

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



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

**MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTACIONAL PARA CORTE DE
PLANCHAS DE ALUMINIO POR DESBASTE DE MATERIAL: DISEÑO**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECATRÓNICA**

AUTOR:

HAMILTON ANDRÉS GÓMEZ CADENA

DIRECTOR:

ING. COSME DAMIÁN MEJÍA ECHEVERRÍA

IBARRA 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
Cédula de identidad:	1003734546		
Apellidos y nombres:	Gómez Cadena Hamilton Andrés		
Dirección :	Ibarra, Flores 4-30 y Maldonado		
Email :	hagomez@utn.edu.ec		
Teléfono fijo:	062-609377	Teléfono móvil:	0996664351

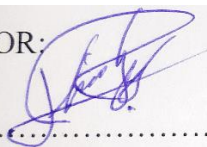
DATOS DE LA OBRA	
Título:	“Máquina de control numérico computacional para corte de planchas de aluminio por desbaste de material1: Diseño”
Autor:	Gómez Cadena Hamilton Andrés
Fecha:	17 de mayo de 2019
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniería Mecatrónica
Asesor / director:	Ing. Cosme Mejía

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor 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 17 días del mes de Mayo de 2019

EL AUTOR:



.....
Hamilton Andrés Gómez Cadena



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICO

Que la Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica con el tema **“MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTACIONAL PARA CORTE DE PLANCHAS DE ALUMINIO POR DESBASTE DE MATERIAL: DISEÑO”**, ha sido desarrollado y terminado en su totalidad por el Sr. Hamilton Andrés Gómez Cadena, con cedula de identidad: 100373454-6, bajo mi supervisión para lo cual firmo en constancia.



.....
Ing. Cosme Mejía
DIRECTOR

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres que me dieron su apoyo y confianza incondicional, han estado ahí en los momentos más duros para ayudarme a salir adelante y han sido la fuente de mis valores, principios y el coraje para salir adelante frente a cualquier circunstancia, les agradezco todo lo que soy porque ellos me formaron y estoy orgulloso de ser su hijo.

A mi abuelito que deseaba ver como culminaba mi carrera estudiantil y que ahora lo puede hacer desde el cielo, muchas gracias por confiar en mí.

Andrés Gómez

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por brindarme salud y una familia tan buena e incondicional.

A mis padres, Irma Cadena y Ricardo Gómez por estar ahí, siempre conmigo formándome hasta el final y siempre intentando llevarme por el camino correcto.

A los Ingenieros que he tenido como profesores quienes me han ayudado en mi formación académica y me han impartido un poco de los conocimientos necesarios para la etapa laboral.

A mis amigos, que han sido incondicionales en los buenos y malos momentos y me han ayudado a darme cuenta de lo importante en la vida.

Al Ingeniero Cosme Mejía por su apoyo y dirección a lo largo de este trabajo de tesis.

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra el diseño de una máquina de control numérico computacional (CNC) para el corte de piezas en planchas de aluminio, así como la selección de materiales según los parámetros de diseño.

Para el diseño y selección de materiales, se tomó en cuenta la voz del usuario (investigaciones) para identificar la funcionalidad y principales características de la máquina y se transformó estas características a parámetros medibles, es decir, en la voz del ingeniero, para así poder seleccionar los materiales adecuados que satisfagan las necesidades del usuario mediante un análisis de criterios ponderados.

La máquina consta de 3 ejes móviles que constan de varillas roscadas (tornillos de potencia) que permite la transmisión de potencia del motor al eje y convertir el movimiento rotacional a lineal.

Se calcula la potencia y el torque necesario para los motores, así como el diseño mecánico de las guías y la duración de vida de los rodamientos lineales implementados en la máquina. De acuerdo a los datos de diseño se seleccionarán los materiales adecuados para la construcción de la máquina, tomando en consideración las alternativas escogidas en la matriz morfológica y la selección de la alternativa más adecuada para este trabajo.

ABSTRACT

The present work shows the design of a CNC machine for cutting pieces in aluminum plates, as well as the selection of materials according to design parameters.

For design and material's selection, the customer's voice was taken to identify the functionality and the main characteristics of the machine, these were transformed into measurable parameters, it means, the engineer voice's, in order to be able to select the appropriate materials that satisfy the needs of costumer through weighted criteria analysis.

The machine consists of 3 mobile axes that have threaded rods (power screws), that allows the power transmission from the motor to the shaft and convert the rotational to linear movement.

The engine power and necessary torque are calculated, as well as the mechanical design of the metal runners and the life of the linear bearings implemented in the machine. According to the design parameters the suitable materials will selected to the construction of the machine, taking into account the alternatives chosen in the morphological matrix ant the selection of the most suitable alternative for this work.

TABLA DE CONTENIDO

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II
2. CONSTANCIAS.....	II
CERTIFICO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XII
JUSTIFICACIÓN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XIV
ALCANCE.....	XV
CAPÍTULO 1 MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1 Investigaciones Actuales.....	1
1.2 Desarrollo Actual.....	2
1.3 Patentes Existentes.....	2
1.4 Métodos utilizados para cortes en metal.....	3
1.4.1 Corte por chorro de agua.....	3
1.4.2 Corte por plasma.....	5
1.4.3 Corte por láser.....	7
1.4.4 Corte por desbaste de material (Router CNC).....	8
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA.....	10
2.1 Despliegue de la función de calidad (QFD).....	10
2.1.1 Fijación del objetivo.....	10
2.1.2 Voz del usuario.....	10
2.1.3 Voz del ingeniero.....	11
2.1.4 Diagrama de la función de calidad (QFD).....	13
2.1.5 Conclusiones de la casa de calidad (QFD).....	14
2.1.6 Análisis Funcional.....	14
2.1.7 Desarrollo de los diagramas funcionales.....	15
2.1.8 Análisis de los diagramas funcionales.....	16
2.1.9 Solución de los módulos.....	17
2.2 Conceptualización.....	17
2.3 Diseño.....	36
2.3.1 Cálculos de potencia para la selección del Husillo.....	36
2.3.2 Cálculos de Torque para la selección de motor.....	39

2.3.3 Cálculos de esfuerzos en Y	45
2.3.4 Estimación de la duración de vida de los rodamientos.....	52
2.3.5 Simulaciones.....	56
2.4 Planos de construcción.....	58
2.5 Cálculo velocidad de avance, RPM e inserción	59
CAPÍTULO 3 PRUEBAS Y RESULTADOS	63
3.1 Pruebas de desplazamiento.....	63
3.2 Calibración de ejes X, Y, Z.....	64
3.3 Pruebas de corte de material.....	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
Conclusiones	68
Recomendaciones	69
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	74

LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1. Evaluación de cada criterio para la solución del módulo 3.....	25
TABLA 2-2. Evaluación de las alternativas frente al costo.....	25
TABLA 2-3. Evaluación de las alternativas frente a la precisión.....	26
TABLA 2-4. Evaluación de las alternativas frente a la versatilidad y/o disponibilidad.....	26
TABLA 2-5. Evaluación de las alternativas frente a la Fiabilidad	26
TABLA 2-6. Evaluación de las alternativas frente al Mantenimiento.....	27
TABLA 2-7. Conclusiones del Módulo 3.....	27
TABLA 2-8 Evaluación de cada criterio para la solución del módulo 4.....	33
TABLA 2-9 Evaluación de las alternativas frente al costo módulo 4	33
TABLA 2-10 Evaluación de las alternativas frente a la precisión módulo 4	33
TABLA 2-11 Evaluación de las alternativas frente a la versatilidad módulo 4	34
TABLA 2-12 Evaluación de las alternativas frente al mantenimiento módulo 4.....	34
TABLA 2-13 Evaluación de las alternativas frente a la fiabilidad módulo 4.....	34
TABLA 2-14 Conclusiones módulo 4	35
TABLA 2-15. Valores de la fuerza específica de corte [38]	38
TABLA 2-16 Densidades de los materiales [40].	40
TABLA 2-17. Coeficiente de rozamiento entre tornillo tuerca [41, p. 404]	42
TABLA 2-18. Diámetros preferidos para roscas ACME [41, p. 396].....	44
TABLA 2-19 Factores de temperatura para rodamientos.....	53
TABLA 2-20 Capacidades de carga de rodamientos [51].....	55
TABLA 2-21 Datos recomendados para el cálculo de velocidades [52].....	60
TABLA 2-22 Datos sugeridos de otras fuentes [53]	61
TABLA 2-23 Avance por diente para materiales [53].....	61
TABLA 2-24 Comparación de datos	62
TABLA 3-1 Calibración de ejes.	64
TABLA 3-2 Velocidades recomendadas para la herramienta de corte.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Vista Isométrica del invento acoplado a una CNC [11].	3
Figura 1.2 Inyección del material abrasivo [14].	4
Figura 1.3 Mecanizado por chorro de agua [15].	4
Figura 1.4 Proceso de corte por plasma [17].	6
Figura 1.5 Corte con plasma (Deformación del material) [18].	6
Figura 1.6 Corte de metal por láser [20].	7
Figura 1.7 Arranque de viruta Router CNC [22].	8
Figura 1.8 Corte por desbaste de material [23].	9
Figura 2.1. Despliegue de la Función de Calidad (QFD).	13
Figura 2.2. Diagrama Funcional, Nivel 0.	15
Figura 2.3. Diagrama Funcional, Nivel 1.	15
Figura 2.4. Diagrama Funcional, Nivel 2 y módulos.	16
Figura 2.5 Módulo 3 del sistema.	24
Figura 2.6 Módulo 4 del sistema.	32
Figura 2.7. Velocidades de avance para fresas de carburo [37].	37
Figura 2.8. Identificación de parámetros para mecanizado [36].	38
Figura 2.9. Masa de los perfiles de aluminio (SolidWorks).	40
Figura 2.10 Sistema de coordenadas y regla de la mano derecha [43].	45
Figura 2.11 Diagrama de cuerpo libre en la guía del eje Y	46
Figura 2.12 Diagrama de cargas y momentos plano XY.	47
Figura 2.13 Momentos máximos obtenidos.	49
Figura 2.14 Momento máximo en B.	49
Figura 2.15 Momento máximo en D.	49
Figura 2.16 Momento máximo en el tramo B-D.	50
Figura 2.17 Gráfica torque velocidad en relación al voltaje aplicado [49].	50
Figura 2.18 Diagrama de cuerpo libre tornillo.	51
Figura 2.19 Diagrama del factor de dureza [51].	53
Figura 2.20 Diagrama del factor de duración de vida [51].	54
Figura 2.21 Condiciones de aplicación de los rodamientos [51].	56
Figura 2.22 Factor de seguridad en las guías eje Y.	56
Figura 2.23 Límite de fluencia del acero plata en Solidworks.	57
Figura 3.1 Calibración eje X	64
Figura 3.2 Calibración eje Z	65
Figura 3.3 Desbaste de material.	65
Figura 3.4 Pruebas de corte de aluminio.	66
Figura 3.5 Corte final de una pieza sencilla “error de 4.33%”	67

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de Ibarra, existen varias empresas y/o talleres, que realizaban trabajos en metal de forma manual, haciendo que sus productos carezcan de precisión, además de que sólo se podían realizar formas básicas en sus diseños.

Hoy en día existen máquinas de Control Numérico Computacional (CNC) capaces de realizar cortes con un alto grado de precisión y capaces de cortar diversos materiales, por ejemplo, una máquina CNC de corte laser tiene una tolerancia de 0.005 in. Y puede cortar aluminio, plástico, nylon, entre otros [1], además, el tiempo empleado es mucho menor que la forma manual, reduciendo los costos de producción [2], por esto las empresas han optado adquirir máquinas semi-automáticas e incluso máquinas de baja calidad y rendimiento a un bajo costo.

Las ventajas de una máquina CNC pueden verse opacadas debido a su alto costo de adquisición [2], los métodos investigados para corte de metal en una CNC pueden ser: Corte por láser [3], corte por chorro de agua [4] y corte por plasma [5]. Se propone construir una máquina CNC para corte de metal por desbaste, de costo reducido, para incrementar la calidad del producto y reducir el tiempo de producción.

Los métodos empleados por las empresas y/o talleres para el corte de piezas metálicas, demandan un elevado tiempo de producción, además de poseer una baja calidad en comparación a las máquinas CNC actuales, las cuales tienen una precisión mucho mayor, pero al mismo tiempo su costo es elevado.

JUSTIFICACIÓN

En la ciudad de Ibarra el corte de piezas mecánicas es una actividad que se ha ganado espacio en la población, debido a las diversas aplicaciones que posee, pero se ha visto limitada a producir piezas de formas básicas sin mucha complejidad y calidad reducida, ya que, las máquinas CNC actuales poseen un alto costo de adquisición, las empresas y/o talleres se han visto obligados a buscar métodos más accesibles pero con menor precisión y calidad.

El propósito de la realización de este proyecto es la de cambiar la matriz productiva de la zona 1, apoyando así a los talleres y/o empresas del mercado local, disminuir el tiempo de producción de piezas mecánicas, aumentar la precisión y calidad del producto, a un costo de adquisición moderado, en comparación con las máquinas CNC del mercado, evitando la importación de este tipo de maquinaria.

OBJETIVOS

A. Objetivo general

Diseñar el sistema mecánico de una máquina CNC para cortes de planchas de aluminio

B. Objetivos específicos

1. Definir la mejor alternativa para el sistema de movimiento de los ejes X, Y, Z.
2. Diseñar la estructura de la máquina CNC.
3. Seleccionar los materiales adecuados para la construcción mecánica y electrónica de la máquina.
4. Realizar pruebas de funcionamiento del sistema mecánico acoplado con el sistema electrónico, para corte de planchas metálicas.

ALCANCE

La máquina CNC será capaz de realizar cortes en aluminio de hasta 5mm de espesor, con dimensiones máximas de 80x80cm. El sistema contará con finales de carrera para el sistema de movimiento como una protección, además de un botón de paro de emergencia para situaciones imprevistas.

El controlador propuesto para el proyecto será una tarjeta electrónica con hardware y software específico para máquinas CNC, además estará basado en software libre. Constará de una HMI fácil de manejar, que permita el control manual de la posición de los ejes X,Y, Z para poder configurar el cero pieza.

Se incluirá un manual de funcionamiento de la máquina, con todos los parámetros necesarios para su funcionamiento y las velocidades para corte del material.

CAPÍTULO 1 MARCO REFERENCIAL

1.1 Investigaciones Actuales

Debido al término últimamente usado en las grandes empresas “Industria 4.0” se están realizando varios estudios e investigaciones en la industria manufacturera, como es el caso de la empresa Sandvik, reconocido como el mayor fabricante de herramientas de corte, presenta las metas a futuro que tienen para reducir lo más posible los desechos “ya que es el verdadero conductor de la Industria 4.0” y pone como objetivo el reducir los gases de efecto invernadero en 16.5% de la producción global, reduciendo desechos, desperdicios en herramientas de máquina y su movimiento, presenta una alternativa de tener una datos de corte de 20 000 materiales dentro de una CNC para que cuando el usuario decida realizar en un trabajo solo escoja el material a mecanizar y le proporcione todos los datos necesarios para el proceso, así, se logra evitar fallos en la mala selección de herramientas y en las características esenciales del proceso. Además de crear una base de datos ISO para crear herramientas reduciendo así el tiempo de mecanizado estimado por la empresa de 15 minutos a 2 minutos siempre que tenga la información en la base de datos del catálogo de herramientas [6].

Las investigaciones realizadas actualmente para la industria manufacturera son sencillamente a la mejora de las máquinas CNC ya creadas sin cambiar su transmisión de movimiento y su aspecto, en su lugar cambiando su tecnología y haciéndolas de fácil acceso y manejo para los usuarios, además de estar interesados en sumarse al internet de las cosas, en donde el usuario podrá controlar la máquina desde cualquier lugar, adquiriendo datos en tiempo real de todo el proceso productivo “Industria 4.0”.

Las investigaciones actuales se basan en los errores de comunicación entre máquinas ya que en estos momentos pueden ser muy costosos y detener una línea de producción perjudicando gravemente la economía de la empresa, por ello se requiere es mayor investigación y fiabilidad con los proveedores de software de las máquinas para que estos problemas puedan solucionarse lo antes posible y no aporten una pérdida significativa al desarrollo de la empresa [7].

1.2 Desarrollo Actual

Los desarrollos actuales de la industria manufacturera se encaminan a la Industria 4.0 ya que las plantas de fabricación de las empresas están cambiando paulatinamente e interconectándose al mundo digital, actualmente las máquinas CNC son mucho más complejas que hace algunos años y siempre están conectadas a sistemas de automatización y monitorización, dando así la capacidad de dar un mantenimiento predictivo por medio de sensores en los diferentes sistemas de la planta, reduciendo los paros inesperados de la máquina y de toda la línea de producción. También se ha logrado entrar en la rama de la manufactura flexible ya que ahora la demanda de piezas cambiantes y piezas personalizadas para clientes tienen que satisfacerse, es por ello que la demanda de máquinas CNC de 5 ejes son abundantes en la industria ya que permiten realizar piezas muy complejas como es el caso de la industria aeronáutica [7].

La visión artificial tiene gran importancia en los sistemas de control por computadora ya que proporciona la posibilidad de un control de calidad óptimo para las piezas mecanizadas, así como también controla los movimientos de la máquina, cuando la operación que se puede realizar dentro de un mecanizado, es riesgosa o no cumple con los requerimientos necesarios para el proceso, por ejemplo la interferencia de rebabas dentro del mecanizado, las dimensiones del material a mecanizar no son suficientes para que se ejecute el proceso, también controla la detección de formas dentro de una pieza y puede calcular las dimensiones necesarias de un mecanizado que no cumpla con la calidad requerida como se observa en [8] [9], mejorando así la producción de piezas más precisas para un proceso que necesite de la mayor fiabilidad posible, teniendo así tolerancias de falla de material en algunos casos con máquinas sumamente precisas de +/- 1 micra, en [10] se observa el uso procesamiento de imágenes y mediciones de piezas más complejas y a una mayor velocidad, reduciendo así el tiempo de procesamiento que en general un humano podría demorar.

1.3 Patentes Existentes

A CNC milling, router or laser shield that contains and removes dust, debris and fumes. Es una patente de una protección para CNC en donde los cepillos laterales protegen a la máquina y al usuario de polvo, viruta y presenta un extractor de gases proporcionados por una máquina

CNC dependiendo del proceso de corte (Laser, Fresado, Ruteado), contienen una bolsa de fácil acceso en donde guarda toda la basura generada por una CNC en la Figura 0.1 se observa el acople de la protección para desechos en una CNC [11].

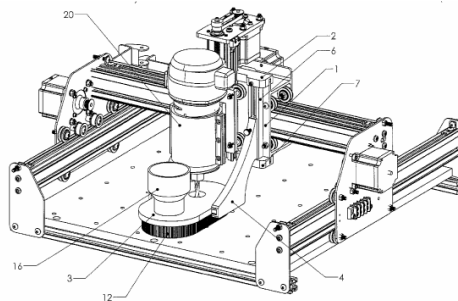


Figura 0.1 Vista Isométrica del invento acoplado a una CNC [11].

Multiple system numerical control device. Es una patente de la empresa Fanuc, es dispositivo de control de sistemas múltiples para dividir varios ejes y ser controlados por varios sistemas y controlar cada sistema en diferentes programas de maquinado en paralelo [12].

Laser device capable of using small-sized chiller. Es una patente de la empresa Fanuc que presenta un sistema que calcula la temperatura máxima que alcanza el refrigerante o un componente del sistema, tiene como objetivo dar una advertencia cuando la temperatura máxima que alcanza el sistema excede a la temperatura máxima permitida, antes de comenzar el mecanizado con láser [13].

En la actualidad las patentes registradas por cada empresa ya no poseen un diseño de la máquina CNC si no solamente de la arquitectura de control, es decir, patentan sus investigaciones en software y las implementan en CNC con diseños definidos.

1.4 Métodos utilizados para cortes en metal

1.4.1 Corte por chorro de agua

El corte por chorro de agua consiste en un proceso donde se utiliza un delgado pero potente chorro de agua para poder realizar cortes en diferentes materiales, para poder cortar materiales

duros como el acero o el titanio este chorro es combinado con algún material abrasivo como se observa en la Figura 0.2, que produce una micro-erosión en el material produciendo el corte, en el caso de materiales blandos como el plástico solo se emplea agua que circula por una boquilla de diámetro reducido dándole la energía y velocidad necesarias para realizar el corte, los diámetros utilizados en este método varían de 0,1 a 0,4 mm a una presión de hasta 400MPa (Dependiendo del material a cortar) y el chorro de agua alcanza velocidades de hasta 900m/s [14].

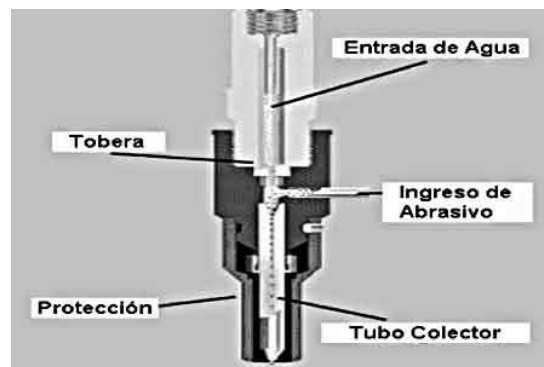


Figura 0.2 Inyección del material abrasivo [14].

