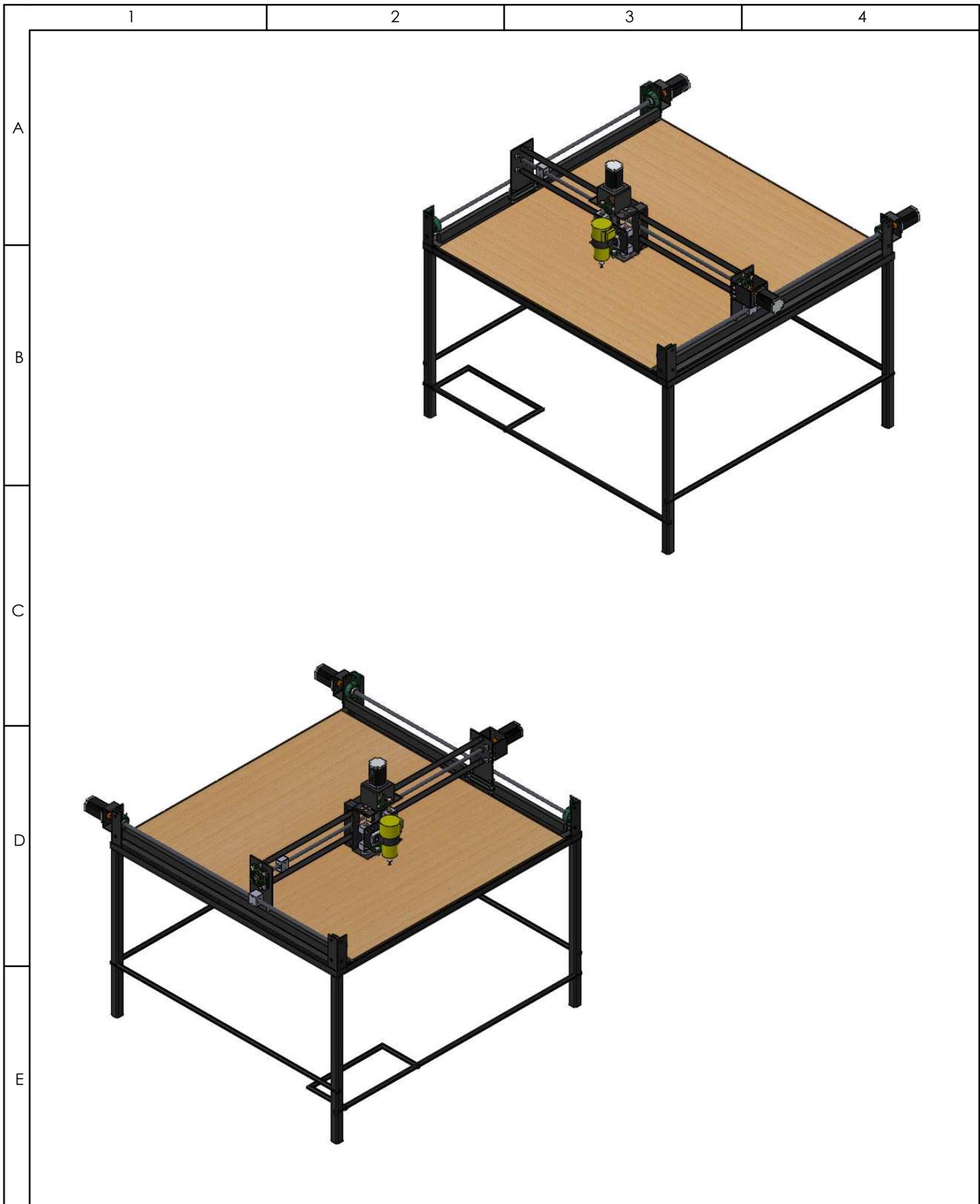
### Esquema electrónico y PCB de la Tarjeta auxiliar 3:



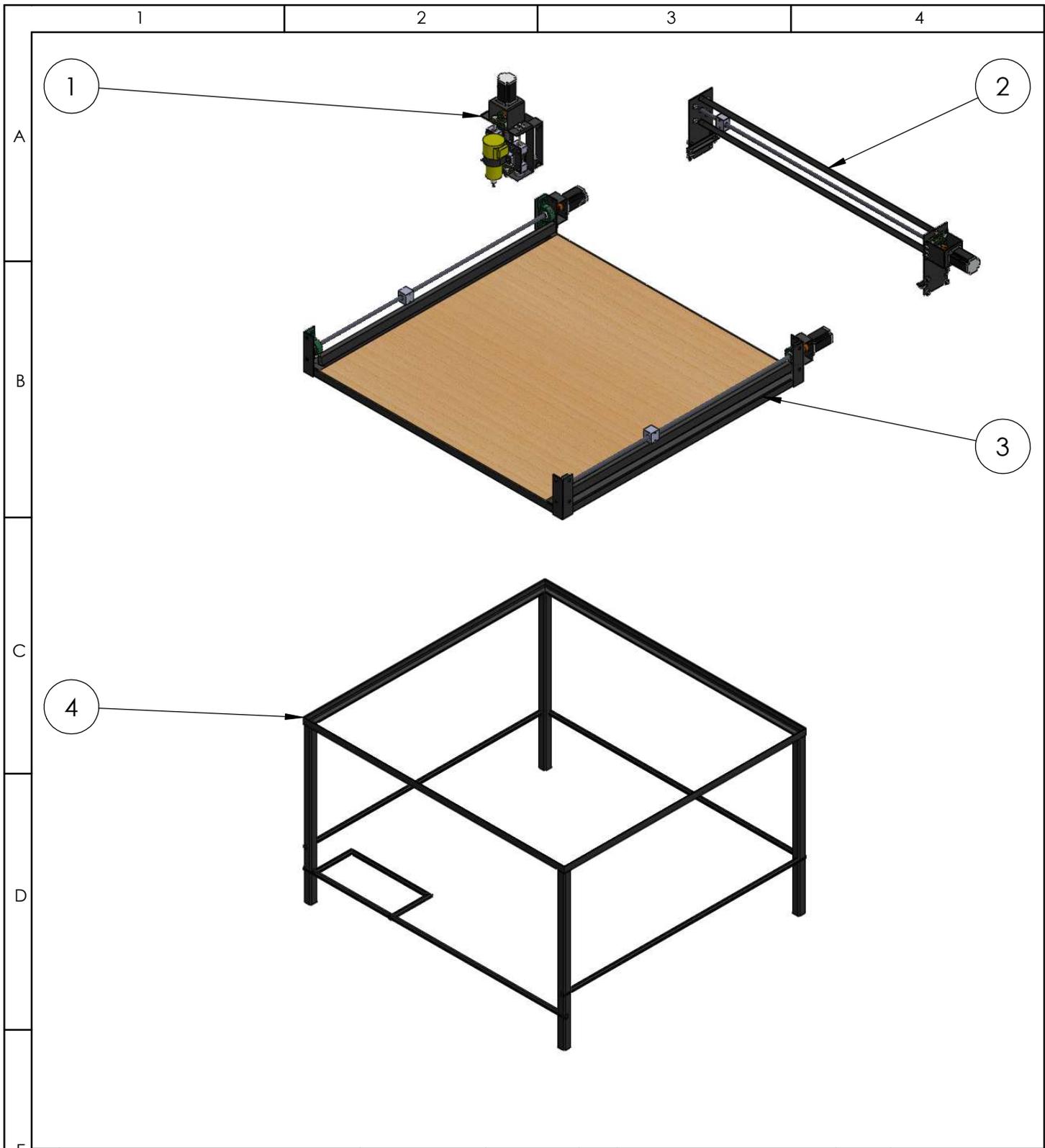
R1=330  $\Omega$  ¼ W

R2=330V ½ W

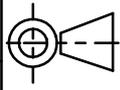
ANEXO 3  
PLANOS MECÁNICOS

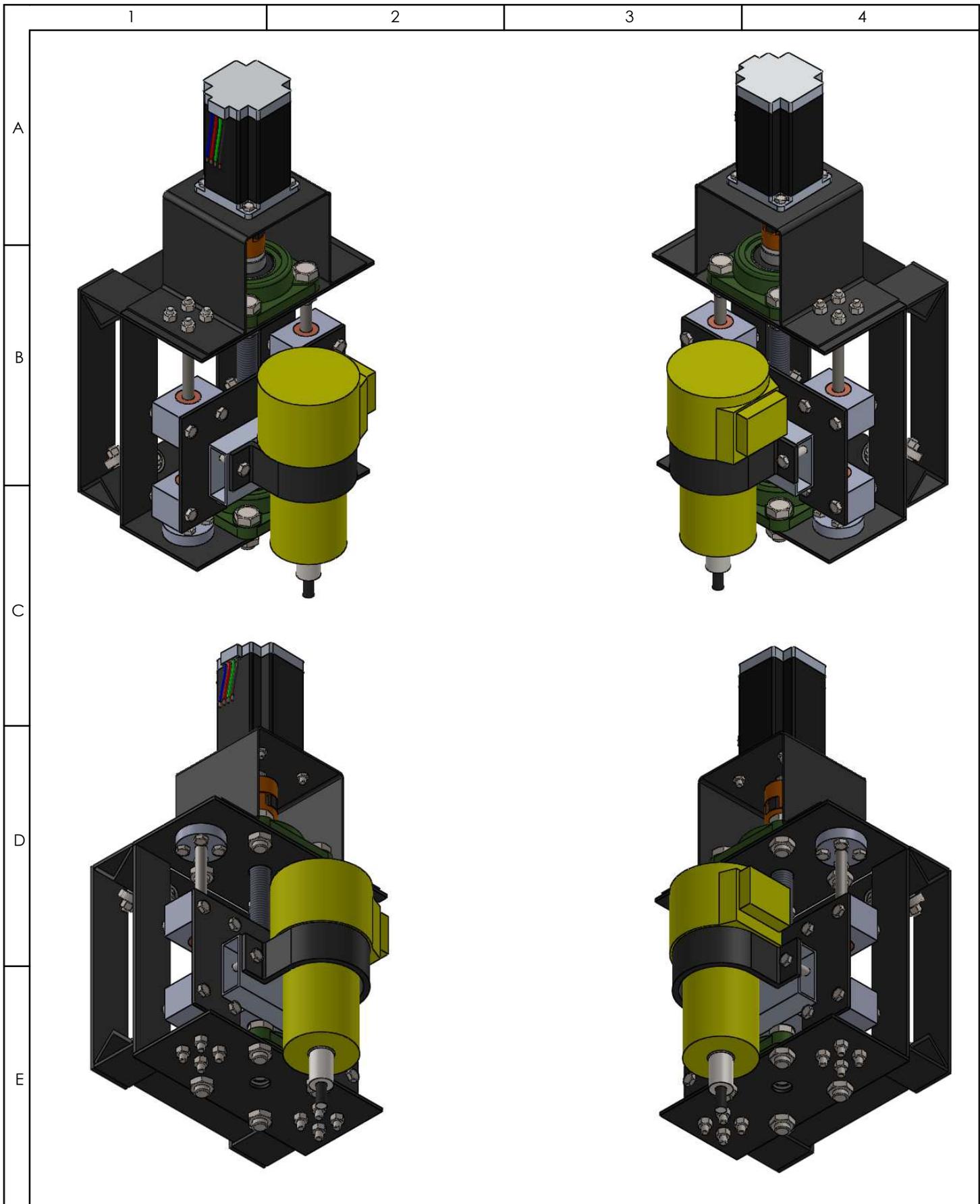


				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:20
			Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	Isometrica Conjunto	A4
			Rev.		Ing. Víctor Erazo		
			Apro.		Ing. Víctor Erazo		
						Número de Dibujo	
						JH17-DMCNC1-0	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	

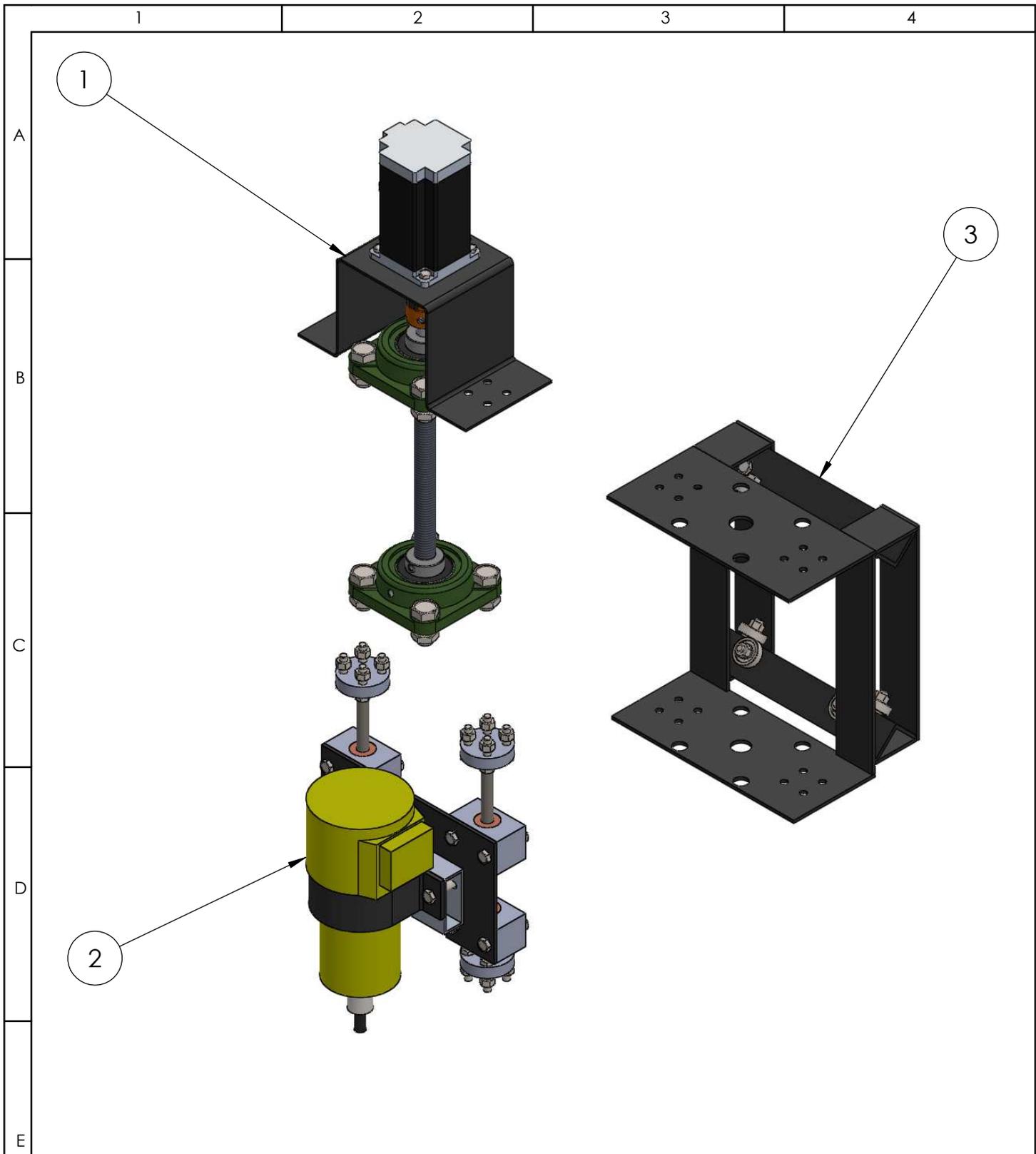


1	Mesa			4			
1	EJE X			3			
1	EJE y			2			
1	EJE Z			1			
No. de Piez	Denominación	No. de Norma	Material	No. de orden	No. del modelo	Peso Kg/pieza	Observaciones

		Tolerancia:		Peso:		Material:	
						Varios	
		Fecha		Nombre		Denominación:	
		14/07/2017		Jairo Haro		Plano de conjunto	
		Rev.		Ing. Víctor Erazo		Escala 1:20	
		Apro.		Ing. Víctor Erazo		A4	
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-0-00			
Edi-ción		Modificación		Fecha		Nombre	
						Sustituye a:	

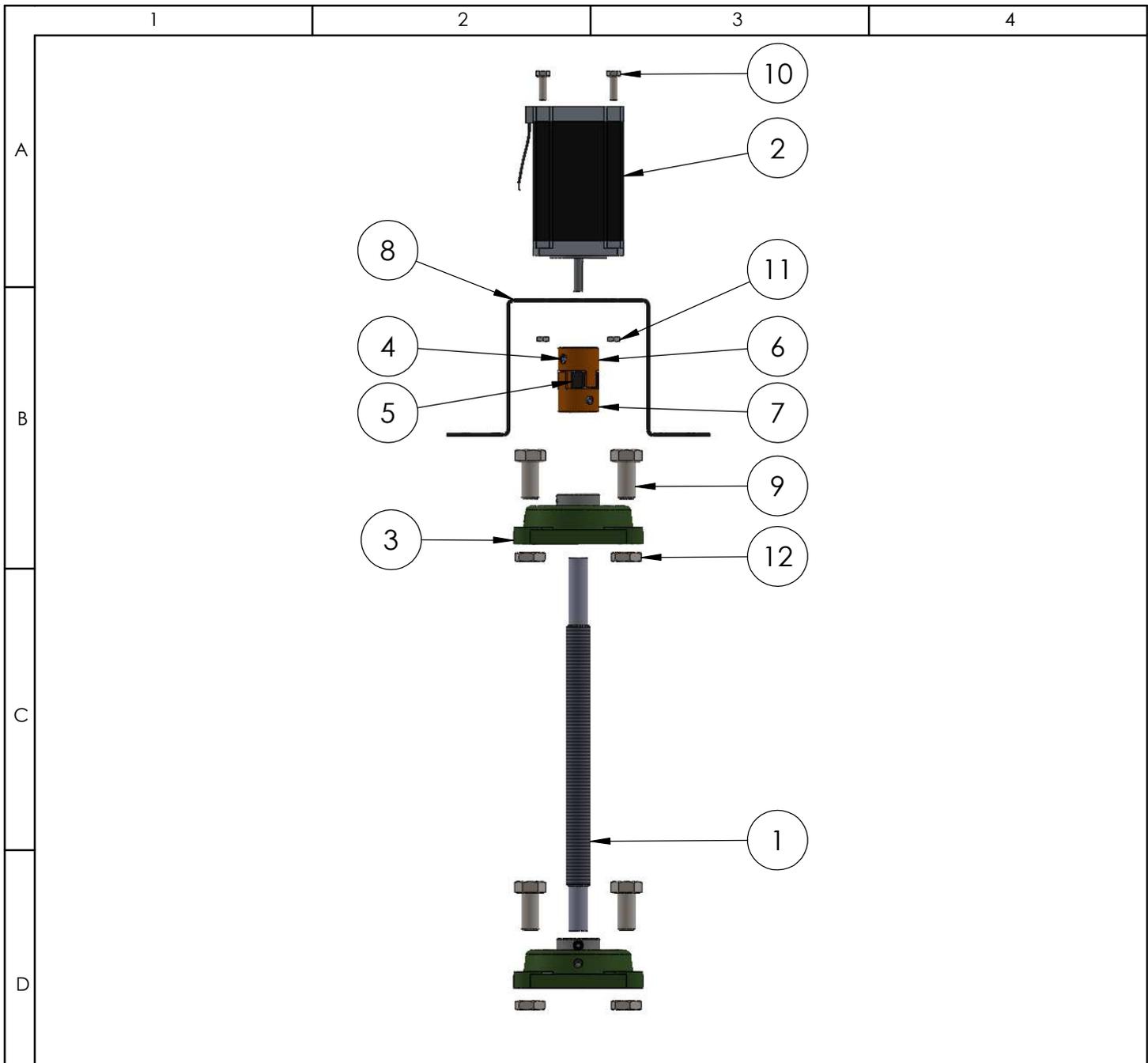


				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:4
				Dib. 14/07/2017	Jairo Haro	Isometricas eje Z	A4
				Rev.	Ing. Víctor Erazo		
				Apro.	Ing. Víctor Erazo		
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-1			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:			



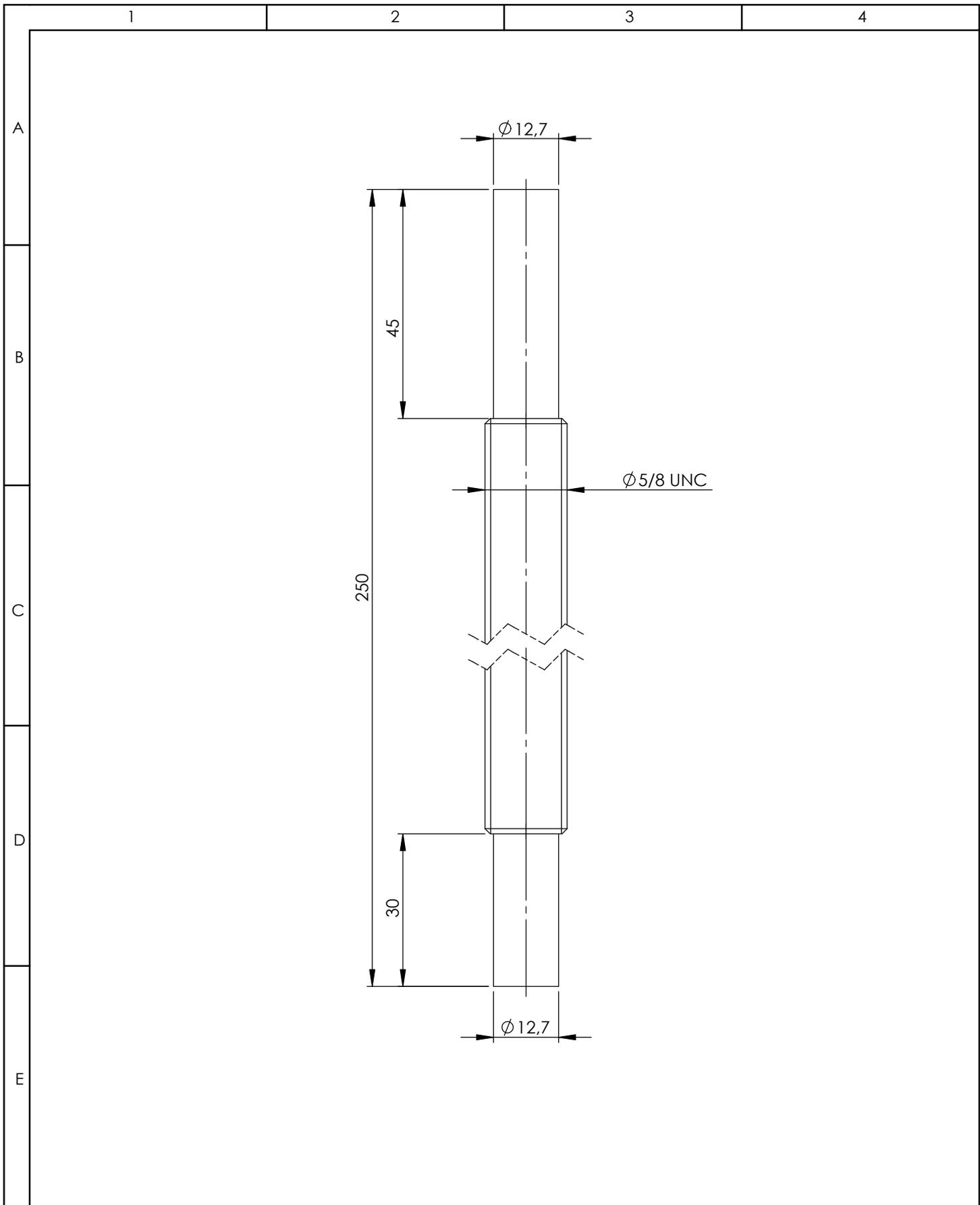
1	Sist. Movimiento lineal			2			
1	Sist. Movimiento angular			1			
1	Carcaza			1			
No. de Piez	Denominación	No. de Norma	Material	No. de orden	No. del modelo	Peso Kg/pieza	Observaciones

		Tolerancia:		Peso:	Material:				
					Varios				
		Fecha	Nombre	Denominación:				Escala 1:4	
		Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	Plano de conjunto eje Z				A4
		Rev.		Ing. Víctor Erazo					
		Apro.		Ing. Víctor Erazo					
					Número de Dibujo				
					JH17-DMCNC1-1-00				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:					

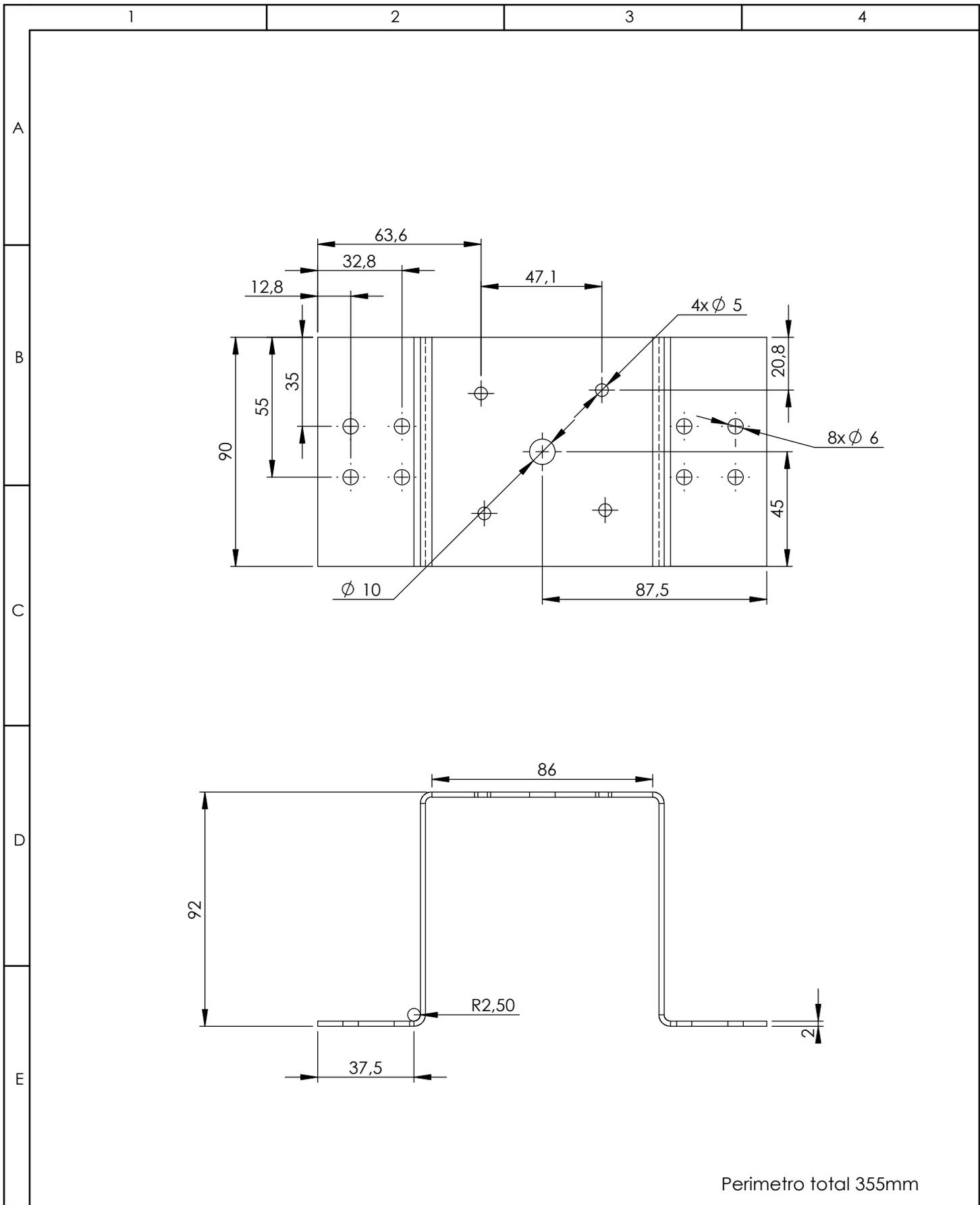


8	Tuerca M12	DIN 934		12			
4	Tuerca M5	DIN 934		11			
4	Perno M5 16mm	DIN 933		10			
8	Perno M12 25mm	DIN 933		9			
1	Soporte de motor a pasos	ASTM A366		8			
1	Acople lovejoy 2			7	L050		Lovejoy
1	Acople lovejoy 1			6	L050		Lovejoy
1	Prisionero lovejoy	DIN 913		5			
2	Caucho de acople lovejoy			4	Spider L050		Lovejoy
2	Chumacera de pared			3	UCF-201		DJF
1	Motor paso a paso			2	23HS2442B		ACT MOTOR
1	Varilla roscada Z	DIN 975		1			
No. de Piez	Denominación	No. de Norma	Material	No. de orden	No. del modelo	Peso Kg/pieza	Observaciones

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	Plano de conjunto movimiento angular Z
				Rev.		Ing. Víctor Erazo	Escala 1:4
				Apro.		Ing. Víctor Erazo	A4
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-1-1-00			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:			



				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						DIN 975		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-1-1-002	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	



Perimetro total 355mm

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						ASTM A366	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:2
				Dib. 14/07/2017	Jairo Haro	Soporte de motor	A4
				Rev.	Ing. Víctor Erazo		
				Apro.	Ing. Víctor Erazo		
						Número de Dibujo	
						JH17-DMCNC1-1-1-003	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	

1

2

3

4

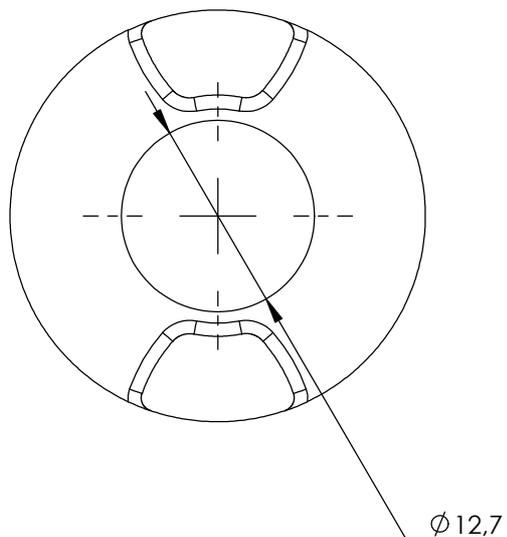
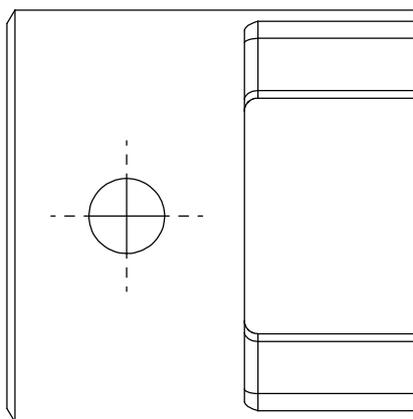
A