Aplicaciones

Son utilizados en la Industria aeroespacial en el mecanizado de materiales sumamente resistentes como las aleaciones de aluminio de alta resistencia, este método también es usado en la limpieza de los cascos de los barcos. Como se observa en la Figura 0.3 en la Industria del mecanizado se usa para realizar piezas de todo tipo de formas y en cualquier aplicación [14].



Figura 0.3 Mecanizado por chorro de agua [15].

Ventajas

- El corte realizado por este método es en frío, es decir, el calor no afecta al material deformándolo.
- Puede cortar cualquier tipo de material, dependiendo de su dureza el corte puede ser solo con agua o si el material es muy duro se puede añadir materiales abrasivos al chorro de agua para facilitar el corte.
- Ahorro del material, debido al bajo diámetro de la boquilla utilizada para el corte se puede minimizar los desperdicios de material dentro de una empresa [14].

Desventajas

- La principal desventaja de este método radica en los materiales de grandes espesores a mecanizar, ya que se incrementa de manera significativa el tiempo de mecanizado y por ende se incrementa los costos.
- Para los materiales con grandes espesores, la forma del mecanizado puede distorsionarse y aún más si existen fallos en los cálculos de la velocidad de avance en el corte [14].
- Los costos tanto de adquisición, fabricación y mecanizado por este método son realmente elevados ya que son utilizados en empresas que realmente requieren precisión y fiabilidad en el corte del material.

1.4.2 Corte por plasma

Es un proceso que se encarga de separar el metal empleando un chorro de alta velocidad de gas ionizado que al mismo tiempo elimina el material derretido, en este proceso la temperatura del plasma puede alcanzar entre los 10 000 y 14 000 °C. La velocidad y la intensidad del gas dependen de: tipo de gas, presión, corriente eléctrica, el orificio de perforación y la distancia respecto a la pieza a ser cortada, en la Figura 0.4 se puede observar el proceso de corte de una CNC plasma [16].



Figura 0.4 Proceso de corte por plasma [17].

Este tipo de proceso es usado en cualquier tipo de corte de cualquier material metálico conductor, no es usado en otros materiales debido a las altas temperaturas que necesita para cortar la pieza y a la deformación que sufre el material al ser cortado por este método como se observa en la Figura 0.5, pero permite realizar cortes a altas velocidades y elimina los tiempos de paro de la máquina, ya que no requiere un tiempo para precalentarse, permite diámetros de corte de 0.5 a 160mm dependiendo de la capacidad de la máquina para realizar el corte [16].



Figura 0.5 Corte con plasma (Deformación del material) [18].

Ventajas

- La fuerza necesaria para mover el soplete y mantener la pieza de trabajo en su lugar es muy baja en comparación a otras máquinas de corte que si tienen contacto directo con la pieza.
- Opera a un sistema energético muy elevado, lo que permite las altas velocidades de corte del material.

- Presenta la habilidad de cortar inmediatamente es activado sin necesidad de precalentamiento, lo que resulta beneficioso en cuanto a tiempos de corte del material, en especial cuando se necesita realizar un paro en medio del proceso [16].

Desventajas

- Presenta peligros en el proceso de corte como son: incendios, gases tóxicos, y niveles de ruido durante el proceso.
- Es un proceso de difícil control y calibración para piezas de tolerancias estrechas que necesitan la mayor precisión disponible del proceso, en especial debido a la deformación del material por el calor generado.
- Es costoso debido a que requiere una relevante cantidad de energía eléctrica usada durante todo el proceso de corte [16].

1.4.3 Corte por láser

Este método consiste en la focalización del haz láser con un diámetro determinado en un punto del material que se desea cortar, para q este se derrita y se evapore completando el proceso de corte observado en la Figura 0.6. La aplicación más común de este proceso es la de corte de metales, pero también se lo puede usar para otro tipo de materiales como es el caso de vidrio, plásticos, cauchos, entre otros, que son aptos para el corte por láser. Para aplicaciones con metales debe tomarse en cuenta la calidad del material o si el material presente algún tipo de recubrimiento, ya que, si este es el caso la potencia necesaria para cortar un metal deformaría el recubrimiento del material y afectaría en la calidad del producto final [19].



Figura 0.6 Corte de metal por láser [20].

Ventajas

- El diámetro del punto generado por el láser es sumamente reducido, dándole la posibilidad a la máquina de realizar cortes con diámetros similares al punto generado por el haz de láser o incluso ligeramente mayores que el mismo.
- No presenta contacto mecánico con la pieza de trabajo, lo que hace que la fuerza necesaria para mover los ejes de trabajo sea mucho menor.
- Presenta gran posibilidad de comunicación con varios sistemas de control de calidad, así como dispositivos de monitorización online del proceso o de la máquina en sí [19].

Desventajas

- La mayor desventaja de este proceso es el espesor máximo disponible para el corte ya que a diferencia de los otros métodos antes vistos, este método solo puede usarse para espesores menores en la pieza de trabajo.
- El costo de adquisición, fabricación, o corte es elevado, esta tecnología es relativamente cara por el hecho de usar un haz láser capaz de generar energía suficiente para derretir el material [19].

1.4.4 Corte por desbaste de material (Router CNC).

Este proceso consiste en el maquinado por arranque de viruta, en donde la herramienta (Fresa) separa el material de la pieza de trabajo como se observa en la Figura 0.7, es un proceso realizado por un máquina computarizada que permite realizar cortes en maderas, metales, plásticos, entre otros, dependiendo en sí de potencia de la máquina para el proceso y el tipo de herramienta usada para el corte [21].



Figura 0.7 Arranque de viruta Router CNC [22].

Ventajas

- En la Figura 0.8 se puede observar que presenta gran precisión y calidad en las piezas cortadas, es utilizada para trabajos en serie en las empresas que necesitan ensambles precisos.
- La velocidad de corte es muy buena, mejorando el proceso de producción dentro de una empresa.
- Capacidad de cortar gran variedad de materiales
- Reduce los costos de producción al reducir tiempo de corte de un material en una planta que funcionaba con procesos manuales.
- El costo de adquisición, corte o fabricación es relativamente muy bajo comparado con los otros procesos usados para cortar material [21].



Figura 0.8 Corte por desbaste de material [23].

Desventajas

- Existe mucho desperdicio de material con relación a otros procesos, ya que el diámetro de corte depende de la herramienta usada para el mismo.
- Se debe realizar paros en el proceso por motivo de cambios de herramientas en cada ciclo de corte de la pieza de trabajo [21].

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1 Despliegue de la función de calidad (QFD).

Es un método utilizado para la planificación de la calidad de un producto seleccionado, durante todo su ciclo de vida, en este método se asegura la voz del usuario como participante principal adaptando sus necesidades a requerimientos medibles que aportaran en la selección de materiales que satisfagan características principales del producto [24].

El primer paso para desarrollar la casa de la calidad (QFD) es conocer los requerimientos principales del usuario, que se los puede obtener conversando directamente, después esos requerimientos se los transforma en la voz del ingeniero, es decir, adaptando las necesidades del usuario a requerimientos técnicos medibles, para finalmente ser evaluados ponderando los requerimientos más relevantes, obteniendo así el modelo final que se acopla a las necesidades del usuario [24].

2.1.1 Fijación del objetivo

¿Qué características debe reunir una máquina CNC para corte de metal?

2.1.2 Voz del usuario

Después de conocer las necesidades básicas y específicas del usuario los resultados se plasman y se clasifican dando prioridad a las características principales de la máquina, es decir, lo que la máquina debe tener obligatoriamente [24].

- Que no falle en las medidas. (5) [Desempeño]
- Que sea capaz de cortar planchas de aluminio. (5) [Usabilidad]
- Que el posicionamiento del cero pieza sea sencillo. (3) [Usabilidad]
- Que sea de bajo costo. (4) [Deseable]
- Que no se choque la torre con la estructura. (5) [Desempeño]
- Que el corte sea rápido. (3) [Desempeño]
- Que use software y hardware libre. (3) [Deseable]

- Que sea segura. (4). [Desempeño]
- Que sea de fácil operación. (4) [Usabilidad]
- Que sea fácil de construir. (2) [Deseable]
- Que sea de fácil mantenimiento. (3) [Desempeño]

Al tener las especificaciones del usuario, se realiza una ponderación de 0-5 los requerimientos del mismo, según su importancia, además se clasifica las características del producto en 3 grupos (Usabilidad, Desempeño y Deseable). Las características de usabilidad son aquellas que mejoran la interacción del usuario con el operario. Las características de desempeño, son aquellas que permiten que la máquina cumpla su objetivo principal. Y las características deseables, son aquellas que no influyen en el desempeño total de máquina pero que generan un sentimiento de satisfacción en el usuario, y en el caso que no se cumplan no generan insatisfacción por parte del desempeño del producto [24].

Una vez ponderadas las características principales de la máquina se convierte a datos medibles con criterios de ingeniería.

2.1.3 Voz del ingeniero

- Precisión [mm].
- Potencia de motor husillo [W].
- Tiempo de encerar la máquina [s]
- Selección de materiales [USD].
- Tiempo de respuesta de protecciones. [s].
- Tiempo de corte [s].
- Valor de adquisición del controlador. [USD]
- Porcentaje de falla. [%]
- Comunicación bidireccional (HMI). [capacitación del operario].
- Planos de construcción detallados.
- Piezas estandarizadas, disponibles [uniones y partes funcionales]
en el mercado local.

Al terminar de transformar los requerimientos de la voz del usuario a la voz del ingeniero se procede a ubicarlos en la matriz del QFD.

Una vez puesto los requerimientos tanto del usuario como del ingeniero en la matriz QFD vistos en la Figura 0.1, se procede a ubicar los pesos que tiene cada requerimiento, se analiza la relación que tiene con los demás requerimientos y se realiza una valoración de cada uno, tomando en cuenta el producto a realizar y los productos existentes en el mercado [24].

2.1.4 Diagrama de la funcion de calidad (QFD).

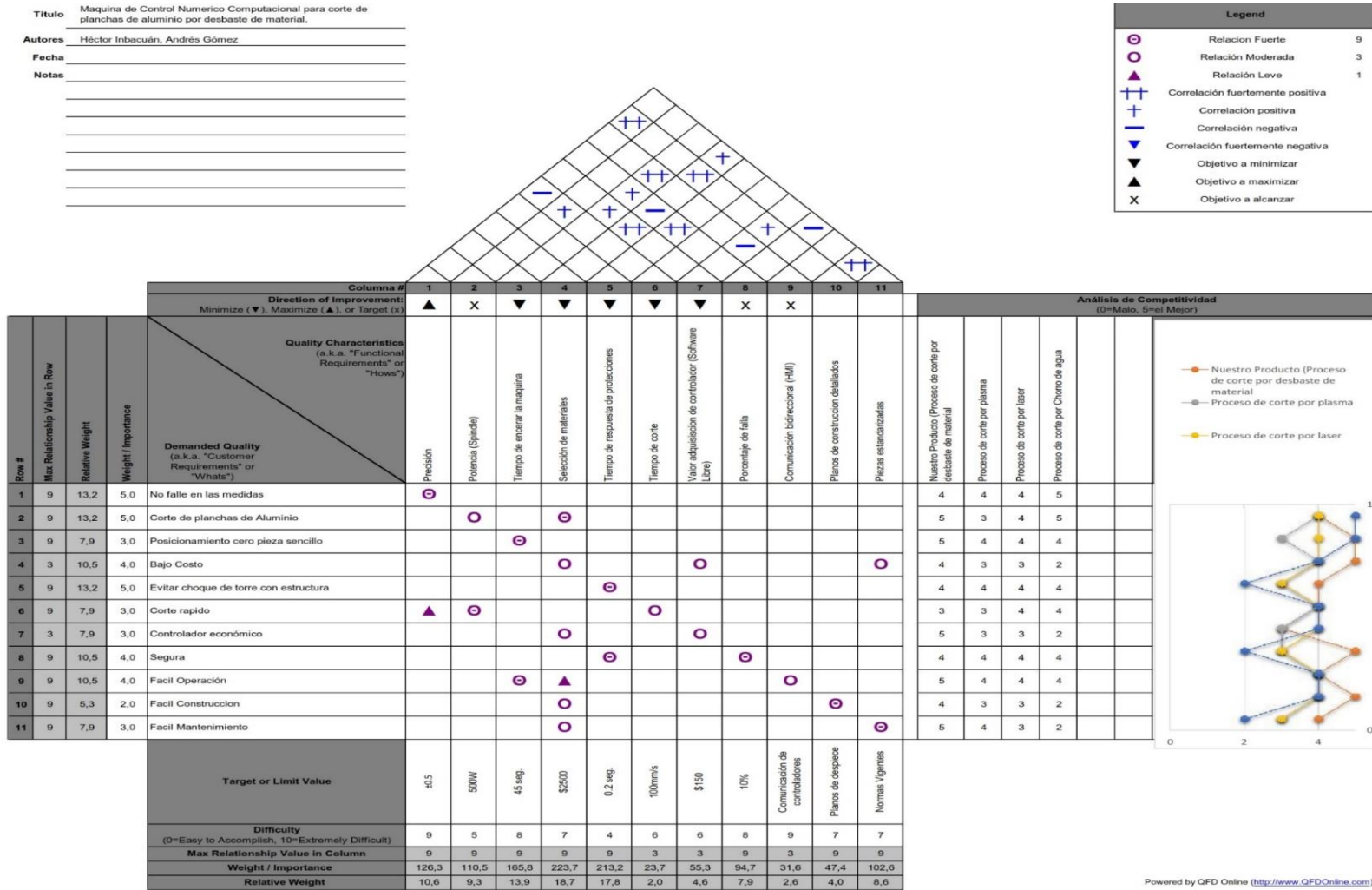


Figura 0.1. Despliegue de la Función de Calidad (QFD).

En la parte inferior de la matriz, se establecen los objetivos a cumplir y la dificultad que poseen para ser alcanzados.

2.1.5 Conclusiones de la casa de calidad (QFD).

Como resultado del QFD se muestra el nivel de importancia de cada requerimiento presentado, se debe tener presente los requerimiento de mayor peso ya que estos son incondicionales para el desarrollo de la máquina [24].

Los requerimientos con mayor porcentaje de importancia según la matriz QFD analizada son:

- Selección de materiales (Bajo costo) con un porcentaje del 18,7%.
- Respuesta de las Protecciones (Evitar choque de torre con la estructura) con un 17,8%.
- Tiempo de encerar la máquina (Posicionamiento de cero pieza sencillo) con un 13,9%.

El diseño y construcción de la máquina debe basarse en estos 3 requerimientos ya que son los principales para el desarrollo de la misma.

2.1.6 Análisis Funcional.

El análisis funcional, es una técnica propuesta por el ingeniero estadounidense Lawrence D. Miles, cuyo objetivo es separar la acción que presenta el componente o requerimiento, para de este modo analizar nuevas soluciones a un mismo problema. Este método permite obtener mejores productos a un costo reducido [25].

Se procede a definir cuáles son las funciones primarias y secundarias a las que está regida la máquina, tomando en cuenta que las funciones primarias, son aquellas que permiten que el producto cumpla el objetivo y las secundarias, son las que permiten cumplir el objetivo de una forma más satisfactoria. La función primaria de la máquina es el corte de planchas de aluminio por control numérico computacional.

2.1.7 Desarrollo de los diagramas funcionales

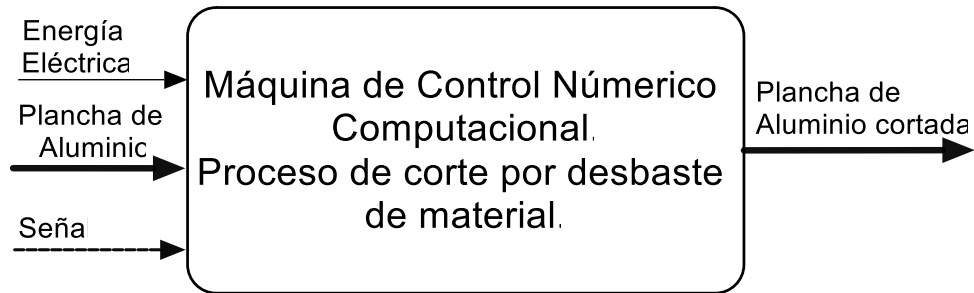


Figura 0.2. Diagrama Funcional, Nivel 0.

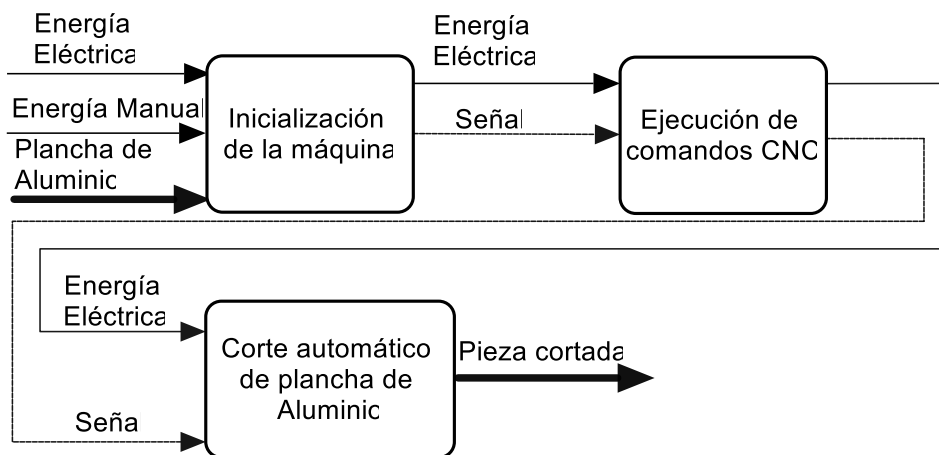


Figura 0.3. Diagrama Funcional, Nivel 1.

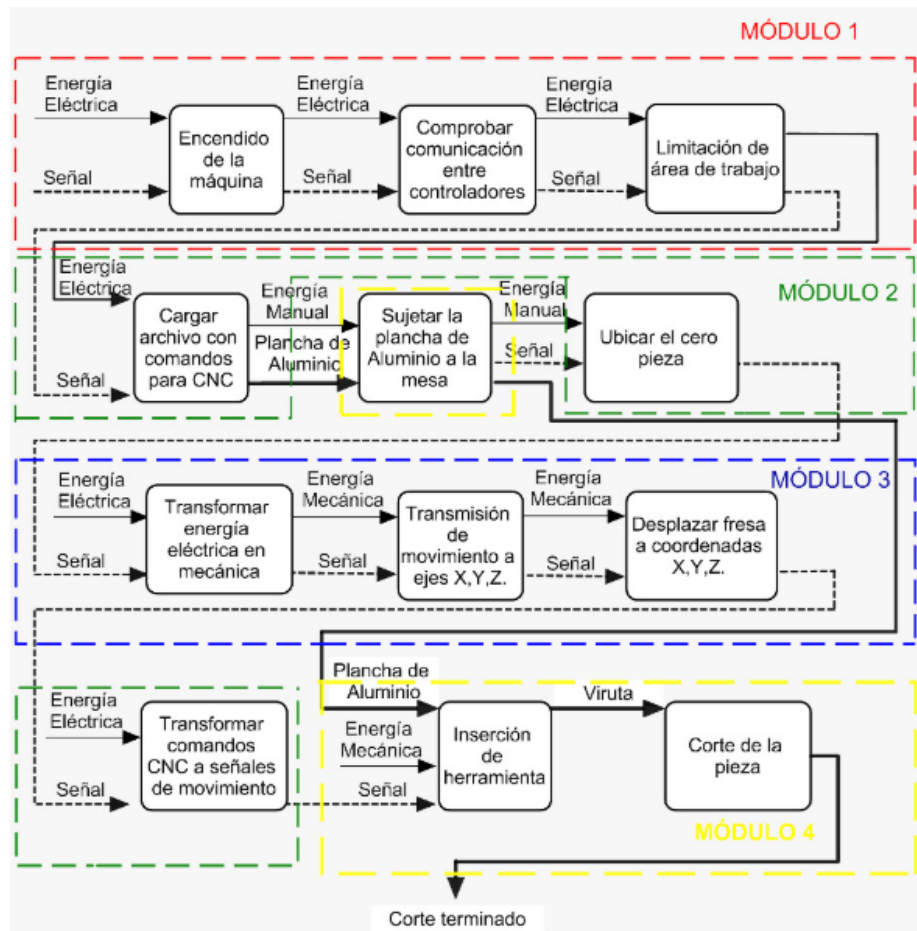


Figura 0.4. Diagrama Funcional, Nivel 2 y módulos.

2.1.8 Análisis de los diagramas funcionales.

En la Figura 0.2, se presenta la función primaria, que en este caso es la de realizar corte de planchas de aluminio, para lo cual es necesario de energía, material y señales enviadas por un controlador.

En la Figura 0.3, se puede diferenciar un diagrama más específico de los procesos que se deben ejecutar para obtener el corte en de la plancha de aluminio. En la Figura 0.4, se muestran las funciones detalladas, que proporcionan datos necesarios para el desarrollo de la máquina, se puede observar que la máquina no puede resolver todo el proceso por sí sola y necesita del factor humano para realizar ciertos procesos como la sujeción de la pieza.

2.1.9 Solución de los módulos.

Para establecer los módulos de selección se analiza el diagrama funcional nivel 2 en la Figura 0.4 separando la parte mecánica de la electrónica y control.

Estas subdivisiones por módulos permiten analizar cada requerimiento que necesita la máquina para su desarrollo y que pueda cumplir su objetivo principal.

2.2 Conceptualización.

En este trabajo se analiza los módulos que comprenden la parte mecánica de la máquina, así como sus posibles alternativas para la selección de materiales.

2.2.1 Matriz Morfológica

MÓDULO 3

El módulo 3 cumple con las funciones de la transformación de la energía eléctrica y la transmisión de potencia de los motores a los sistemas de movimiento lineal, así como el movimiento necesario para desplazar la fresa a las coordenadas especificadas, es necesario seleccionar un diagrama ideal para cumplir con todas las funciones correctamente.

- Transformar energía eléctrica en mecánica
- Transmisión de movimientos de ejes
- Desplazar fresa a coordenadas

Transformar energía eléctrica en mecánica

En esta función transformaremos la energía eléctrica que entra al sistema en energía mecánica por base de motores en donde tendremos un movimiento circular y un torque para poder realizar el desplazamiento en las coordenadas X, Y, Z.

A. Servomotores de rotación continua.

Un servomotor son motores controlados por PWM en donde podemos controlar la velocidad de rotación del motor así como la posición en la que se requiere que este permanezca fijo a base de tiempo de rotación, poseen un circuito interno de control y proporcionan un muy buen par motor [26].

Ventajas

- Tienen un par motor excelente para máquinas CNC
- Se controlan por software y un controlador a base de PWM
- Pueden ser de corriente alterna (AC) o corriente continua (DC).
- Tienen un mecanismo reductor integrado que aumenta el par motor.
- Fácil funcionamiento y operación

Desventajas

- El precio de estos motores es muy elevado
- Puede ser controlado por software libre pero el controlador tiene un precio elevado y ocupa gran espacio
- Se requiere hacer pruebas de funcionamiento en base al tiempo para poder calibrar la posición.
- No tiene bases para controlarse con Marlin de Arduino.

B. Motores DC (Reductores)

Son motores de corriente continua que poseen un mecanismo de engranes para reducir la velocidad de un motor DC normal y transformar esa reducción de velocidad en par motor, se pueden controlar por PWM para poder variar su velocidad [27] [28].

Ventajas

- Poseen buen par motor de acuerdo a las especificaciones técnicas de la máquina.
- Poseen controladores sencillos y de fácil acceso para el usuario.
- Se puede variar la velocidad usando PWM.

Desventajas

- Requiere programación desde cero en Arduino.
- No poseen buena precisión.
- Es complicado mantenerlos fijos en una sola posición.
- Necesitan ventilación ya que se recalientan muy rápido.

C. Motores paso a paso

Son motores característicos por su alto par motor y su precisión ya que convierte una serie de impulsos eléctricos en movimiento circular por medio de pasos o de medio paso dependiendo del controlador se puede controlar el número de grados de rotación del mismo al igual que su velocidad al limitar la corriente [29] [30].

Ventajas

- Excelente par motor.
- Alta precisión para trabajos en CNC.
- Controladores accesibles al usuario.
- Compatibilidad con Marlin de Arduino.
- Fácil accionamiento y control de los mismos.
- Se puede controlar su posición haciendo una relación con el número de pasos del motor.
- Costos accesibles.

Desventajas

- Si no se controla correctamente puede ocurrir un fenómeno de resonancia.
- Es difícil controlar a altas velocidades.

Transmisión de movimiento a ejes X, Y, Z

En esta función se analiza el sistema de transmisión de movimiento circular del motor a un movimiento lineal, para ello se analizara los diferentes sistemas de transmisión usados para máquinas CNC.

A. Sistema de transmisión Piñón-cremallera

Es un sistema de transmisión de movimiento que usa una banda dentada para la sujeción de Piñón mientras la banda se mueve linealmente dependiendo de la rotación del motor [31].

Ventajas

- Gran sincronismo de marcha.
- Alta eficiencia 98%.
- Pueden ser abiertas o sin fin.
- Cubren una gran gama de pasos y anchos dependiendo del Piñón.
- Gran resistencia a altas temperaturas y al contacto con aceites y derivados del petróleo.

Desventajas

- Alto costo de fabricación.
- No existe fábricas en el país.
- Se deben diseñar desde cero al no existir disponibilidad.
- Vida útil de la correa relativamente baja.

B. Tornillo de potencia

Es una parte de la mesa de coordenadas estos son diseñados para transformar movimiento circular a lineal para que sea capaz de mover algún elemento de la máquina a lo largo de una trayectoria deseada. Podría decirse que es un tornillo sin cabeza [32].

Ventajas

- Bajo costo de adquisición.
- Disponibilidad en el país.
- Pasos variables de acuerdo a las especificaciones del usuario.
- Transmisión de movimiento aceptable.
- Eficiencia del tornillo de 80%.
- Estructura sencilla.

Desventajas

- Se requiere más torque para mover un objeto encima de el
- Bajo coeficiente de rendimiento
- Rozamiento alto y con el consiguiente desgaste

C. Tornillo de bolas

El principio de funcionamiento del tornillo de bolas es similar al del tornillo de potencia, con la diferencia de que el contacto entre tuerca y tornillo es a través de elementos rodantes en lugar del contacto directo [33].

Ventajas

- Puede emplearse en motores con pares de arranque pequeños.
- Posee una eficiencia elevada.
- Facilidad y precisión en el posicionamiento.
- Facilidad de precargado sin aumento sensible del rozamiento.

Desventajas

- Requieren una buena lubricación.
- Es necesario instalar un freno externo, cuando el sistema está colocado en posición vertical, debido a la alta eficiencia, la carga tiende a bajar por sí sola.
- La entrada de elementos abrasivos puede reducir la vida del husillo.
- En las mismas condiciones de carga que en un tornillo de potencia, presenta una menor rigidez.

Desplazar la fresa a las coordenadas X, Y, Z

En esta función se analiza el movimiento de la mesa o de la torre en el eje Y ante las coordenadas a seguir para mecanizar la pieza, es necesario verificar cual es la mejor opción para la máquina CNC y poder obtener los resultados más óptimos en este sistema de movimiento.

A. Movimiento en el eje Y de la mesa

El sistema de movimiento de la mesa conlleva a tener el sistema de transmisión de movimiento designado junto con dos guías separadas a cierta distancia del sistema para soportar el peso de la pieza a mecanizar, toda la mesa se moverá en el eje Y mientras la torre se moverá en el eje X y Z.

Ventajas

- Sistema usado en máquinas de gama media
- Evita el uso de mecanismos de movimiento aparte para mover la estructura
- Buen posicionamiento y se puede evitar el descarrilamiento.

Desventajas

- Se necesita un par motor más elevado ya que la mesa tiene dimensiones grandes.

- Todo el esfuerzo cortante recae en las guías las cuales deben ser diseñadas apropiadamente.

B. Movimiento en el eje Y de la torre

El sistema de movimiento de la torre en el eje Y conlleva a colocar un sistema de rieles lubricados apropiadamente para que toda la torre se pueda desplazar correctamente, por otro lado tendríamos en movimiento combinado de ejes X, Y, Z en una sola estructura y puede ser un poco complicado calibrarla correctamente.

Ventajas

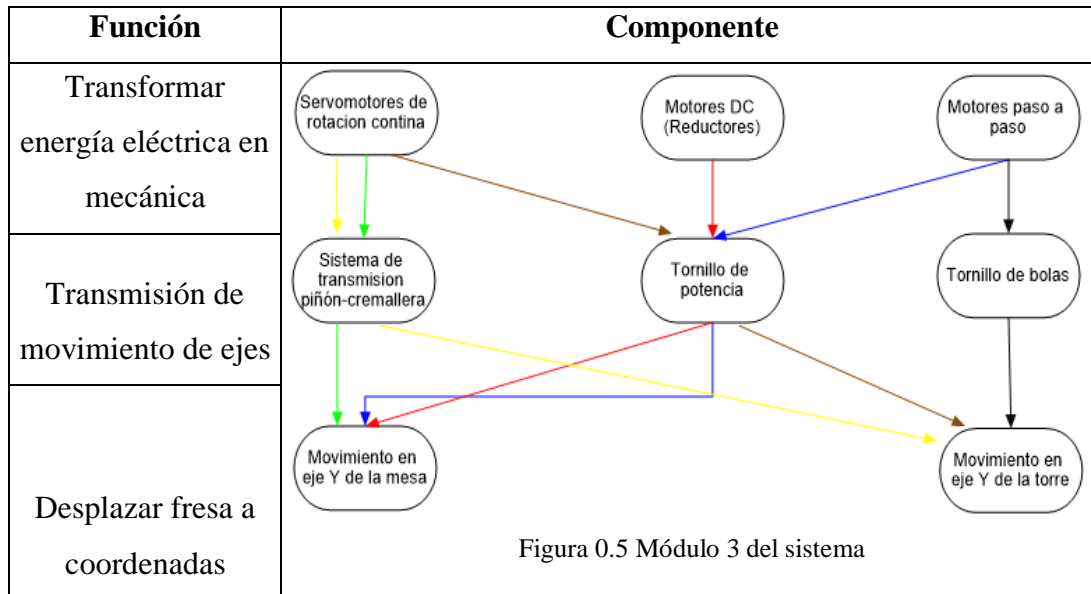
- Requiere un par motor más pequeño ya que la torre no es tan pesada como la mesa.
- Reduce las dimensiones máximas de la máquina.

Desventajas

- El uso de rieles extras complican el mantenimiento.
- Se debe tener una buena lubricación para que no se quede en los rieles.
- Corre el riesgo de en algún momento descarrilarse de los rieles.
- El movimiento combinado de la torre la hacen difícil de calibrar.

En la Figura 0.5, se puede observar la matriz morfológica del módulo 3, con sus respectivas rutas o alternativas para ser analizadas mediante criterios de ponderación, así, poder elegir la mejor opción para la solución del proyecto.

Combinación de las soluciones del módulo 3



- **(Azul) Alternativa 3.1.-** Sistema con motores paso a paso, sistema de transmisión de movimiento con tornillo de potencia, movimiento de la mesa en la coordenada Y.
- **(Roja) Alternativa 3.2.-** Sistema con motores reductores, sistema de transmisión de movimiento con tornillo de potencia, movimiento de la mesa en la coordenada Y.
- **(Negra) Alternativa 3.3.-** Sistema con motores paso a paso, sistema de transmisión de movimiento con tornillo de bolas, movimiento de la torre en la coordenada Y.
- **(Amarilla) Alternativa 3.4.-** Sistema con servomotores de rotación continua, sistemas de transmisión de movimiento con piñón cremallera, movimiento de la torre en la coordenada Y.
- **(Café) Alternativa 3.5.-** Sistema con servomotores de rotación continúa, sistema de transmisión de movimiento por tornillo de potencia, movimiento de la torre en la coordenada Y.

Evaluación del módulo 3

Para encontrar las soluciones óptimas para la máquina se procede a aplicar el método de criterios ponderados. Los criterios de evaluación para cada alternativa serán:

- **Costo:** En vista de que esta máquina será destinada a pequeñas empresas no industrialmente el costo debe ser reducido y de fácil adquisición.

- **Precisión:** Debido a que la máquina realizara corte de piezas metálicas necesitamos tener una precisión buena en las dimensiones de la pieza final mecanizada.
- **Versatilidad y/o disponibilidad:** Debido a que las pequeñas empresas no realizan importaciones grandes, las piezas deben ser de fácil acceso al operario.
- **Mantenimiento:** La máquina deber ser de fácil mantenimiento y cambio de piezas ya que es para empresas pequeñas y no disponen de las herramientas necesarias para realizar un mantenimiento preciso y complicado.
- **Alta fiabilidad:** Un proceso de mecanizado será automático por ello no debe existir paros innecesarios en el proceso.

TABLA 0-1. Evaluación de cada criterio para la solución del módulo 3

Criterio	Costo	Precisión	Versatilidad	Fiabilidad	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0,5	1	0,5	1	4	0,2667
Precisión	0,5		1	0,5	1	4	0,2667
Versatilidad	0	0		0	0,5	1,5	0,1000
Fiabilidad	0,5	0,5	1		0,5	3,5	0,2333
Mantenimiento	0	0	0,5	0,5		2	0,1333
					Suma	15	1

Costo = Precisión > Fiabilidad > Mantenimiento > Versatilidad

TABLA 0-2. Evaluación de las alternativas frente al costo

Costo	A 3.1.	A 3.2.	A 3.3.	A 3.4.	A 3.5.	$\Sigma+1$	Ponderación
A 3.1.		0,5	1	1	1	4,5	0,30
A 3.2.	0,5		1	1	0,5	4	0,27
A 3.3.	0	0		0,5	0,5	2	0,13
A 3.4.	0	0	0,5		0	1,5	0,10
A 3.5.	0	0,5	0,5	1		3	0,20
						15	1

A3.1 > A3.2 > A3.5 > A3.3 > A3.4

TABLA 0-3. Evaluación de las alternativas frente a la precisión

Precisión	A 3.1.	A 3.2.	A 3.3.	A 3.4.	A 3.5.	$\Sigma+1$	Ponderación
A 3.1.		1	0,5	0	0,5	3	0,20
A 3.2.	0		0	0	0,5	1,5	0,10
A 3.3.	0,5	1		1	0,5	4	0,27
A 3.4.	1	1	0		1	4	0,27
A 3.5.	0,5	0,5	0,5	0		2,5	0,17
						15	1

$$\mathbf{A3.3 = A3.4 > A3.1 > A3.5 > A3.2}$$

TABLA 0-4. Evaluación de las alternativas frente a la versatilidad y/o disponibilidad

Versatilidad y o disponibilidad	A 3.1.	A 3.2.	A 3.3.	A 3.4.	A 3.5.	$\Sigma+1$	Ponderación
A 3.1.		1	1	1	1	5	0,33
A 3.2.	0		0,5	1	0,5	3	0,20
A 3.3.	0	0,5		0,5	0	2	0,13
A 3.4.	0	0	0,5		0	1,5	0,10
A 3.5.	0	0,5	1	1		3,5	0,23
						15	1

$$\mathbf{A3.3 = A3.4 > A3.1 > A3.5 > A3.2}$$

TABLA 0-5. Evaluación de las alternativas frente a la Fiabilidad

Fiabilidad	A 3.1.	A 3.2.	A 3.3.	A 3.4.	A 3.5.	$\Sigma+1$	Ponderación
A 3.1.		1	0,5	1	0	3,5	0,23
A 3.2.	0		0	0,5	0,5	2	0,13
A 3.3.	0,5	1		0,5	0,5	3,5	0,23
A 3.4.	0	0,5	0,5		0,5	2,5	0,17
A 3.5.	1	0,5	0,5	0,5		3,5	0,23
						15	1

$$\mathbf{A3.1 = A3.3 = A3.5 > A3.4 > A3.2}$$

TABLA 0-6. Evaluación de las alternativas frente al Mantenimiento

Mantenimiento	A 3.1.	A 3.2.	A 3.3.	A 3.4.	A 3.5.	$\Sigma+1$	Ponderación
A 3.1.		1	1	1	0,5	4,5	0,30
A 3.2.	0		0,5	0,5	0	2	0,13
A 3.3.	0	0,5		0,5	0	2	0,13
A 3.4.	0	0,5	0,5		0	2	0,13
A 3.5.	0,5	1	1	1		4,5	0,30
						15	1

$$A3.1 = A3.5 > A3.2 = A3.3 = A3.4$$

TABLA 0-7. Conclusiones del Módulo 3

Resultados	Costo	Precisión	Versatilidad	Fiabilidad	Mantenimiento	Σ	Prioridad
A 3.1.	0,30x0,27	0,20x0,27	0,33x0,10	0,23x0,23	0,30x0,14	0,27	1
A 3.2.	0,27x0,27	0,1x0,27	0,20x0,10	0,13x0,23	0,13x0,14	0,17	4
A 3.3.	0,13x0,27	0,27x0,27	0,13x0,10	0,23x0,23	0,13x0,14	0,18	3
A 3.4.	0,1x0,27	0,27x0,27	0,10x0,10	0,17x0,23	0,13x0,14	0,16	5
A 3.5.	0,2x0,27	0,17x0,27	0,23x0,10	0,23x0,23	0,30x0,14	0,22	2

De la TABLA 0-7 se tiene que la alternativa 3.1. del módulo 3 es la más óptima según los criterios establecidos en la ponderación.

La alternativa 3.1. contiene los siguientes resultados de selección:

- **Motores:** Paso a paso
- **Sistema de transmisión de movimiento (transmisión de potencia):** Tornillo de potencia
- **Movimiento en coordenada Y:** Mesa

MÓDULO 4

El módulo 4 cumple con las funciones de la sujeción de la plancha de aluminio, el tipo de fresa a usar para realizar el corte de piezas metálicas, y también la inserción de herramienta en la pieza por mecanizar, es necesario seleccionar un diagrama ideal para cumplir con todas las funciones correctamente.

- Sujetar la plancha de aluminio a la mesa.
- Corte de la pieza.
- Inserción de la herramienta.

Sujetar la plancha de aluminio a la mesa

Esta función permite hacer la correcta sujeción de las planchas de aluminio a la mesa para así evitar fallos de precisión en la pieza realizada.

A. Sujetadores

Los sujetadores son un método de sujeción utilizado para extensas áreas de trabajo, utilizan un tipo de mesa con rieles en donde se ajusta un tornillo al sujetador que posee una guía para así poder modificar la distancia de sujeción a lo que el usuario requiera.

Ventajas

- Se pueden tener varios sujetadores para áreas de trabajo más grandes.
- Se puede modificar la distancia de sujeción a lo que el área de trabajo requiera.
- Se puede adaptar a cualquier tipo de superficies para realizar la sujeción de la pieza.

Desventajas

- Existe la posibilidad que si hay mucha fuerza por parte de la fresa el sujetador se mueva

- Se debe sujetar muy bien el área de trabajo para evitar fallos de precisión.
- Ocupan un poco de área de trabajo y hay riesgo de que si no se calibra bien el cero pieza la fresa choque con el sujetador.

B. Bomba de vacío

La bomba de vacío es un sistema de sujeción para áreas de trabajo extensas ya que impide el movimiento de la pieza a maquinar sin necesidad de sujetadores.

Ventajas

- Muy buena sujeción de la pieza a maquinar.
- Evita fallos de precisión en el maquinado.
- Facilita el uso de toda la superficie a maquinar sin el riesgo de un cruce de la fresa con la bomba.

Desventajas

- Tiene un costo elevado.
- Necesita de un mecanismo debajo de la mesa para las válvulas de vacío.
- La mesa debe permanecer fija.

Corte de la pieza

En esta función se analiza el tipo de fresa q se va a utilizar para poder realizar el corte de la pieza metálica así como las características técnicas de cada una para poder escoger la opción más óptima para la máquina.

A. Herramienta de acero rápido

Son fresas con resistencia a altas temperaturas y al desgaste, se usan para realizar procesos de mecanizado a velocidades de corte 75 a 300 m/min para fresado de aluminio [34] [35].

Ventajas

- Alta precisión.
- Excelente calidad de acabado.
- Recubrimientos de alta calidad.
- Soportan altas temperaturas.
- Tienen resistencia al desgaste.

Desventajas

- Solo alcanza velocidades de corte bajas para mecanizado de aluminio.
- Es necesario el cálculo de velocidades de avance y de corte para diferentes diámetros de la fresa.

B. Herramienta de carburo

Son herramientas con escasa ductilidad y elevada dureza, con resistencia a altas temperaturas y al desgaste, son ideales para mecanizado a velocidades medias y altas y se usan para procesos de mecanizado a velocidades de corte de 150 a 1000 m/min [34] [35].

Ventajas

- Alta precisión
- Buena calidad de acabado
- Alcanza altas velocidades de corte
- Tienen resistencia a altas temperaturas y al desgaste
- Casi no presenta ductilidad y su dureza es elevada.

Desventajas

- Es necesario el cálculo de velocidades de avance y de corte para diferentes diámetros de la fresa.

- Necesitan un husillo mucho más potente para suministrar las rpm necesarias y así cumplir con las velocidades de avance que pueden alcanzar.

Inserción de la herramienta

La herramienta es una pieza fundamental en la máquina, ya que con ella podemos saber la velocidad a la que la máquina puede trabajar o la potencia que necesita suministrara el husillo para cortar el material a cierta distancia de inserción por pasada.

A. Inserciones altas

Es cuando se realiza el mecanizado de un material y se inserta la herramienta a una distancia relativamente alta para poder realizar el corte o mecanizado en menos pasadas reduciendo el avance de la máquina.

Ventajas

- Menor tiempo de mecanizado.
- Menor consumo de energía por parte de la máquina en general.

Desventajas

- Alto grado de vibración en la máquina por el área de corte del material
- Más potencia del Husillo
- Se necesita un control de avance preciso para no dañar o incluso romper la fresa.