B

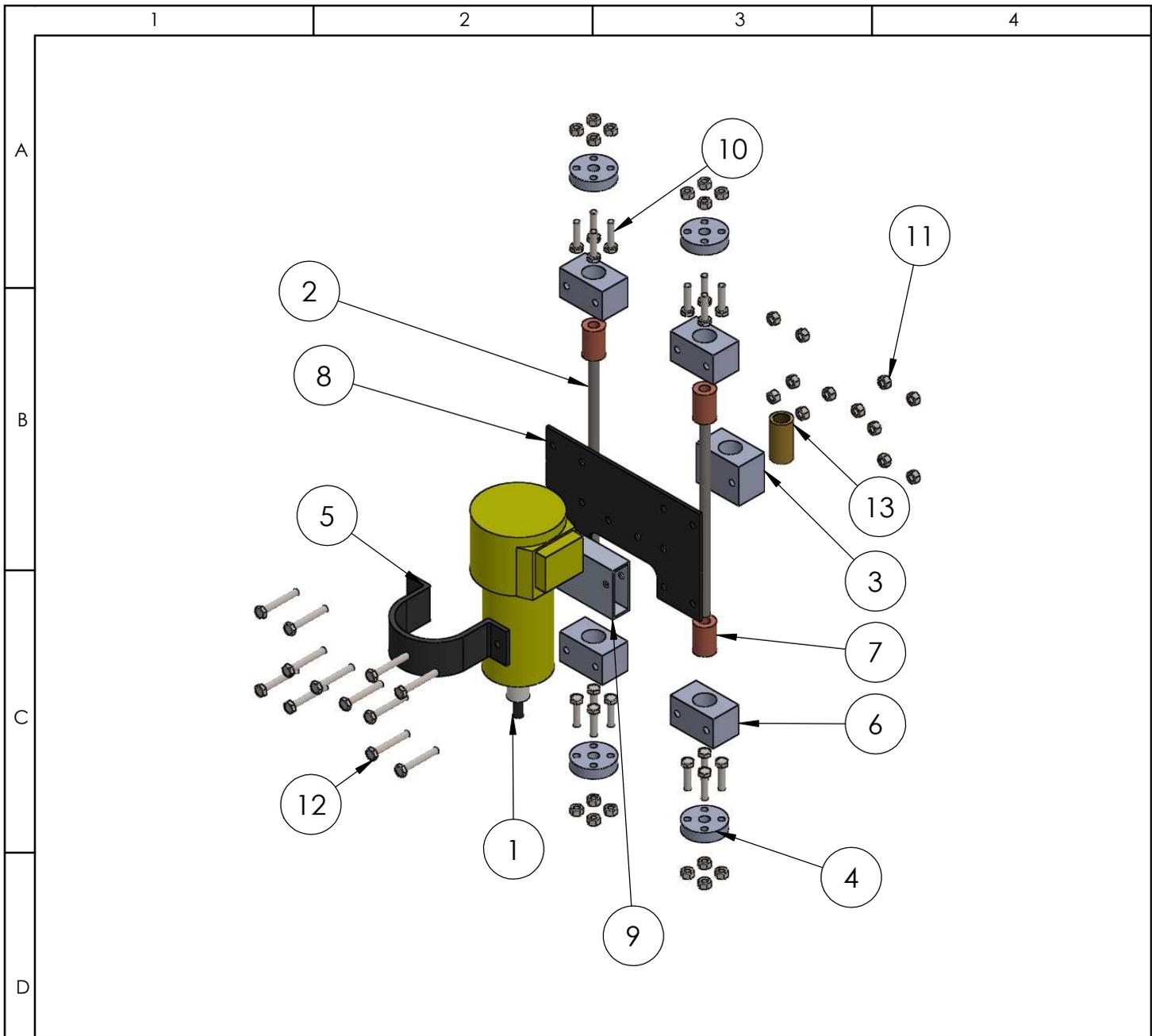
C

D

E

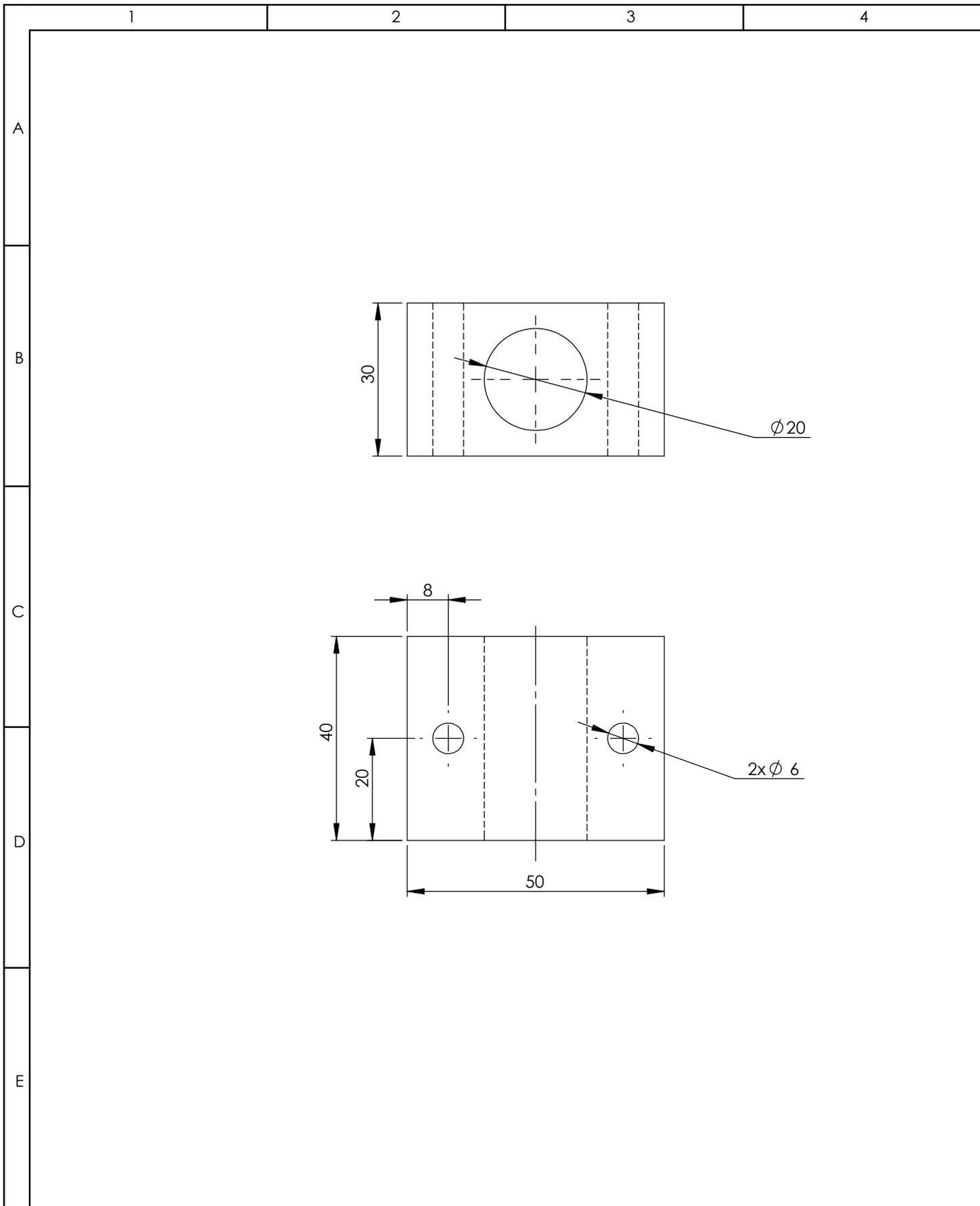


				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						Ver en lista de materiales	
					Fecha	Nombre	Escala 2:1
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4
				Rev.		Ing. Víctor Erazo	
				Apro.		Ing. Víctor Erazo	
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-1-1-004			
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:			

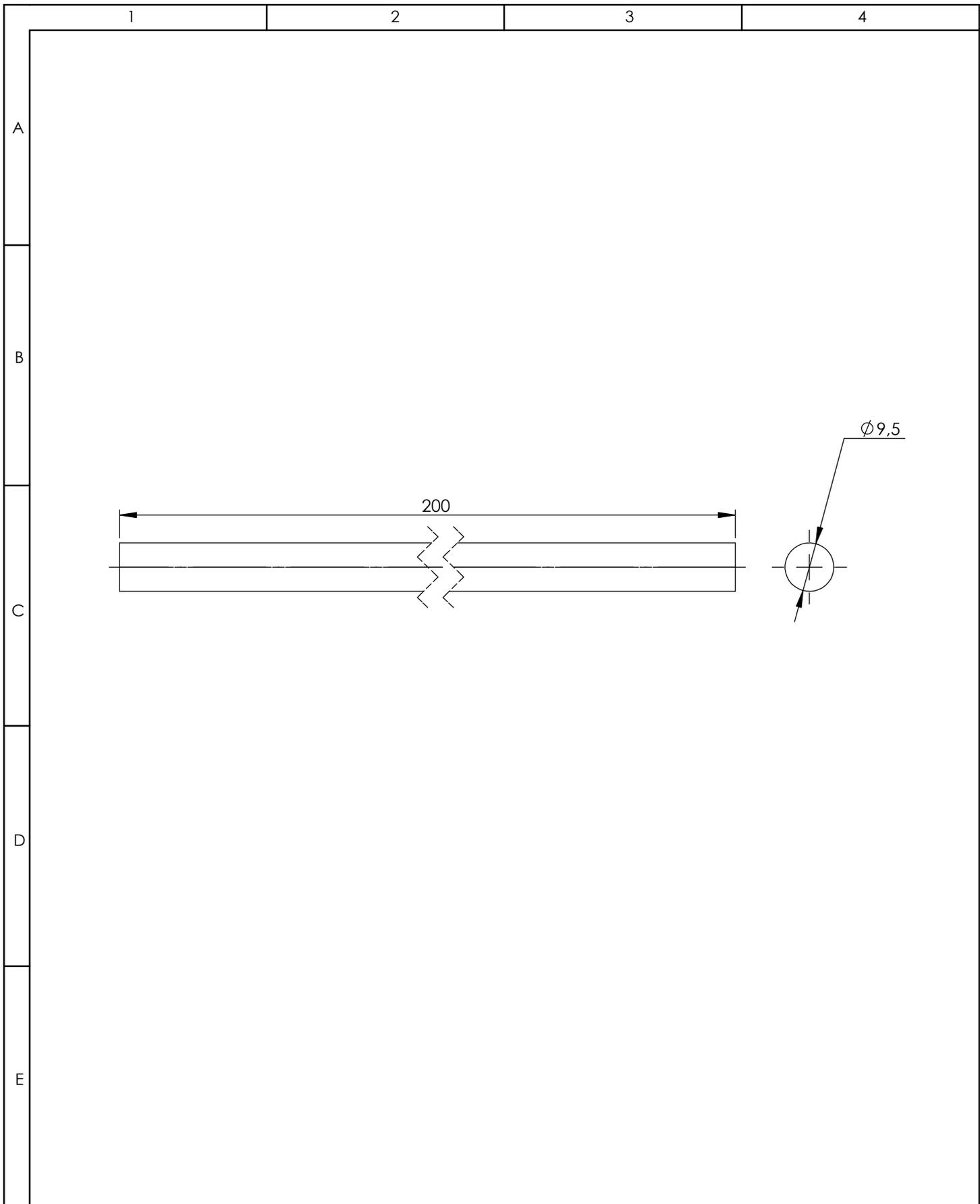


1	Tuerca bronce	SAE 640		13			
12	Perno M6 x 40mm	DIN 933		12			
28	Tuerca M6	DIN 934		11			
16	Perno M6 25mm	DIN 933		10			
1	Perfil de apoyo	ASTM B221 6063		9			
1	Base de apoyo	ASTM A366		8			
4	Bocin	SAE 640		7			
4	Porta bocin			6			Aluminio fundido
1	Sujetador de tupi	ASTM A36		5			
4	Soporte de eje			4			Aluminio Fundido
1	Porta tuerca Z			3			Aluminio Fundido
2	Eje de deslizamiento	AISI 304		2			
1	Tupi			1	DWE 6000		Dewalt
No. de Piez	Denominación	No. de Norma	Material	No. de orden	No. del modelo	Peso Kg/pieza	Observaciones

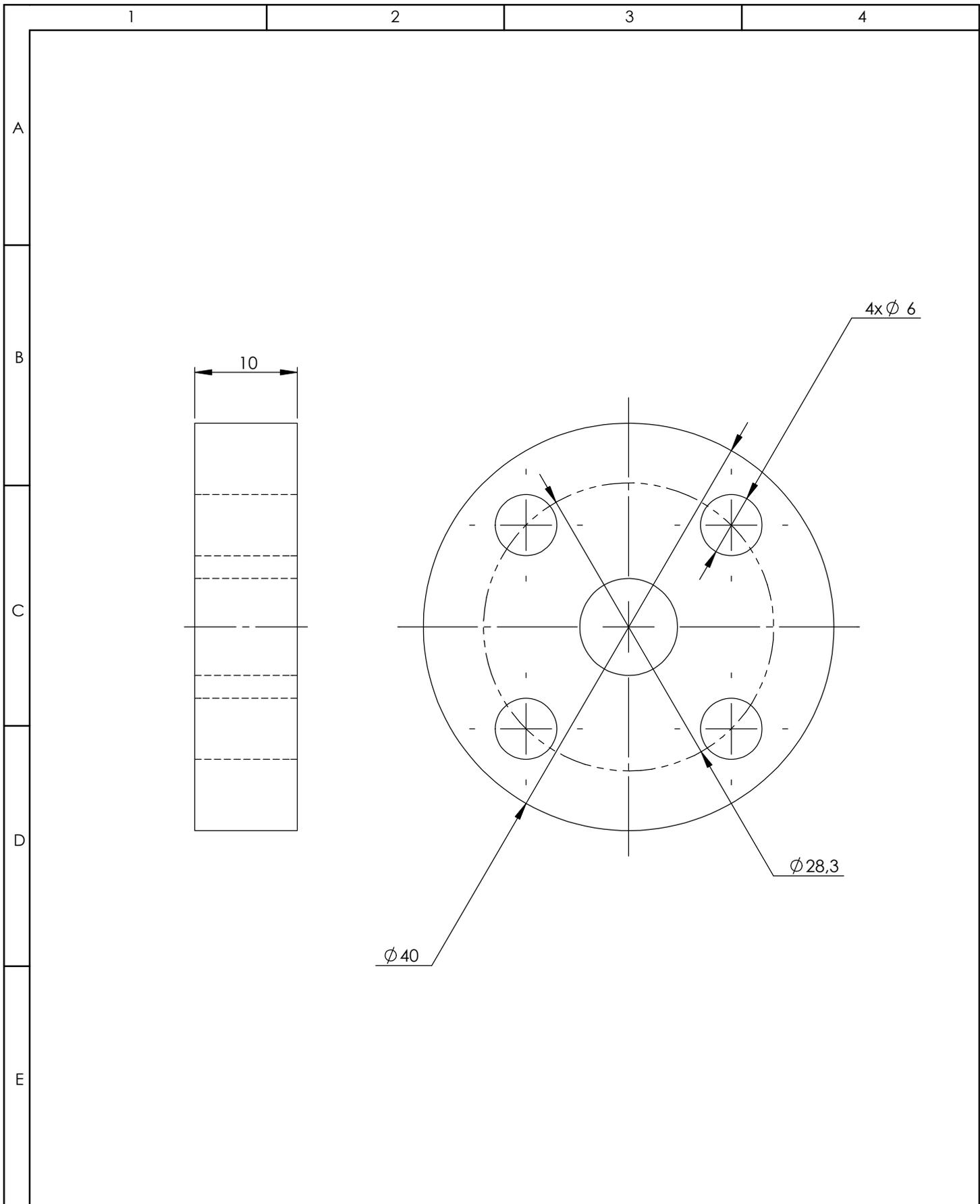
Tolerancia:		Peso:		Material:			
				Varios			
		Fecha	Nombre	Denominación:			Escala 1:5
		Dib.	14/07/2017	Plano de conujnto movimiento lineal Z			A4
		Rev.					
		Apro.					
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-1-2-00			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:			



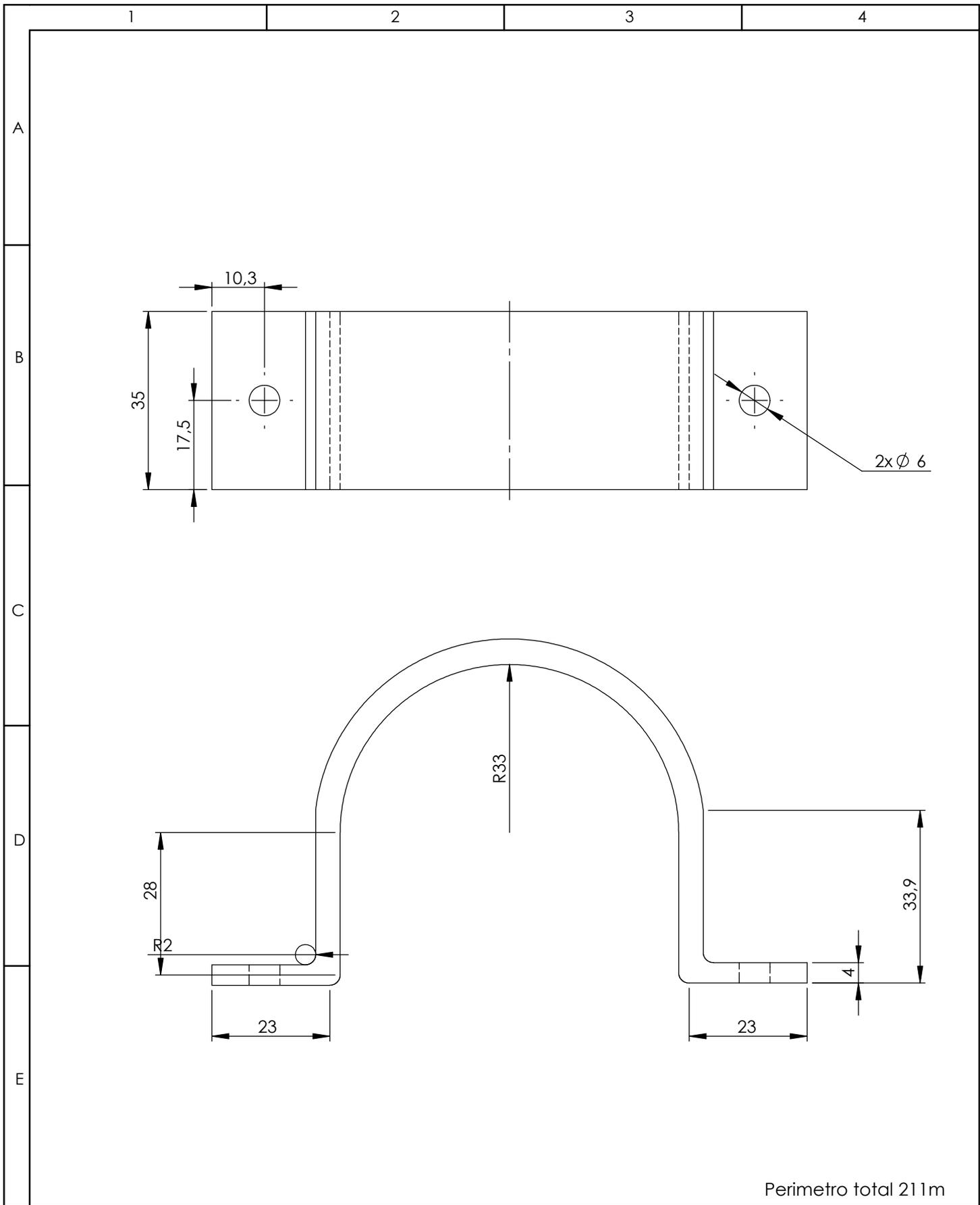
				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						Aluminio Fundido		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-1-2-001	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	



				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						AISI 304		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-1-2-002	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	

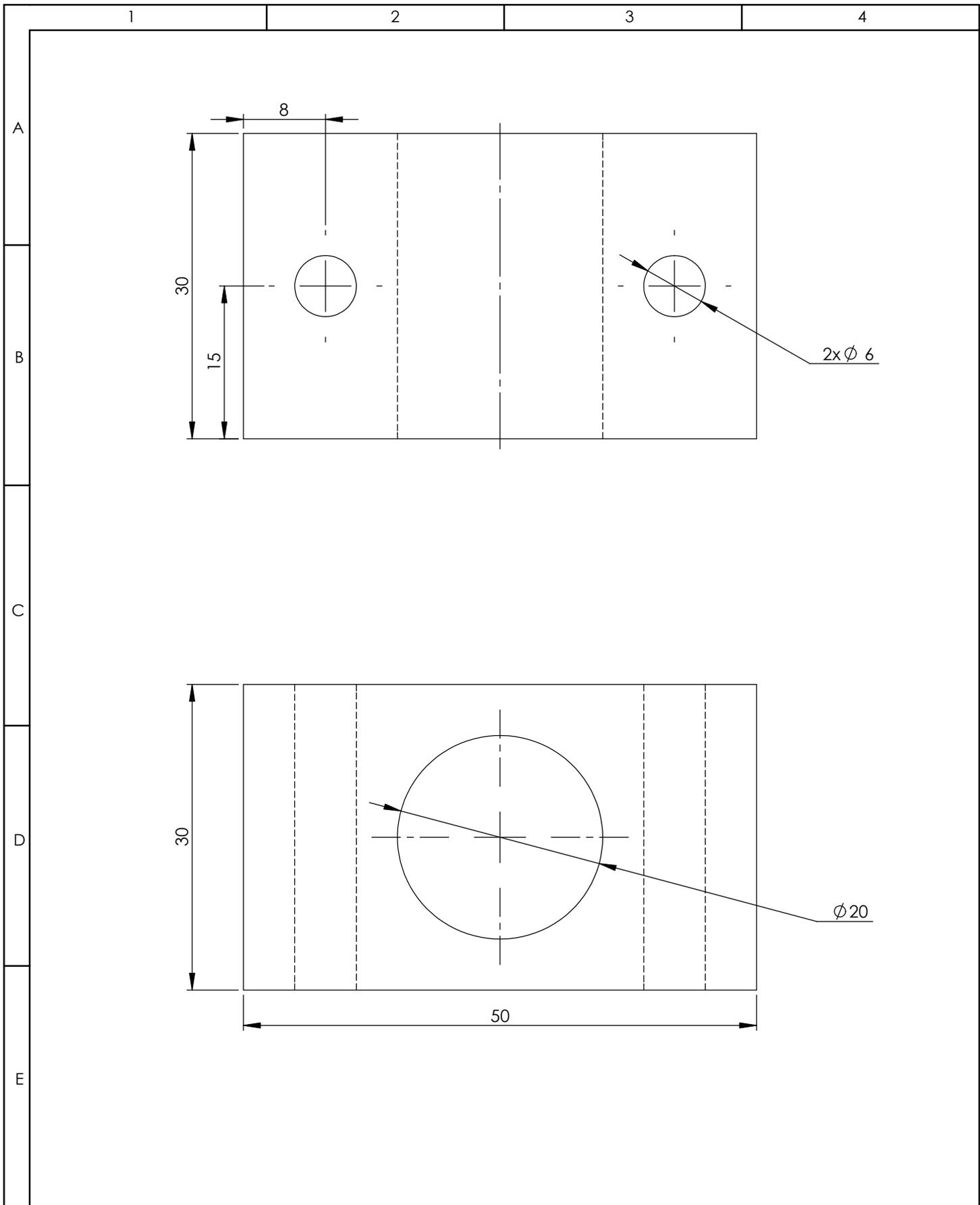


				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						Aluminio fundido		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 2:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-1-2-003	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	

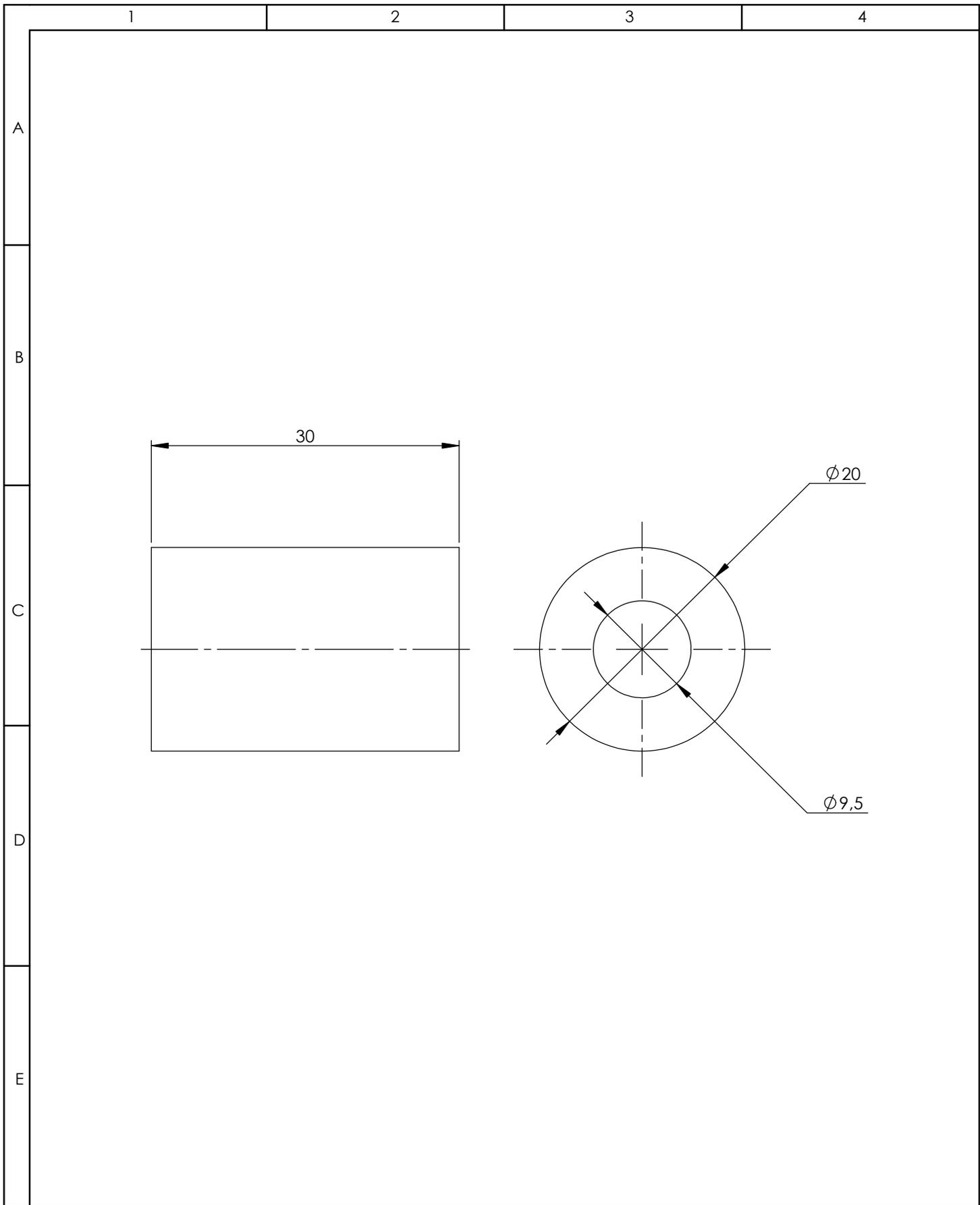


Perimetro total 211m

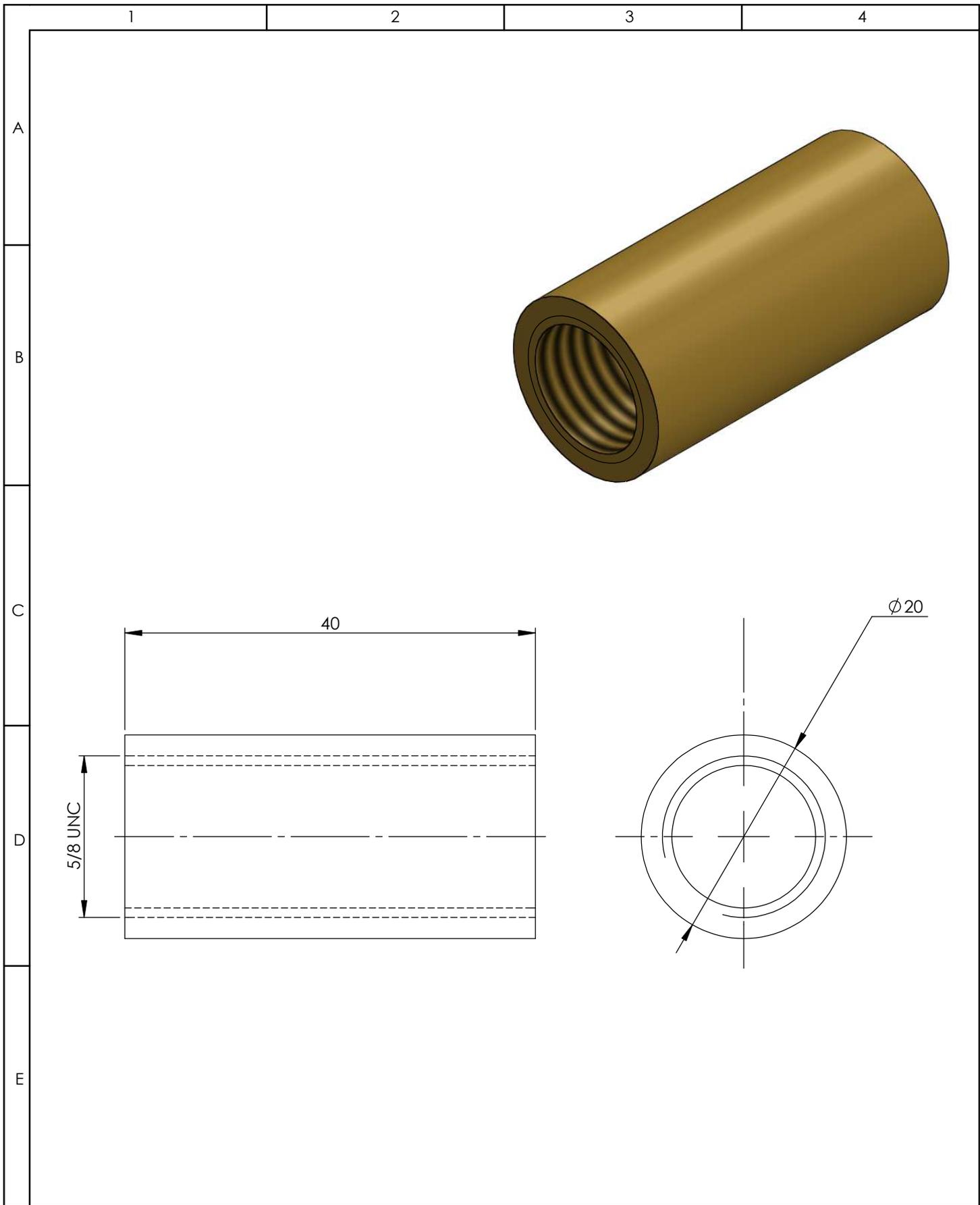
				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						ASTM A36		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-1-2-004	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	