B. Inserciones bajas

Se realizan más pasadas en el material a una distancia de inserción baja, aumentando el avance y el tiempo de mecanizado.

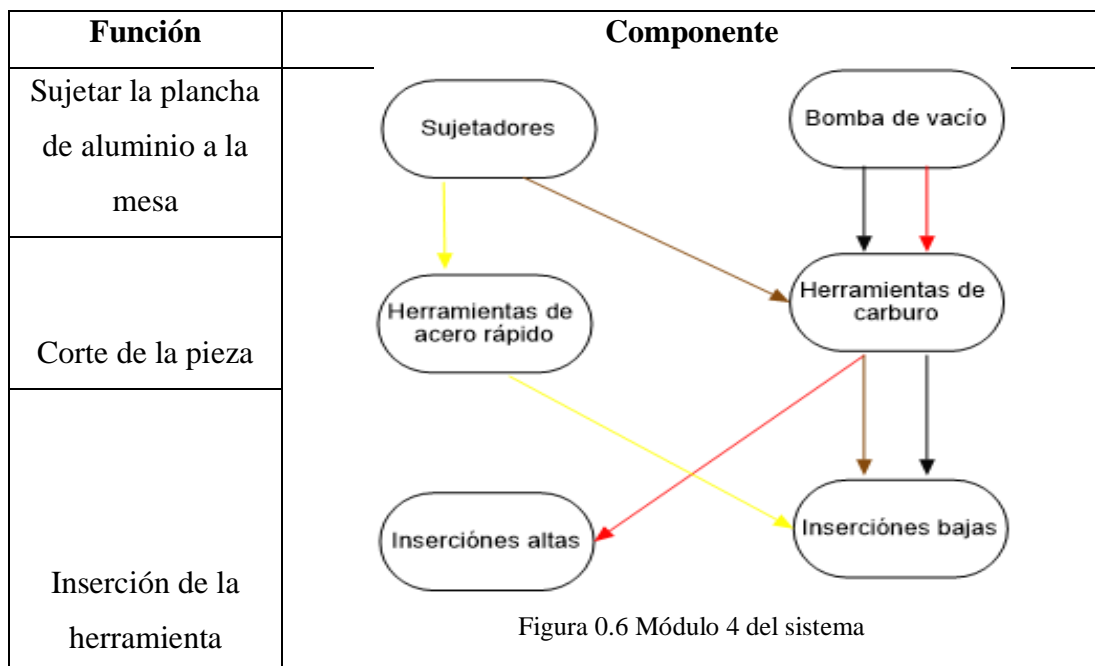
Ventajas

- Se puede aumentar la velocidad de avance para el corte ya que el área de corte es relativamente baja.
- Se tiene un mejor acabado en los perfiles de la pieza mecanizada.
- Reduce el riesgo de rotura de la herramienta o del material.

Desventajas

- Mayor tiempo de mecanizado.
- Mayor consumo de energía de la máquina.
- Desgaste de materiales electrónicos por uso continuo.

Combinación de las soluciones del módulo 4



- **(Amarilla) Alternativa 4.1.-** Sistema con sujetadores, herramientas de acero rápido para corte de la pieza, e inserciones bajas en el corte.
- **(Roja) Alternativa 4.2.-** Sistema con bomba de vacío, herramienta de carburo para corte de la pieza, e inserciones altas en el corte.

- **(Café) Alternativa 4.3.-** Sistema con sujetadores, herramientas de carburo para corte de la pieza, e inserciones bajas en el corte.
- **(Negra) Alternativa 4.4.-** Sistema con bomba de vacío, herramienta de carburo para corte de la pieza, e inserciones bajas en el corte.

TABLA 0-8 Evaluación de cada criterio para la solución del módulo 4

Criterio	Costo	Precisión	Versatilidad	Fiabilidad	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0,5	1	0,5	1	4	0,2667
Precisión	0,5		1	0,5	1	4	0,2667
Versatilidad	0	0		0	0,5	1,5	0,1000
Fiabilidad	0,5	0,5	1		0,5	3,5	0,2333
Mantenimiento	0	0	0,5	0,5		2	0,1333
					Suma	15	1

Costo = Precisión > Fiabilidad > Mantenimiento > Versatilidad

TABLA 0-9 Evaluación de las alternativas frente al costo módulo 4

Costo	A 4.1.	A 4.2.	A 4.3.	A 4.4.	$\Sigma+1$	Ponderación
A 4.1.		1	0,5	1	3,5	0,35
A 4.2.	0		0	1	2	0,20
A 4.3.	0,5	1		1	3,5	0,35
A 4.4.	0	0	0		1	0,10
					10	1

A4.1. = A4.3. > A4.2. > A4.4.

TABLA 0-10 Evaluación de las alternativas frente a la precisión módulo 4

Precisión	A 4.1.	A 4.2.	A 4.3.	A 4.4.	$\Sigma+1$	Ponderación
A 4.1.		0,5	0	0,5	2	0,20
A 4.2.	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
A 4.3.	1	0,5		0,5	3	0,30
A 4.4.	0,5	0,5	0,5		2,5	0,25
					10	1

A4.3. > A4.2. = A4.4. > A4.1.

TABLA 0-11 Evaluación de las alternativas frente a la versatilidad módulo 4

Versatilidad y o disponibilidad	A 4.1.	A 4.2.	A 4.3.	A 4.4.	$\Sigma+1$	Ponderación
A 4.1.		1	0,5	1	3,5	0,35
A 4.2.	0		0	0,5	1,5	0,15
A 4.3.	0,5	1		1	3,5	0,35
A 4.4.	0	0,5	0		1,5	0,15
					10	1

$$\mathbf{A4.1. = A4.3 > A4.2. = A4.4.}$$

TABLA 0-12 Evaluación de las alternativas frente al mantenimiento módulo 4

Mantenimiento	A 4.1.	A 4.2.	A 4.3.	A 4.4.	$\Sigma+1$	Ponderación
A 4.1.		1	0,5	1	3,5	0,35
A 4.2.	0		0	0,5	1,5	0,15
A 4.3.	0,5	1		1	3,5	0,35
A 4.4.	0	0,5	0		1,5	0,15
					10	1

$$\mathbf{A4.1. = A4.3. > A4.2. = A4.4.}$$

TABLA 0-13 Evaluación de las alternativas frente a la fiabilidad módulo 4

Fiabilidad	A 4.1.	A 4.2.	A 4.3.	A 4.4.	$\Sigma+1$	Ponderación
A 4.1.		0	0	0	1	0,10
A 4.2.	1		1	0,5	3,5	0,35
A 4.3.	1	0		0	2	0,20
A 4.4.	1	0,5	1		3,5	0,35
					10	1

$$\mathbf{A4.2. = A4.4. > A4.3. > A4.1.}$$

TABLA 0-14 Conclusiones módulo 4

Resultados	Costo	Precisión	Versatilidad	Fiabilidad	Mantenimiento	Σ	Prioridad
A 4.1.	0,35x0,27	0,20x0,27	0,35x0,10	0,10x0,23	0,35x0,14	0,28	2
A 4.2.	0,20x0,27	0,25x0,27	0,15x0,10	0,35x0,23	0,15x0,14	0,22	3
A 4.3.	0,35x0,27	0,30x0,27	0,35x0,10	0,20x0,23	0,35x0,14	0,32	1
A 4.4.	0,10x0,27	0,25x0,27	0,15x0,10	0,35x0,23	0,15x0,14	0,19	4

De la TABLA 0-14 se tiene que la alternativa 4.3. del módulo 4 es la más óptima según los criterios establecidos en la ponderación.

La alternativa 4.3. contiene los siguientes resultados de selección:

- **Sujetar la plancha de aluminio:** Sujetadores
- **Corte de la pieza:** Herramienta de carburo de tungsteno
- **Inserción de la herramienta:** Inserciones bajas.

Uniendo la solución del módulo 3 con la solución del módulo 4 se tiene:

- **Motores:** Paso a paso
- **Sistema de transmisión de movimiento (transmisión de potencia):** Tornillo de potencia
- **Movimiento en coordenada Y:** Mesa
- **Sujetar la plancha de aluminio:** Sujetadores
- **Corte de la pieza:** Herramienta de carburo de tungsteno
- **Inserción de la herramienta:** Inserciones bajas.

2.3 Diseño

2.3.1 Cálculos de potencia para la selección del Husillo

Primero se obtiene la potencia neta necesaria para la selección del husillo, tomando en cuenta la máxima velocidad de avance soportada por la fresa, el diámetro mayor de todas las fresas y la velocidad de corte a las máximas revoluciones por minuto del husillo.

La velocidad de corte se obtiene de la fórmula en donde $n=12000$ RPM, velocidad del husillo y $D=6.35$ mm, es el diámetro de la fresa.

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * D} \quad \text{Ec. 0.1}$$

De la Ec. 2.1 se despeja la velocidad de corte [36].

$$V_c = \frac{n * \pi * D}{1000} \quad \text{Ec. 0.2}$$

$D = 6.3$ mm, sustituyendo en la Ec. 2.2 Se tiene:

$$V_c = 237,50 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Después se necesita obtener la velocidad de avance de la mesa [36].

$$V_f = f_z * Z_c * n \quad \text{Ec. 0.3}$$

Dónde: f_z = avance por diente (mm/min), Z_c = Numero efectivo de dientes y n = velocidad del husillo (RPM).

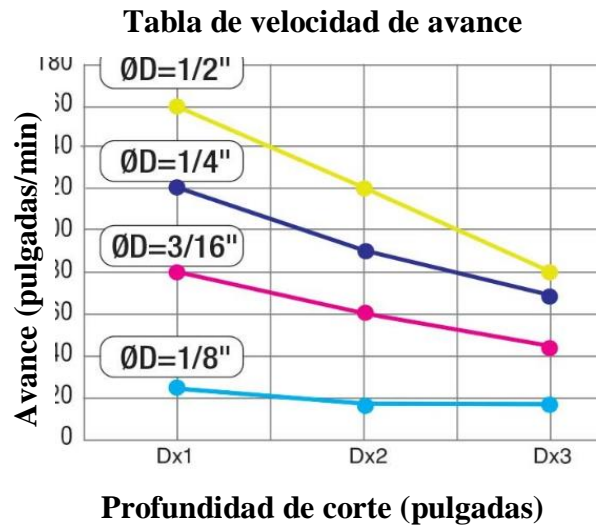


Figura 0.7. Velocidades de avance para fresas de carburo [37].

De la Figura 0.7, se puede obtener la velocidad de avance máxima soportada por la fresa con más diámetro (6.35 mm) adquirida para el mecanizado de aluminio, debido a que el avance máximo lo soporta la misma para el cálculo y selección del husillo.

$$V_f = 120 \frac{\text{inch}}{\text{min}}$$

Transformando la velocidad de avance a mm/min

$$V_f = 3048 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Otro dato necesario para el cálculo de la potencia neta es la fuerza específica de corte del material (k_c) que podemos obtener de la TABLA 0-15.

TABLA 0-15. Valores de la fuerza específica de corte [38]

Material	Fuerza específica de corte	
	k_c	
	Lb/pulg ²	N/mm ²
Aluminio puro cocido	25 000	175
Aluminio aleado recocido	35 000	240
Aluminio aleado endurecido por tratamiento térmico	60 000	400
Cobre puro recocido	45 000	300
Cobre aleado: bronce	100 000	700
Acero bajo carbono recocido	75 000	500
Acero aleado recocido	100 000	700
Acero alto carbono recocido	125 000	850
Acero inoxidable, austenítico, recocido	175 000	1200

De donde se obtiene k_c para aluminio:

$$k_c = 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

La potencia neta requerida por el husillo se obtiene de la siguiente expresión [36]:

$$P_c = \frac{a_p \cdot a_e \cdot V_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} \quad \text{Ec. 0.4}$$

En la Figura 0.8, se muestra las expresiones a_e y a_p .

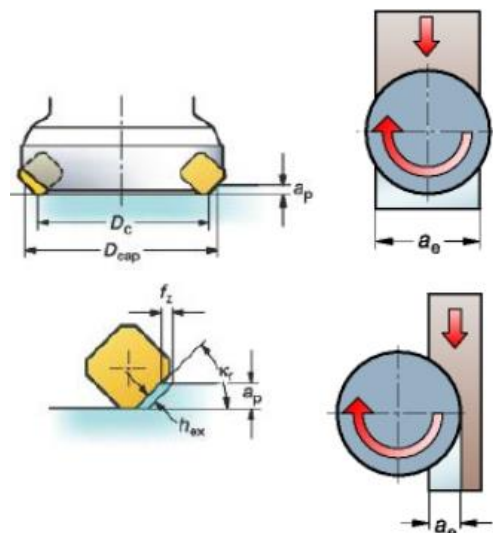


Figura 0.8. Identificación de parámetros para mecanizado [36].

De la Figura 0.8 se concluye que a_c es la profundidad de corte radial y a_p es la profundidad de corte axial.

$a_p = 5\text{mm}$ (profundidad máxima de maquinado)

$a_c = 6,3\text{mm}$ (diámetro de la fresa)

Sustituyendo estas expresiones en la Ec. 2.4 Se tiene:

$$P_c = 0.4\text{KW}.$$

Cabe especificar que esta potencia neta calculada para el husillo se la utiliza para su selección, el husillo no va a trabajar a su potencia máxima, debido a que la inserción de la fresa en el material no se hace de 5mm, o la velocidad de avance no se aplica al máximo, para el ingreso de datos en el código se calcula las velocidad de corte y de avance para aluminio, al igual que la inserción en el material recomendado para mecanizar el mismo.

En el mercado la potencia de un husillo aproximada es de 500W de donde el superior sobrepasa 2.2 hp de potencia por consiguiente se puede elegir el husillo de 500W garantizando un correcto funcionamiento para los cálculos realizados.

2.3.2 Cálculos de Torque para la selección de motor

EJE Y

Para poder obtener el valor del Torque que necesita el motor para mover los ejes se necesita realizar un análisis de las fuerzas que interactúan con el sistema, analizando así 3 tipos de fuerzas: fuerza de rozamiento, fuerza de corte y la fuerza inercial.

Fuerzas de rozamiento:

En primer lugar se debe calcular las fuerzas gravitacionales aplicadas en las guías, en la Ec. 2.5 se analizan las masas de los instrumentos que la guía debe soportar, entonces [39]:

$$m_t = m_m + m_{Al} + m_{motor} + m_{accesorios} \quad \text{Ec. 0.5}$$

Donde m_m es la masa de la mesa y m_{Al} es la masa de la plancha de aluminio para el mecanizado. Como se puede observar en la Figura 0.9, hecho el diseño de los perfiles de aluminio en SolidWorks se puede extraer la masa de la mesa m_m de la siguiente expresión:

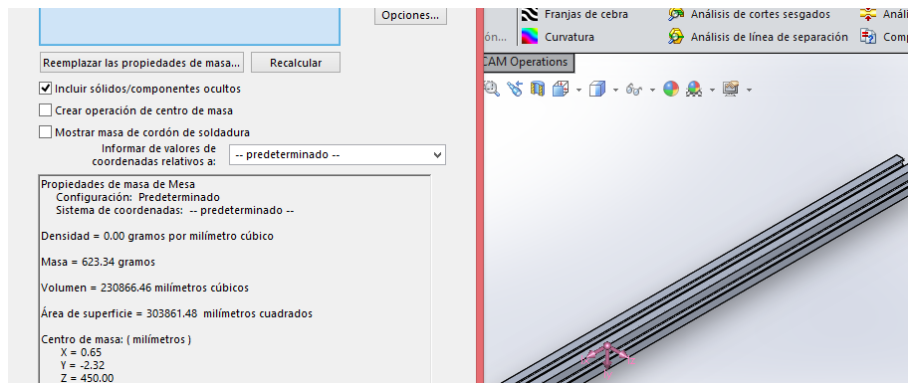


Figura 0.9. Masa de los perfiles de aluminio (SolidWorks).

Debido a que, son 29 perfiles de aluminio los que conforman la mesa:

$$m_m = 0,62334\text{Kg} * 29$$

$$m_m = 18,1\text{Kg}$$

La obtención de la masa de la plancha de aluminio m_{Al} se obtiene con la densidad del aluminio y su volumen, en la TABLA 0-16 se muestra la densidad del Aluminio.

TABLA 0-16 Densidades de los materiales [40].

Densidad					
Sólidos			Fluidos		
Sustancia	g/cm ³	kg/m ³	Sustancia	g/cm ³	kg/m ³
Hormigón	2	2000	Aire	0.0012	1.2
Aluminio	2.7	2700	Aceite de oliva	0.92	920
Hierro/acero	7.8	7800	Alcohol	0.81	810
Latón	8.6	8600	Benceno	0.90	900
Cobre	8.9	8900	Hielo	0.93	920
Plata	10.5	10500	Agua	1.0	1000
Plomo	11.3	11300	Agua de mar	1.03	1030
Oro	19.3	19300	Sangre	1.06	1060
Platino	21.4	21400	Glicerina	1.26	1260
			Mercurio	13.6	13600

La masa de la plancha se calcula mediante la siguiente expresión:

$$m_A = \rho_A * V_A$$

Ec. 0.6

La plancha de aluminio será de 80x80x0.5 cm y sustituyendo los datos de la densidad y el volumen en la Ec. 2.6 se tiene:

$$m_A = 2700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * (0,8\text{m} * 0,8\text{m} * 0,005\text{m})$$

$$m_A = 8,64\text{Kg}$$

Del diseño realizado, podemos obtener la masa de los accesorios que es la suma de la masa de: la estructura para la sujeción de los rodamientos a la mesa, los rodamientos lineales, pernos, platinas para la sujeción de los perfiles de aluminio, y el tornillo se tiene una masa de 16 Kg aproximadamente obtenidos de Solidworks.

Entonces de la Ec 2.5 se obtiene:

$$m_t = 18,1\text{Kg} + 8,64\text{Kg} + 16\text{Kg}$$

$$m_t = 42,74\text{Kg}$$

Para poder tener la fuerza gravitatoria aplicada en los rodamientos se tiene:

$$W_y = 43\text{Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_y = 421,83\text{N}$$

Debido a que el desplazamiento lineal realizado por los rodamientos es en el Eje Y se calcula las fuerzas de rozamiento en cada punto dadas por la fuerza gravitatoria W_y .

$$F_y = \frac{W_y}{4} = \frac{421,83 \text{ N}}{4} = 105,46\text{N}$$

Se calcula la fuerza aplicada en cada rodamiento.

TABLA 0-17. Coeficiente de rozamiento entre tornillo tuerca [41, p. 404]

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

De la TABLA 0-17 se tiene que el coeficiente de fricción entre Acero y acero seco 0.25 entonces:

$$F_{ry} = 105,46N * 0.25$$

$$F_{ry} = 26,36N$$

Al tener 4 collarines se tiene:

$$F_{ry} = 26,36N * 4$$

$$F_{ry} = 105,46N$$

Fuerzas inerciales

Se calculan las fuerzas de inercia necesarias para que el motor pueda moverse [39].

$$F_i = m * a \quad \text{Ec. 0.7}$$

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

V es la velocidad de avance de mesa que es de 3000 mm/min y $t = 0.10s$ [39] ya que se está trabajando con un motor eléctrico, sustituyendo estos valores en la Ec. 2.7 se tiene:

$$F_i = 43kg * \frac{0.05m/s}{0.10s}$$

$$F_i = 21,5N.$$

Torque para subir mover una carga en un tornillo de potencia [41, p. 399]:

$$T_R = \frac{W \cdot d_m}{2} * \left(\frac{1 + \pi \cdot \mu \cdot d_m \cdot \sec(\alpha)}{\pi \cdot d_m - \mu \cdot l \cdot \sec(\alpha)} \right) \quad \text{Ec. 0.8}$$

Donde se tiene los siguientes parámetros:

W = carga aplicada

d_m = diámetro medio de la rosca

$l = p$ = paso de la rosca, cuando la tuerca se mueve a 1 filete o por revolución.

μ = coeficiente de fricción del tornillo y la rosca

α = Angulo de la hélice de rosca

Donde W es la carga total que debe soportar el tornillo [39].

$$W = F_c + F_r + F_i \quad \text{Ec. 0.9}$$

Donde F_c es la fuerza de corte del material y se obtiene de la expresión [42]:

$$P_c = F_c * V_c \quad \text{Ec. 2.10}$$

Despejando la fuerza de corte de la Ec. 2.10 se tiene:

$$F_c = \frac{P_c}{V_c}$$

$$F_c = 100N$$

Obtenidos todos los cálculos necesarios, se sustituyen en la Ec. 2.9 y se tiene:

$$W = 100N + 105,46N + 21,5N$$

$$W = 227N$$

μ es el coeficiente de fricción entre la tuerca y el tornillo, se ha determinado que tanto la tuerca como el tornillo serán del mismo material “acero de transmisión mecanizado” por lo que $\mu = 0,25$ según la TABLA 0-17.

TABLA 0-18. Diámetros preferidos para roscas ACME [41, p. 396]

$d, \text{ in}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{2}$	3
$p, \text{ in}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$

De la TABLA 0-18 se tiene que para un tornillo de potencia de una pulgada:

$$d = 1 \text{ pulgada} = 25.4 \text{ mm}$$

$$p = 1/5 \text{ pulgadas} = 5.08 \text{ mm}$$

$$n = 1$$

De estos valores se tiene los parámetros del tornillo [41, p. 401]:

$$d_m = d - p/2 = 22,86 \text{ mm}$$

$$d_r = d - p = 20,32 \text{ mm}$$

$$l = n * p = 5.08 \text{ mm} = p$$

Para rosca ACME

$$\alpha = 14,5^\circ$$

Obtenidos todos los datos necesarios se calcula el torque necesario para mover la carga aplicada de la Ec. 2.8.

$$T_R = 0,869 \text{ N.m}$$

En los motores eléctricos se presenta una eficiencia entre el 80 y 90 por ciento de su capacidad máxima, por consideraciones de diseño conservador se toma la eficiencia de motor de 0,8.

$$\text{Motor Paso a Paso 3 N.m} = 3 * 0,8 = 2.4 \text{ N.m}$$

$$\text{Motor paso a Paso 2 N.m} = 2 * 0,8 = 1.6 \text{ N.m}$$

Con un factor de seguridad de 2 el torque necesario para mover la carga aplicada es:

$$T_{R2} = 0.869 \text{ N.m} * 2$$

$$T_{R2} = 1.739 \text{ N.m}$$

De este análisis, se debe tomar el motor que posea un torque inmediato superior a lo que se requiere para mover dicha carga, es decir, para esta aplicación será necesario un motor NEMA 23 de 3 N.m.

Se realiza los cálculos del torque necesario para mover las cargas en los ejes X y Z los Anexos.

2.3.3 Cálculos de esfuerzos en Y

En la Figura 0.11 se puede observar el diagrama de cuerpo libre y las fuerzas que actúan en la guía del eje Y, se analizan 3 casos para el diseño de la guía:

- Cuando el sistema permanece totalmente estático y no existe contacto entre la herramienta y el material.
- Cuando la herramienta ingresa al material.
- Cuando se produce movimientos a lo largo del eje X o Y del sistema

Analizados los 3 casos se determina que el caso más crítico, es decir, donde se produce mayor esfuerzo cortante, es en el segundo, cuando la herramienta ingresa al material, ya que interviene la fuerza de corte de 100N.

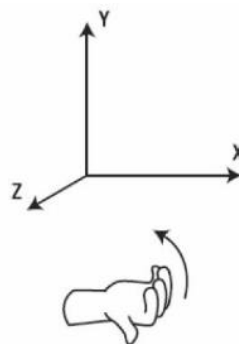


Figura 0.10 Sistema de coordenadas y regla de la mano derecha [43]

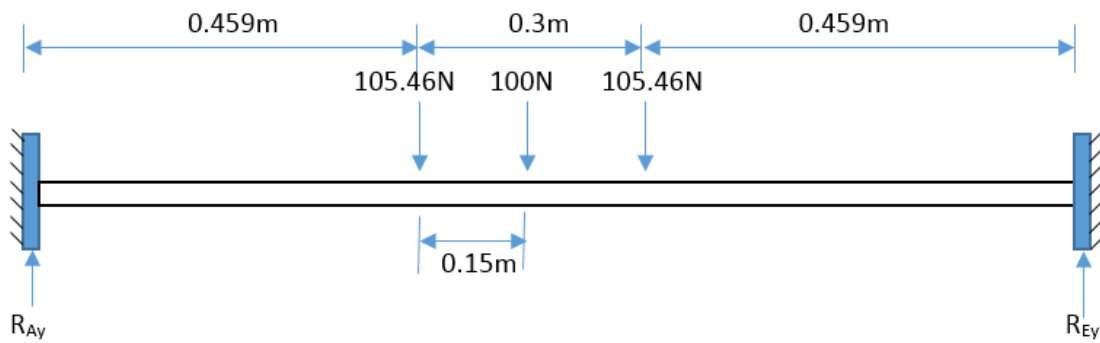


Figura 0.11 Diagrama de cuerpo libre en la guía del eje Y

De la Figura 0.11 R_{AY} y R_{EY} representan las reacciones generadas en los extremos, las dos fuerzas de 105,46N representan la carga puntal del peso del sistema en cada rodamiento lineal y la fuerza de 100N representan la fuerza de corte obtenida de la Ec. 2.10.

Se procede a realizar una sumatoria de fuerzas en todos los ejes.

$$\begin{aligned} \sum F_X &= 0 & \sum F_Z &= 0 & \sum F_Y &= 0 \\ R_{AY} - 105,46 - 100 - 105,46 + R_{EY} &= 0 \end{aligned} \quad \text{Ec. 2.11}$$

Obtenidas las ecuaciones de sumatorias de fuerzas se hace una sumatoria de momentos en el punto A y se aplica la regla de la mano derecha como se observa en la Figura 0.10 para poder tener el sentido del momento aplicado.

$$\begin{aligned} \sum M_{AX} &= 0 & \sum M_{AY} &= 0 & \sum M_{AZ} &= 0 \\ -105,46 * 0,459 - 100 * 0,609 - 105,46 * 0,759 + R_{EY} * 1,218 &= 0 \end{aligned} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Despejando R_{EY} de la Ec. 2.11 se tiene:

$$\begin{aligned} R_{EY} &= \frac{189,35}{1,218} \\ R_{EY} &= 155,46 \text{ N} \end{aligned}$$

Sustituyendo ese valor en la Ec. 2.12 se tiene el valor de R_{AY} .

$$R_{AY} = 155,46 \text{ N}$$

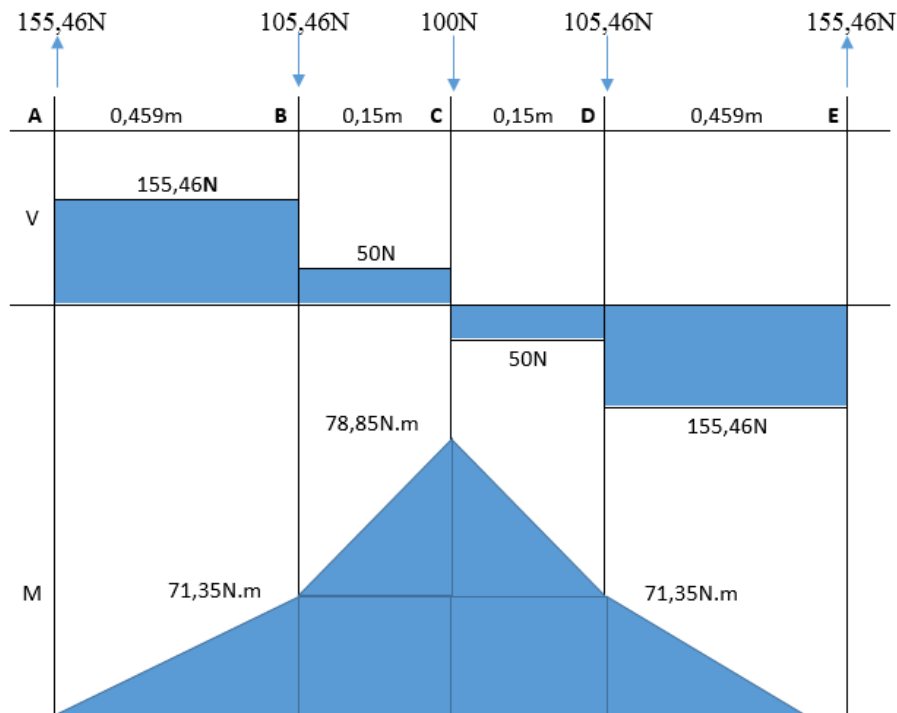


Figura 0.12 Diagrama de cargas y momentos plano XY.

Obtenidos todas las reacciones del sistema se realiza un diagrama de cargas y momentos para analizar el mayor momento generado en el sistema y determinar el punto crítico del mismo como se observa en la Figura 0.12.

Para un factor de seguridad de 2, se aplica la teoría del cortante máximo donde [41] [44] [45]:

$$S_{sy} = 0,5S_y \quad \text{Ec. 2.13}$$

Para un S_y de 490MPa, que es el límite de fluencia del acero plata (DIN 1.2210 Cr115V3) obtenidos de [46] y [47] y por condiciones de diseño conservador tomamos el valor más bajo, sustituyendo en Ec. 2.13.

$$S_{sy} = 245 \text{ MPa}$$

Para el factor de seguridad se aplica la fórmula [41] [44] [45]:

$$\tau_{max} = \frac{S_{sy}}{n}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\tau_{max} = 122,5 \text{ MPa}$$

Para poder hallar el diámetro de la guía se utiliza la siguiente fórmula [41] [44] [45]:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{M}{2*S}\right)^2} \quad \text{Ec. 2.14}$$

Donde S es la propiedad de la sección y se representa por [48]:

$$S = \frac{\pi*d^3}{32} \quad \text{Ec. 2.15}$$

De la Figura 0.12 se tiene que $M = 78,85\text{N.m}$ sustituyendo la Ec. 2.15 en la Ec. 2.14 y despejando d se tiene:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M}{2 * \tau_{max} * \pi}}$$

$$\mathbf{d = 14.86mm}$$

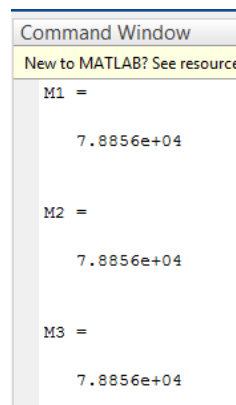
Para la guía se utilizó acero plata (DIN 1.2210 Cr115V3), por dos razones:

- La disponibilidad de barras de acero métricas.
- Es el material más usado y vendido para las guías de máquinas CNC.

No se puede usar barras con medidas en pulgadas debido a que los rodamientos lineales usados para el desplazamiento de ejes solo disponen de medidas métricas, para buscar las barras se contactó empresas del país. Las barras con mayor disponibilidad en ese material son de 12mm y 20mm, se debe aproximar al inmediato superior el diámetro de la barra el cual es de

16mm pero el tiempo de adquisición es demasiado, así que se aproxima el diámetro de las guías a 20mm “producto en stock”.

Para la comprobación de las distancias, a la que están los rodamientos de los soportes y la fuerza de corte, se realiza un programa en Matlab donde se calcula el momento por cada milímetro que estas distancias pueden desplazarse y donde varía el esfuerzo, de ello, se observa que el sistema es crítico en toda la separación de los rodamientos, siempre y cuando la fuerza de corte esté aplicada dentro de ese rango, como se observa en la Figura 0.11.



```

Command Window
New to MATLAB? See resource

M1 =
    7.8856e+04

M2 =
    7.8856e+04

M3 =
    7.8856e+04

```

Figura 0.13 Momentos máximos obtenidos.

En la Figura 0.13, se observa los momentos máximos obtenidos de todo el tramo en el que se pueden mover las cargas, donde se observa que el momento flector máximo va del tramo B al tramo D en diferentes condiciones de aplicación.

307	308	309	310	311
7.8645e+04	7.8751e+04	7.8856e+04	7.8832e+04	7.8807e+04

Figura 0.14 Momento máximo en B.

En la Figura 0.14, se observa que en el punto B, el momento es máximo si y solo si, la fuerza de corte es aplicada sobre el mismo punto que la carga puntual debido al peso del sistema en B, que en condiciones de programación es en el milímetro 309.

607	608	609	610	611
7.8807e+04	7.8832e+04	7.8856e+04	7.8751e+04	7.8645e+04

Figura 0.15 Momento máximo en D.

En la Figura 0.15, se observa que en el punto D, el momento es máximo si y solo si la fuerza de corte esta aplicada sobre el punto que la carga puntual debido al peso del sistema en D, que en condiciones de programación es en el milímetro 609.

308	309	310	608	609	610
7.8780e+04	7.8856e+04	7.8856e+04	7.8856e+04	7.8856e+04	7.8775e+04

Figura 0.16 Momento máximo en el tramo B-D.

En la Figura 0.16, se observa que en todos los puntos desde el milímetro 309 al milímetro 609, el momento flector es máximo, en conclusión, el momento flector es máximo siempre y cuando la fuerza de corte este aplicada dentro del tramo BD, es decir, en un punto entre los rodamientos que soportan las cargas puntuales debido al peso del sistema.

El código empleado para calcular el punto donde el momento flector es máximo se muestra en Anexos.

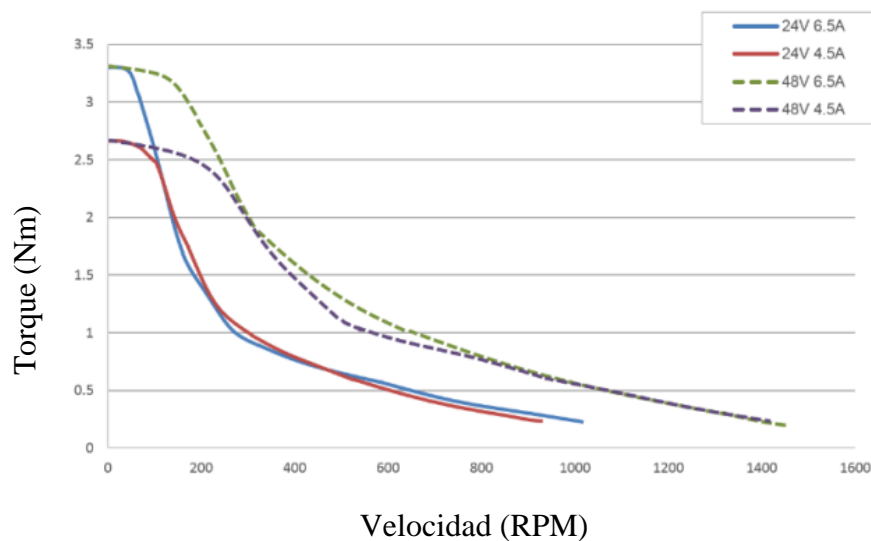


Figura 0.17 Gráfica torque velocidad en relación al voltaje aplicado [49].

Para el avance de la mesa, se toma en consideración las RPM máximas que da el motor, en relación a su torque máximo a esa velocidad, considerando que por cálculos el torque del motor no debe ser menor de 1,5N, como se muestra en la Figura 0.17, para que sea capaz de mover el eje Y. Con 24V aplicados a la alimentación del motor, la máxima velocidad que debe ser aplicada es de 200 RPM, por ello, el avance máximo de la mesa con un tornillo ACME de 1 pulgada es de 1000 mm/min.

Cálculos del tornillo.

Para comprobar la capacidad del tornillo de soportar ese par, se hace un cálculo de ejes sometido a un Torque máximo de 3Nm, para ello, se toma el diámetro menor del tornillo donde se aplica el Momento Torsor máximo generado por la acción del motor.

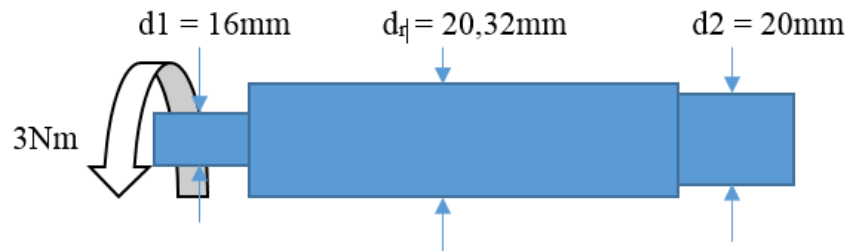


Figura 0.18 Diagrama de cuerpo libre tornillo.

Para calcular el momento torsor máximo aplicado al sistema, se debe escoger los factores de concentración de esfuerzos k_t , por lo cual, el mayor concentrador de esfuerzo en el sistema es k_t en los escalones agudos en el cambio de sección del tornillo como se muestra en la Figura 0.18 [45].

Para calcular el momento máximo aplicado al sistema se toma el valor menor de los diámetros “ $d_1 = 16\text{mm}$ ” que está sometido a un concentrador de esfuerzo $k_t = 2,5$ y se aplica la fórmula [45];

$$\tau_{max} = k_t \frac{16T}{\pi * d_1^3} \quad \text{Ec. 2.16}$$

Donde:

$$T = 3\text{Nm}$$

$$k_t = 2,5$$

$$d_1 = 16\text{mm}$$

Aplicando la Ec 2.16 se tiene:

$$\tau_{max} = 9.33MPa$$

Para el acero de transmisión AISI 1018 su límite de fluencia es $S_y = 235MPa$ [50] de donde la fórmula [45]:

$$\begin{aligned}\tau_{adm} &= 0.577S_y \\ \tau_{adm} &= 135,6 MPa\end{aligned}$$

Para el cálculo del factor de seguridad en el sistema se tiene [45]:

$$\begin{aligned}N &= \frac{\tau_{adm}}{\tau_{max}} \\ N &= \mathbf{14.53}\end{aligned}$$

2.3.4 Estimación de la duración de vida de los rodamientos.

Para su estimación se debe tener claro la definición de cargas estáticas y dinámicas, en este caso la carga estática máxima aplicada en el eje más crítico, es el peso de las mesa y del material, aplicado sobre cada rodamiento y la fuerza de corte aplicada directamente al rodamiento (se usa esta fuerza considerando fallas en el programa y que la máquina ingrese al material mientras el eje Y se está desplazando) $F_{omax} = 205,46 N = F_m$ que representa la carga dinámica del sistema, que son cargas variables en el tiempo o que están en movimiento.

Para la duración de vida nominal “L” se usa la fórmula [51]:

$$L = \left(\frac{C}{F_m} * f_H * f_t * f_s \right)^3 * 10^5 \quad \text{Ec. 2.17}$$

Donde:

f_H es el factor de dureza.

f_t es el factor de temperatura.

f_s es el factor de carrera corta (solo para rodamientos lineales eLine, compactos, super y segmentarios).

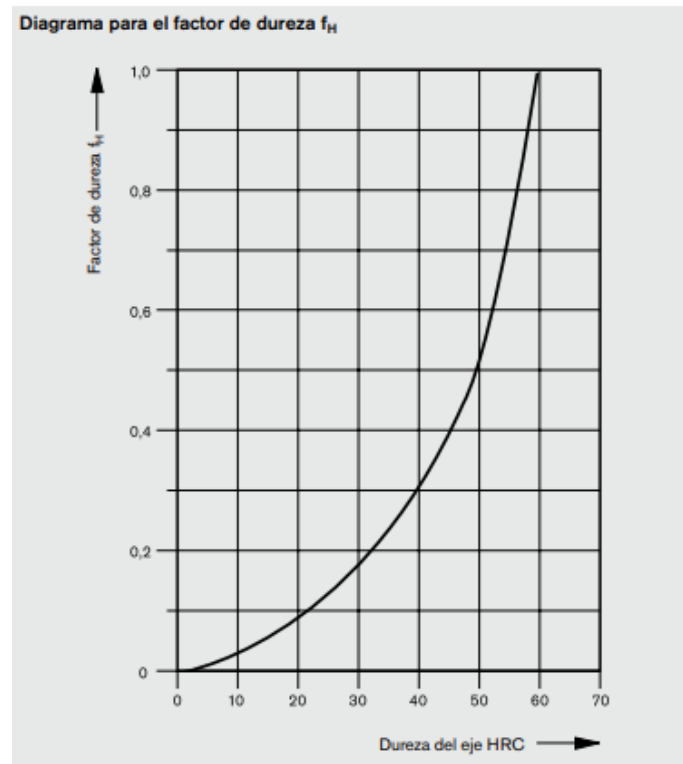


Figura 0.19 Diagrama del factor de dureza [51].

De la Figura 0.19 se obtiene el factor de dureza para ejes de acero plata (DIN 1.2210 Cr115V3), estos pueden tener una dureza de hasta 60HRC por lo que $f_H = 0.9$ (por condiciones de diseño conservador). De la TABLA 0-19 se obtiene el factor de temperatura $f_t = 1$ ya que se trabajara a temperatura ambiente. Al ser rodamiento lineales comunes el factor de carrera corta $f_s = 1$.

TABLA 0-19 Factores de temperatura para rodamientos.