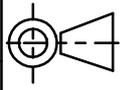


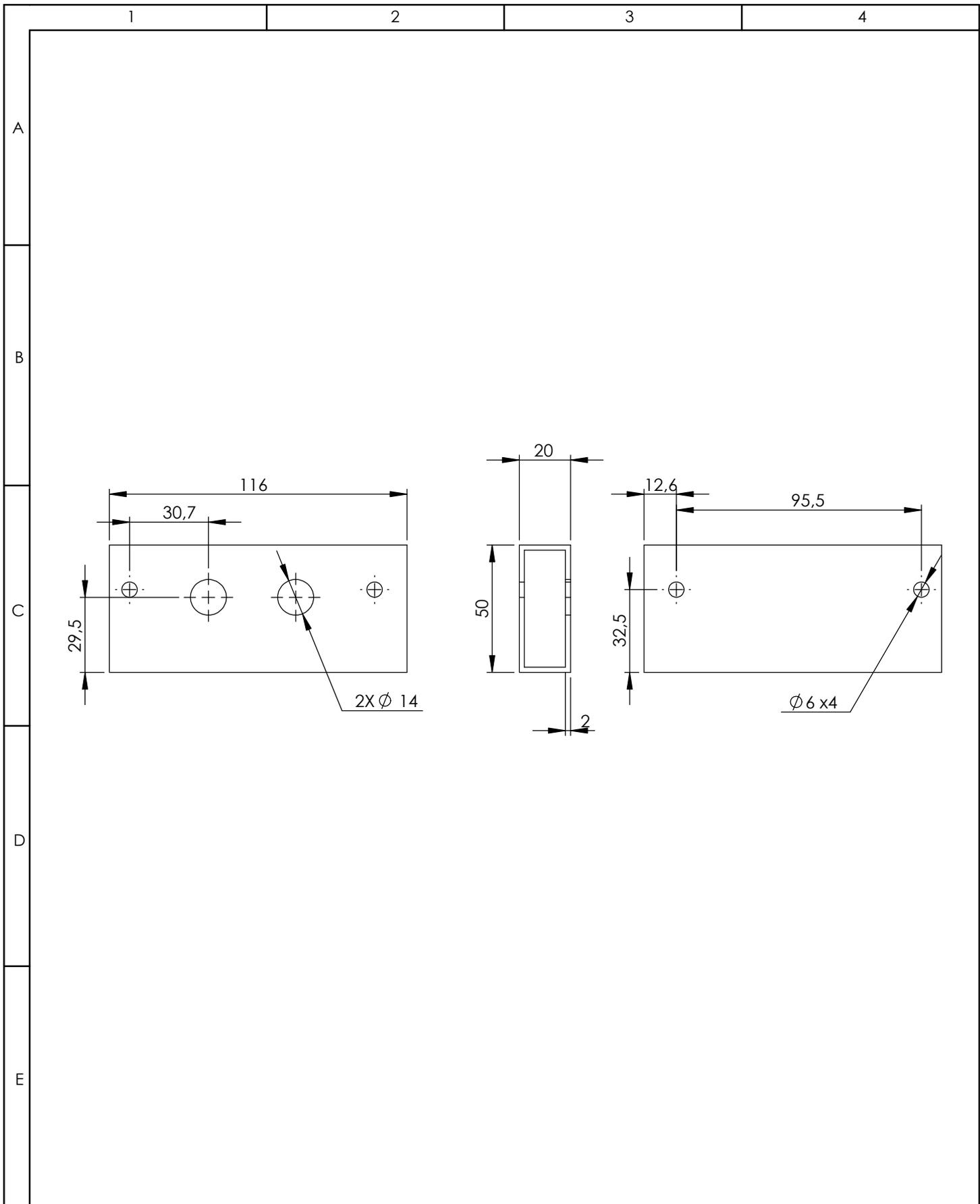
				Tolerancia:	Peso:	Material: Aluminio fundido	
						Denominación: Porta bocin	
				Fecha	Nombre	Escala 2:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4
				Rev.		Ing. Víctor Erazo	
				Apro.		Ing. Víctor Erazo	
				Número de Dibujo JH17-DMCNC1-1-2-005			
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:			



				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						SAE 640	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	Bocin
				Rev.		Ing. Víctor Erazo	Escala 2:1
				Apro.		Ing. Víctor Erazo	A4
							Número de Dibujo
							JH17-DMCNC1-1-2-006
							Sustituye a:
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				

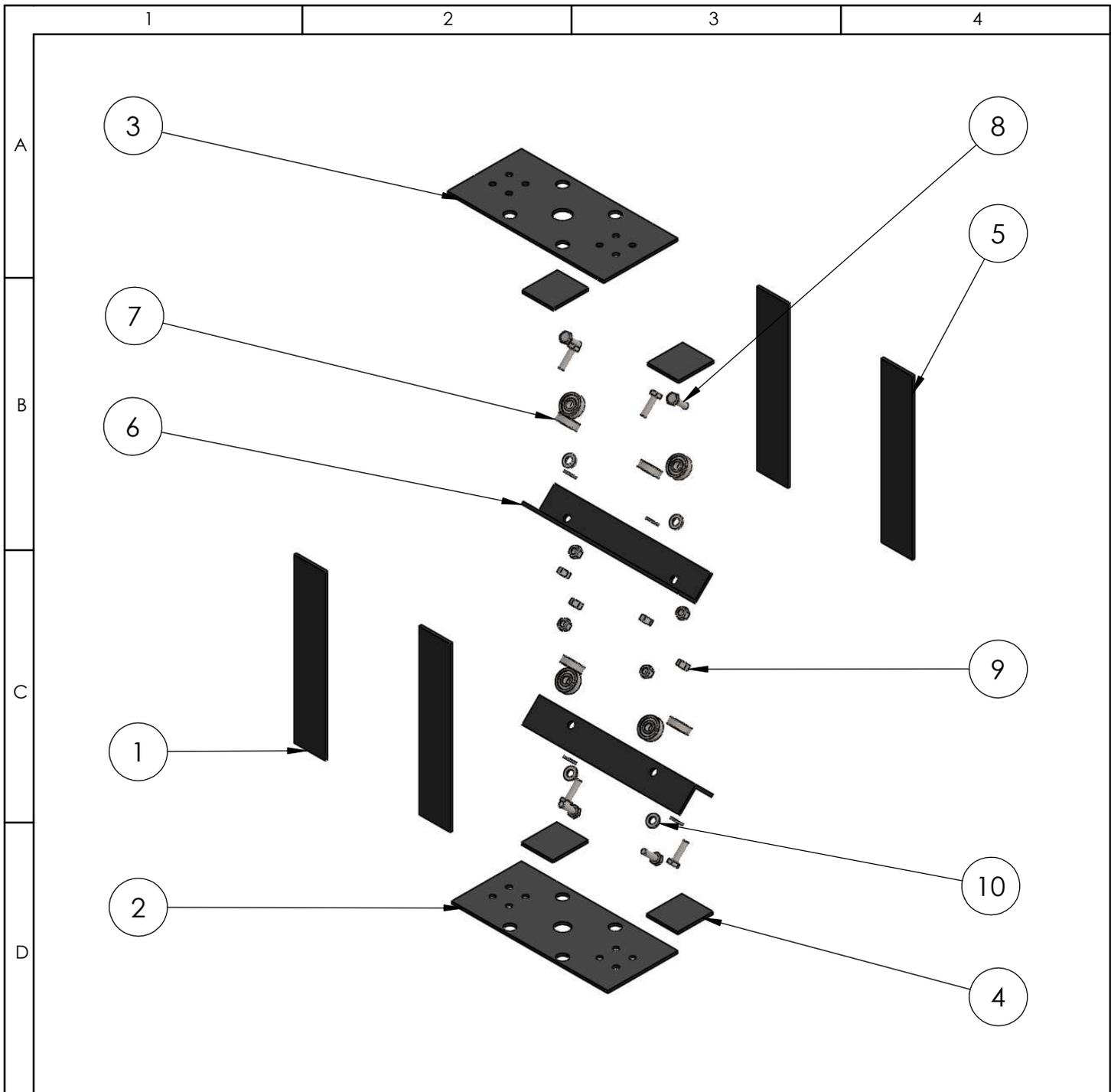


				Tolerancia:	Peso:	Material:  SAE 640				
						Denominación:  Tuerca de bronce			Escala 2:1	
					Fecha				Nombre	A4
				Dib.	14/07/2017				Jairo Haro	
				Rev.					Ing. Víctor Erazo	
					Apro.	Ing. Víctor Erazo	Número de Dibujo JH17-DMCNC1-1-2-007			
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:			



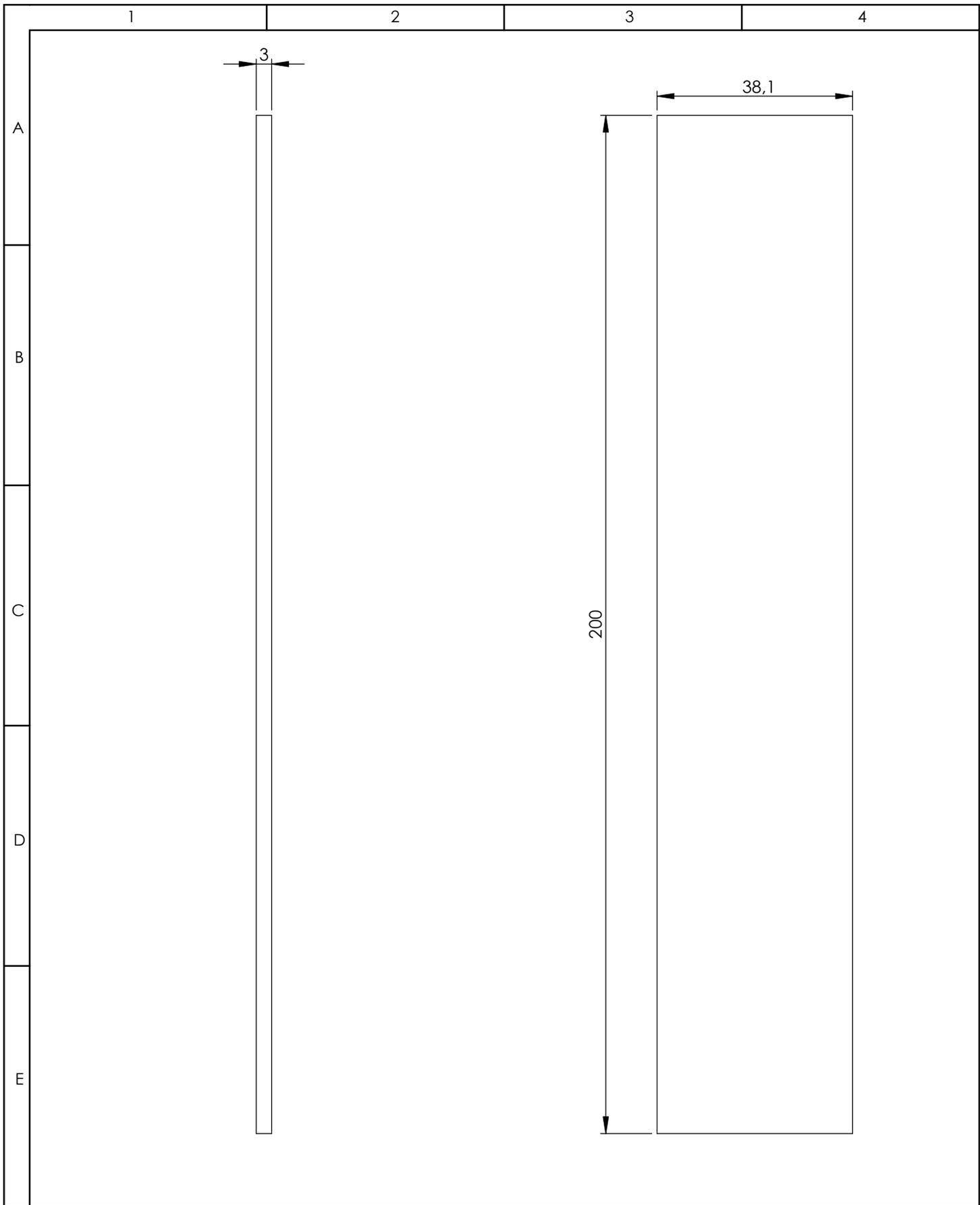
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						ASTM B221 6063	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:2
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4
				Rev.		Ing. Víctor Erazo	
				Apro.		Ing. Víctor Erazo	
						Número de Dibujo	
						JH17-DMCNC1-1-2-008	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	

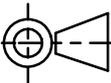


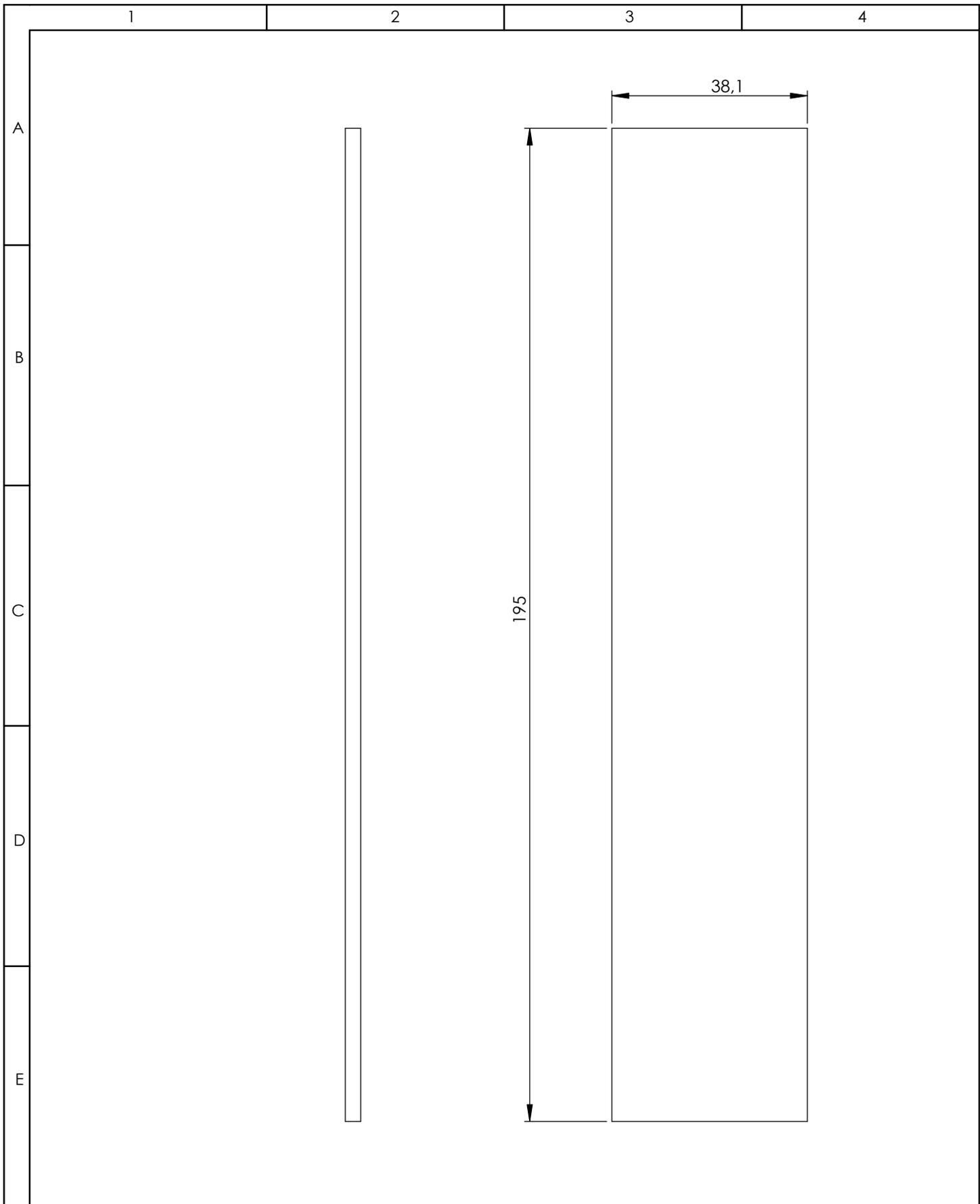


8	Arandela M6	DIN 1440		10			
8	Tuerca M6	DIN 934		9			
8	Perno M6 20mm	DIN 933		8			
8	Rodamiento			7	608-2RS		DJF
2	Ángulo Z	ASTM A36		6			
2	Platina 2	ASTM A36		5			
4	Platina 1	ASTM A36		4			
1	Extremo 1	ASTM A366		3			
1	Extremo 0	ASTM A366		2			
2	Platina 0	ASTM A36		1			
No. de Piez	Denominación	No. de Norma	Material	No. de orden	No. del modelo	Peso Kg/pieza	Observaciones

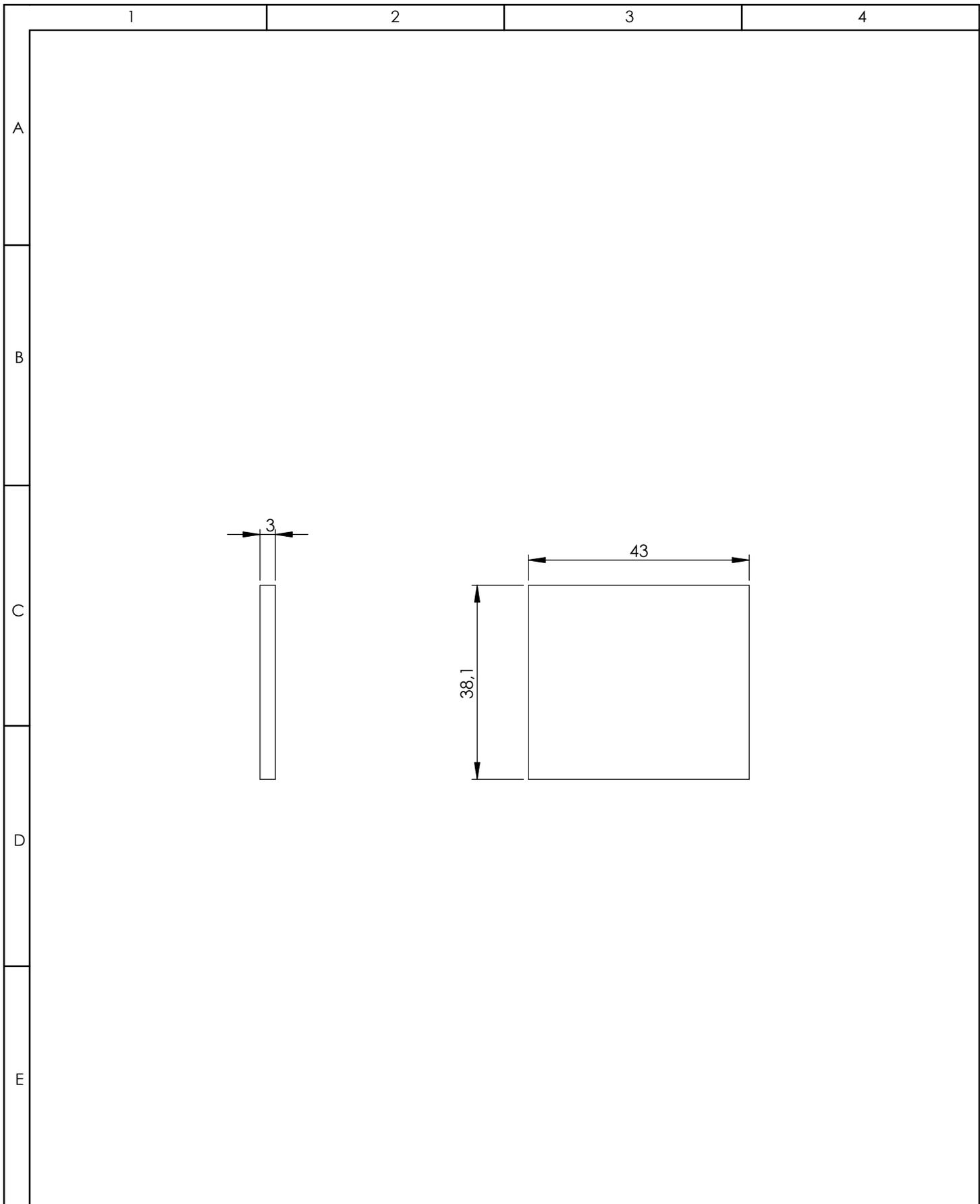
				Tolerancia:	Peso:	Material: Varios		
				Fecha	Nombre	Denominación: Carcaza		
				Dib.	14/07/2017	Escala 1:5		
				Rev.	Ing. Víctor Erazo	A4		
				Apro.	Ing. Víctor Erazo			
				Número de Dibujo JH17-DMCNC1-1-3-00				
				Sustituye a:				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



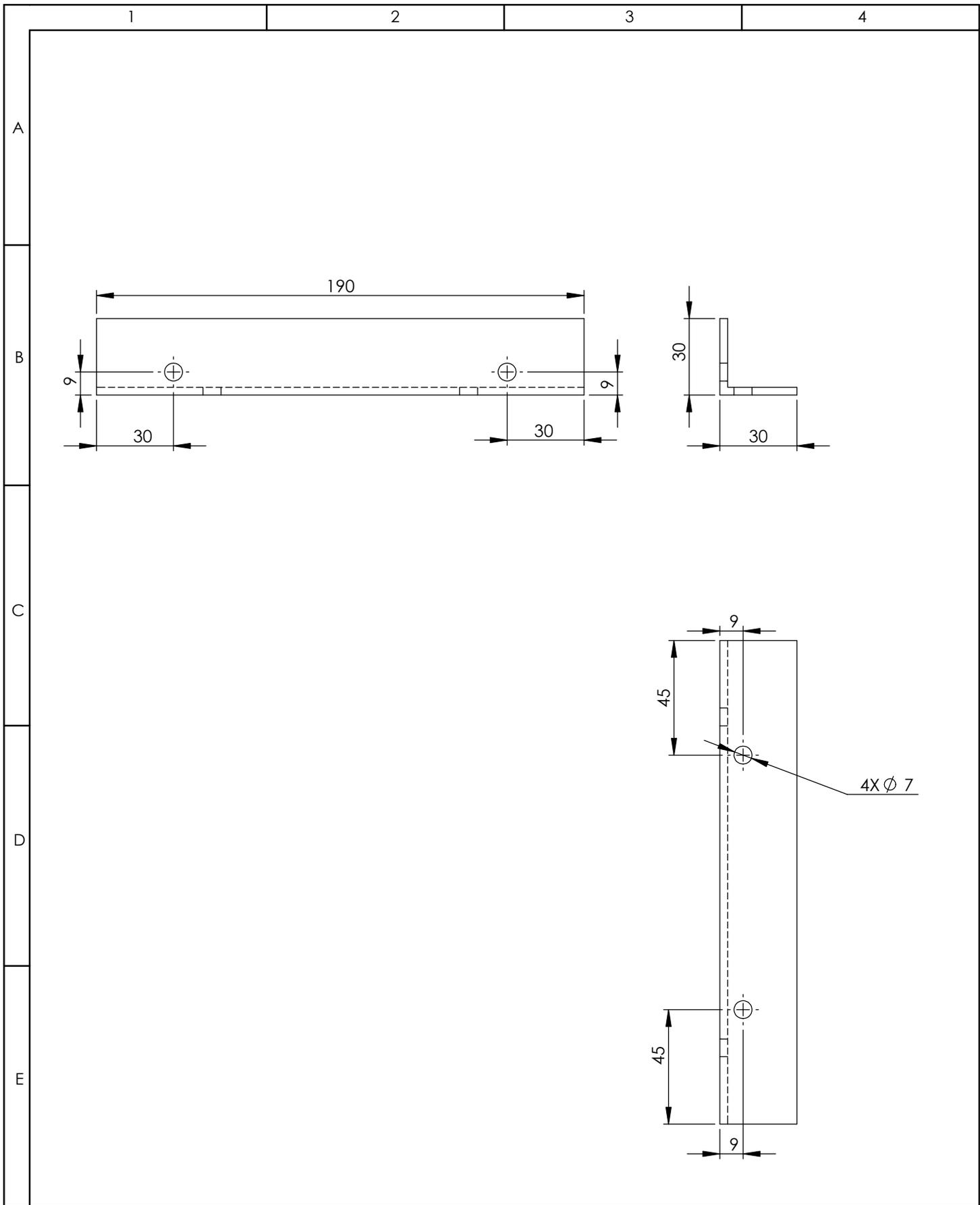
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4
				Rev.		Ing. Víctor Erazo	
				Apro.		Ing. Víctor Erazo	
						Número de Dibujo	
						JH17-DMCNC1-1-3-001	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	



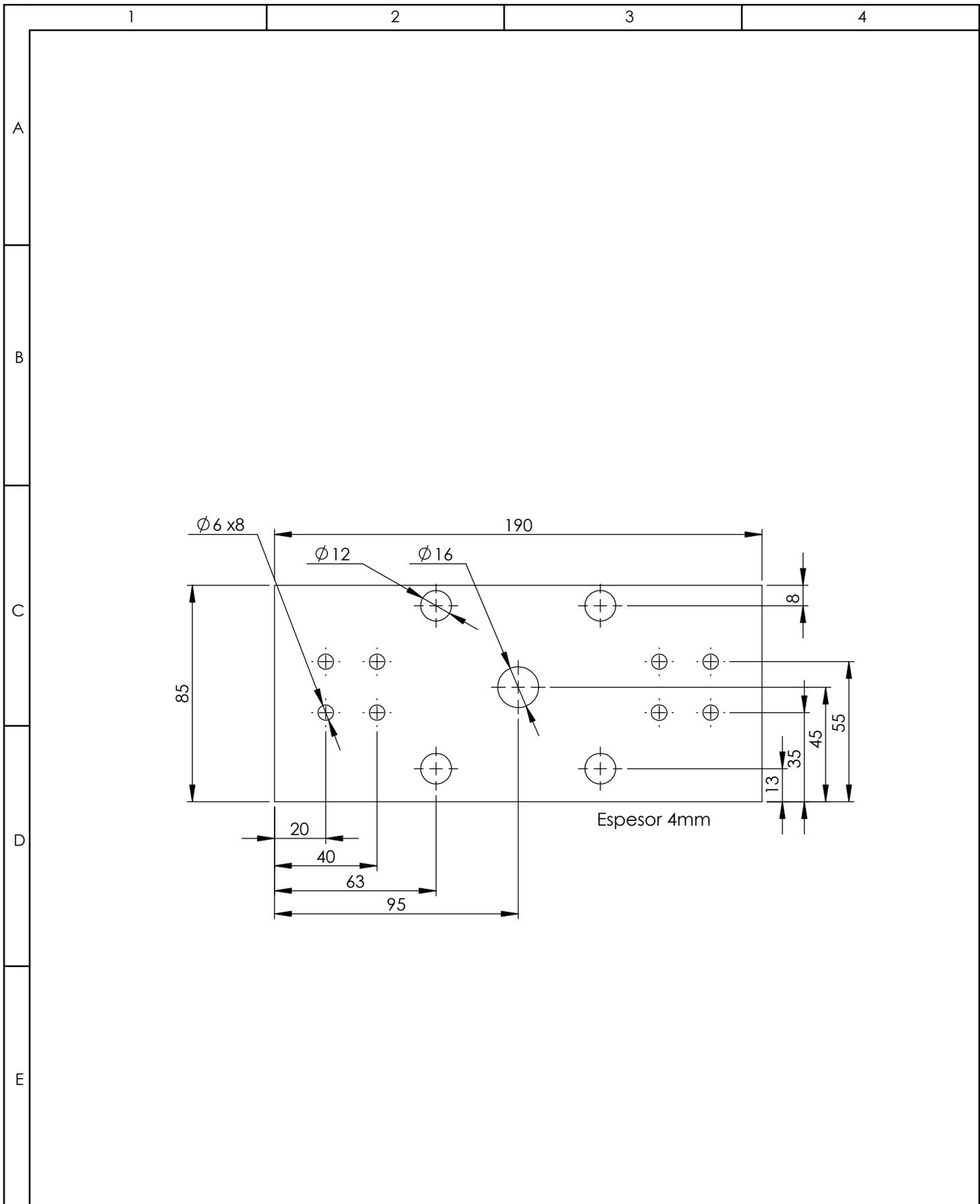
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4
				Rev.		Ing. Víctor Erazo	
				Apro.		Ing. Víctor Erazo	
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-1-3-002			
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:			



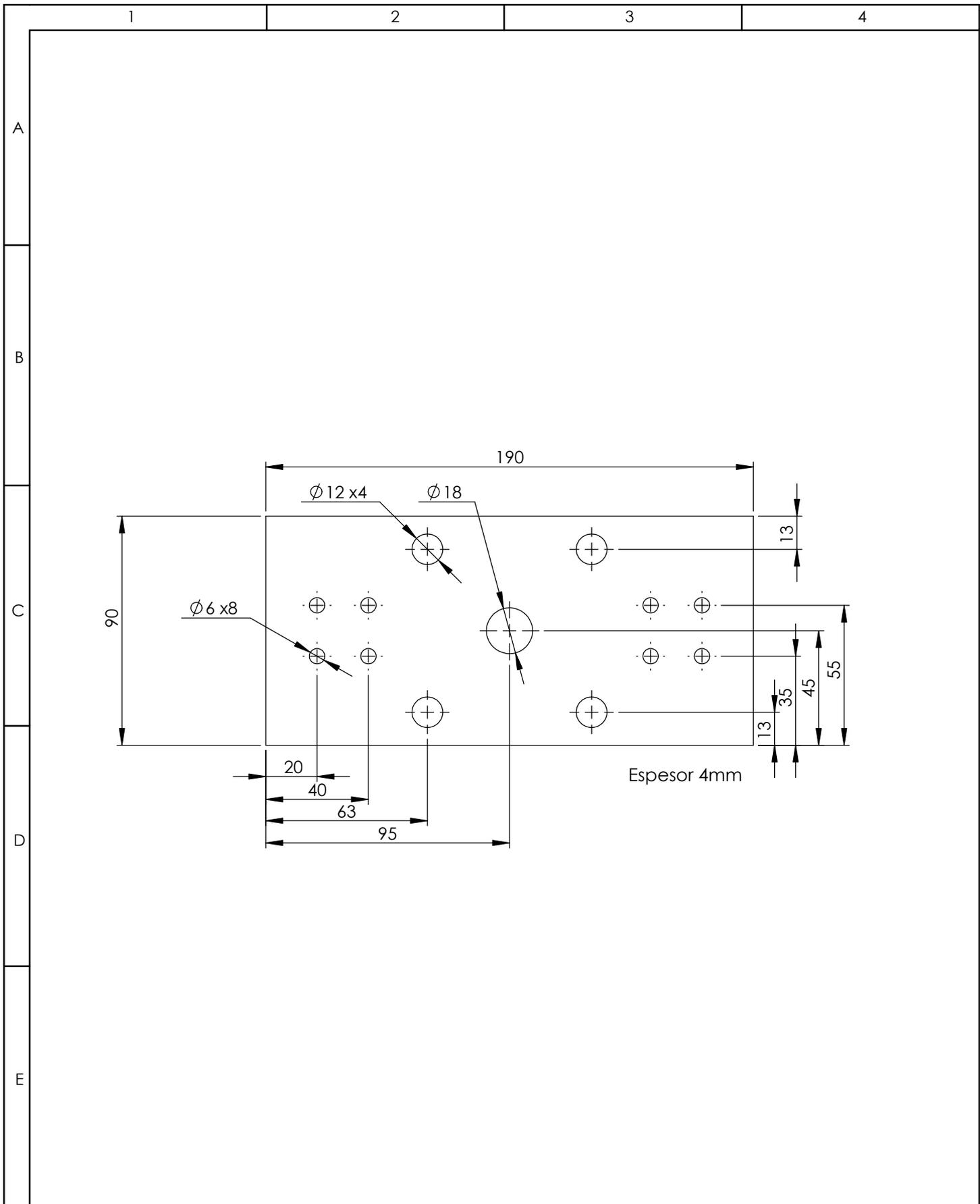
				Tolerancia:	Peso:	Material:  ASTM A36		
							Escala 1:1	
				Fecha	Nombre	Denominación:  Platina 1	A4	
				Dib.	14/07/2017			Jairo Haro
				Rev.				Ing. Víctor Erazo
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
						Número de Dibujo JH17-DMCNC1-1-1-003		
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:		



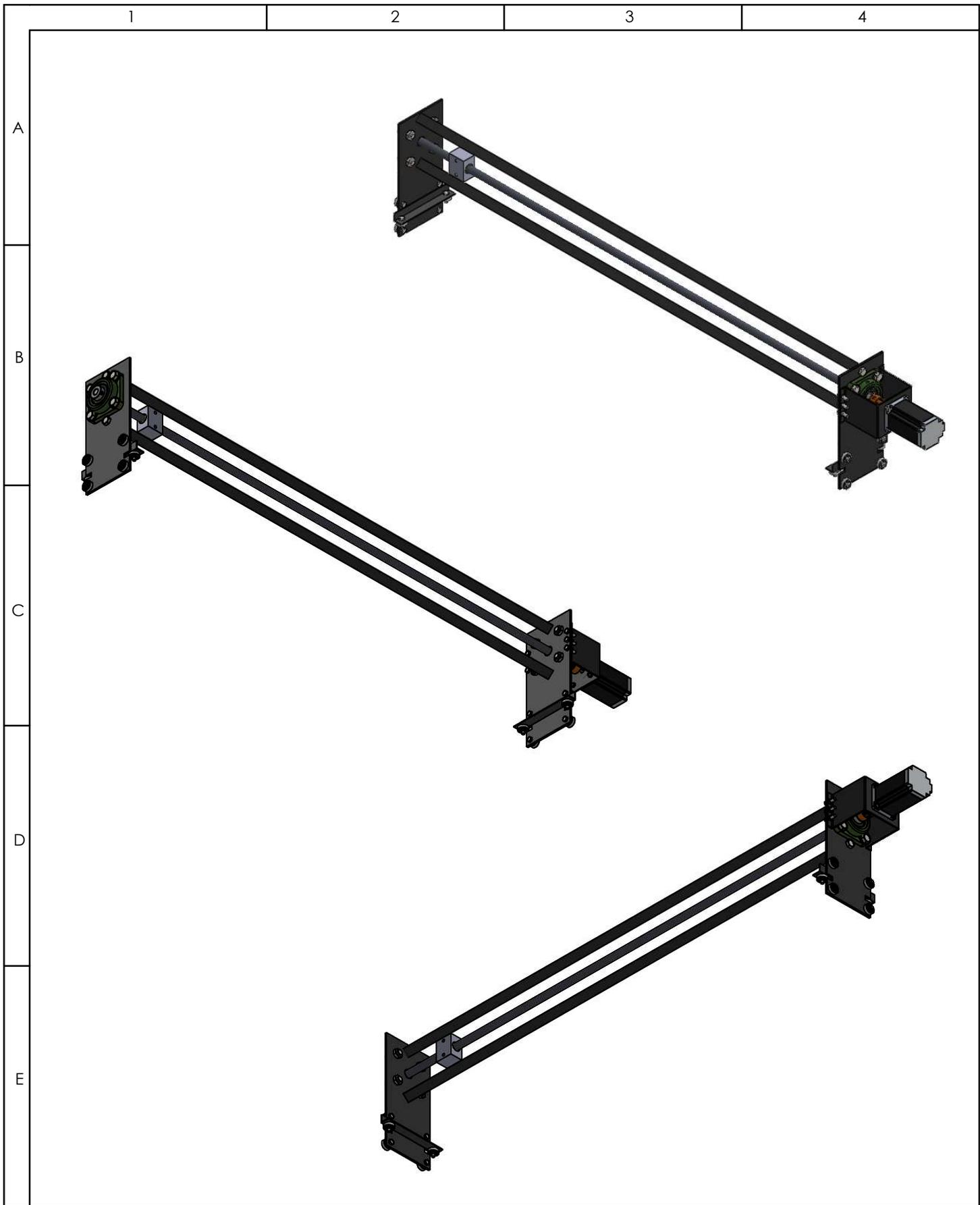
				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						ASTM A36		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:2	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-1-3-004	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	

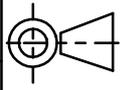


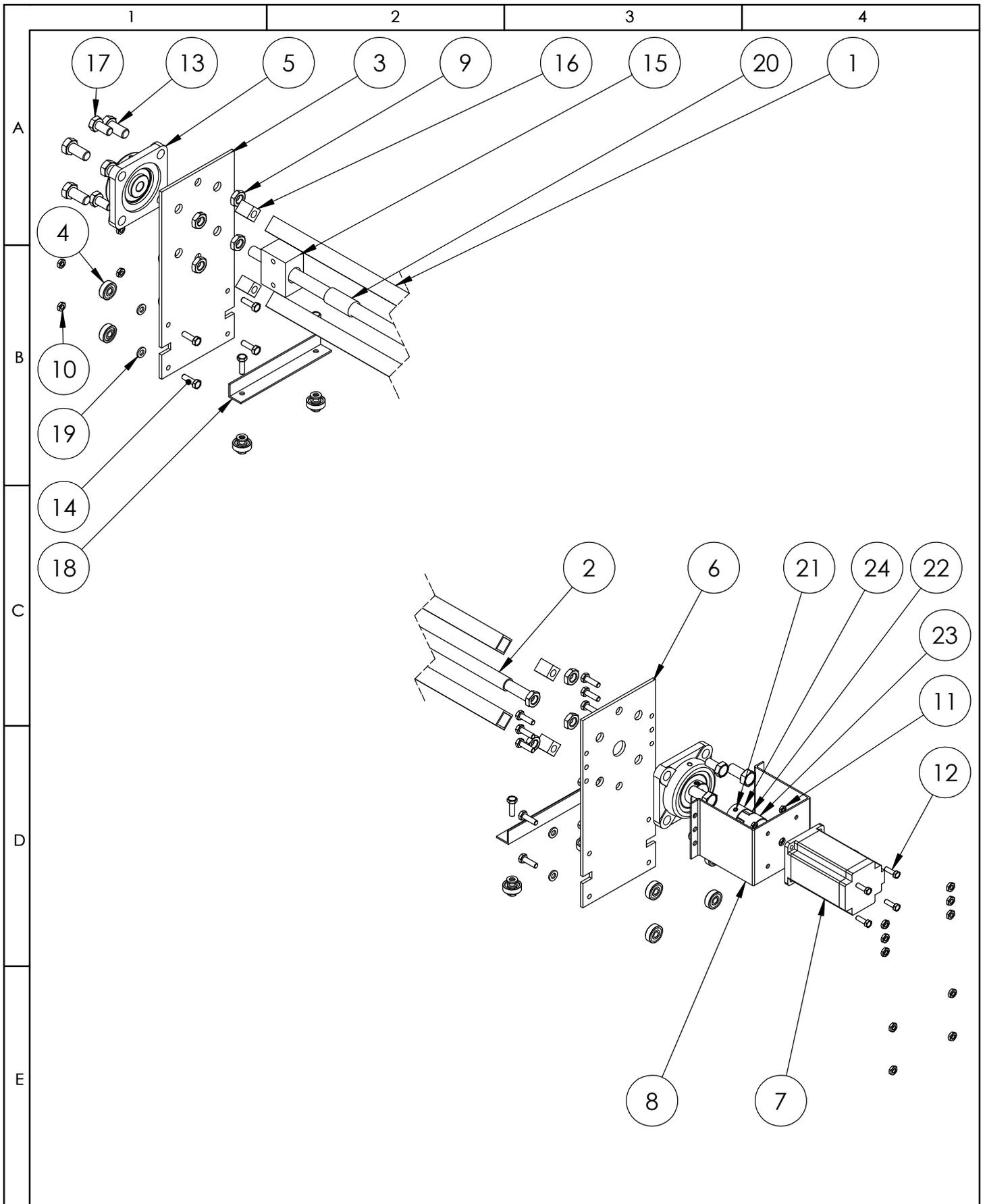
				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						ASTM A366		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:2	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-1-3-005	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	

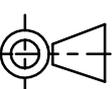


				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						ASTM A366	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:2
				Dib. 14/07/2017	Jairo Haro	Extremo 1	A4
				Rev.	Ing. Víctor Erazo		
				Apro.	Ing. Víctor Erazo		
						Número de Dibujo	
						JH17-DMCNC1-1-3-006	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	



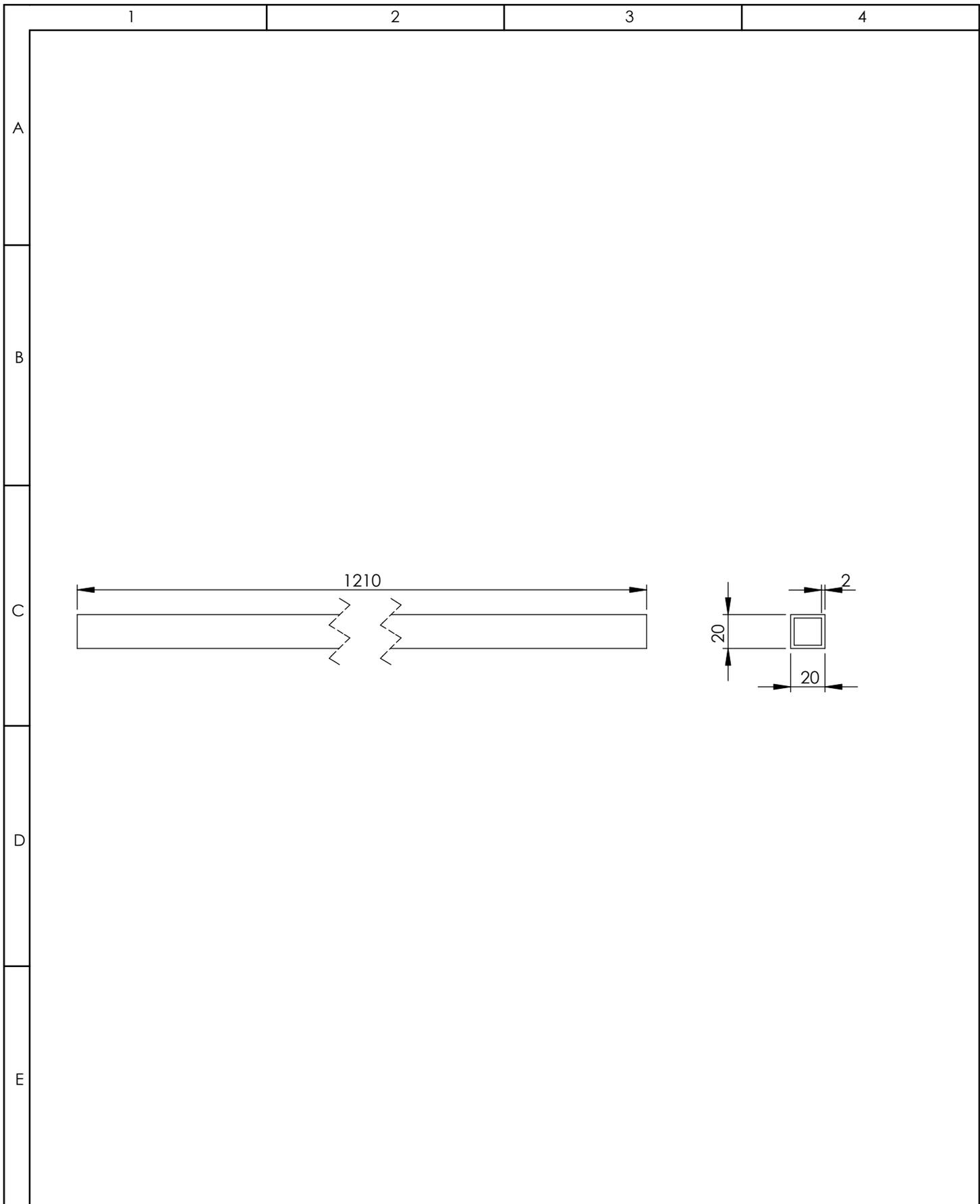
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:10
				Dib. 14/07/2017	Jairo Haro	Isometricas Y	A4
				Rev.	Ing. Víctor Erazo		
				Apro.	Ing. Víctor Erazo		
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-2			
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:			



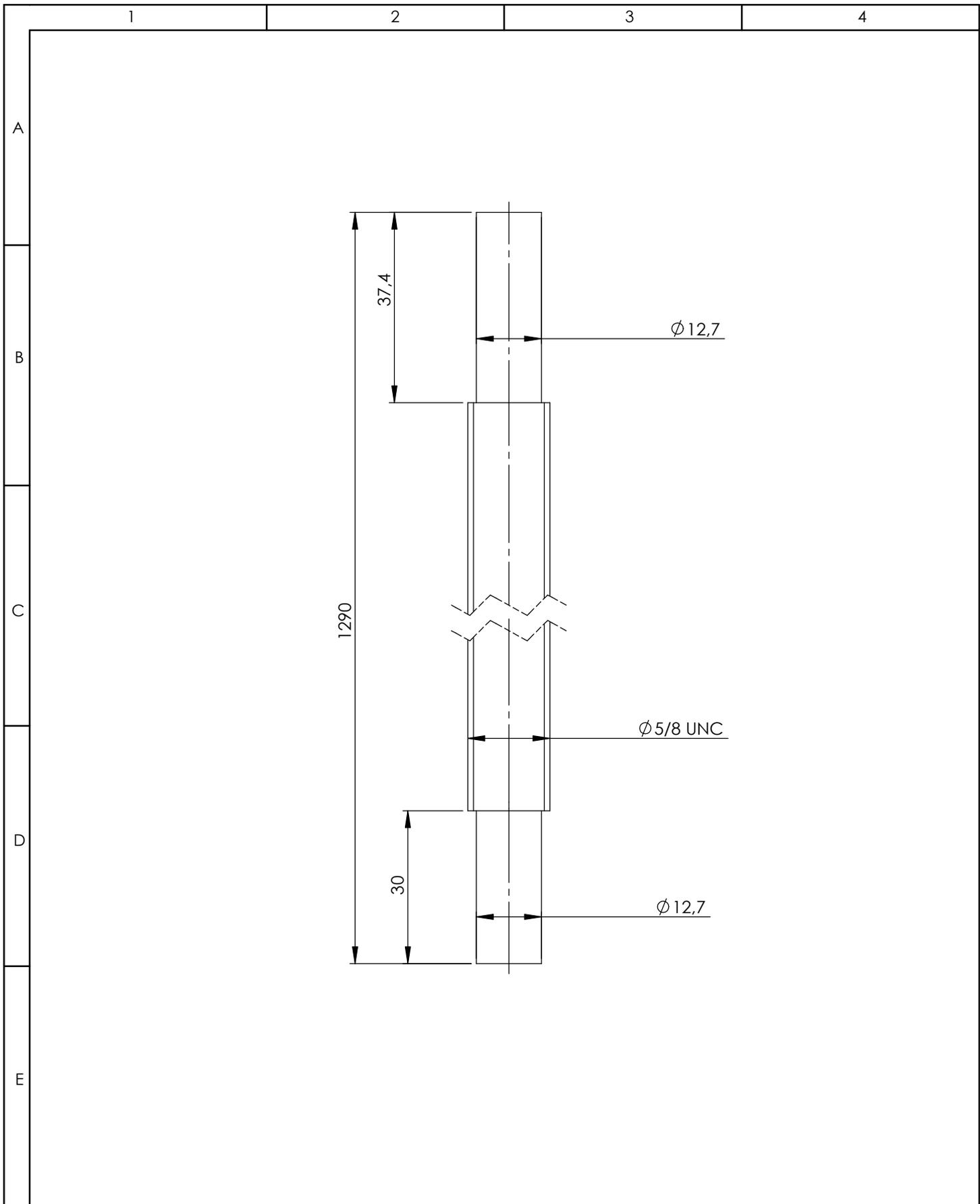
				Tolerancia:	Peso:	Material:	Hoja
						Varios	1 / 2
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:6
				Dib. 14/07/2017	Jairo Haro	Plano de conjunto Y	A4
				Rev.	Ing. Víctor Erazo		
				Apro.	Ing. Víctor Erazo		
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-2-00			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:			

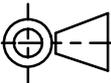
1		2		3		4	
No. de orden	No. de Pieza	Denominación		Numero de norma o dibujo		Observaciones	
A	1	Guia Y		ASTM 500			
	2	Varilla roscada Y		DIN 975			
	3	Torre_izq		ASTM A366			
	4	Rodamientos		608-2RS		DJF	
B	5	Chumacera de pared		UCF201		DJF	
	6	Torre_der		ASTM A366			
	7	Motor paso a paso		23HS2442B		ACT MOTOR	
	8	Soporte motor a pasos		ASTM A366			
	9	Tuerca M12		DIN 934			
C	10	Tuerca M6		DIN 934			
	11	Tuerca M5		DIN 934			
	12	Perno M5 16mm		DIN 933			
	13	Tuerca M12 25mm		DIN 934			
	14	Perno M6 20mm		DIN 933			
	15	Porta tuerca				Aluminio Fundido	
D	16	Soporte de guía		AISI 1018			
	17	Perno M10 20mm		DIN 933			
	18	Ángulo Y		ASTM A36			
	19	Arandela M6		DIN 1440			
	20	Tuerca bronce X		SAE 640			
E	21	Caucho de acople lovejoy		Spider L050		Lovejoy	
	22	Prisionero Lovejoy		DIN 913			
	23	Acople lovejoy 1		Jaw coupling L050		Lovejoy	
	24	Acople lovejoy 2		Jaw coupling L050		Lovejoy	

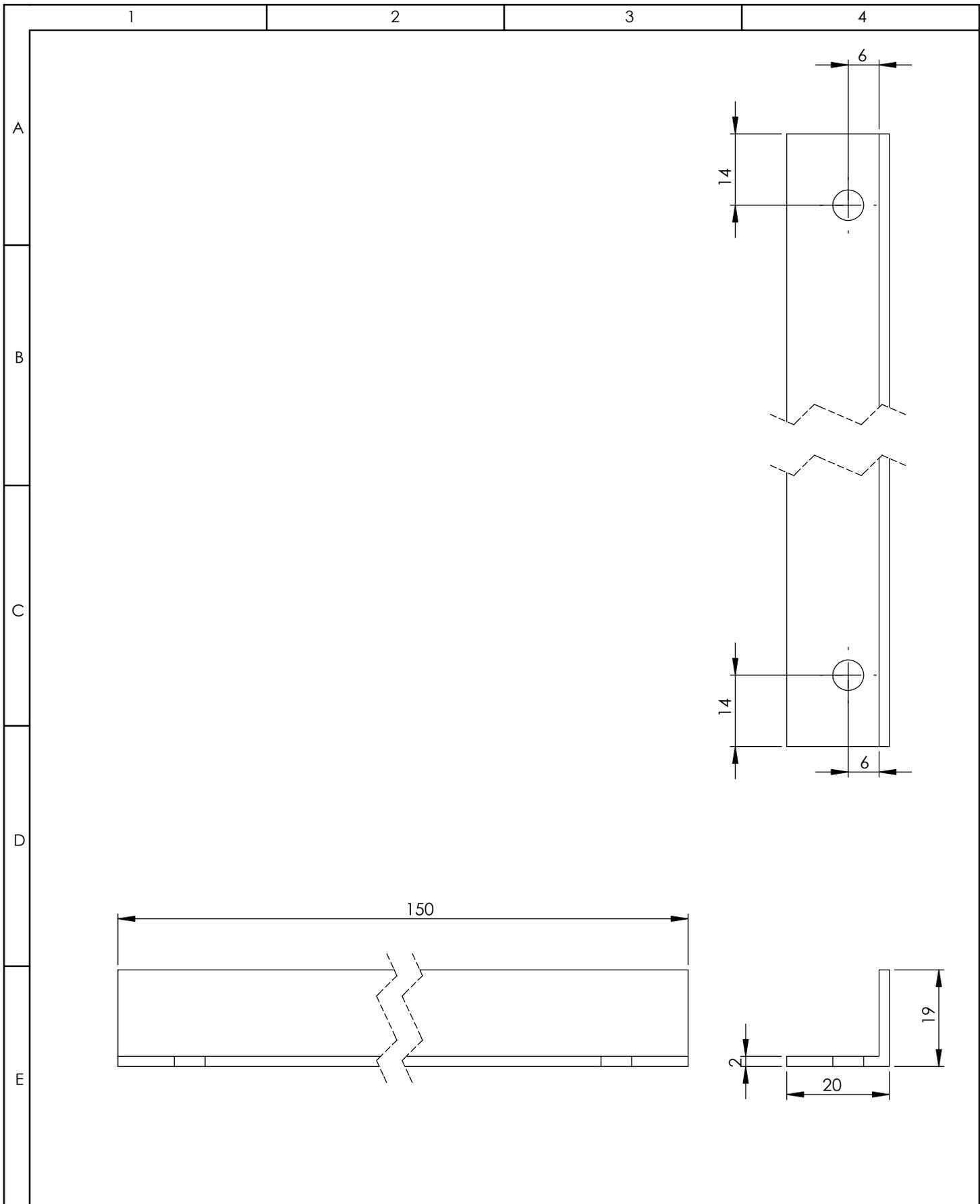
				Tolerancia:	Peso:	Material:	Hoja 2 / 2
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:5
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4
				Rev.		Ing. Víctor Erazo	
				Apro.		Ing. Víctor Erazo	
						Número de Dibujo JH17-DMCNC1-2-00	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	

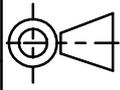


				Tolerancia:	Peso:	Material:  ASTM 500		
							Escala 1:5	
				Fecha	Nombre	Denominación:  Guía Y	A4	
				Dib.	14/07/2017			Jairo Haro
				Rev.				Ing. Víctor Erazo
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
						Número de Dibujo JH17-DMCNC1-2-001		
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:		



				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						DIN 975		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-2-002	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	



				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						ASTM A36		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-2-003	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	

1

2

3

4

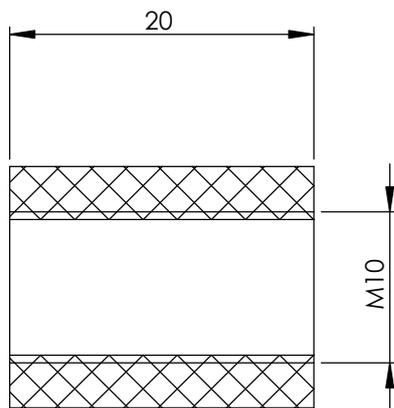
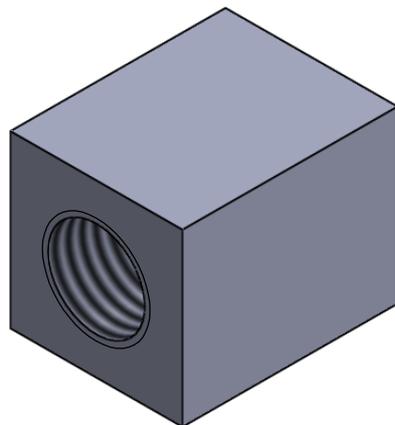
A