Temperatura del rodamiento (°C)	100	125	150	175	200
Factor de temperatura f_t	1	0,92	0,85	0,77	0,70

Sustituyendo los datos en la Ec. 2.17 se tiene:

$$L = 134.62 * 10^5 m$$

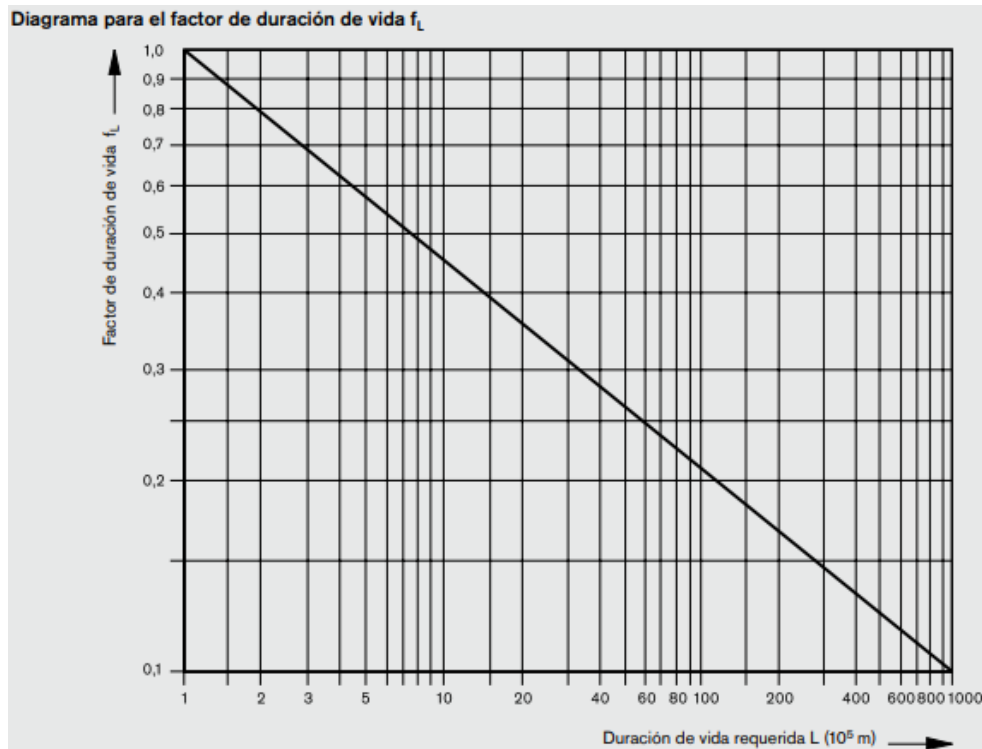


Figura 0.20 Diagrama del factor de duración de vida [51].

Para obtener la capacidad de carga requerida para los rodamientos se usa la fórmula [51]:

$$C_{req} = \frac{F_m}{f_H * f_t * f_s * f_L} \quad \text{Ec. 2.18}$$

Donde:

$f_L = 0.2$ es el factor de duración de vida obtenido de la Figura 0.20.

$f_s = 1$

$f_t = 1$

$F_m = 205,46 \text{ N}$

Sustituyendo los datos en la Ec. 2.18 se tiene:

$$C_{req} = 1027,3 \text{ N}$$

Para la validación del rodamiento adquirido se aproxima el valor de la capacidad de carga requerida al inmediato superior de los rodamientos lineales estándar observados en la TABLA 0-20.

TABLA 0-20 Capacidades de carga de rodamientos [51]

Medidas (mm) Eje	Capacidades de carga (N)							
	Rodamiento lineal Compacto, eLINE		Rodamiento lineal Super A, B		Rodamiento lineal Estándar		Rodamiento lineal Segmentario	
	C	C ₀	C	C ₀	C	C ₀	C	C ₀
Ø d								
3	-	-	-	-	55	45	-	-
4	-	-	-	-	70	60	-	-
5	-	-	-	-	180	140	-	-
8	500	350	-	-	320	240	-	-
10	600	410	600	330	300	260	-	-
12	730	420	830	420	420	280	480	420
14	760	430	-	-	-	-	-	-
16	950	500	1020	530	580	440	720	620
20	1120	610	2020	1050	1170	860	1020	870
25	2330	1310	3950	2180	2080	1560	1630	1360
30	3060	1880	4800	2790	2820	2230	2390	1960
40	5040	3140	8240	4350	5170	3810	3870	3270
50	5680	3610	12060	6470	8260	6470	-	-
60	-	-	-	-	11500	9160	-	-
80	-	-	-	-	21000	16300	-	-

Se puede observar que el inmediato superior a la capacidad de carga requerida es el rodamiento lineal estándar de 20mm de diámetro con un valor de 1170 N.

La carga de seguridad estática es un factor que depende de la aplicación destinada para el rodamiento, se calcula mediante la fórmula [51]:

$$S_o = \frac{C_o}{F_{o\max}} \quad \text{Ec. 2.19}$$

Donde:

$C_o = 860\text{N}$, es la capacidad de carga estática obtenida de la selección del rodamiento en la TABLA 0-20.

$F_{o\max} = 205,46 \text{ N}$.

Sustituyendo los datos en la Ec. 2.19 se tiene:

$$S_o = 4,18$$

Condiciones de aplicación	S_o
Condiciones de aplicación normales	1 ... 2
Con pocos golpes o vibraciones	2 ... 4
Con moderados golpes o vibraciones	3 ... 5
Con fuertes golpes o vibraciones	4 ... 6
Con parámetros de carga desconocidos	6 ... 15

Figura 0.21 Condiciones de aplicación de los rodamientos [51].

Este rodamiento puede adaptarse a condiciones de golpes moderados o vibraciones como se observa en la Figura 0.21, teniendo en cuenta que la máquina, si tiene vibraciones debido a la imprecisión de los materiales.

2.3.5 Simulaciones

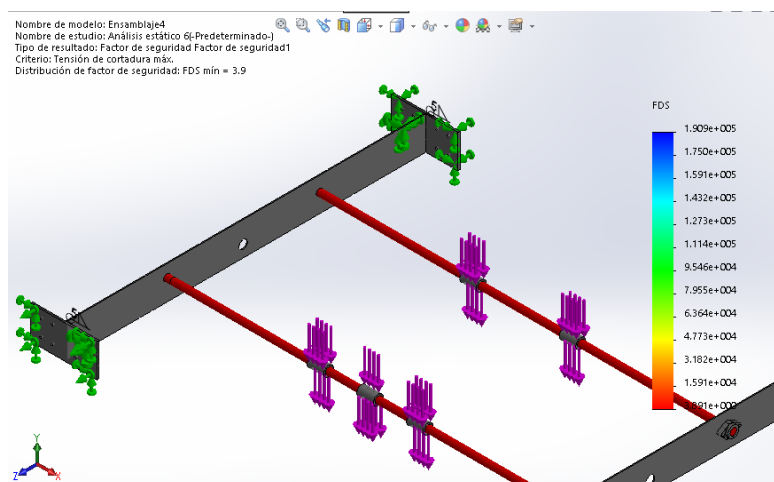


Figura 0.22 Factor de seguridad en las guías eje Y.

En la Figura 0.22 se muestra el factor de seguridad en las guías, mediante la herramienta de simulación “Solidworks”, $n = 3.9$ ya que las guías se aproximaron de 14.8mm con un factor de seguridad de 2 al inmediato superior de 20mm.

Calculando el factor de seguridad de las guías con un diámetro de 20mm se tiene:

$$n = \frac{S_{Sy}}{\tau_{max}} \quad \text{Ec 2.20}$$

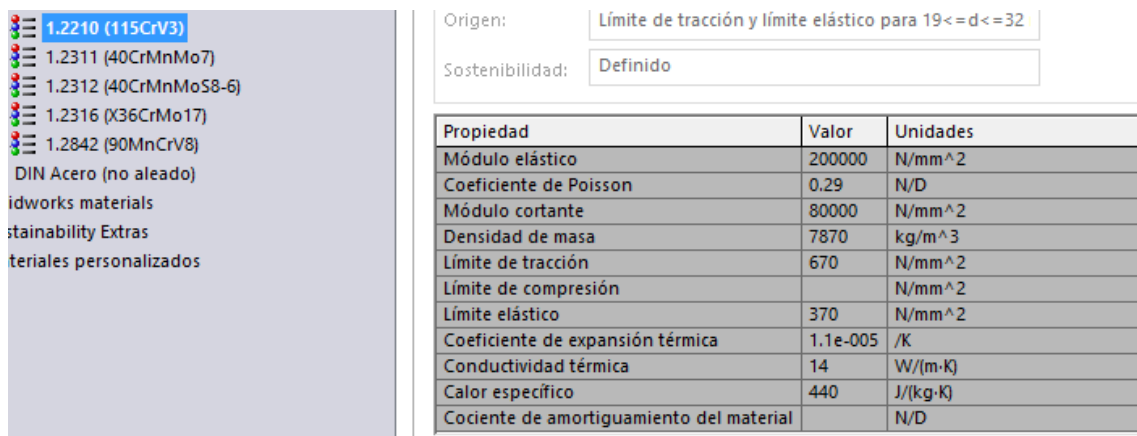
Donde:

$$S_{Sy} = 245 \text{ MPa}$$

$$T_{max} = 50,198 \text{ MPa}$$

Sustituyendo estos valores en la Ec 2.20 se tiene:

$$n = 4.88$$



Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	200000	N/mm ²
Coeficiente de Poisson	0.29	N/D
Módulo cortante	80000	N/mm ²
Densidad de masa	7870	kg/m ³
Límite de tracción	670	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	370	N/mm ²
Coeficiente de expansión térmica	1.1e-005	/K
Conductividad térmica	14	W/(m·K)
Calor específico	440	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Figura 0.23 Límite de fluencia del acero plata en Solidworks.

Considerando que el límite de fluencia del acero plata (DIN 1.2210 115CrV3) en Solidworks es de 370MPa como se observa en la Figura 0.23, se calcula un factor de seguridad basado en los datos obtenidos de Solidworks, para hallar el porcentaje de error de los datos simulados y los datos obtenidos del análisis de esfuerzos sobre la guía, de ello se tiene:

$$n = 3.69$$

Con un porcentaje de error del 5,4% entre los datos simulados y los datos obtenidos de análisis, esta herramienta es válida para realizar la simulación de toda la estructura de la máquina CNC.

Las simulaciones de la máquina CNC se muestran Los Anexos.

2.4 Planos de construcción.

En el primer plano **Máquina CNC** se muestra la vista isométrica de toda la máquina, para poder observar el diseño de la estructura creada con la unión de correas estructurales tipo G de acero.

En la vista explosionada que se encuentra en el plano **Máquina CNC-000**, se muestra el despiece de la máquina con todos sus elementos en conjunto y como van situados cada uno, con sus respectivos subensamblajes.

En el plano **M-CNC-TORRE-X-100**, se muestra el despiece de los elementos que conforman el eje X, sus dimensiones, materiales y normas, así como los planos individuales de las platinas laterales (**M-CNC-TORRE-X-101**, **M-CNC-TORRE-X-103**) en donde se sujetan las guías y las dimensiones del tornillo con las especificaciones del torneado en los extremos (**M-CNC-TORRE-X-102**).

En el plano **M-CNC-EJE-Z-200**, se muestra el despiece de los elementos adicionales del eje Z, es decir, los elementos de acople de la torre al eje X (rodamientos, tuercas, pernos) con sus respectivas dimensiones y normas. En el plano **M-CNC-EJE-Z-201**, se muestra el despiece de los elementos que conforman la torre del eje Z, tanto la que se desplaza a lo largo del eje X como la que se desplaza a lo largo del eje Z, y los elementos de acople para los dos sistemas de movimiento.

En el plano **M-CNC-EJE-Z-201A**, se muestra el despiece de la estructura que se acopla con las guías y el tornillo del eje X, para desplazarse a lo largo del mismo. En los siguientes planos se muestran las piezas que conforman dicha estructura, las cuales fueron diseñadas en la herramienta gráfica Solidworks con aluminio como material.

En el plano **M-CNC-EJE-Z-201C**, se muestra el despiece de la estructura que acopla el sistema de movimiento del eje Z con el husillo. En los siguientes planos se muestran las piezas que conforman dicha estructura, las cuales fueron diseñadas en la herramienta gráfica Solidworks con aluminio como material.

En el plano **M-CNC-Ejes-Y-300**, se muestra el despiece del sistema de movimiento del eje Y con sus respectivos materiales, dimensiones y normas, en el plano **M-CNC-Ejes-Y-302**, se muestra la pieza que acopla el sistema de movimiento a lo largo del eje y la mesa de trabajo.

En el plano **M-CNC-Bparrilla-400**, se muestra la estructura creada para la sujeción y acople de la mesa de trabajo con la pieza **M-CNC-Ejes-Y-302**, que consta de platinas empernadas a la mesa y rodamientos lineales por donde pasan las líneas guías.

En el plano **M-CNC-Estructura-500**, se muestra el despiece de la estructura externa de la máquina con sus respectivas normas y materiales, en los planos siguientes se muestra las piezas que conforman esta estructura con sus dimensiones.

En el plano **M-CNC-Parrilla-600**, se muestra la mesa de trabajo que consta de 29 perfiles de aluminio estructural tipo T de 3cmx3cm, con su respectiva estructura para formar un solo conjunto.

2.5 Cálculo velocidad de avance, RPM e inserción

Los datos necesarios para el cálculo de la velocidad de corte, velocidad de avance y el avance por diente son obtenidos de la TABLA 0-21, específica para la fresa escogida.

TABLA 0-21 Datos recomendados para el cálculo de velocidades [52].

Diámetro	IPM a 18000 RPM (Pulgadas por minuto)	Velocidad de corte (pies por minuto)	Avance por diente
2 mm	35 – 70	600 – 1000	0.002” – 0.004”
3/32”	35 – 70	600 – 1000	0.002” – 0.004”
3 mm	35 – 70	600 – 1000	0.002” – 0.004”
5/32”	35 – 70	600 – 1000	0.002” – 0.004”
3/16”	55 – 110	600 – 1000	0.003” – 0.006”
6 mm	55 – 110	600 – 1000	0.003” – 0.006”
1/4”	55 – 110	600 – 1000	0.003” – 0.006”
5/16”	55 – 110	600 – 1000	0.003” – 0.006”
8 mm	70 – 145	600 - 1000	0.004” – 0.008”
11/32”	70 – 145	600 - 1000	0.004” – 0.008”
9 mm	70 – 145	600 - 1000	0.004” – 0.008”
3/8”	70 – 145	600 - 1000	0.004” – 0.008”

Para encontrar las RPM necesarias para el husillo [36]:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad \text{Ec. 2.21}$$

Dónde los valores de: $V_c = 600 \text{ ft/min} = 182,88 \text{ m/min}$ es la velocidad de corte y $D = 3/16$ pulgadas es el diámetro de la fresa [36], son obtenidos de la TABLA 0-21, sustituyendo los valores en la Ec. 2.21 se tiene que $n = 12\,224 \text{ RPM}$, ya que el husillo tiene $12\,000 \text{ RPM}$, ese valor será tomado como máximo para el corte de material, en ese caso, $n = 12\,000 \text{ RPM}$.

Para encontrar la velocidad de avance [36]:

$$V_f = \text{RPM} * f_z * ZEFF \quad \text{Ec. 2.22}$$

Dónde: $f_z = 0.003$ pulgadas es el avance por diente (chip load), recomendado en la TABLA 0-21 y $ZEFF = 1$ representa el número de dientes que presenta la fresa [36]. Sustituyendo los datos en la Ec. 2.22 se tiene que $V_f = 36$ pulgadas/min = $914,4 \text{ mm/min}$.

Obtenidos estos datos con la fresa se puede calcular las velocidades de avance y del husillo para todos los diámetros disponibles por este fabricante, en donde otro factor importante es la profundidad de corte que en este caso tiene varias condiciones:

1*D = avance por diente recomendado en la TABLA 0-21

2*D = avance por diente reducido en 25%

3*D = avance por diente reducido en 50%

Son profundidades de corte sugeridas para la fresa en donde el fabricante expresa la capacidad máxima del producto para realizar cortes, por ser conservador se escoge los valores mínimos de velocidades y avance [52].

Los valores de las tablas son valores sugeridos para la fresa, más no son valores fijos, ya que existen otros valores recomendados para el corte de material como se observa en la TABLA 0-22, que depende del fabricante y de experimentaciones en materiales.

TABLA 0-22 Datos sugeridos de otras fuentes [53]

VELOCIDADES DE CORTE PARA FRESADO	
Material	Velocidad promedio (S.F.M.)
Magnesio	300
Aluminio 7075	300
Aluminio 6061	280
Aluminio 2024	200
Bronce	150
Hierro fundido (ligero)	80
Acero Aleado	60
Titanio	50

De la TABLA 0-22 se puede observar que la SFM o velocidad de corte máxima para el aluminio más duro es mucho menor que en la TABLA 0-21, de la misma forma se observa que los valores sugeridos del avance por diente mostrados en la TABLA 0-23 son diferentes.

TABLA 0-23 Avance por diente para materiales [53]

AVANCE DE HERRAMIENTA (pulgadas/diente)	
Material	Datos sugeridos
Magnesio	0.005 - 0.010
Aluminio	0.005 - 0.010
Bronce	0.005 - 0.010
Acero Inoxidable	0.002 - 0.006
Titanio	0.002 - 0.006
Acero Aleado	0.002 - 0.006

Para ambos casos las fórmulas no cambian pero si en los datos obtenidos para las velocidades, más adelante se analizará cada caso y se recomendará la mejor alternativa ante los datos obtenidos.

TABLA 0-24 Comparación de datos

CASO	D(inch)	V_c (m/min)	Avance por diente(mm)	n (RPM)	V_f (mm/min)
1	3/16	182.88	0,0762	12 000	914,4
	1/4	182,88	0,0762	9 168	698,60
2	3/16	91,44	0,127	6 112	776,22
	1/4	91,44	0,127	4 584	582,17

Para las pruebas de corte los datos se obtendrán de la TABLA 0-24 obtenidos con las fórmulas antes vistas.

CAPÍTULO 3 PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1 Pruebas de desplazamiento

Para las pruebas de desplazamiento se realizó un código en Arduino solo para mover eje por eje verificando su funcionalidad, se pudo observar que como la máquina no es creada a precisión (mecanizado), existen partes donde el motor necesita un poco más de fuerza para mover el eje, como es el caso de la torre (eje X), al ser hecha por fundición de aluminio, no existe precisión en las piezas por lo que los rodamientos no están totalmente alineados y la máquina tiende a tener partes donde el desplazamiento es libre y otras partes donde el motor necesita más corriente para mover el eje, el caso es contrario en el eje Z ya que el propio peso de la estructura interna ayuda a que el husillo baje con facilidad, esto ayuda a que el motor no haga tanta fuerza cuando el husillo perfore el material, pero cuando el husillo sube el motor necesita más torque para poder subir la estructura que lleva al husillo, lo que no es un problema.

Las pruebas de desplazamiento se las realizo eje por eje ya que la construcción se la realizo de la misma forma, es decir, cada eje construido primero fue probado para poder proseguir con la construcción del siguiente, se debe tener en cuenta la obtención de los drivers y no guiarse tanto con los datasheet de los fabricantes ya que en su producto pueden tener el valor necesario para la estructura pero en la práctica es diferentes, claro fue el caso de los driver TB6600 para NEMA 23 que en su datasheet proporcionan 4A de corriente por fase y después de probar el eje más crítico, el motor en su parte más difícil de la trayectoria se trababa, tal fue el caso que decidimos modificar la estructura mecánica varias veces para calibrarla mejor, pero al no obtener buenos resultados, se optó por medir la salida de cada fase del driver y solo proporcionaba un 30% de la corriente máxima detallada en el datasheet, apenas necesario para mover el eje.

Este código fue empleado para mover los 3 ejes solo modificando el número de pasos totales (long pasos =) con prueba y error hasta que llegara al final de la trayectoria por eje, y para optimizar la prueba se añadió un pulsador que determinada en qué dirección rotaba el motor, así se podía regresar el sistema a su posición original y probar con un numero de pasos diferente.

El código realizado en Arduino se muestra en los Anexos.

3.2 Calibración de ejes X, Y, Z.

Para la calibración de los ejes de la máquina se realizó una medición con un pie de rey fijado a una superficie plana y así poder medir el error en cada medición y corregirlas mediante código en el Marlin de Arduino.

TABLA 0-1 Calibración de ejes.

Prueba	Valor pasos	Valor esperado	Valor medido	% de error
5 repeticiones				
1	63	100	47,83	52.17 %
2	131,72	100	104,21	4.21 %
3	127,50	100	99,13	0.87 %
4	126,49	100	100,8	0.8 %
5	127,85	100	98,94	1.06 %

Para colocar los datos de los pasos medidos para cada motor dentro del código, se toma el valor de porcentaje más bajo, el cual es el promedio de 5 mediciones como se observa en la TABLA 0-1. Se toma en cuenta en cuenta que las mediciones, no siempre son exactas ya que existe el error humano al momento de medir las distancias recorridas, es por eso que primero se realizan pruebas de corte del material y se recalibra la máquina con las distancias reales, Para el eje X del sistema se hizo recorrer la fresa distancias fijas en mm y se calcula el error con la que este se desplaza, así se calibra los ejes con un error máximo de +/-0,5 mm, teniendo en cuenta que esta medida es por el error presente en la rosca del tornillo y la tuerca.



Figura 0.1 Calibración eje X

En la Figura 0.1 se muestra el margen de error obtenido en calibraciones del eje X, el cual es el mismo como para el eje Y, debido a que ambos están controlados por drivers similares, el número de pasos colocados por software no varía.



Figura 0.2 Calibración eje Z

En la Figura 0.2 se presenta la calibración del eje Z que presenta diferente configuración de pasos debido al driver que controla el motor, después de realizar las mediciones repetitivas para este eje, la calibración de datos dentro del software se quedó en 63 pasos/mm y se obtuvo el mismo resultado que para los otros dos ejes, tener un error de menos de $\pm 0,5\text{mm}$ “0.6%” equivalente a 0,12mm.

3.3 Pruebas de corte de material.

Para las pruebas de corte de material se tomó en cuenta primero la operación más sencilla de un mecanizado que es el desbaste de material a medidas de inserción reducidas.



Figura 0.3 Desbaste de material.