B

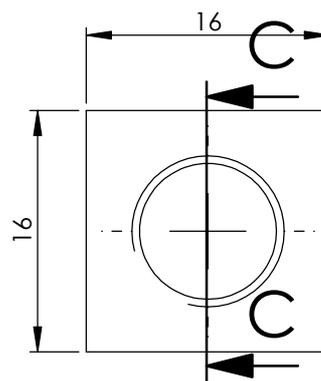
C

D

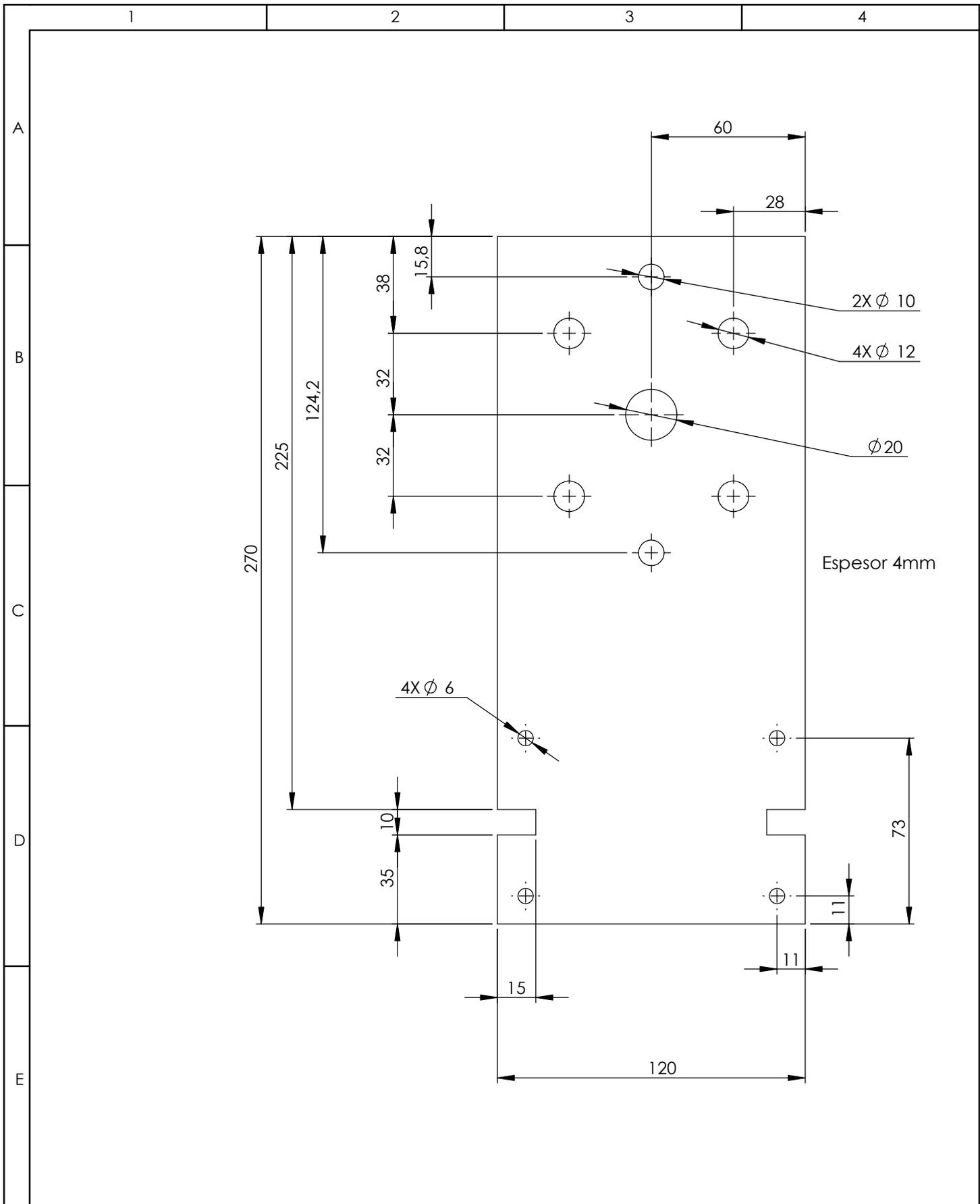
E



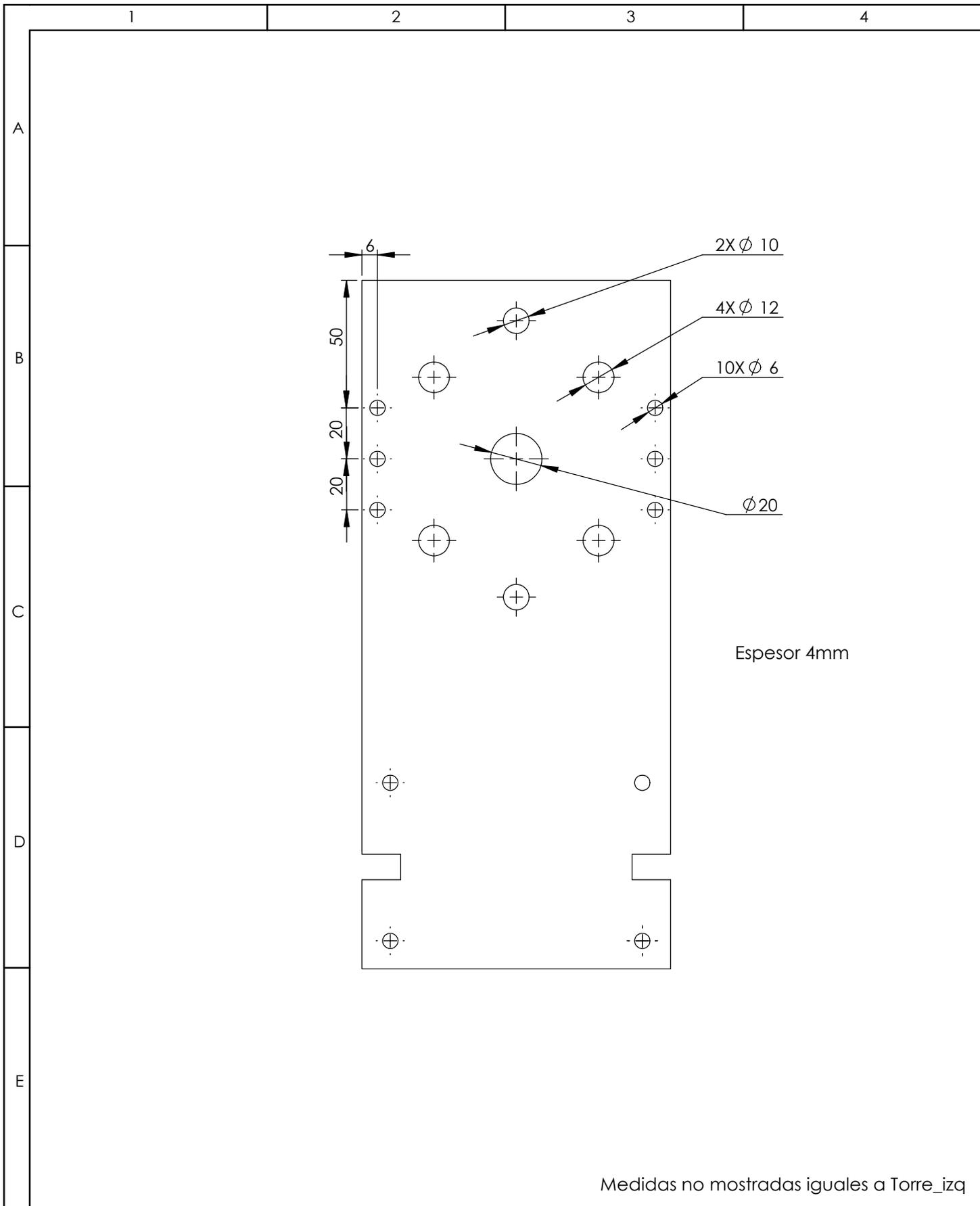
SECCIÓN C-C



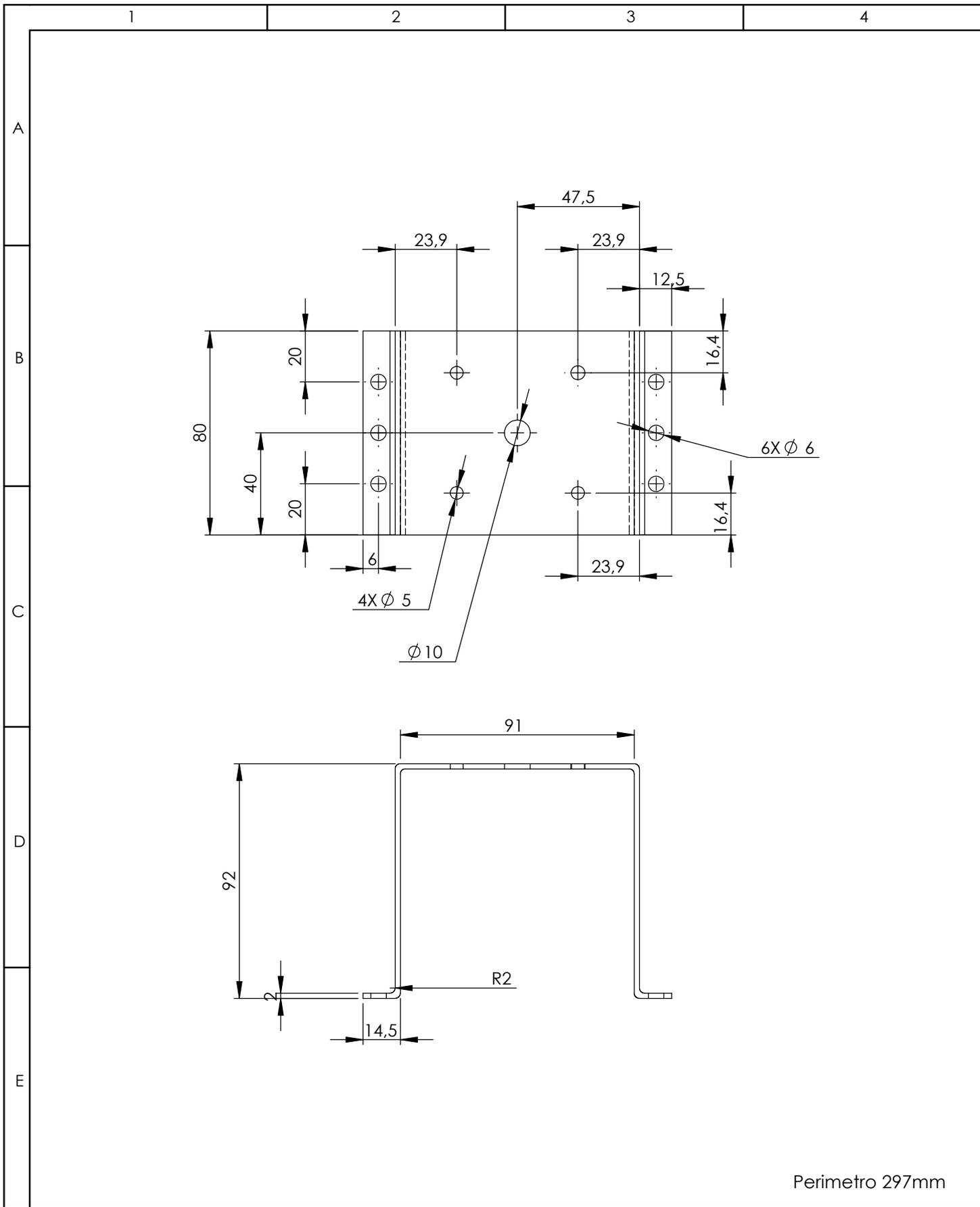
				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						AISI 1018		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 2:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-2-004	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	



				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						ASTM A366		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:2	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-2-005	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	



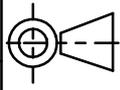
				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						ASTM A366		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:2	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-2-006	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	

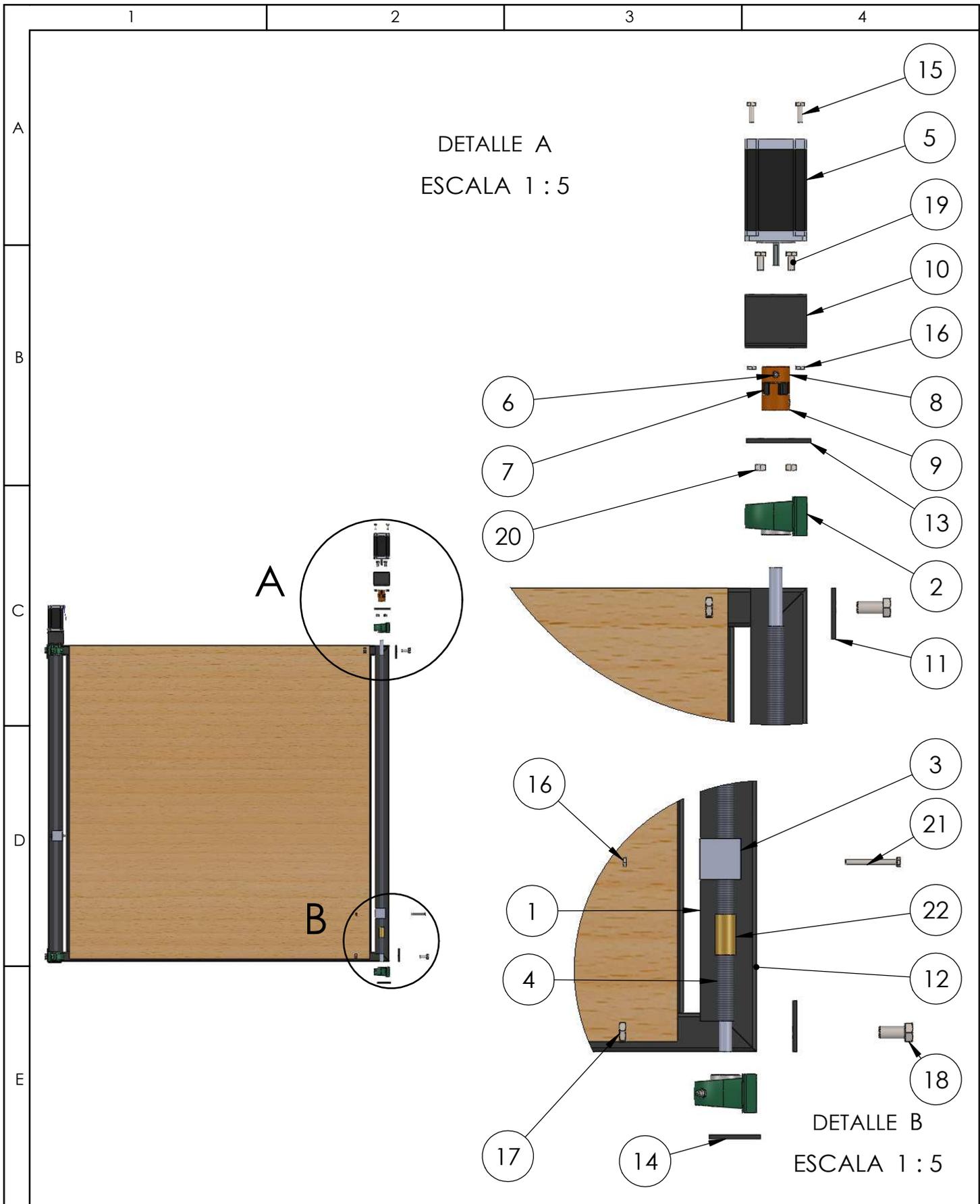


Perimetro 297mm

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						ASTM A366	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:2
				Dib. 14/07/2017	Jairo Haro	Soporte motor a pasos	A4
				Rev.	Ing. Víctor Erazo		
				Apro.	Ing. Víctor Erazo		
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-2-007			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:			



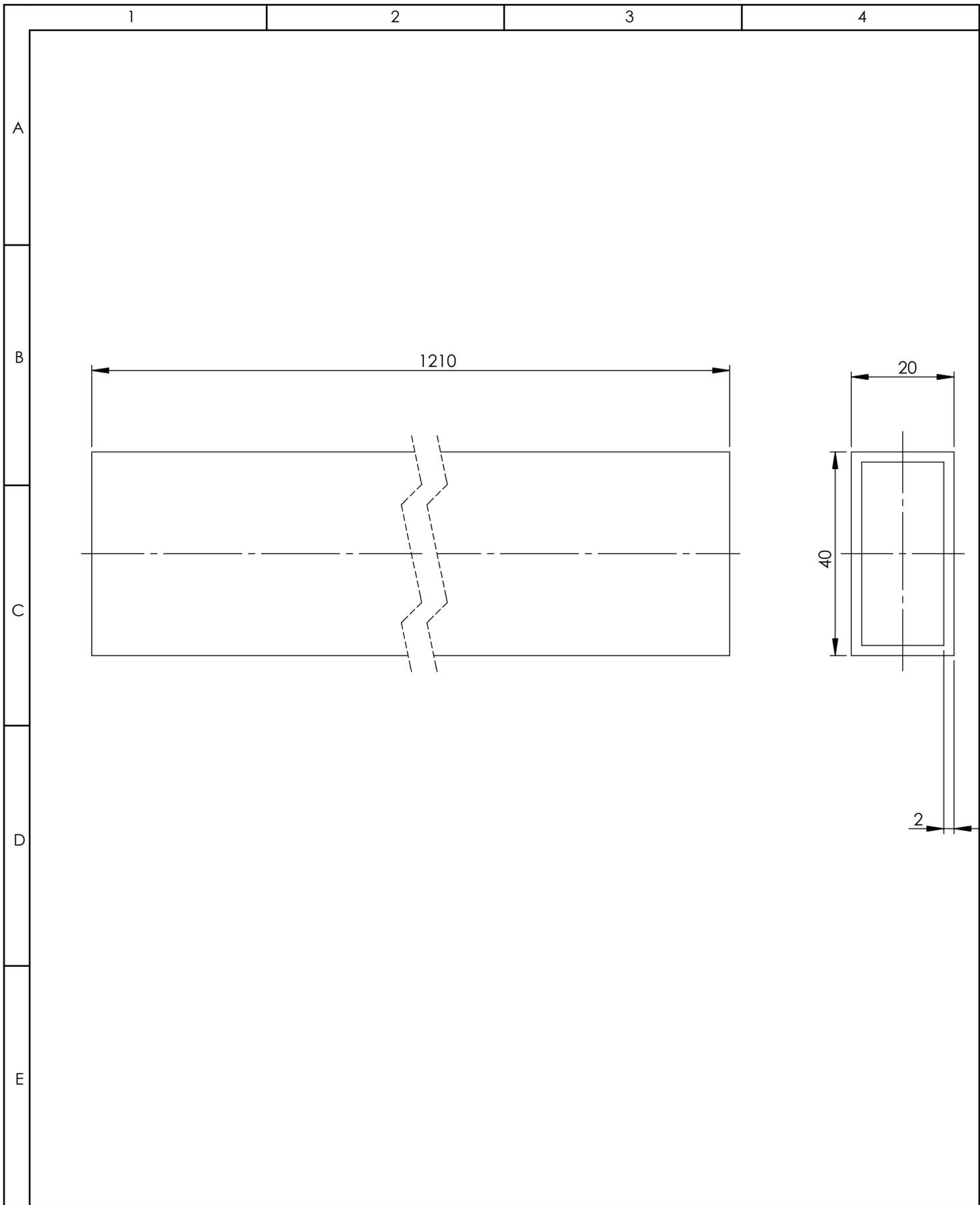
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:15
				Dib. 14/07/2017	Jairo Haro	Isometrica Y	A4
				Rev.	Ing. Víctor Erazo		
				Apro.	Ing. Víctor Erazo		
						Número de Dibujo	
						JH17-DMCNC1-3	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	



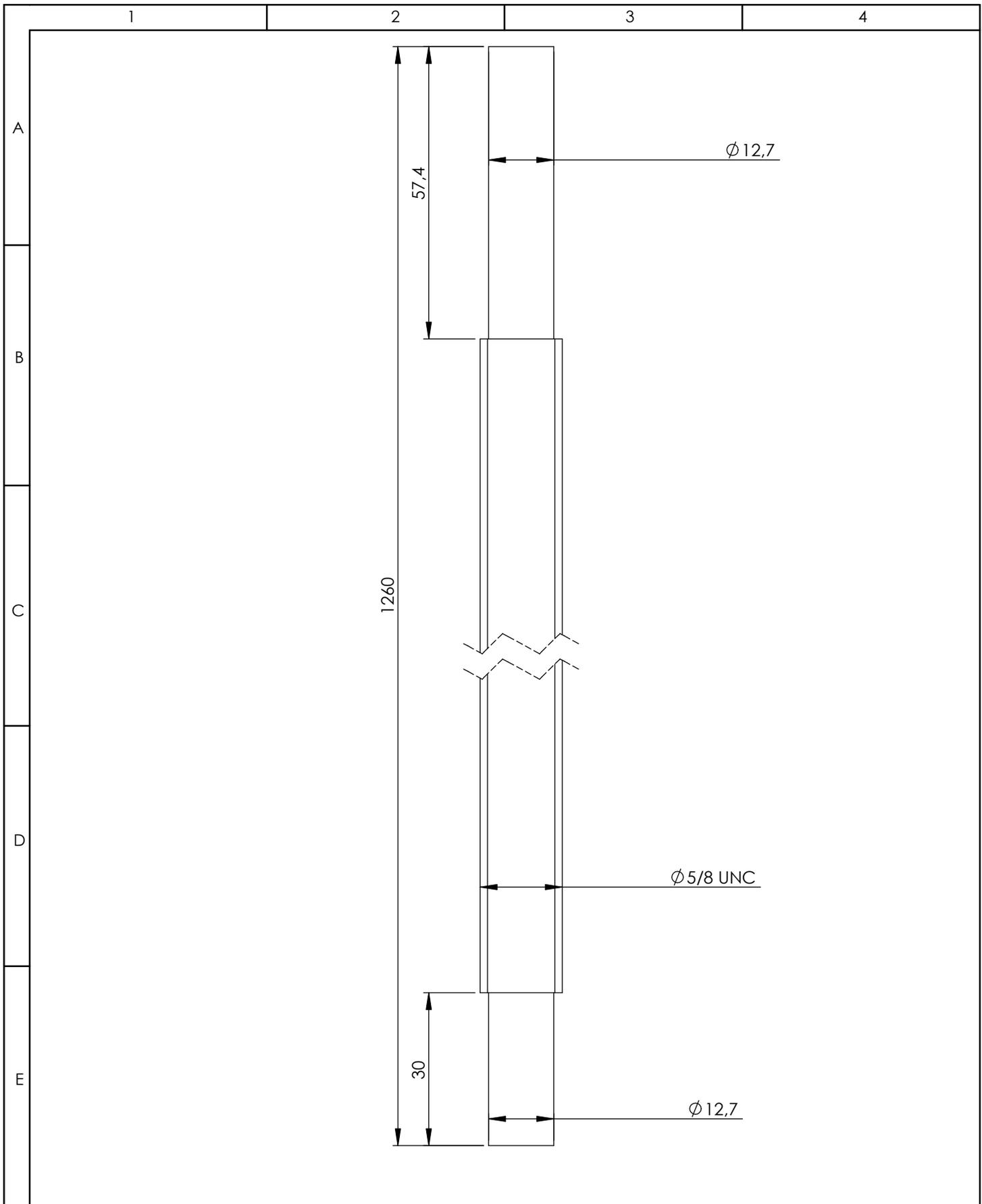
				Tolerancia:	Peso:	Material:	Hoja
						Varios	1 / 2
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:20
				Dib. 14/07/2017	Jairo Haro	Plano de conjunto X	A4
				Rev.	Ing. Víctor Erazo		
				Apro.	Ing. Víctor Erazo		
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-3-00			
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:			

1		2		3		4	
No. de orden	No. de Piezas	Denominación		Número de norma o dibujo		Observaciones	
A	1	Guia X		ASTM 500			
	2	Chumaceras de piso		UCP201		DJF	
	3	Porta tuerca X				Aluminio Fundido	
	4	Varilla roscada X		DIN 975			
B	5	Motor paso a paso		23HS2442B		ACT MOTOR	
	6	Prisionero lovejoy		DIN 913			
	7	Caucho acople lovejoy		Spider L050			
	8	Acople lovejoy1		Jaw coupling L050		Lovejoy	
	9	Acople lovejoy2		Jaw coupling L050		Lovejoy	
C	10	Soporte motor a pasos X		ASTM A366			
	11	Platina_1		ASTM A36			
	12	Marco estructural		ASTM 500			
	13	Platina_2		ASTM A36			
	14	Platina_0		ASTM A36			
	15	Perno M5 16mm		DIN 933			
D	16	Tuerca M5		DIN 934			
	17	Tuerca M12		DIN 934			
	18	Perno M12 25mm		DIN 933			
	19	Perno M6 14mm		DIN 933			
	20	Tuerca M6		DIN 934			
E	21	Perno M5 50mm		DIN 933			
	22	Tuerca bronce X		SAE 640			
	23	Mesón				MDF	

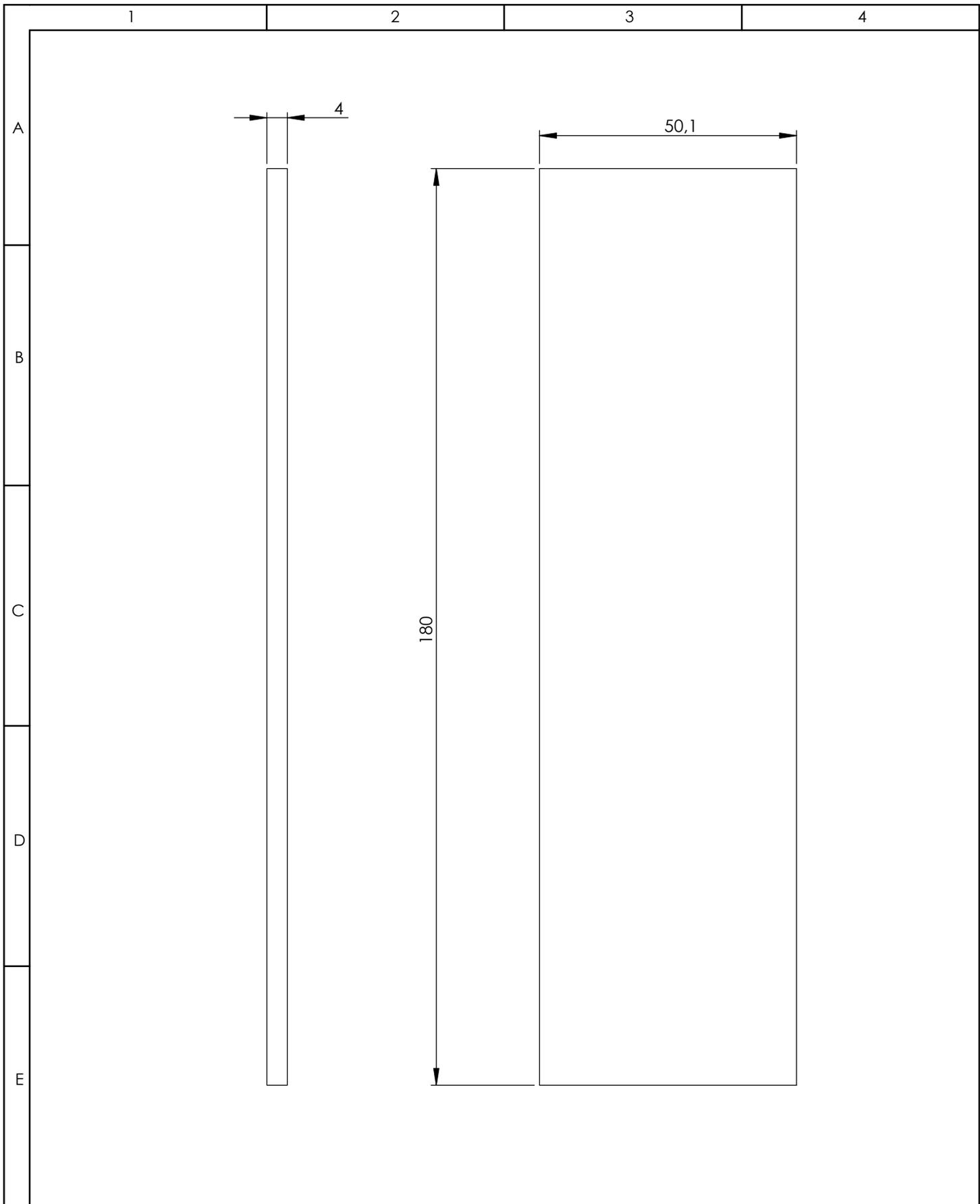
				Tolerancia:	Peso:	Material:	Hoja
						Varios	2 / 2
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:5
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4
				Rev.		Ing. Víctor Erazo	
				Apro.		Ing. Víctor Erazo	
						Número de Dibujo	
						JH17-DMCNC1-3-00	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	



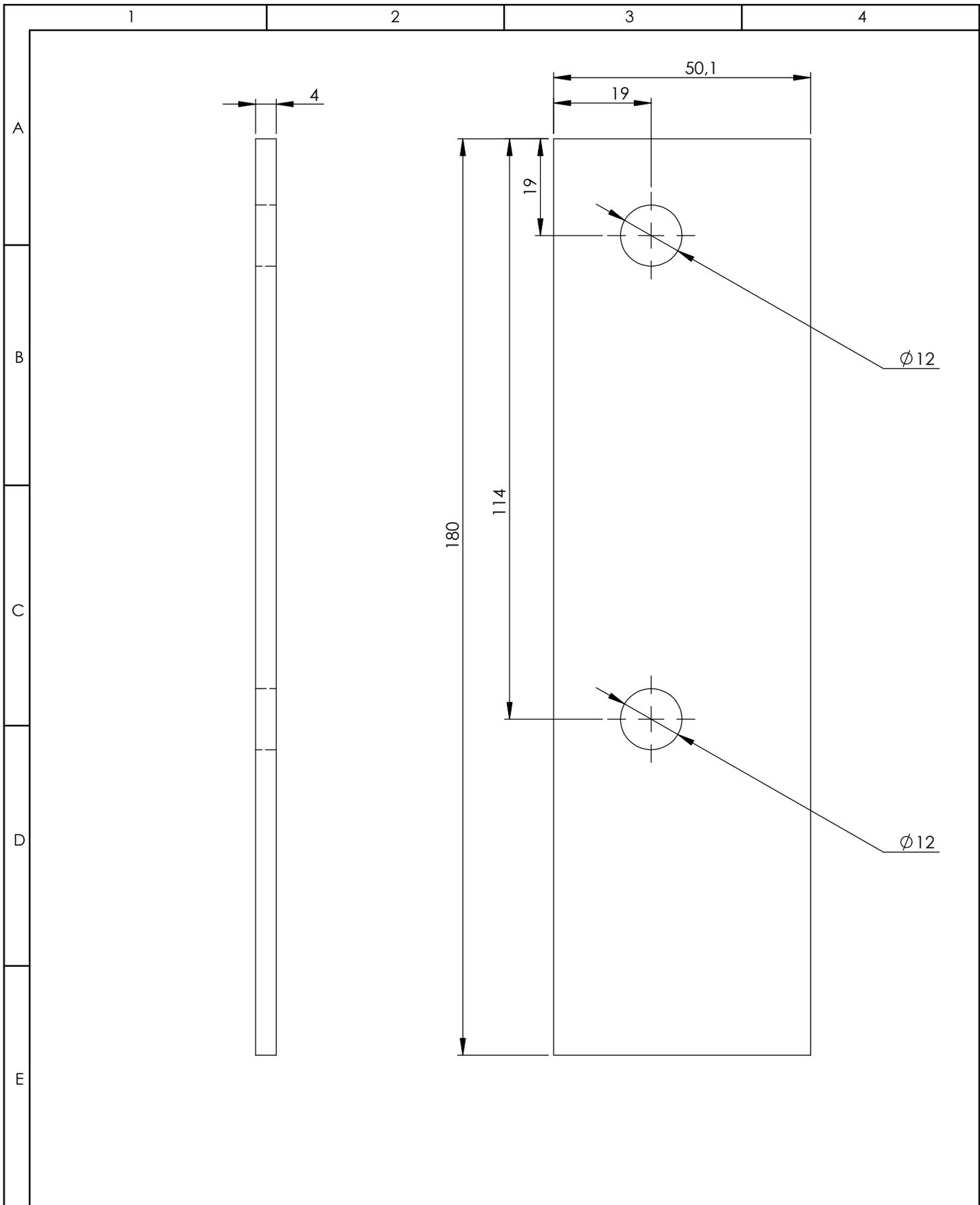
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						ASTM 500	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4
				Rev.		Ing. Víctor Erazo	
				Apro.		Ing. Víctor Erazo	
						Número de Dibujo	
						JH17-DMCNC1-3-001	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye a:	

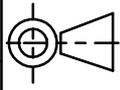


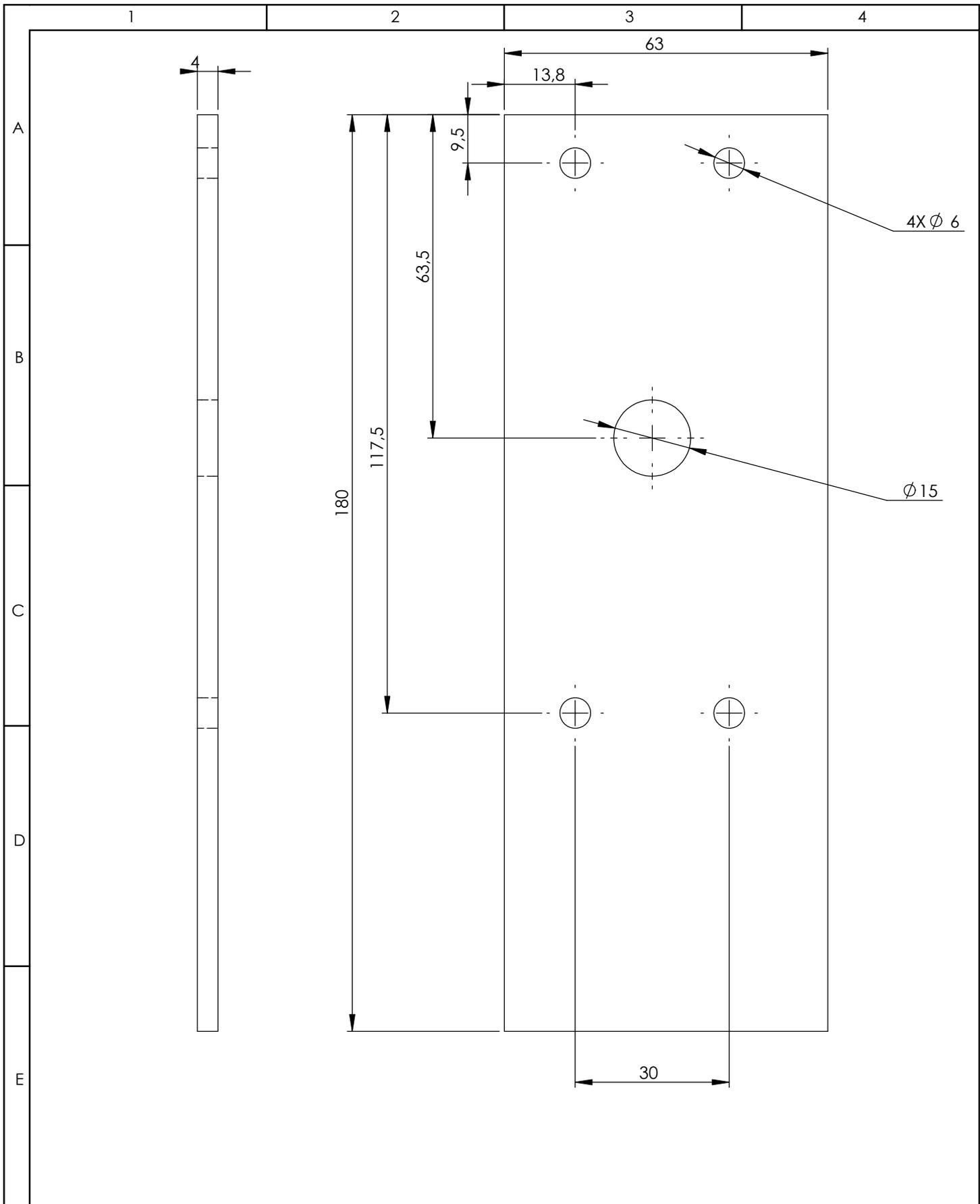
				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						DIN 975		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-3-002	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	



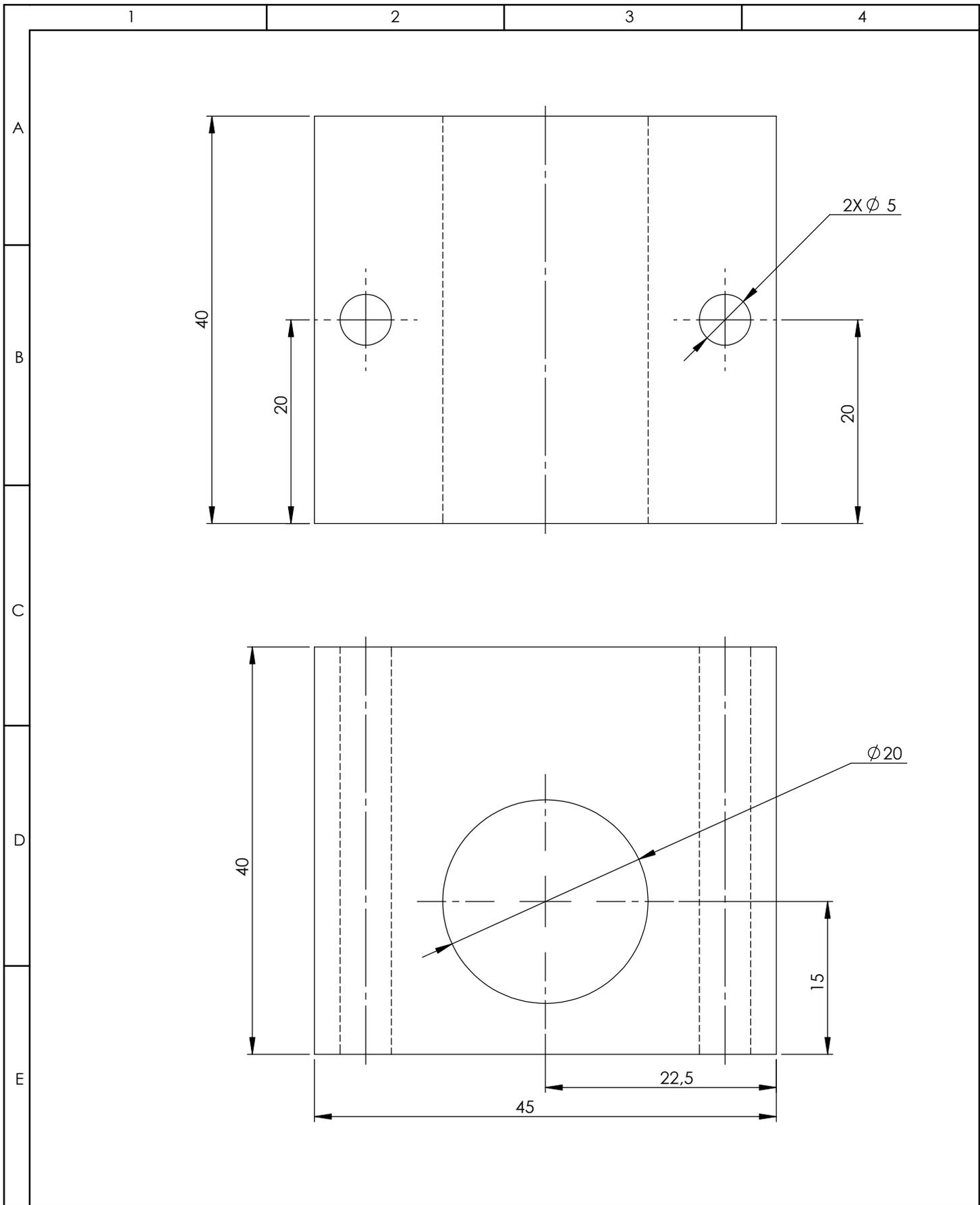
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4
				Rev.		Ing. Víctor Erazo	
				Apro.		Ing. Víctor Erazo	
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-3-003			
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	Sustituye a:			



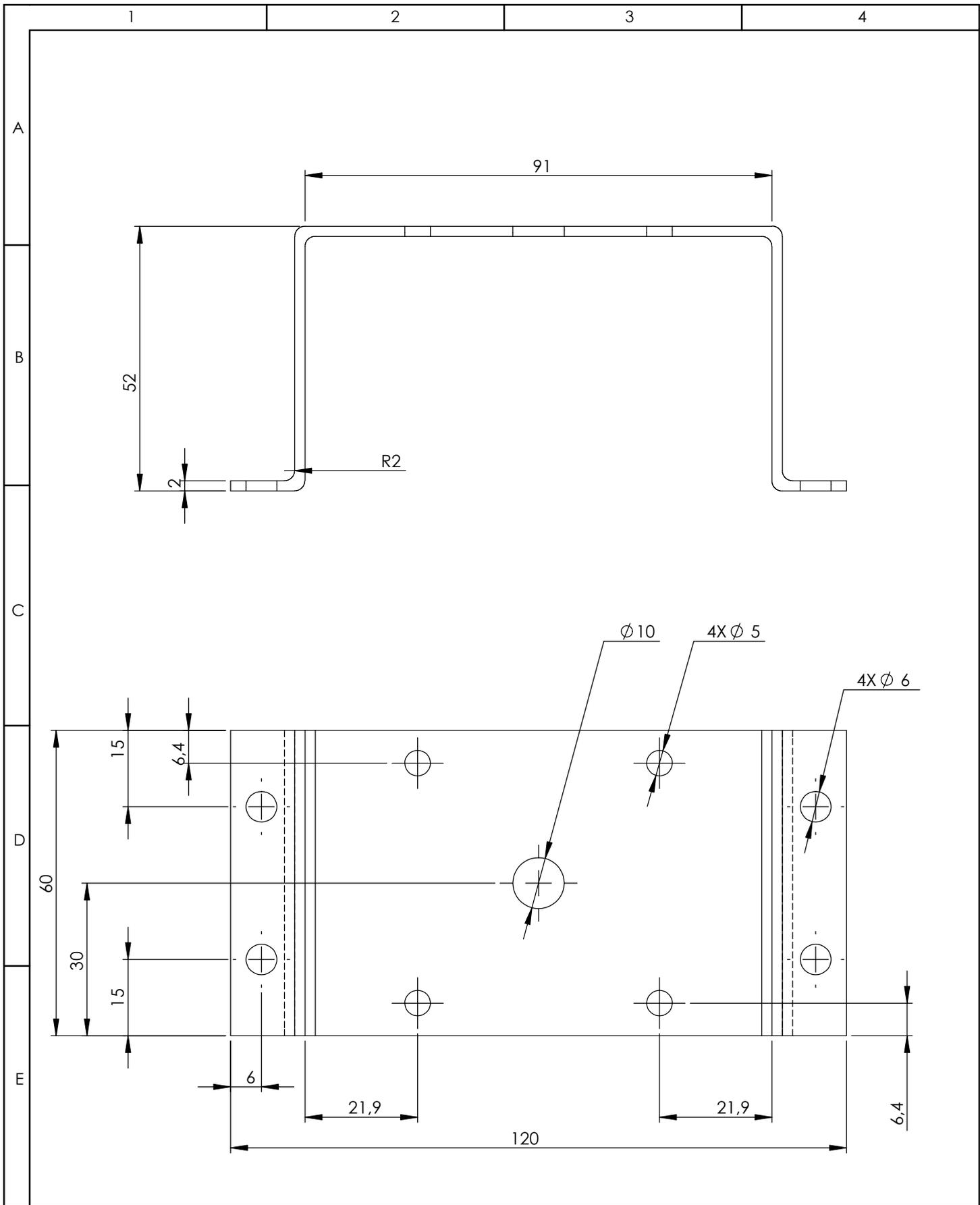
				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						ASTM A36		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-3-004	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	



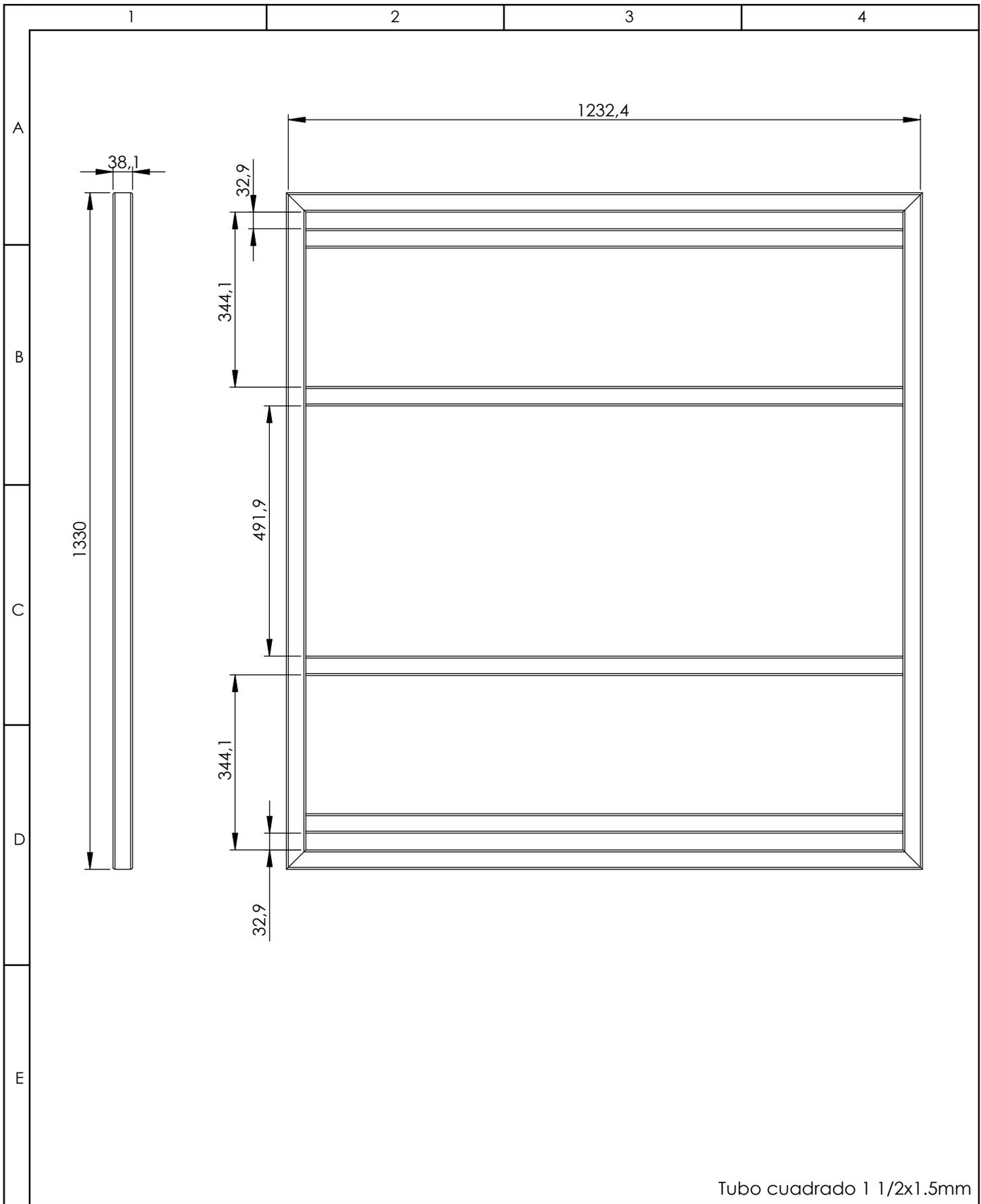
				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						ASTM A36		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-3-005	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	



				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						Aluminio fundido		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 2:1	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-3-006	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	

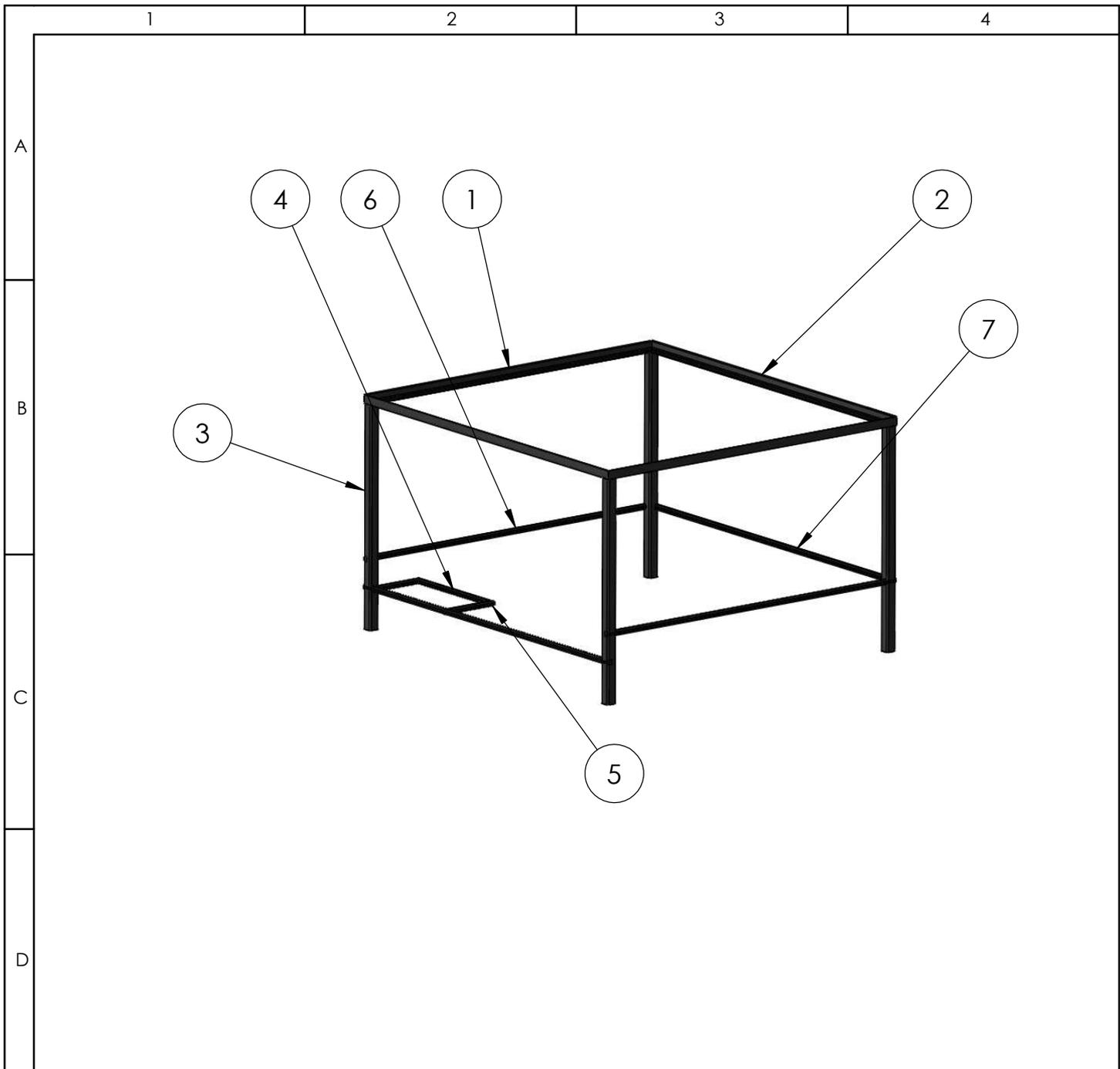


				Tolerancia:	Peso:	Material:	
						ASTM A366	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:1
				Dib. 14/07/2017	Jairo Haro	Soporte motor a pasos X	A4
				Rev.	Ing. Víctor Erazo		
				Apro.	Ing. Víctor Erazo		
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-3-007			
				Sustituye a:			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



Tubo cuadrado 1 1/2x1.5mm

				Tolerancia:	Peso:	Material:		
						ASTM A500		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala 1:10	
				Dib.	14/07/2017	Jairo Haro	A4	
				Rev.		Ing. Víctor Erazo		
				Apro.		Ing. Víctor Erazo		
							Número de Dibujo	
							JH17-DMCNC1-3-008	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye a:	



	Tubo cudarado 3/4 Y2		ASTM A500	7	Tubo cudarado 3/4 in X 1.5mm		1273.8mm
	Tubo cuadrado_3/4 3 X2		ASTM A500	6	Tubo cudarado 3/4 in X 1.5mm		1173.8mm
2	Tubo cuadrado_3/4 X1		ASTM A500	5	Tubo cudarado 3/4 in X 1.5mm		190mm
1	Tubo cuadrado_3/4 Y1		ASTM A500	4	Tubo cudarado 3/4 in X 1.5mm		420mm
4	Tubo cuadrado_1 1/2		ASTM A500	3	Tubo cudarado 1 1/2 in X 1.5mm		800mm
2	Ángulo_Y		ASTM A36	2	Ángulo 1 1/4 X 3/16		1350mm
2	Ángulo_X		ASTM A36	1	Ángulo 1 1/4 X 3/16		1250mm
No. de Piez	Denominación	No. de Norma	Material	No. de orden	No. del modelo	Peso Kg/pieza	Observaciones

		Tolerancia:		Peso:		Material:	
						Varios	
		Fecha		Nombre		Denominación:	
		14/07/2017		Jairo Haro		Mesa	
		Rev.		Ing. Víctor Erazo		Escala 1:20	
		Apro.		Ing. Víctor Erazo		A4	
				Número de Dibujo			
				JH17-DMCNC1-4-00			
Edi- ción		Modificación		Fecha		Nombre	
						Sustituye a:	

ANEXO 4

PROGRAMAS PARA EL CALCULO DE LOS

MOMENTOS MAXIMOS

## Stand by y Taladrado en Z

```
clear all
clc
%% Datos de entrada
Fc=45.45;
L=1.5*9.8;
d1=80;
d2=130;
d3=75;
d4=130;
dt=180;

%% Programación

M1max=0;
M2max=0;
M1min=99990;
aux=-99999;

for dr=25:1:65
% F1x=-6.891;
% F2x=6.891;
F1x=7.298;
F2x=-7.298;
% Reacciones X
Rbx=(-F2x*dr-F1x*(dr+d1))/dt;
Rax=-F1x-F2x-Rbx;
% Fuerzas Cortantes en X
Vax=Rax;
V2x=Vax+F2x;
V1x=V2x+F1x;
Vbx=V1x+Rbx;
% Momentos en Y

M2y=Vax*dr;
M1y=M2y+V2x*d1;

M1=M1y;
M2=M2y;

if abs(M1)>abs(M1max)
M1max=M1;
dis1=dr+d1;
end

if abs(M2)>abs(M2max)
M2max=M2;
dis2=dr;
end

Momentos=[M1max,M2max];

end

if abs(M1max)>abs(M2max)
```

```

diss=dis1;
Mmayor=M1max;
else
diss=dis2;
Mmayor=M2max;
end
distanciaPC=diss;
for drs=25:1:65

% Reacciones X
Rbx=(-F2x*drs-F1x*(drs+d1))/dt;
Rax=-F1x-F2x-Rbx;
% Fuerzas Cortantes en X
Vax=Rax;
V2x=Vax+F2x;
V1x=V2x+F1x;
Vbx=V1x+Rbx;
% Momentos en Y

if abs(M1max)>abs(M2max)
Mmin=drs*Vax+(diss-drs)*V2x;

if M1max>0
if Mmin<Mlmin
Mlmin=Mmin;
dismin1=drs;
end
else
if Mmin>aux
Mlmin=Mmin;
dismin1=drs;
end
end
end
end
Mmenor=Mlmin;
dr=dismin1;
clc
%% Resultados
Mmayor
Mmenor
distanciaPC
dr

```

---

## Fresado en el eje Z

```

clear all
close all
clc
%% Datos de entrada
Fc=45.45;
L=1.5*9.8;
d1=80;
d2=130;
d3=75;
d4=130;

```

```

dt=180;

%% Programación
dr=65

for teta=1:1:360

% Fuerzas
F1x=-(L*d3)/(2*d1)+Fc*cosd(teta)*(-(1/4)+(d4/(2*d1)))-
Fc*sind(teta)*d3/(2*d2);
F2x=(L*d3)/(2*d1)+Fc*cosd(teta)*(-(1/4)-(d4/(2*d1)))-
Fc*sind(teta)*d3/(2*d2);
F1y=Fc*sind(teta)*(-(1/4)+(d4/(2*d1)));
F2y=Fc*sind(teta)*(-(1/4)-(d4/(2*d1)));

% Reacciones X
Rbx=(-F2x*dr-F1x*(dr+d1))/dt;
Rax=-F1x-F2x-Rbx;
% Fuerzas Cortantes en X
Vax=Rax;
V2x=Vax+F2x;
V1x=V2x+F1x;
Vbx=V1x+Rbx;
% Momentos en Y
M2y=Vax*dr;
M1y=M2y+V2x*d1;
% Reacciones Y
Rby=(-F2y*dr-F1y*(dr+d1))/dt;
Ray=-F2y-F1y-Rby;
% Fuerzas Cortantes en Y
Vay=Ray;
V2y=Vay+F2y;
V1y=V2y+F1y;
Vby=V1y+Rby;
% Momentos en X
M2x=Vay*dr;
M1x=M2x+V2y*d1;

M1=sqrt(M1x^2+M1y^2);
M2=sqrt(M2x^2+M2y^2);

M2xx(teta)=[M2x];
M2yy(teta)=[M2y];
M22(teta)=[M2];
M1xx(teta)=[M1x];
M1yy(teta)=[M1y];
M11(teta)=[M1];

end

figure(2)
hold on
title('MOMENTOS EN EL PUNTO 2')
xlabel('Ángulo de corte [°]')
ylabel('Momentos [N*mm]')
plot(M2xx)
plot(M2yy)

```

```

plot(M22)
figure(1)
hold on
title('MOMENTOS EN EL PUNTO 1')
xlabel('Ángulo de corte [°]')
ylabel('Momentos [N*mm]')
plot(M1xx)
plot(M1yy)
plot(M1l)

```

```

clc
%% Resultados

```

---

## Stand by y Taladrado en Y

```

clear all
clc
close all
%% Datos de entrada
% Fc=59.317;
L=5*9.8;
d1=135;
d2=115;
d3=148;
d4=146;
dt=1180;

%% Programación

M1max=0;
M3max=0;
M1min=99990;
aux=-99999;

for dr=37:1:504
% Stand By
%
% F1x=-26.86;
% F3x=-26.86;
% F1z=24.5;
% F3z=24.5;

% Perforado

F1x=-12.05;
F3x=-12.05;
F1z=9.365;
F3z=9.365;
% Reacciones X
Rbx=(-F3x*dr-F1x*(dr+d2))/dt;
Rax=-F1x-F3x-Rbx;
% Fuerzas Cortantes en X
Vax=Rax;
V3x=Vax+F3x;
V1x=V3x+F1x;

```

```

Vbx=V1x+Rbx;
% Momentos en Z
M3z=Vax*dr;
M1z=M3z+V3x*d2;

% Reacciones Z
Rbz=(-F3z*dr-F1z*(dr+d2))/dt;
Raz=-F1z-F3z-Rbz;
% Fuerzas Cortantes en Z
Vaz=Raz;
V3z=Vaz+F3z;
V1z=V3z+F1z;
Vbz=V1z+Rbz;
% Momentos en X
M3x=Vaz*dr;
M1x=M3x+V3z*d2;

M1xx(dr)=[M1x];
M1zz(dr)=[M1z];

M3xx(dr)=[M3x];
M3zz(dr)=[M3z];

M1=sqrt(M1z^2+M1x^2);
M3=sqrt(M3z^2+M3x^2);

M1T(dr)=[M1];
M3T(dr)=[M3];

if M1>M1max
M1max=M1;
Pc=dr;
end
end
plot(M1T);
hold on
plot(M1xx);
plot(M1zz);

clc
%% Resultados
M1max %momento maximo
Pc %punto critico
%%

```

---

## Fresado en el eje Y

```

clear all
close all
clc
%% Datos de entrada
% Fc=59.317;
Fc=45.45;
L=5*9.8;
d1=135;

```

```

d2=115;
d3=148;
d4=146;
dt=1180;

%% Programación
dr=504

for teta=1:1:360

% Fuerzas
F1x=-(L*d3)/(2*d1)+Fc*cosd(teta)*(-
(1/4)+(d4/(2*d1)))+Fc*sind(teta)*d3/(2*d2);
F3x=-(L*d3)/(2*d1)+Fc*cosd(teta)*(-(1/4)+(d4/(2*d1)))-
Fc*sind(teta)*d3/(2*d2);
F1z=L/2-Fc*sind(teta)*(d4/d2);
F3z=L/2+Fc*sind(teta)*(d4/d2);
if F1z<0
    F1z=0;
end

if F3z<0
    F3z=0;
end
F1xx(teta)=[F1x];
F1zz(teta)=[F1z];
F3xx(teta)=[F3x];
F3zz(teta)=[F3z];

% Reacciones X
Rbx=(-F3x*dr-F1x*(dr+d2))/dt;
Rax=-F1x-F3x-Rbx;
% Fuerzas Cortantes en X
Vax=Rax;
V3x=Vax+F3x;
V1x=V3x+F1x;
Vbx=V1x+Rbx;
% Momentos en Y
M3z=Vax*dr;
M1z=M3z+V3x*d2;
% Reacciones Z
Rbz=(-F3z*dr-F1z*(dr+d2))/dt;
Raz=-F3z-F1z-Rbz;
% Fuerzas Cortantes en Z
Vaz=Raz;
V3z=Vaz+F3z;
V1z=V3z+F1z;
Vbz=V1z+Rbz;
% Momentos en X
M3x=Vaz*dr;
% if F1z==0
% M1x=0;
% else
M1x=M3x+V3z*d2;
% end
M1=sqrt(M1x^2+M1z^2);
M3=sqrt(M3x^2+M3z^2);

```

```

M3xx(teta)=[M3x];
M3zz(teta)=[M3z];
M33(teta)=[M3];
M1xx(teta)=[M1x];
M1zz(teta)=[M1z];
M11(teta)=[M1];

end

figure(1)
hold on
title('MOMENTOS EN EL PUNTO 1')
xlabel('Ángulo de corte [°]')
ylabel('Momentos [N*mm]')

plot(M11)
plot(M1xx)
plot(M1zz)

clc
%% Resultados

```

---

## Stand by y Taladrado en X

```

clear all
clc
close all
%% Datos de entrada
% Fc=59.317;
% Fc=59.317;
L=15*9.8;
d2=98;

dt=1210;

%% Programación

M2max=0;
M3max=0;
M2min=99990;
aux=-99999;

for dr=35:1:1077
% Stand By
%
% F3z=36.75;
% F2z=36.75;

% Perforado

F3z=9.105;
F2z=49.26;

```

```

% Reacciones Z
Rbz=(-F3z*dr-F2z*(dr+d2))/dt;
Raz=-F2z-F3z-Rbz;
% Fuerzas Cortantes en X
Vaz=Raz;
V3z=Vaz+F3z;
V2z=V3z+F2z;
Vbz=V2z+Rbz;
% Momentos en Z
M3y=Vaz*dr;
M2y=M3y+V3z*d2;

M2yy(dr)=[M2y];
M3yy(dr)=[M3y];

M2T(dr)=[M2y];
M3T(dr)=[M3y];

% stand by

% if M3y<M3max
% M3max=M3y;
% Pc=dr;
% end

% Taladrado
if M2y<M2max
M2max=M2y;
Pc=dr;
end

end
plot(M2T);
hold on
plot(M3T);

clc
%% Resultados
min(M2yy)
min(M3yy)
% stand by
% M3max
% taladrado
M2max
Pc

```

---

## Fresado en el eje Y

```

clear all
close all
clc
%% Datos de entrada
Fc=45.45;
L=15*9.8;
d2=98;
d3=130;
dt=1210;

```

```

%% Programación
dr=580;

for teta=1:1:360

% Fuerzas
F2z=L/4;

F3z=L/4;
F3y=Fc*sind(teta)*0.5*(d3/d2);

% Reacciones Y
Rby=(-F3y*dr)/dt;
Ray=-F3y-Rby;
% Fuerzas Cortantes en X
Vay=Ray;
V3y=Vay+F3y;
Vby=V3y+Rby;
% Momentos en Y
M3z=Vay*dr;

% Reacciones Z
Rbz=(-F3z*dr-F2z*(dr+d2))/dt;
Raz=-F3z-F2z-Rbz;
% Fuerzas Cortantes en Z
Vaz=Raz;
V3z=Vaz+F3z;
V1z=V3z+F2z;
Vbz=V1z+Rbz;
% Momentos en X
M3y=Vaz*dr;
M2y=M3y+V3z*d2;

M2=sqrt(M2y^2);
M3=sqrt(M3y^2+M3z^2);

M22(teta)=[M2];
M33(teta)=[M3];

end

figure(1)
hold on
title('MOMENTOS EN EL PUNTO 1')
xlabel('Ángulo de corte [°]')
ylabel('Momentos [N*mm]')

plot(M22);
plot(M33);

clc
%% Resultados

max(M33)
min(M33)

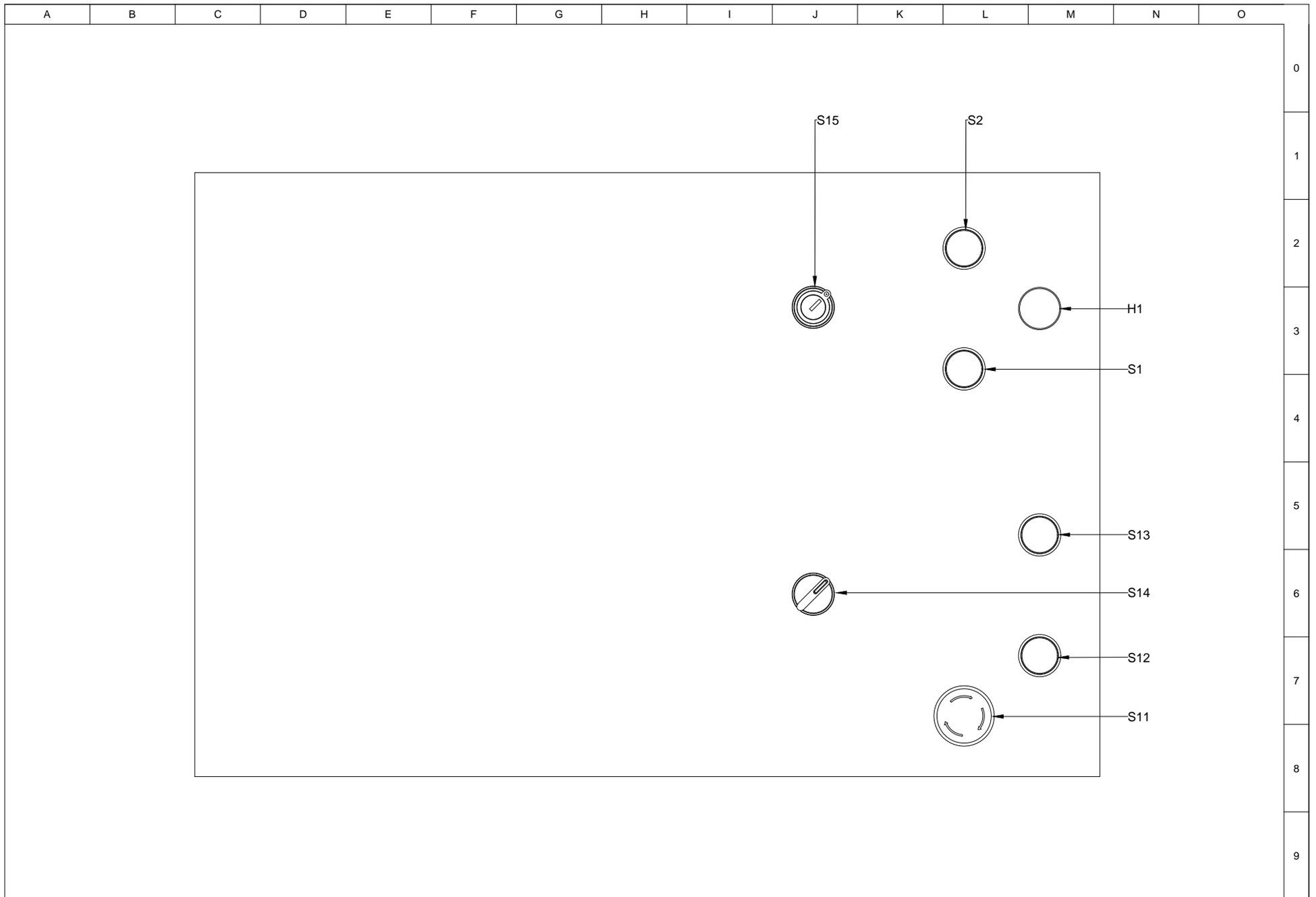
```