En la Figura 0.3 se presenta la primera prueba de funcionamiento de la máquina, mecanizando una pieza de aluminio fundido, se ejecuta un programa de planeado del material

hasta una profundidad específica, y se ejecuta el proceso tomando correctamente el cero pieza de la máquina. Al completar la acción se puso observar un error de 0.15 mm “0.75%” en la profundidad del material, lo que está dentro de las tolerancias permitidas por la máquina.

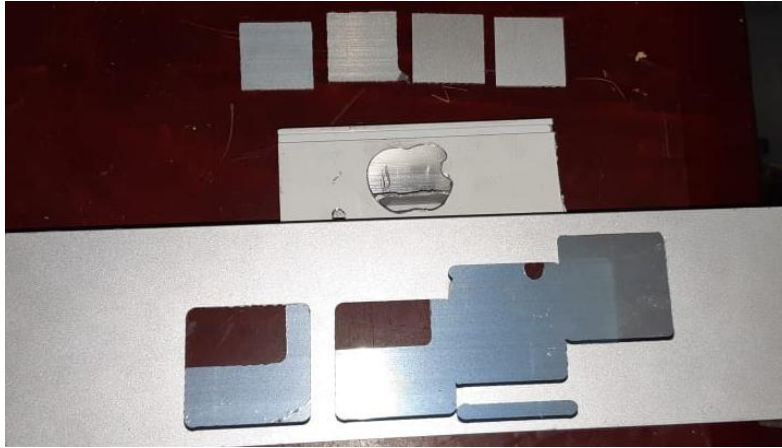


Figura 0.4 Pruebas de corte de aluminio

En la Figura 0.4 se muestra las pruebas de corte del material, que se realizó en perfiles de aluminio tipo tubo y comprobar la eficiencia de la máquina en cuanto a corte, cada prueba fue realizada a distintas velocidad de corte y se pudo comprobar una velocidad de corte óptima para la máquina al igual que la inserción de la herramienta tomada en cada pasada, los datos obtenidos se presentan tabulados en la TABLA 0-2.

TABLA 0-2 Velocidades recomendadas para la herramienta de corte

Diámetro fresa	Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Inserción de la fresa al material (mm)
3 mm	80 – 100	60 – 80	0.1 – 0.2
5/16"	120 – 180	80 – 100	0.2 – 0.4
1/4"	180 – 240	100 – 120	0.3 – 0.5

Con estos datos obtenidos se obtuvo el corte de una pieza que cumplía con las medidas requeridas por el usuario como se puede observar en la Figura 0.5 una pieza cuadrada con $l=30\text{mm}$, usando una fresa de 1/4" a una velocidad de corte de 180 m/min, una velocidad de avance de 80 mm/min y una inserción al material de 0,3mm.



Figura 0.5 Corte final de una pieza sencilla “error de 4.33%”

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Basado en el QFD se definió el sistema de movimiento de los ejes de la máquina, se escogió tornillo de potencia para la conversión de movimiento rotacional a lineal y para el desplazamiento de la máquina en el eje Y se optó por el desplazamiento de la mesa a lo largo del eje.
- Se realizó el diseño de las líneas guías mediante el análisis de esfuerzos, se realizó la simulación de las mismas y con un porcentaje de error del 5,4%, se avalúa la simulación mediante la herramienta Solidworks para el diseño de la estructura de la máquina.
- Basado en las alternativas tomadas del QFD, se analizó los materiales disponibles en el mercado nacional, existiendo un 60% de los necesarios en el país, el porcentaje restante son materiales importados, debido a su disponibilidad o a su precio de adquisición.
- De las pruebas de corte realizadas en la máquina, se obtuvo una tabla de velocidades de corte, avance e inserción de la herramienta recomendadas para este diseño, tomando en consideración la herramienta usada y el fabricante, ya que si se utiliza una herramienta diferente se debe realizar pruebas de corte y generar una tabla adecuada para las características de la herramienta.
- Teniendo en consideración el error máximo definido de 0.5 mm, se pudo observar, en el corte final realizado por la máquina, un error de 0.12 mm que satisface con las necesidades del corte ya definidas.

Recomendaciones

- Hacer pruebas de funcionamiento de materiales y comprobar los datos obtenidos en los datasheet, ya que en algunas ocasiones los instrumentos se presentan en mal estado, o con valores muy diferentes a los definidos por el fabricante, haciendo que la máquina no cumpla con las consideraciones iniciales.
- Utilizar instrumentos de protección mientras se realizan operaciones que sean riesgosas, evitando así, accidentes innecesarios.
- Realizar las partes de las piezas de la máquina, mecanizadas, o cortadas de una forma precisa, para evitar cargas no consideradas en el sistema.
- Revisar los materiales disponibles en el país para poder realizar un mantenimiento de la máquina.
- Las pruebas de funcionamiento realizarlas sin instrumentos de corte y con la mayor precaución posible para evitar que la estructura choque, o que los instrumentos se rompan antes de realizar el proceso de mecanizado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Wyoming, «Wyoming Machine,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.wyomingmachine.com/cnc-precision-laser-cutting-services.html>.
- [2] F. Díaz del Castillo, Maquinas, Robots y la manufactura flexible, Cautitlán, 2010, pp. 48-50.
- [3] Aliexpress, «Aliexpress.com,» 21 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/co2-laser-metal-cutting-machine-2mm-stainless-steel-co2-laser-cutting-machine-cnc-laser-metal-cutting/32776421565.html>.
- [4] Aliexpress, «Aliexpress.com,» 29 Octubre 2014. [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/store/product/cutting-metal-with-water-waterjet-abrasive-metal-cutting-machine-used-waterjet-for-sale-water-jet-cutter/1497262_32716977699.html?spm=2114.04010208.3.23.iBSRAp&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_1_10065_1000007.
- [5] Alibaba, «<http://spanish.alibaba.com>,» [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/yc-gantry-type-high-accuracy-cutting-machine-plasma-prices-60360947709.html>.
- [6] J. Rhys-Davies, Interviewee, *A Sandvik Coromant Insight on Industry 4.0*. [Entrevista]. 25 09 2018.
- [7] E. T. Group, «engtechgroup.com,» 13 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://engtechgroup.com/cnc-machines-evolution/>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [8] I. v. artificial, «youtube,» 26 Marzo 2015. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=y_zTBdsyzT0. [Último acceso: 22 Abril 2019].
- [9] Herramental, «youtube,» 02 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=NRDVpLTxgTs>. [Último acceso: 25 Abril 2019].
- [10] G. M. Zambrano Rey, C. C. Parra Rodríguez, M. R. Manrique Torres y C. J. Bustacara Medina, «redalyc.org,» 11 Septiembre 2006. [En línea]. Available: <http://www.redalyc.org/html/477/47711103/>. [Último acceso: 25 Abril 2019].
- [11] Unknown, «A CNC milling, router or laser shield that contains and removes dust, debris and fumes». Canadá Patente CA 2929584 A1, 11 Noviembre 2017.
- [12] T. Mochida y K. Miyajima, «Multiple system numerical control device». United States Patente US 9,983,570 B2, 02 Junio 2016.
- [13] H. Takigawa y Y. Nishikawa, «Laser device capable of using small-sized chiller». United States Patente US 9,985,409 B2, 10 Abril 2017.
- [14] E. contributors, «EcuRed.cu,» 28 Febrero 2013. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/index.php?title=Corte_con_chorro_de_agua&oldid=1812182. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [15] MecanizadosSINC, «mecanizadossinc.com,» [En línea]. Available: <https://www.mecanizadossinc.com/corte-chorro-de-agua-mecanizar/>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [16] E. contributors, «ecured.cu,» 10 Mayo 2013. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/index.php?title=Corte_por_plasma&oldid=1918465. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [17] SIDECO, «sideco.com.mx,» 02 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://sideco.com.mx/plasma-cnc-y-otras-tecnologias-de-corte-termico-mecanizado/>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].

- [18] Maquituls, «maquituls.es,» 14 Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.maquituls.es/noticias/funciones-y-ventajas-de-los-maquinas-cortadoras-de-plasma/>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [19] E. contributors, «ecured.cu,» 10 Mayo 2013. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/index.php?title=Corte_por_1%C3%A1ser&oldid=1918451. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [20] MESSER, «messer-cs.com,» [En línea]. Available: <https://www.messer-cs.com/mx/north-america/procesos/corte-con-laser/>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [21] SIDECO, «blog.sideco.com.mx,» 09 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://blog.sideco.com.mx/beneficios-que-obtienes-con-un-router-cnc>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [22] Q. Martinez, «Mecanizado CNC,» 19 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://umesal.com/mecanizado-cnc/>. [Último acceso: 14 Marzo 2019].
- [23] S. NY, «signsny.com,» [En línea]. Available: <https://www.signsny.com/custom-fabrication/cnc-cutting-services>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [24] C. Riba, «Diseño Concurrente,» de *Diseño Concurrente*, 2002, p. 176.
- [25] D. Corzo y M. Cuatín, *Diseño de una máquina semiautomática para la fabricación de adoquines y bloques*, Quito, Pichincha, 2011.
- [26] A. González García, «panamahitek,» 02 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>. [Último acceso: 30 Abril 2019].
- [27] internationalcouplings, «internationalcouplings.es,» [En línea]. Available: <http://internationalcouplings.es/motores-de-corriente-continua>. [Último acceso: 01 Mayo 2019].
- [28] W. Kinsey, «puomotores.com,» 21 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.puomotores.com/13182627/las-ventajas-de-los-motores-series-dc>. [Último acceso: 30 Abril 2019].
- [29] «<https://clr.es/blog/es/motor-paso-a-paso-cuando-utilizarlo/>,» [En línea]. Available: <https://clr.es/blog/es/motor-paso-a-paso-cuando-utilizarlo/>. [Último acceso: 02 Mayo 2019].
- [30] usattmotor, «usattmotor.com,» [En línea]. Available: <http://www.usattmotor.com/news/advantages-disadvantages-of-stepper-motors-8479616.html>. [Último acceso: 02 Mayo 2019].
- [31] V. Flores, «slideshare,» 11 Octubre 2011. [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/vfloresg/elementos-de-transmision-de-potencia-mecanica>. [Último acceso: 03 Mayo 2019].
- [32] EcuRed, «EcuRed,» 27 Septiembre 2011. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/index.php?title=Especial:Citar&page=Transportador_de_tornillo_sin_fin&id=959721. [Último acceso: 05 Mayo 2019].
- [33] mecapedia.uji.es, «mecapedia.uji.es,» 28 Junio 2006. [En línea]. Available: http://www.mecapedia.uji.es/husillo_de_bolas.htm. [Último acceso: 05 Mayo 2019].
- [34] demaquinasyherramientas.com, «demaquinasyherramientas.com,» 17 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/herramientas-de-corte-para-torno-tipos-y-usos>. [Último acceso: 05 Mayo 2019].

- [35] «www3.fi.mdp.edu.ar,» [En línea]. Available: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/16.pdf>. [Último acceso: 06 Mayo 2019].
- [36] Sandvik, «sandvik.coromant.com,» [En línea]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>. [Último acceso: 17 Abril 2019].
- [37] amanatool, «amazon.com,» [En línea]. Available: https://www.amazon.com/Amana-51408-Dx1-SPIRAL-ALUMI/dp/B001EVNGAU/ref=sr_1_3?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=amana+tool+solid+carbide+aluminum&qid=1559291873&s=gateway&sr=8-3. [Último acceso: 22 Abril 2018].
- [38] J. Sánchez, «slideshare.net,» 28 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/genarova/10-capitulo-iiidoc>. [Último acceso: 08 Octubre 2018].
- [39] O. A. Cruz García, E. R. Guerra López, R. A. Herrera Castillo y N. O. Meza Orellana, «Diseño y construcción de una fresadora con control numérico por computadora para uso didáctico,» San Salvador, 2014.
- [40] «emaze.com,» [En línea]. Available: <https://www.emaze.com/@AFRFOOLW>. [Último acceso: 18 Mayo 2018].
- [41] R. Budynas y J. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica, Ibarra: McGrawHill.
- [42] D. Gonzales López, «Estudio experimental de fuerzas de corte en el fresado de un acero AISI 316L ASS,» Valladolid, 2015.
- [43] aprendiendoxna.wordpress.com, «aprendiendoxna.wordpress,» [En línea]. Available: <https://aprendiendoxna.wordpress.com/articulos/xna/sistema-de-coordenadas-3d/>. [Último acceso: 20 Abril 2019].
- [44] R. Norton, Diseño de máquinas un enfoque integrado, Ibarra: Pearson.
- [45] R. Mott, E. Vavrek y J. Wang, Machine elements in mechanical design, Ibarra: Pearson.
- [46] D. Hermoza, «hermozaingenieria.blogspot.com,» 16 Junio 2012. [En línea]. Available: <http://hermozaingenieria.blogspot.com/2012/06/propiedades-mecanicas-del-acero-plata-k.html>. [Último acceso: 15 Noviembre 2018].
- [47] ferrocortes, «ferrocortes.com,» 01 Junio 2017. [En línea]. Available: <http://www.ferrocortes.com.co/acero-plata/>. [Último acceso: 22 Noviembre 2018].
- [48] «recursosbiblio.url.edu.gt,» [En línea]. Available: http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio_sin_paredes/fac_arqui/dis_simpli_estruc/05.pdf. [Último acceso: 17 Noviembre 2018].
- [49] StepIM, «servotronix.com,» [En línea]. Available: http://www.servotronix.com/wp-content/uploads/2018/03/stepIM_Datasheet_Rev_5.2.pdf. [Último acceso: 25 Abril 2019].
- [50] dipacmanta, «dipacmanta.com,» [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/aisi-1018-transmision>. [Último acceso: 28 Abril 2019].
- [51] R. Bosh, «lineartec.com.ar,» [En línea]. Available: <http://www.lineartec.com.ar/catalogos/7RodamientosLinealesBosch.pdf>. [Último acceso: 12 Marzo 2019].
- [52] AmanaTool, «toolstoday.com,» [En línea]. Available: <https://www.toolstoday.com/pdf/Aluminum-O-Flute-Speed-Chart.pdf>. [Último acceso: 17 Marzo 2019].

- [53] wec-design.com, «wec-design.com,» 11 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://wec-design.com/velocidades-de-avance-y-de-corte-para-mecanizar-una-pieza-de-reloj/>. [Último acceso: 17 Marzo 2019].

ANEXOS

ANEXO 1
CÁLCULOS Y PROGRAMAS

CÁLCULO DEL TORQUE NECESARIO PARA MOVER EL EJE X

$$m_{\text{totalx}} = m_{\text{fundición}} + m_{\text{accesorios}}$$

Donde:

$$m_{\text{fundición}} = 12 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{accesorios}} = 5 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{totalx}} = 17 \text{ kg}$$

$$w_x = 17 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 166,77 \text{ N}$$

Fuerzas de rozamiento

$$P = \frac{W_x}{4} = \frac{91.23}{4} = 41,69 \text{ N}$$

$$F_{\text{rx}} = 41,69 * 0.25 = 10,42 \text{ N}$$

$$F_{\text{rx}} = 10,42 \text{ N} * 4 = 41,69 \text{ N}$$

Fuerzas inerciales

$$F_i = m * a$$

$$F_i = 17 * \frac{0.05 \text{ m/s}}{0.1 \text{ s}}$$

$$F_i = 8,5 \text{ N}$$

Calculo del torque necesario para el tornillo de potencia

$$W_x = F_c + F_{rx} + F_i$$

$$W_x = 100 \text{ N} + 41,69 \text{ N} + 8,5 \text{ N}$$

$$\mathbf{W_x = 150,19 \text{ N.}}$$

$$T_R = \frac{W_x * d_m}{2} * \left(\frac{1 + \pi * \mu * d_m * \sec(\alpha)}{\pi * d_m - \mu * l * \sec(\alpha)} \right)$$

De los cálculos anteriores se tiene:

$$\mathbf{T_c = 0.575 \text{ Nm}}$$

CÁLCULO DEL TORQUE NECESARIO PARA MOVER EL EJE Z.

$$m_{\text{totalz}} = m_{\text{husillo}} + m_{\text{tornillo-tuerca}} + m_{\text{accesorios}} + m_{\text{fundición}}$$

Donde:

$$m_{\text{fundición}} = 4 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{husillo}} = 0,8 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{tornillo-tuerca}} = 1 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{accesorios}} = 0,8 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{totalz}} = 0,8 \text{ Kg} + 1 \text{ Kg} + 0,8 \text{ kg} + 4 \text{ kg}$$

$$m_{\text{totalz}} = 6,6 \text{ Kg}$$

$$W_z = 6,6 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\mathbf{W_z = 64,75 \text{ N}}$$

Las fuerzas de rozamiento en este eje son despreciables ya que la carga se desplaza por un eje liso "ideal" y no existen cargas transversales mientras el tornillo mueve la carga, por lo que se toma en consideración el peso total para el cálculo del torque.

Fuerzas inerciales

$$F_i = m * a$$

$$F_i = 6,6 \text{ Kg} * \frac{0,05 \text{ m/s}}{0,1 \text{ s}}$$

$$\mathbf{F_i = 3,3 \text{ N}}$$

$$W = W_z + F_i + F_c$$

$$W = 64,75 \text{ N} + 3,3 \text{ N} + 100 \text{ N}$$

$$\mathbf{W = 168,05 \text{ N.}}$$

De los cálculos hechos anteriormente se tiene el torque necesario para levantar la carga:

$$T_R = \frac{W * d_m}{2} * \left(\frac{1 + \pi * \mu * d_m * \sec(\theta)}{\pi * d_m - \mu * l * \sec(\theta)} \right)$$

$$\mathbf{T_c = 0.644 \text{ Nm}}$$

Para el cálculo del torque necesario para bajar la carga se tiene la fórmula:

$$T_L = \frac{W * d_m}{2} * \left(\frac{\pi * \mu * d_m * \sec(\theta) - l}{\pi * d_m + \mu * l * \sec(\theta)} \right)$$

De donde se tiene:

$$T_L = 0.35 Nm$$

PROGRAMA PARA VALIDACIÓN DE MOMENTO MÁXIMO EN EL EJE Y.

```
clear all, close all, clc

x = 0;

y = 609;

z = 300;

Ra = 0;

Re = 0;

v1(918) = [zeros];

v2(918) = [zeros];

v3(918) = [zeros];

for a=309:609

    Re = (105.46*(x+a)+100*(y)+105.46*(z+a))/1218;

    Ra = 105.46 + 100 + 105.46 - Re;

    Tx = Ra;

    Ty = Tx - 105.46;

    Tz = Ty - 100;

    Tw = Tz - 105.46;

    Ta = Tw + Re;

    R1 = Tx*(a);

    R2 = Ty*(y-a);

    R3 = Tz*(a+z-y);

    Tab = R1;

    Tbc = R1+R2;

    Tcd = Tbc + R3;

    v1(a) = Tab;
```

$v2(a) = Tbc;$

$v3(a) = Tcd;$

end

for a=1:308

$Re = (105.46*(x+a)+100*(y)+105.46*(z+a))/1218;$

$Ra = 105.46 + 100 + 105.46 - Re;$

$Tx = Ra;$

$Ty = Tx - 105.46;$

$Tz = Ty - 105.46;$

$Tw = Tz - 100;$

$Ta = Tw + Re;$

$R1 = Tx*(a);$

$R2 = Ty*(z);$

$R3 = Tz*(y-z-a);$

$Tab = R1;$

$Tbc = R1+R2;$

$Tcd = Tbc + R3;$

$v1(a) = Tab;$

$v2(a) = Tbc;$

$v3(a) = Tcd;$

end

for a=610:918

$Re = (105.46*(x+a)+100*(y)+105.46*(z+a))/1218;$

$R_a = 105.46 + 100 + 105.46 - R_e;$

$T_x = R_a;$

$T_y = T_x - 105.46;$

$T_z = T_y - 100;$

$T_w = T_z - 105.46;$

$T_a = T_w + R_e;$

$R_1 = T_x \cdot (y);$

$R_2 = T_y \cdot (a - y);$

$R_3 = T_z \cdot (z);$

$T_{ab} = R_1;$

$T_{bc} = R_1 + R_2;$

$T_{cd} = T_{bc} + R_3;$

$v_1(a) = T_{ab};$

$v_2(a) = T_{bc};$

$v_3(a) = T_{cd};$

end

$M_1 = \max(v_1)$

$M_2 = \max(v_2)$

$M_3 = \max(v_3)$

```
Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

M1 =
    7.8856e+04

M2 =
    7.8856e+04
|
M3 =
    7.8856e+04

fx >>
```