ANEXO 5  
PLANOS ELÉCTRICOS

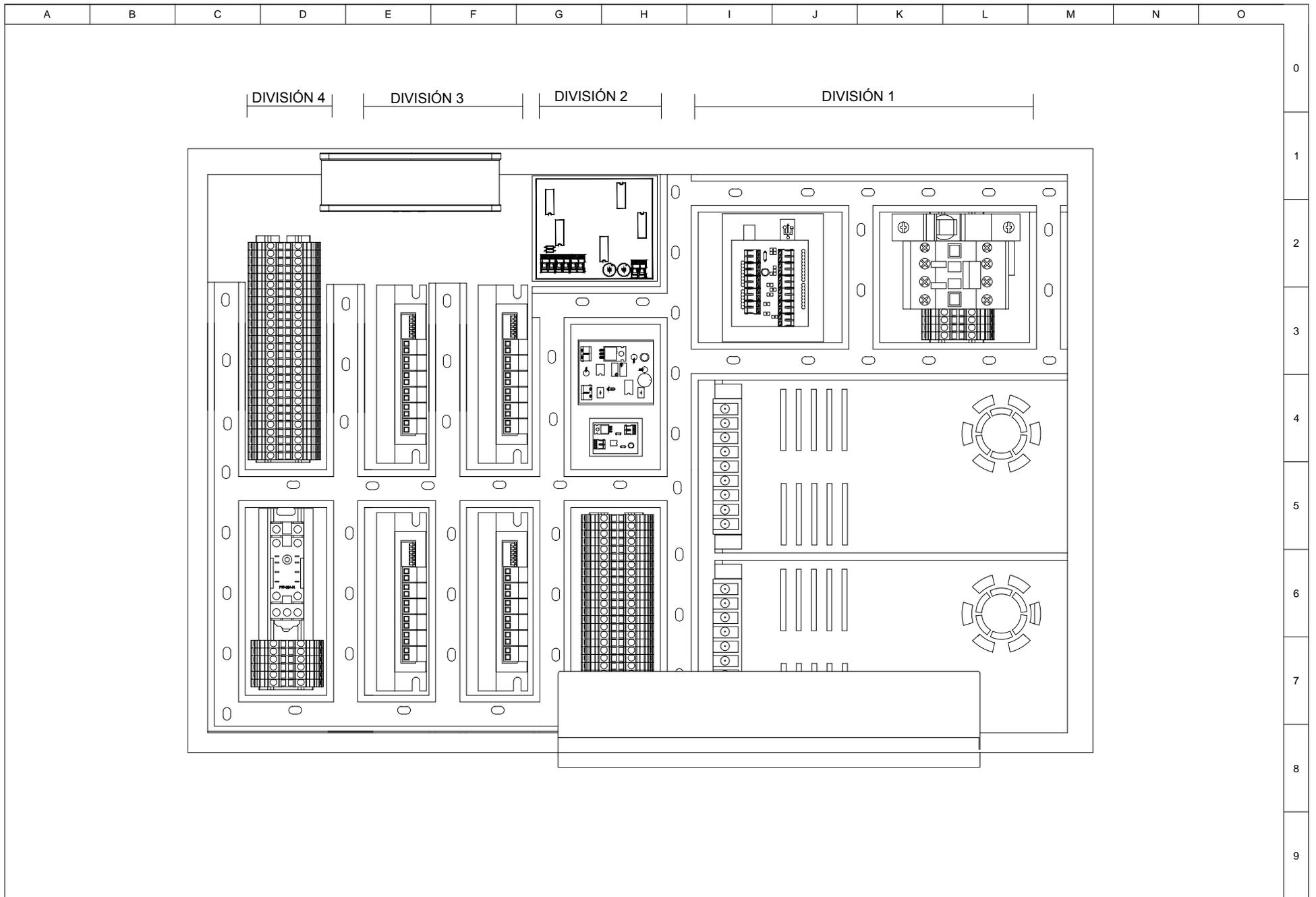
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O																																											
														0																																											
														1																																											
														2																																											
														3																																											
														4																																											
														5																																											
														6																																											
														7																																											
														8																																											
														9																																											
				<table border="1"> <tr> <td colspan="2">TÍTULO:</td> <td colspan="11">MÁQUINA CNC PARA DESBASTE DE MADERA</td> </tr> <tr> <td colspan="2">DIRECCIÓN:</td> <td colspan="11">SAN ANTONIO DE IBARRA CALLE HERMANOS MIDEROS Y SIMÓN BOLÍVAR</td> </tr> <tr> <td colspan="2">CLIENTE:</td> <td colspan="9" rowspan="2"> <b>TALLER DE CARPINTERÍA "ARTE Y MADERA"</b> </td> <td colspan="2">FECHA:</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Planos eléctricos</td> </tr> </table>											TÍTULO:		MÁQUINA CNC PARA DESBASTE DE MADERA											DIRECCIÓN:		SAN ANTONIO DE IBARRA CALLE HERMANOS MIDEROS Y SIMÓN BOLÍVAR											CLIENTE:		<b>TALLER DE CARPINTERÍA "ARTE Y MADERA"</b>									FECHA:				Planos eléctricos	
TÍTULO:		MÁQUINA CNC PARA DESBASTE DE MADERA																																																							
DIRECCIÓN:		SAN ANTONIO DE IBARRA CALLE HERMANOS MIDEROS Y SIMÓN BOLÍVAR																																																							
CLIENTE:		<b>TALLER DE CARPINTERÍA "ARTE Y MADERA"</b>									FECHA:																																														
											Planos eléctricos																																														
				Fecha:		Firma:		Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera				Escala: No aplica																																													
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.								Dibujo Portada				#Dibujo 1 / 16																																													
Revisado por: Ing. Víctor Erazo, MSc.																																																									

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
ETIQUETA	COMPONENTE		MARCA			MODELO		FUNCIÓN						
BRK	BREAKER		SCHNEIDER ELECTRIC					PROTECCIÓN DEL CIRCUITO ELÉCTRICO						0
Q1	CONTACTOR							CONTACTOR DE ALIMENTACIÓN						
S15	SELECTOR TIPO LLAVE DE SEGURIDAD							SEGURIDAD DE OPERACIÓN						1
S1	BOTON NC		CAMSCO					OFF						
S2	BOTON NA		CAMSCO					ON						2
PW1	FUENTE DE ALIMENTACIÓN CONMUTADA		ACT MOTOR					FUENTE DE VOLTAJE DC						
PW2	FUENTE DE ALIMENTACIÓN CONMUTADA		ACT MOTOR					FUENTE DE VOLTAJE DC						3
ARD	ARDUINO UNO		ARDUINO			UNO		TARJETA DE CONTROL CNC						
TA2	TARJETA AUXILIAR 2							TEMPORIZADOR AJUSTABLE Y CONTROL DEL VENTILADOR						
M1	VENTILADOR							DISIPAR CALOR DENTRO DEL GABINETE						4
TA3	TARJETA AUXILIAR 3							CIRCUITO DE POTENCIA PARA CONTROL DE TUPI						
S14	SELECTOR 2 POSICIONES							HABILITAR/INHABILITAR TUPI						5
Q2	RELÉ							ACTIVACIÓN DE TUPI						
M2	TUPI		DEWALT			DE6000		MÁQUINA ROTATIVA						6
TA1	TARJETA AUXILIAR 1							CALIBRACIÓN DE POSICIONES DE LOS MOTORES DEL EJE Y						
S3,S4	FINALES DE CARRERA							SENSORES DE CONTACTO DEL MOTOR Y1						
S5,S6	FINALES DE CARRERA							SENSORES DE CONTACTO DEL MOTOR Y2						7
S7,S8	FINALES DE CARRERA							SENSORES DE CONTACTO DEL EJE X						
S9,S10	FINALES DE CARRERA							SENSORES DE CONTACTO DEL EJE Z						8
S11	BOTON PARO DE EMERENCIA							PARO DE EMERENCIA						
S12	BOTON NA		CAMSCO					STOP						
S13	BOTON NA		CAMSCO					CONTINUE						9
			Fecha:	Firma:		Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera					Escala: No aplica			
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.						Dibujo: Tabla de componentes (1)					#Dibujo 2 / 16			
Revisado por: Ing. Víctor Erazo, MSc.														

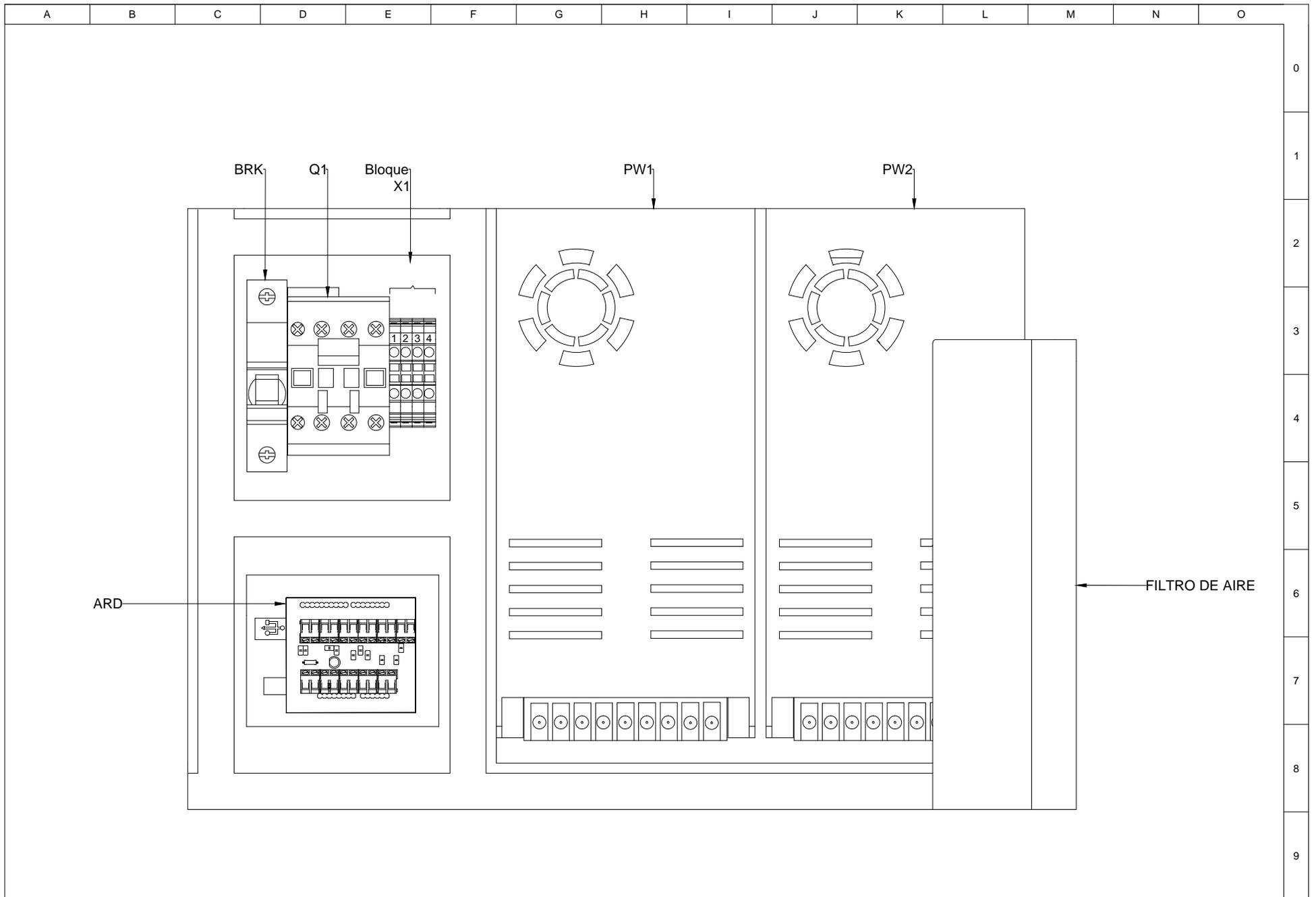
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
ETIQUETA	COMPONENTE			MARCA			MODELO		FUNCIÓN					
STPDRV1	DRIVER DE MOTOR A PASOS			ACT MOTOR			DM542		CONTROLADOR DE MOTOR A PASOS					0
STPDRV2	DRIVER DE MOTOR A PASOS			ACT MOTOR			DM542		CONTROLADOR DE MOTOR A PASOS					
STPDRV3	DRIVER DE MOTOR A PASOS			ACT MOTOR			DM542		CONTROLADOR DE MOTOR A PASOS					1
STPDRV4	DRIVER DE MOTOR A PASOS			ACT MOTOR			DM542		CONTROLADOR DE MOTOR A PASOS					
M3	MOTOR A PASO			ACT MOTOR			23HS2442B		MOVIMIENTO PARA LA VARILLA DEL EJE "X"					2
M4	MOTOR A PASO			ACT MOTOR			23HS2442B		MOVIMIENTO PARA LA VARILLA DEL EJE "Z"					
M5	MOTOR A PASO			ACT MOTOR			23HS2442B		MOVIMIENTO PARA LA VARILLA DEL EJE "Y1"					3
M6	MOTOR A PASO			ACT MOTOR			23HS2442B		MOVIMIENTO PARA LA VARILLA DEL EJE "Y2"					
H1	LUZ PILOTO								INDICADOR DE ENCENDIDO					
														4
														5
														6
														7
														8
														9
			Fecha:	Firma:			Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera					Escala: No aplica		
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.							Dibujo: Tabla de componentes (2)					#Dibujo		
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.												3 / 16		



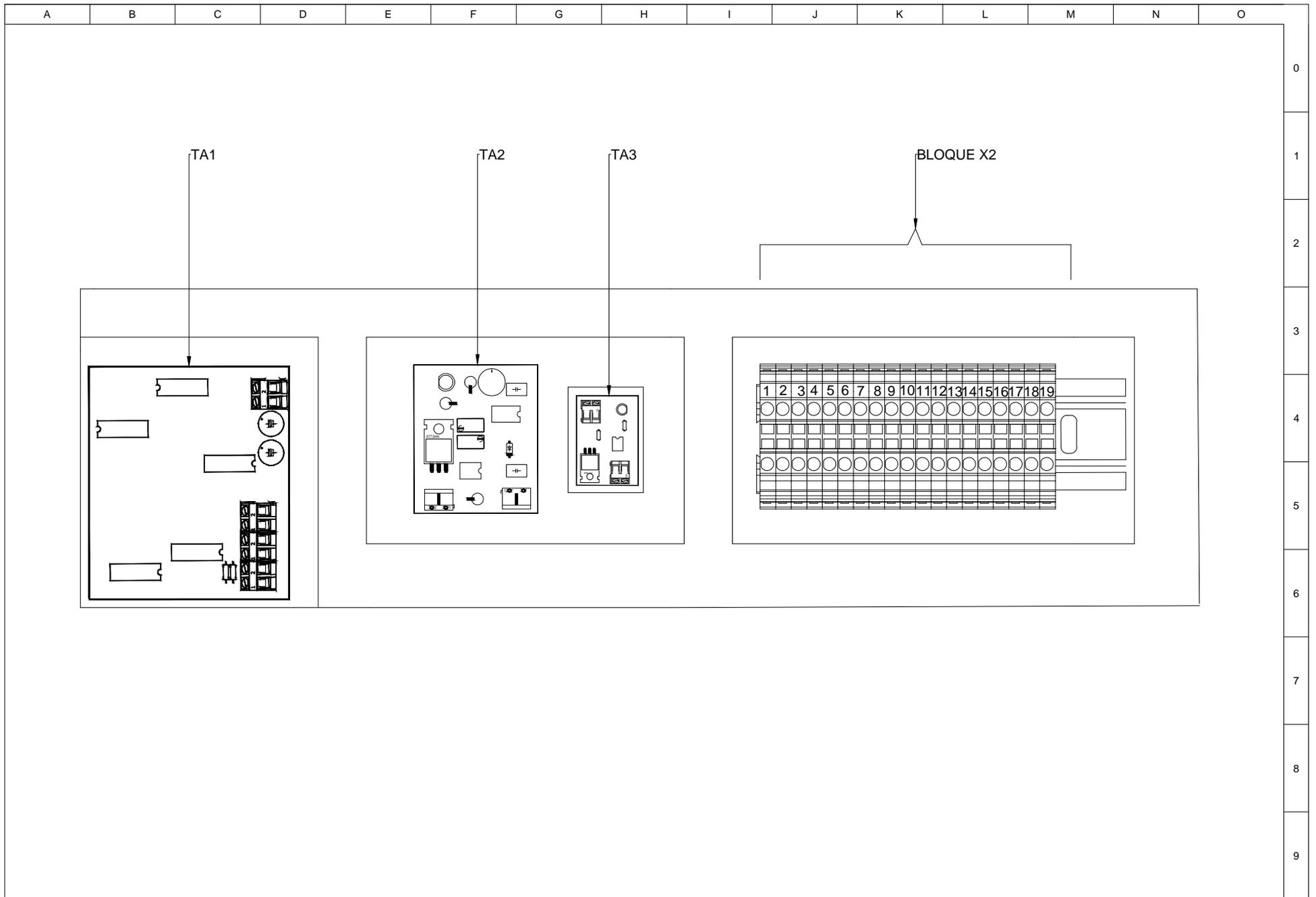
	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo: Esquema tapa frontal del gabinete	#Dibujo 4 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				



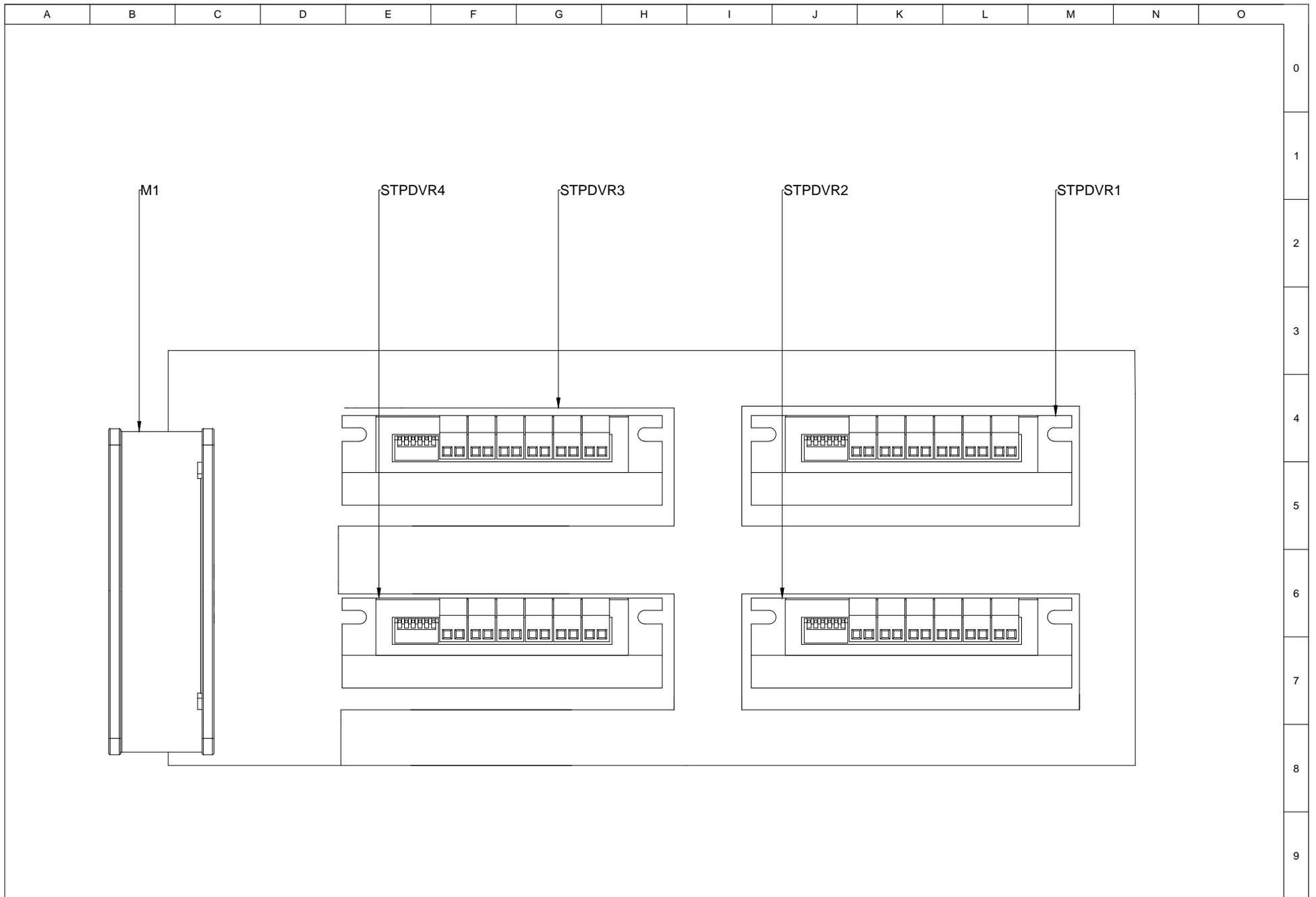
	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo Esquema del gabinete	#Dibujo 5 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				



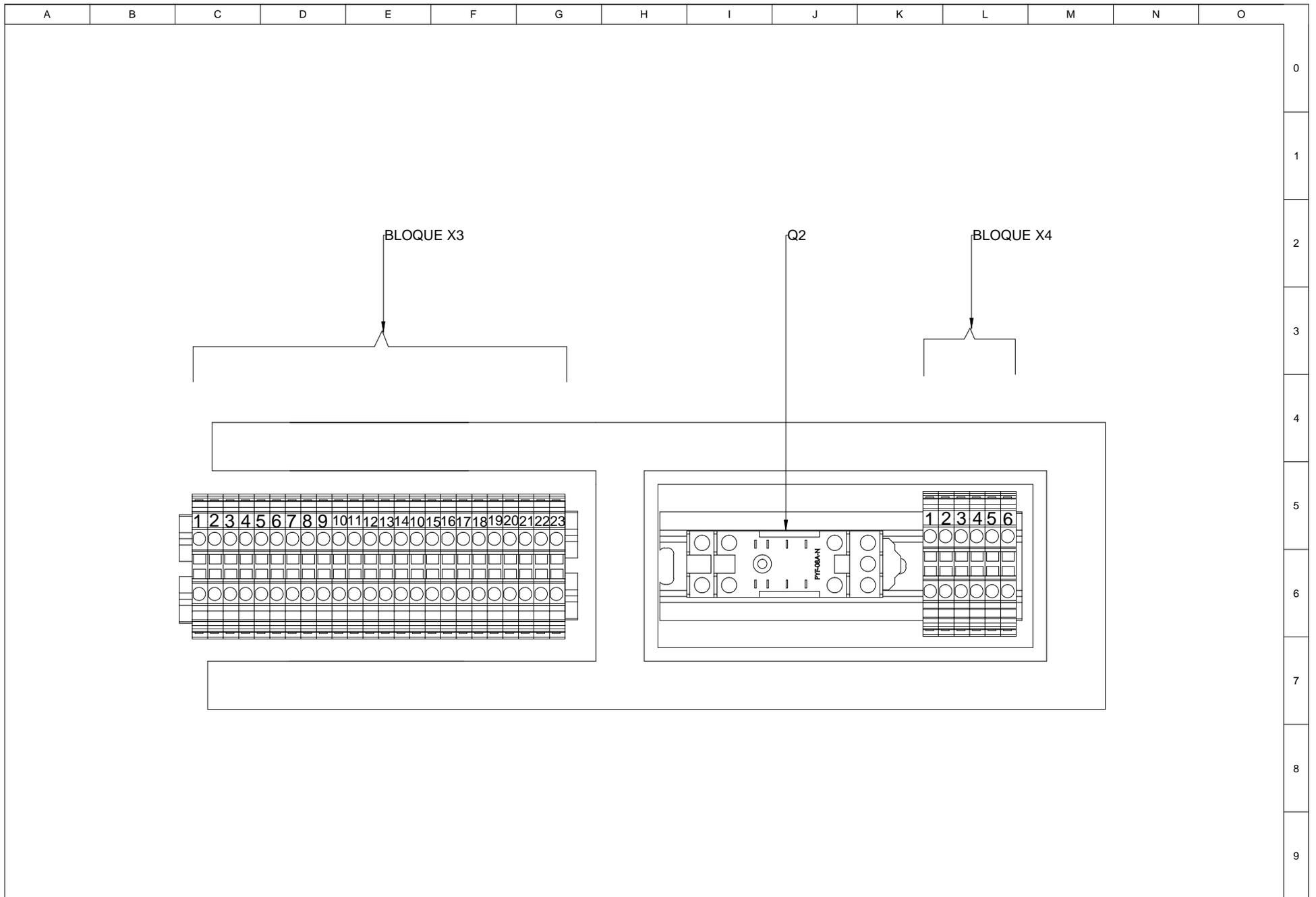
	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo División 1	#Dibujo 6 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				



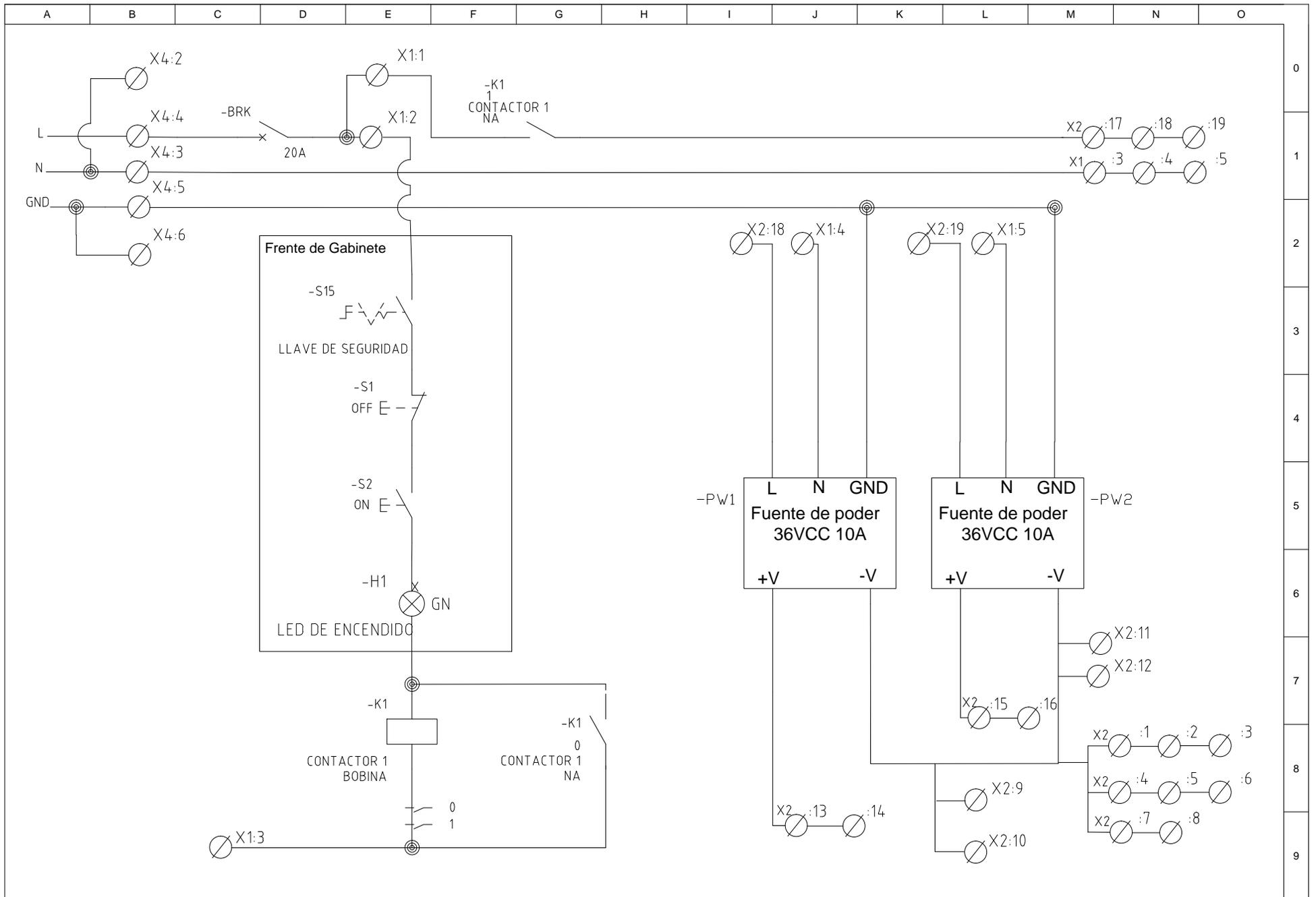
	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo División 2	#Dibujo 7 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				



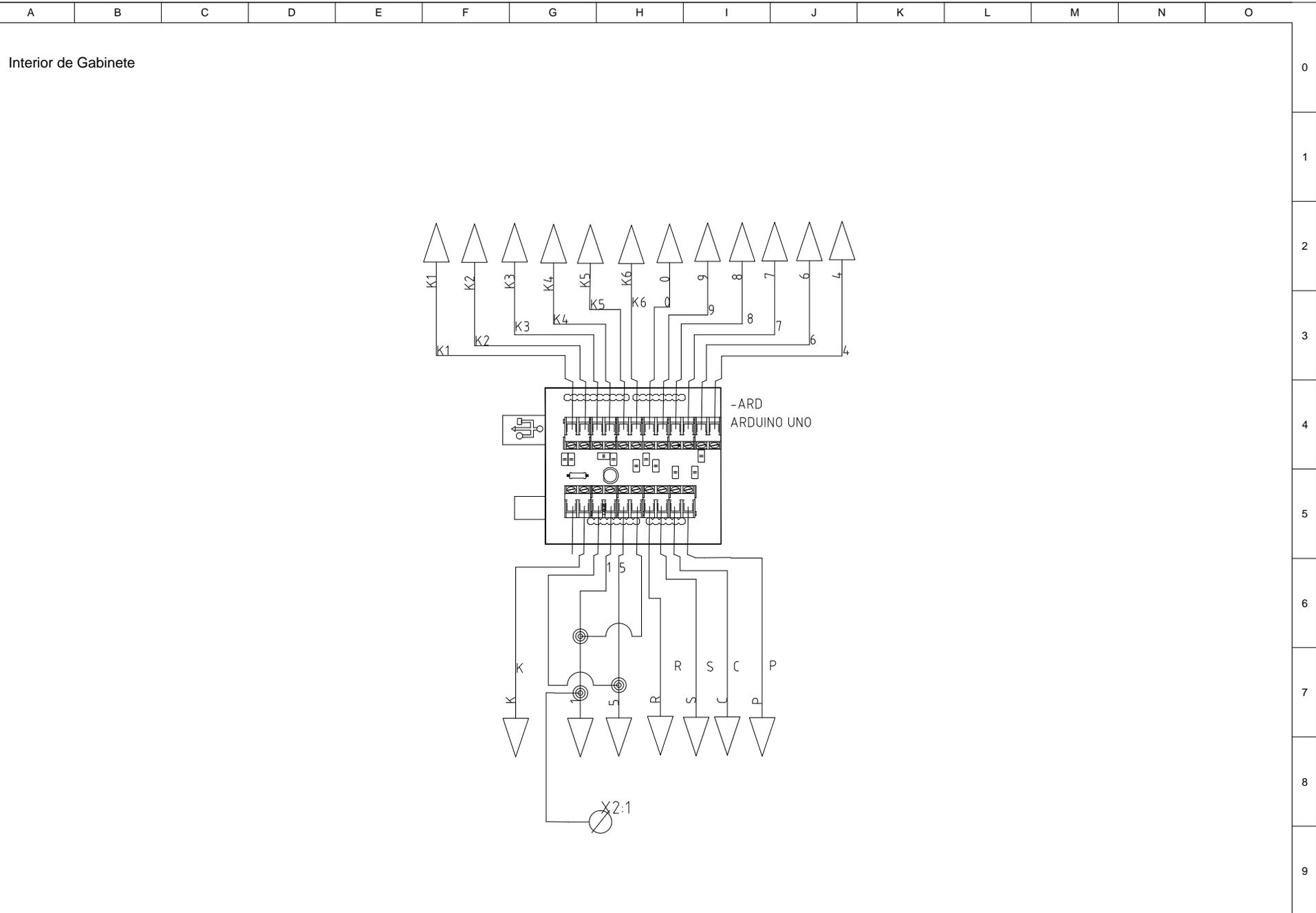
	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo División 3	#Dibujo 8 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				



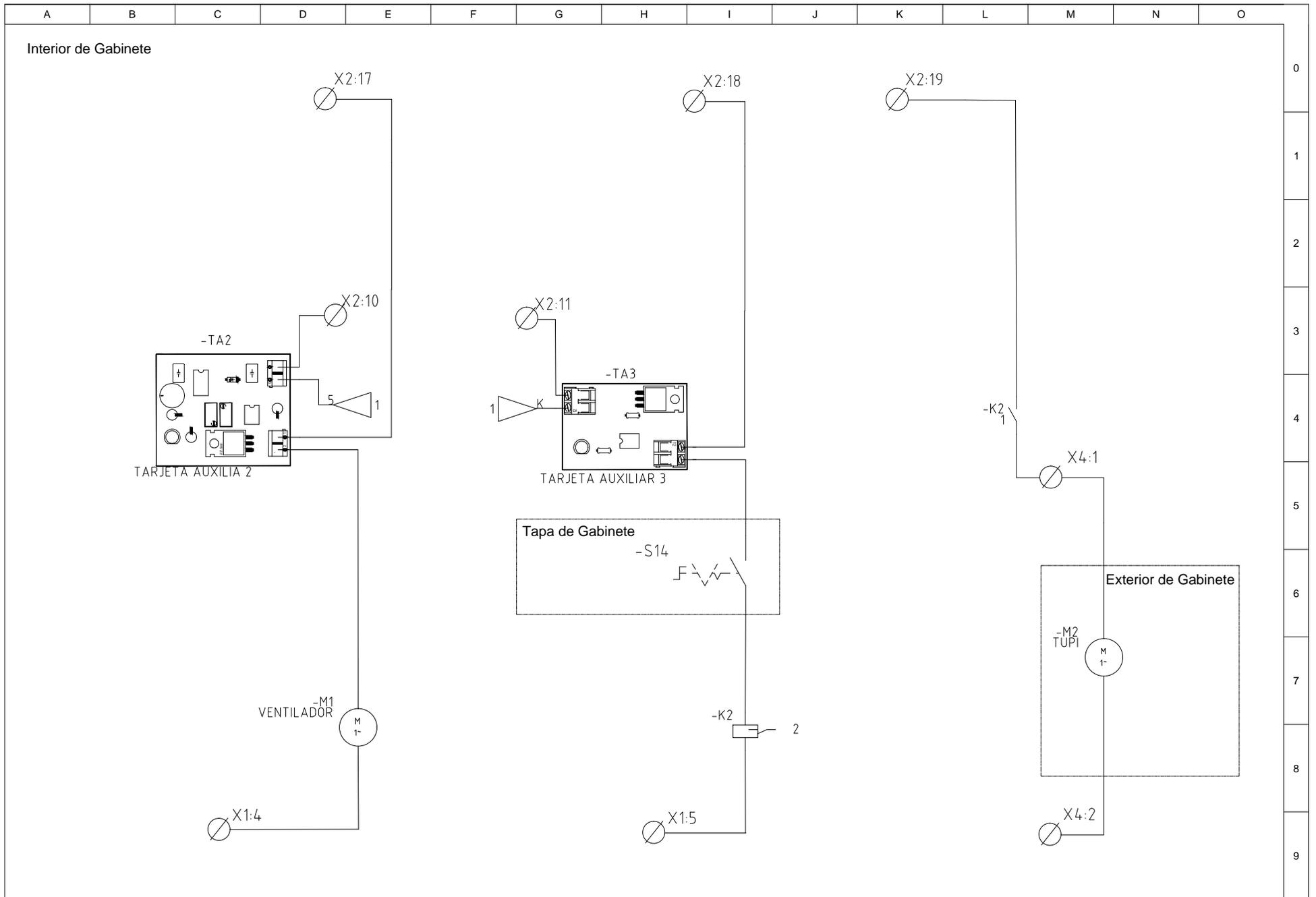
	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo: División 4	#Dibujo: 9 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				



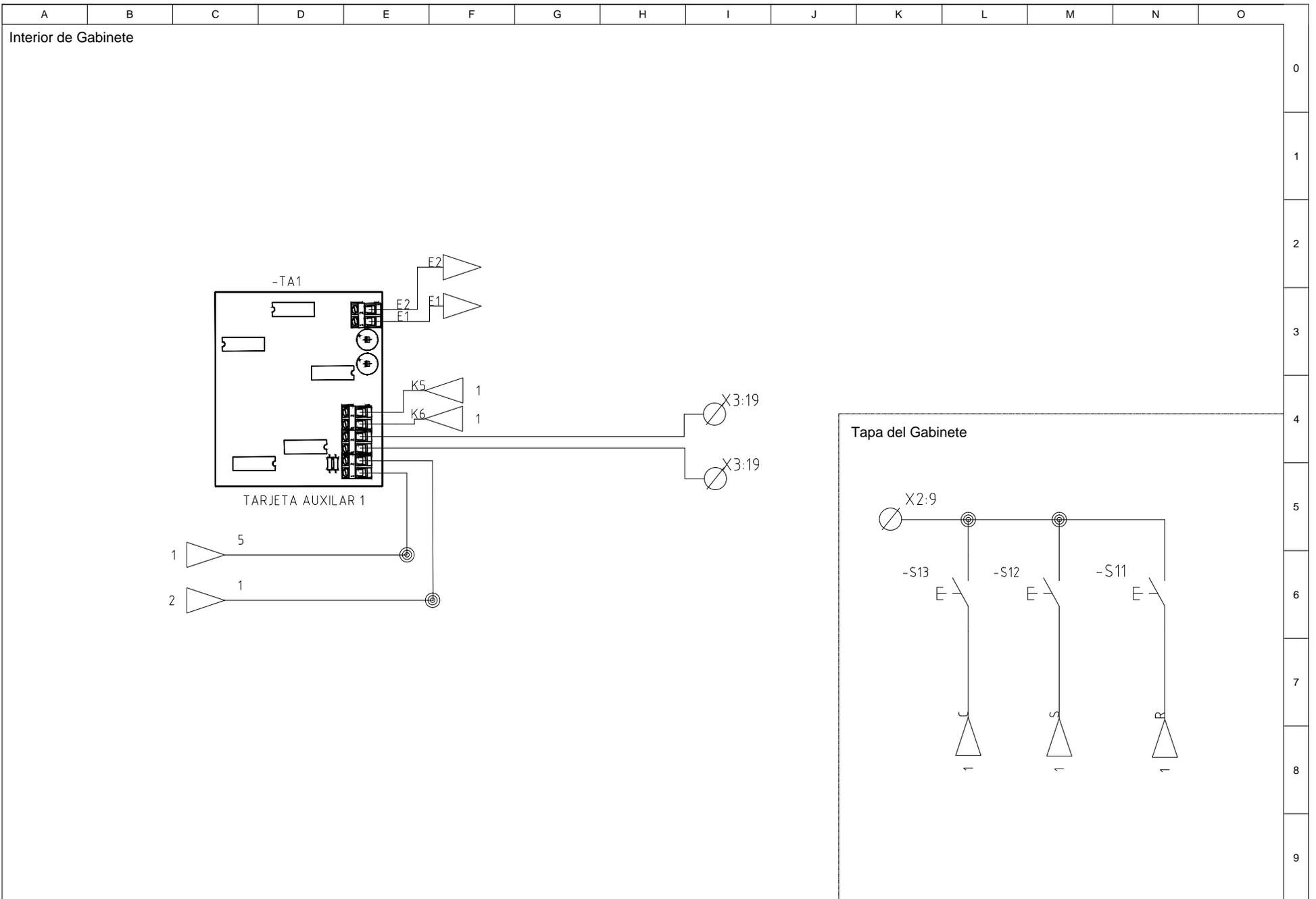
	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo Alimentación y enclavamiento del sistema	#Dibujo 10 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				



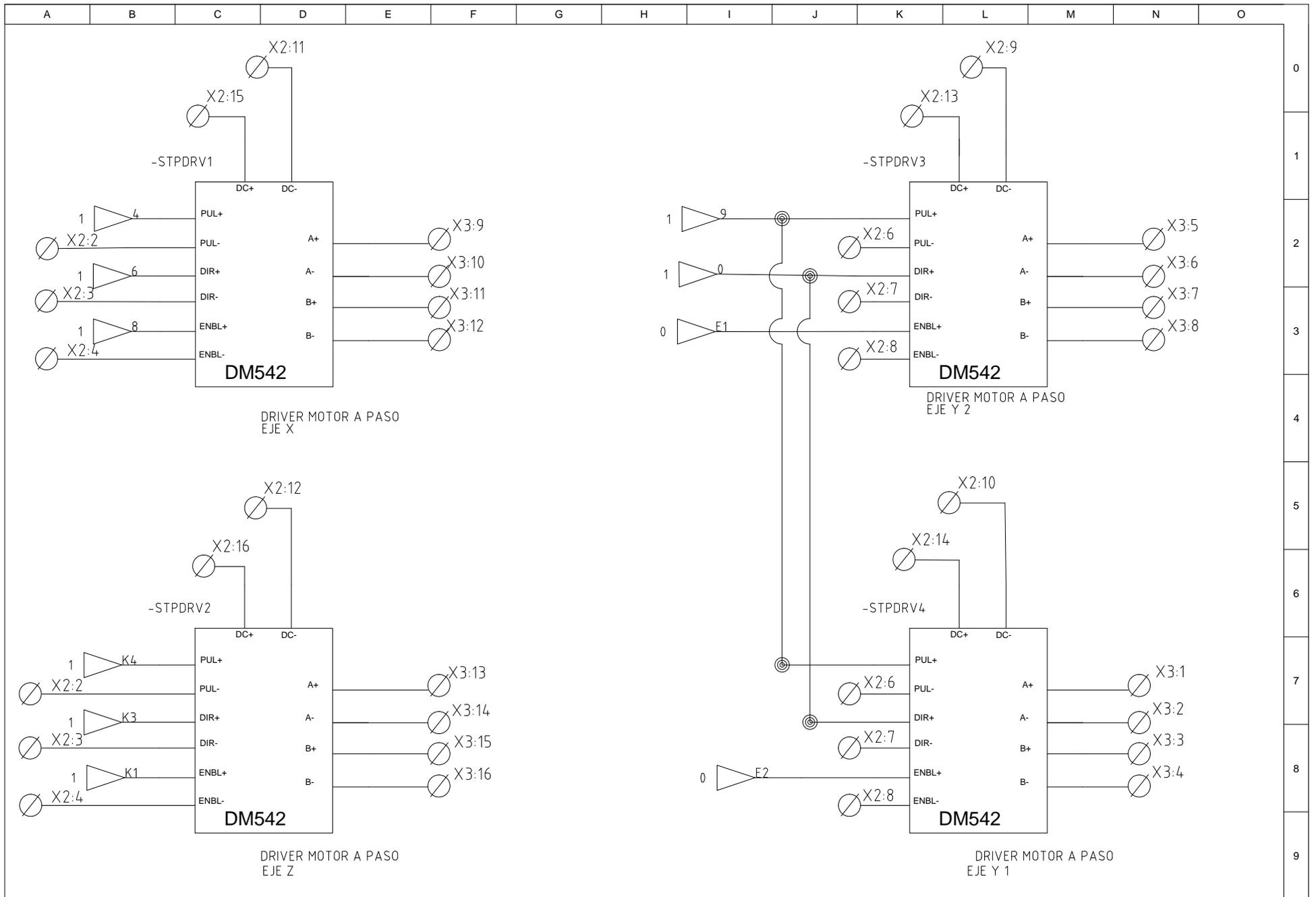
	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo: Conexión Arduino	#Dibujo 11 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				



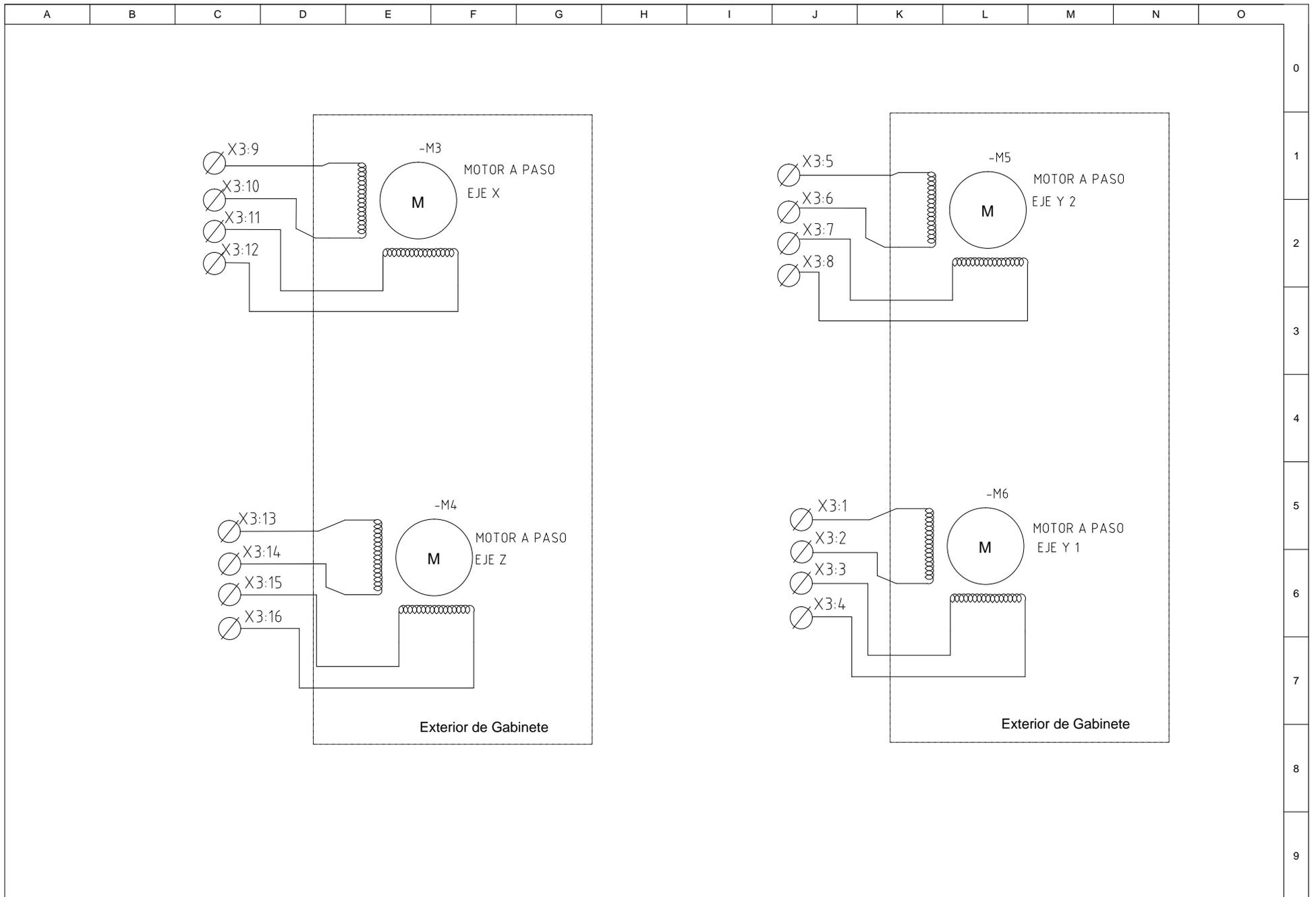
	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo: Sistema eléctrico de la ventilación (TA2) y tupi (TA3)	#Dibujo: 12 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				



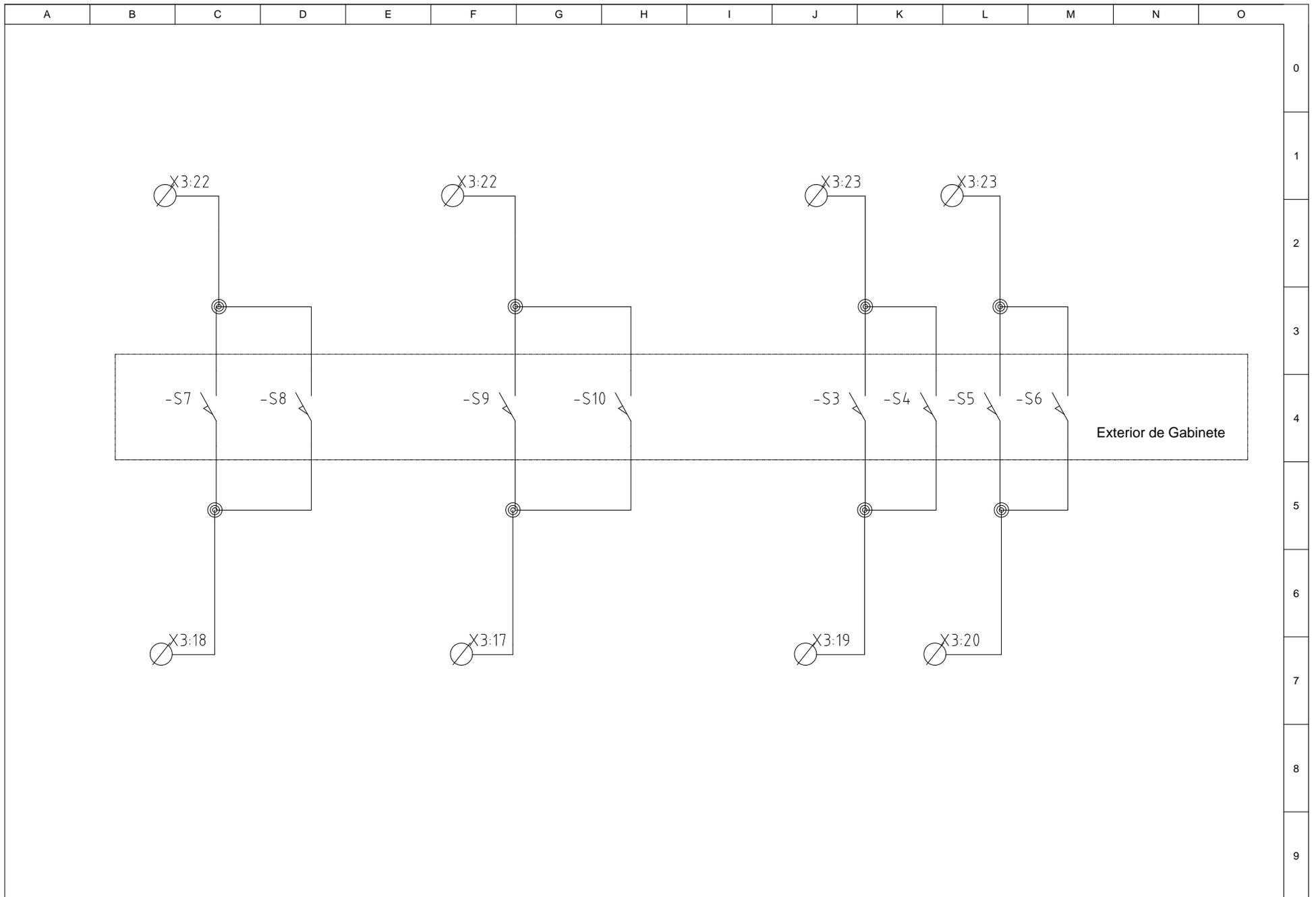
	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo Esquema electrónico para calibrar el eje Y (TA1) Conexion Finales de carrera y botones de control del gabinete	#Dibujo 13 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				



	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo: Conexión de drivers	#Dibujo: 14 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				



	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo: Conexión de motores paso a paso	#Dibujo: 15 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				



	Fecha:	Firma:	Proyecto: Máquina CNC para desbaste de madera	Escala: No aplica
Diseñado por: Jairo Mauricio Haro Y.			Dibujo: Sensores finales de carrera	#Dibujo 16 / 16
Revisado por: Ing. Victor Erazo, MSc.				

# **MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA CNC PARA DESBASTE DE MADERA**

El siguiente documento tiene como finalidad la operatividad de la máquina CNC para desbaste de madera del operario.

Se toma en consideración los pasos a seguir antes, durante y después del mecanizado de piezas por lo que es de suma importancia la revisión de este documento por parte del operador antes de utilizar la máquina.

El sistema CNC representa un grado de dificultad elevado por lo que es necesario algún tipo de certificación del operario en sistemas CNC para su uso.

## **Requerimientos para el uso de la máquina**

1. Acceso a red eléctrica 110VAC 60 Hz con conexión a tierra 3h.
2. Cable USB macho-macho 2m.
3. Computador con características básicas para la utilización del software Inkscape y Universal GCode Sender además de un cobertor para la protección del computador.
4. Conocimiento del operario en el uso de los programas presentados.
5. Fresa para madera con coleta de  $\frac{1}{4}$ .
6. Elementos de seguridad industrial básico:
  - Gafas transparentes
  - Mascarilla
  - Tapa oídos

Con los requisitos previos ya solventados, se procede a realizar el trabajo de mecanizado.

1. El primer paso, es obtener el diseño a grabar en la madera para lo cual se puede hacer uso de un catálogo digital o la realización del mismo.

Para la realización del diseño se hace uso del programa Inkscape del cual se obtiene el código G de la figura a grabar.

2. Una vez obtenido el diseño deseado, se procede a seleccionar el material en el que se va a trabajar y cuyas dimensiones estén en concordancia con las del diseño.
3. Cerciorarse de la desconexión de la máquina a la red eléctrica para colocar la fresa en la tupi y ajustarla.
4. Sujetar la pieza a mecanizar con ayuda de los pernos mariposa y las platinas de prensa lo suficientemente fuerte para evitar el movimiento de la pieza con el mecanizado.
5. Cerciorarse que el botón de encendido de la tupi este en modo off y conectar la máquina a la red eléctrica y presionar el botón de encendido y verificar la luz de encendido.
6. Conectar el cable USB en el puerto del computador y del gabinete eléctrico.
7. Abrir el programa Universal Gcode Sender, y conectarlo al puerto COM designado al Arduino.
8. Presionar el botón reset by software para desactivar el modo de seguridad del programa y poder hacer uso de la máquina.
9. Revisar que no exista obstáculos en la trayectoria de la máquina.
10. Presionar el botón Cycle Home para calibrar al cero máquina.
11. Cambiar el boton de la tupi al estado ON.
12. Obtener el cero pieza moviendo los ejes desde el computador con la tupi encendida.

13. Cargar y correr el archivo que contiene el diseño de la figura, colocar el cobertor sobre el computador.
14. Revisar el proceso mecanizado desde el frente de la máquina y sin perder de alcance el botón paro de emergencia y sin acercar las manos al proceso de mecanizado.
15. Al terminar el maquinado, retirar el puente de la máquina a un punto seguro y desmontar la pieza mecanizada.
16. Para terminar el uso de la máquina, terminar la conexión con el computador, retirar el USB y presionar el botón OFF del gabinete eléctrico y limpiar el área de trabajo.

Notas:

- Los botones “Pause” y “Continue”, del gabinete eléctrico, pausan y continúan una la línea de código que se está ejecutando.
- El botón reset detiene la comunicación con el computador, y para volver a utilizar la máquina es necesario presionar el boton reset by software del programa Universal Gcode Sender.

## MANUAL DE MANTENIMIENTO

Para el perfecto estado de la máquina es necesario un mantenimiento periódico de elementos mecánicos y electrónicos realizados antes y después de su uso.

### Mantenimiento mecánico:

Elemento de mantenimiento	Frecuencia	Trabajo
Guías de desplazamiento y varillas roscadas	Antes del uso	Limpiar las guías con un paño seco y las varillas roscadas con ayuda de un cepillo.
Pernos, tornillo, prisioneros	Antes del uso	Reajuste.
Mesa de trabajo	Antes y después del uso	Barrer el polvo de la mesa con ayuda de una escobilla.
Piezas en general	Después del uso	Con ayuda de una aspiradora, extraer el polvo alojado en las piezas que conforman los carros.
Tupi	6 meses	Mantenimiento preventivo en el taller indicado por la tienda.
Fresas	Antes del uso	Verificar el estado de las fresas, afilarlas o desecharlas de ser necesario.
Chumaceras	Mensual	Engrasar las chumaceras con una pistola de inyección, sustituirlas según sea necesario.
Rodamientos	Mensual	Inspección del estado del rodamiento, sustituirlo según sea necesario.

### Mantenimiento Electrónico:

Elemento de mantenimiento	Frecuencia	Trabajo
Interior del gabinete	Mensual	Aspirado de polvo en el interior del gabinete evitando la desconexión de cables
Verificación de las protecciones eléctricas.	Mensual	Desconectar los bornes de la alimentación general y realizar un cortocircuito rápido y controlado después del breaker.
Puntos de conexiones	Mensual	Reajustar los puntos de conexión dentro del gabinete y en los sensores finales de carrera
Cable de alimentación principal	3 meses	Desconectar de la red eléctrica, y de las borneras de alimentación general, revisar la continuidad de los 3 hilos en el cable de alimentación, inspeccionar que el cable no presente cortes o remordeduras y la correcta conexión de los hilos en el tomacorriente macho.
Tarjetas electrónicas	6 meses	Limpieza con spray limpia contactos.

### Mantenimiento Informático:

- Realizar un mantenimiento cada seis meses por un técnico calificado al computador realizando las respectivas copias de seguridad de la información importante.
- Realizar una copia de seguridad de la configuración del sistema GRBL para volver al cargar el firmware GRBL v9j cada seis meses y configurarlo según la copia de seguridad.

**Cuadro de posibles fallas:**

Posibles Fallas	Posibles razones	Acción
No enciende	Desconexión a la red eléctrica	Conectar a la red eléctrica.
	Falta de continuidad	Revisar el voltaje de alimentación en las borneras de distribución.
Apagado instantáneo	Falla de enclavamiento del contactor	Revisar las conexiones en el contactor y los botones.
	Salto del breaker	Activar breaker.
	Salto del breaker continuo	Llamar al técnico.
Tupi no enciende	Estado OFF de tupi	Verificar el estado ON de la tupi.
	Estado de herramienta en modo inhabilitado.	Habilitar la herramienta con el switch selector del gabinete.
	Ausencia de voltaje en las borneras de la tupi	Llamar al técnico
Driver(s) de motor(es) no encienden	Ausencia de voltaje en las fuentes de poder.	Verificar el voltaje suministrado a las fuentes de poder y en las borneras respectivas.
	Ausencia de voltaje en el driver.	Verificar el voltaje suministrado a los drivers

Si este cuadro no corrige los errores de funcionamiento de la máquina, contacte con el técnico para su revisión.