CÓDIGO PARA PROBAR EL MOVIMIENTO DE LOS EJES.

```
int PUL=7; //define Pulse pin

int DIR=6; //define Direction pin

int ENA=5; //define Enable Pin

int X = 9;

int cont = 0;

int cont1 = 0;

long pasos= 50000;

int del;

void setup() {

    pinMode (PUL, OUTPUT);

    pinMode (DIR, OUTPUT);

    pinMode (ENA, OUTPUT);

    digitalWrite(8, HIGH);

}

void loop() {

    if(digitalRead(X) == true & cont == 0){

        cont1 = 0;

        cont =1;

        for (long i=0; i<pasos; i++) //Forward 50000 steps

        {
```

```
if (i<1000)

    del = 900;

else if(i<2000)

    del = 800;

else if(i<3000)

    del = 700;

else if(i>4000 & i<44000)

    del = 600;

else if(i>44000 & i<46000)

    del = 700;

else if(i>46000 & i<48000)

    del = 800;

else if(i>48000)

    del = 900;

digitalWrite(DIR,LOW);

digitalWrite(ENA,HIGH);

digitalWrite(PUL,HIGH);

delayMicroseconds(del);

digitalWrite(PUL,LOW);

delayMicroseconds(del);

}

delay(2000);

}
```

```
if(digitalRead(X) == false & cont1 == 0){  
  
    cont = 0;  
  
    cont1 = 1;  
  
    for (long i=0; i<pasos; i++) //Backward 5000 steps  
  
    {  
  
        if (i<2000)  
  
            del = 900;  
  
        else if(i<4000)  
  
            del = 800;  
  
        else if(i<6000)  
  
            del = 700;  
  
        else if(i>8000 & i<44000)  
  
            del = 600;  
  
        else if(i>44000 & i<46000)  
  
            del = 700;  
  
        else if(i>46000 & i<48000)  
  
            del = 800;  
  
        else if(i>48000)  
  
            del = 900;  
  
        digitalWrite(DIR,HIGH);  
  
        digitalWrite(ENA,HIGH);  
  
        digitalWrite(PUL,HIGH);  
  
        delayMicroseconds(del);  
    }  
}
```

```
digitalWrite(PUL,LOW);
```

```
delayMicroseconds(del);
```

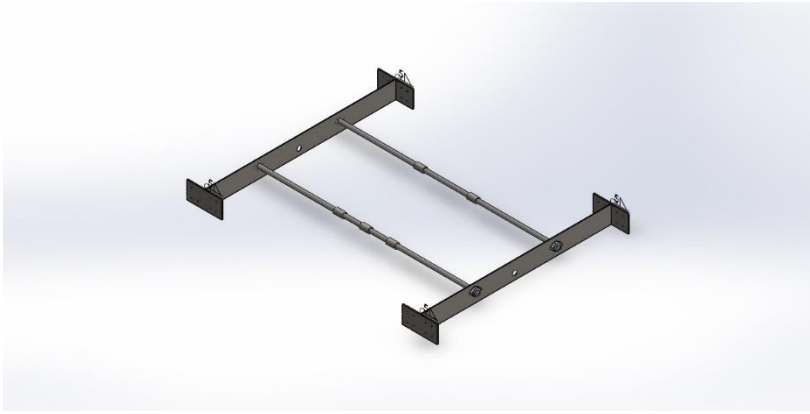
```
}
```

```
delay(2000);
```

```
}
```

```
}
```

ANEXO 2
SIMULACIONES



Simulación de Ensamblaje1

Fecha: Lunes, 4 de Junio de 2018

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 6

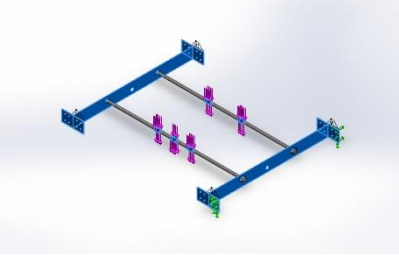
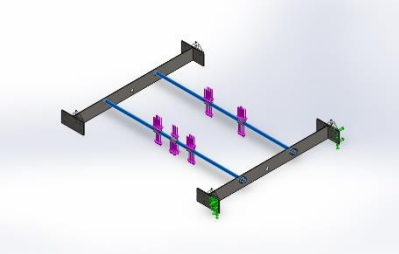
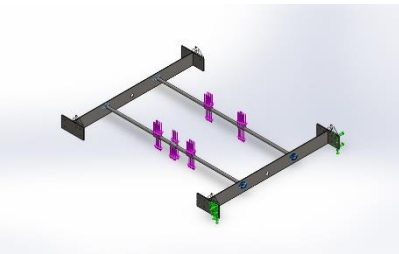
Tipo de análisis: Análisis estático

Descripción

Análisis de líneas guías en el eje Y



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 2.5e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.26</p> <p>Densidad: 7850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.93e+010 N/m²</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-3), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-6), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-1), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-2), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-3), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-4), Sólido 1(Cortar-Extruir5)(Soportemesa2-1), Sólido 1(Cortar-Extruir5)(Soportemesa2-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: 1.2210 (115CrV3)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 3.7e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 6.7e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p> <p>Densidad: 7870 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.1e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(GuiaY-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(GuiaY-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: Aleación 1060</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 2.75742e+007 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 6.89356e+007 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 6.9e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.33</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-1), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-3), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-4)</p>

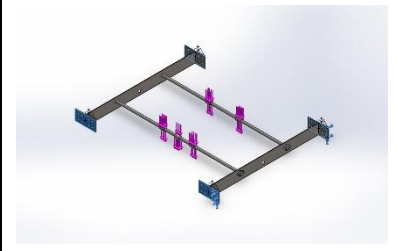


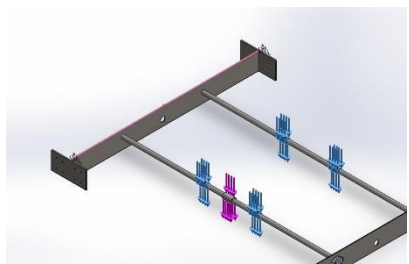
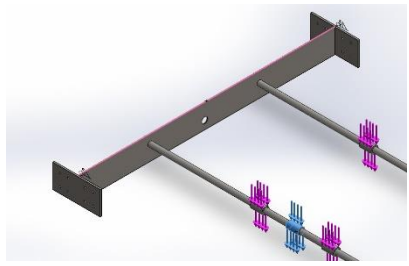
	Densidad: 2700 kg/m ³ Módulo cortante: 2.7e+010 N/m ² Coefficiente de dilatación térmica: 2.4e-005 /Kelvin	
--	---	--

Datos de curva:N/A



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.00276921	522.111	-0.302555	522.111
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 4 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, 105.46 N Ángulo de fase: 0 Unidades: deg
Fuerza-2		Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, 100 N Ángulo de fase: 0 Unidades: deg

Vigas

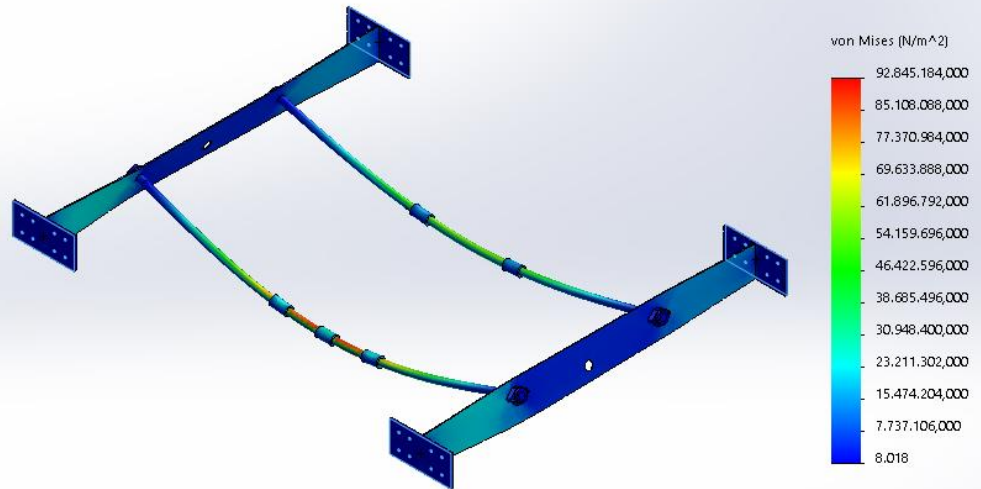
No hay datos



Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	8.01829 N/m ² Nodo: 27259	9.28452e+007 N/m ² Nodo: 2968

Nombre de modelo: Ensamblaje1
Nombre de estudio: Análisis estático 6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 26.5369

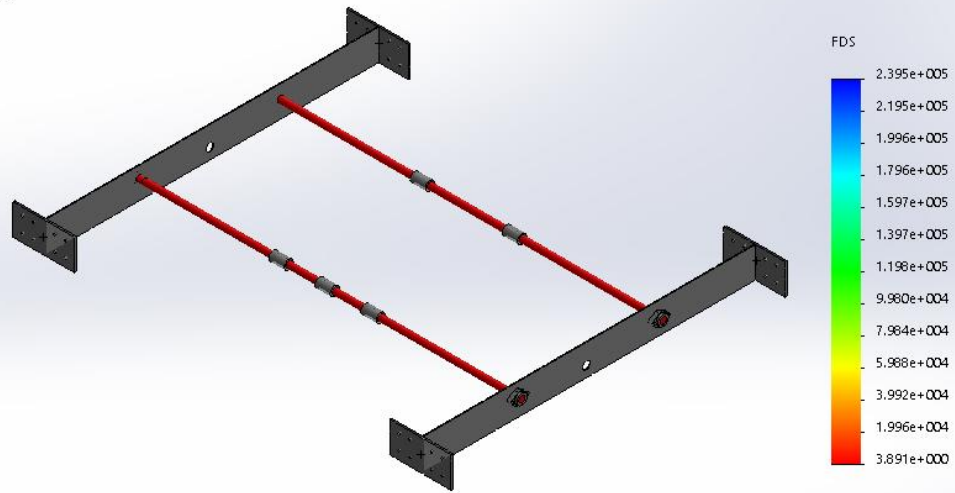


Ensamblaje1-Análisis estático 6-Tensiones-Tensiones1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de cortadura máx. (Tresca)	3.89126 Nodo: 2968	239504 Nodo: 5396

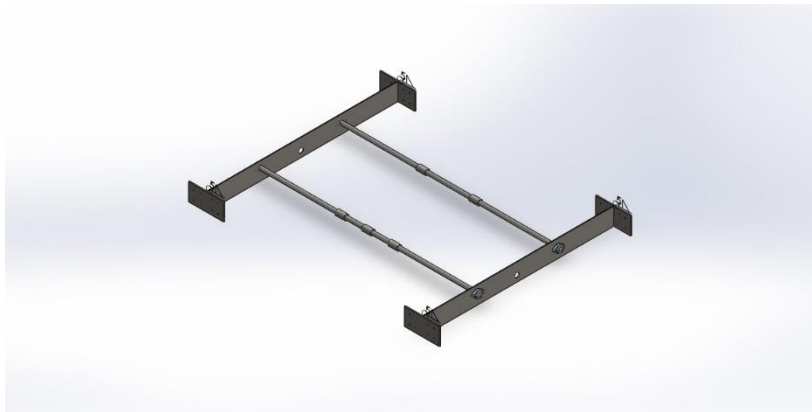
Nombre de modelo: Ensamblaje1
Nombre de estudio: Análisis estático 6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensión de cortadura máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3.9



Ensamblaje1-Análisis estático 6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

El factor de seguridad de las líneas guías con la simulación mediante la herramienta Solidworks es de 3,9.





Simulación de Ensamblaje1

Fecha: Lunes, 4 de Junio de 2018

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 6

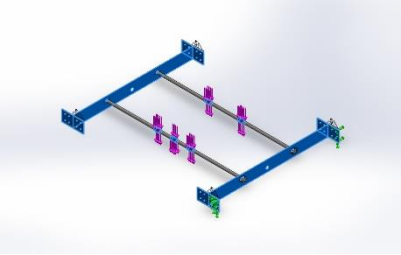
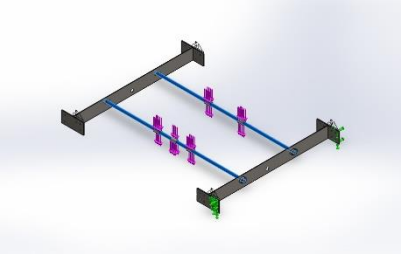
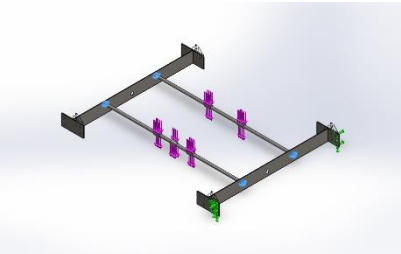
Tipo de análisis: Análisis estático

Descripción

Análisis de la estructura interna de la máquina.



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 2.5e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.26</p> <p>Densidad: 7850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.93e+010 N/m²</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-3), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-6), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-1), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-2), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-3), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-4), Sólido 1(Cortar-Extruir5)(Soportemesa2-1), Sólido 1(Cortar-Extruir5)(Soportemesa2-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: 1.2210 (115CrV3)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 3.7e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 6.7e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.29</p> <p>Densidad: 7870 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.1e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(GuiaY-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(GuiaY-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: Aleación 1060</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 2.75742e+007 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 6.89356e+007 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 6.9e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.33</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-1), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-3), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-4)</p>

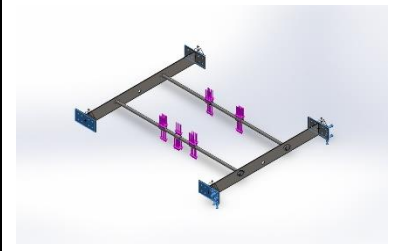


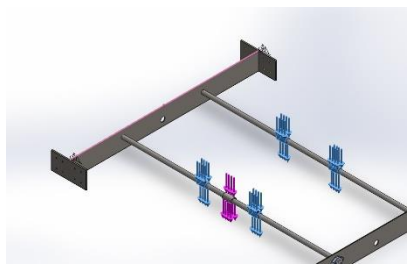
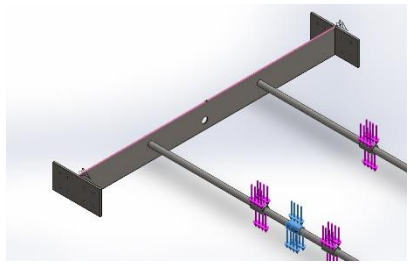
	Densidad: 2700 kg/m ³ Módulo cortante: 2.7e+010 N/m ² Coefficiente de dilatación térmica: 2.4e-005 /Kelvin	
--	---	--

Datos de curva:N/A



Cargas y sujeciones

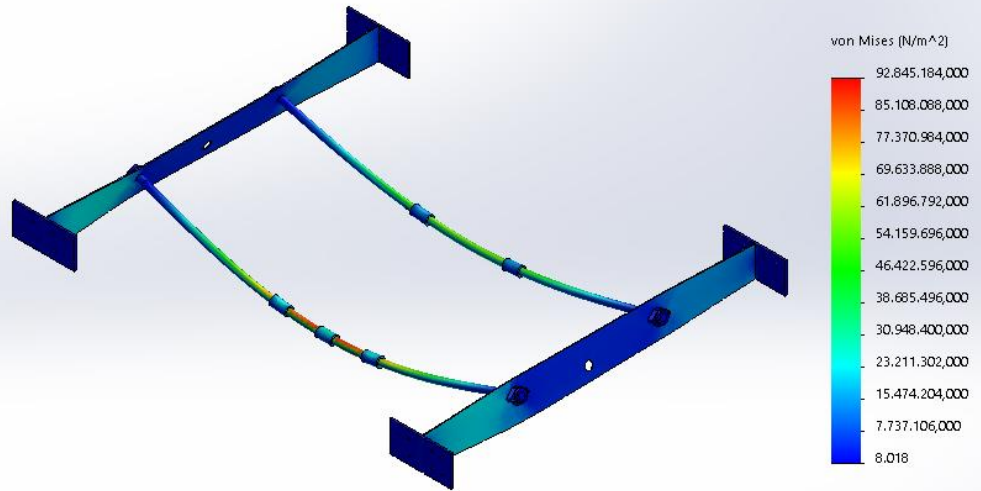
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p>Entidades: 4 cara(s) Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.00276921	522.111	-0.302555	522.111
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 4 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, 105.46 N Ángulo de fase: 0 Unidades: deg</p>
Fuerza-2		<p>Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, 100 N Ángulo de fase: 0 Unidades: deg</p>

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	8.01829 N/m ² Nodo: 27259	9.28452e+007 N/m ² Nodo: 2968

Nombre de modelo: Ensamblaje1
Nombre de estudio: Análisis estático 6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 26.5369

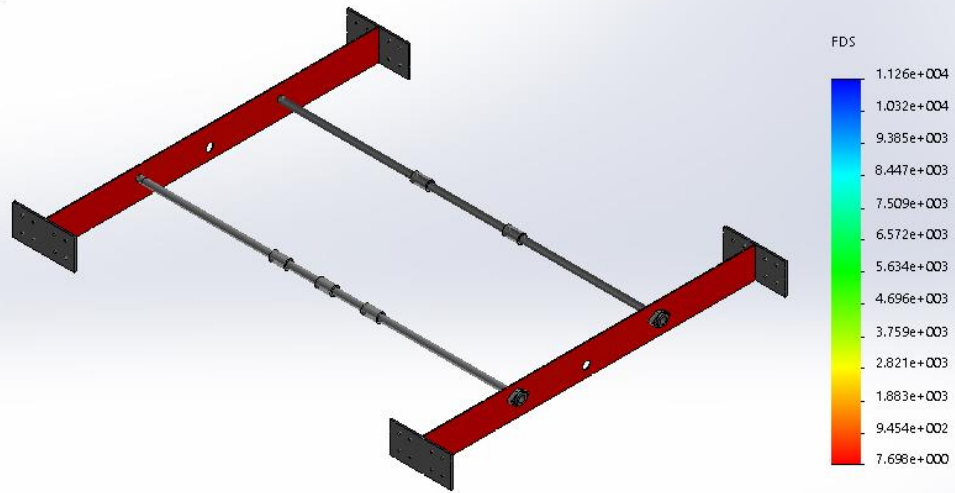


Ensamblaje1-Análisis estático 6-Tensiones-Tensiones1



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Factor de seguridad1	Tensión de cortadura máx. (Tresca)	7.69831 Nodo: 12214	11260.2 Nodo: 35055

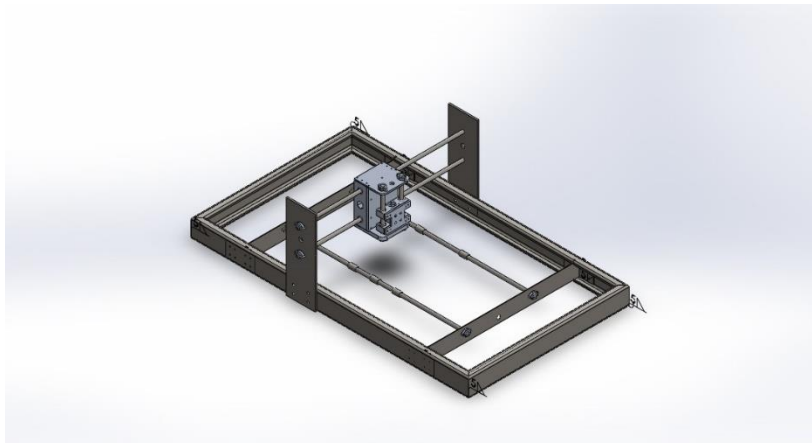
Nombre de modelo: Ensamblaje1
Nombre de estudio: Análisis estático 6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensión de cortadura máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 7,7



Ensamblaje1-Análisis estático 6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

El factor de seguridad de las platinas que forman la estructura interna de la máquina con la simulación mediante la herramienta Solidworks es de 7,7





Simulación de Ensamblaje1

Fecha: Lunes, 4 de Junio de 2018

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 6

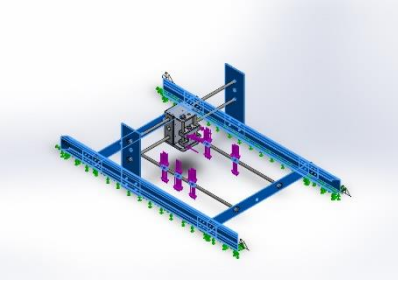
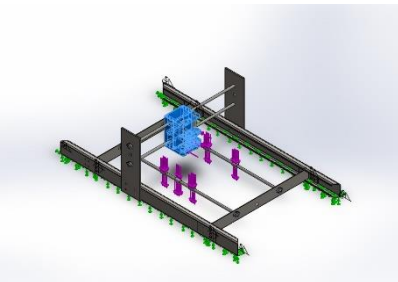
Tipo de análisis: Análisis estático

Descripción

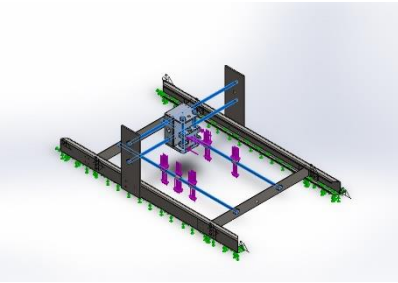
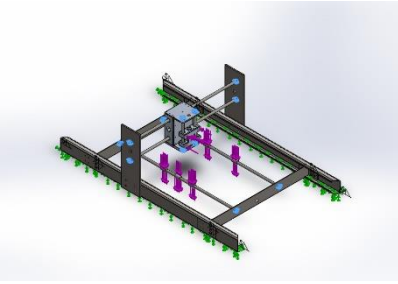
Análisis de la estructura externa de la máquina.



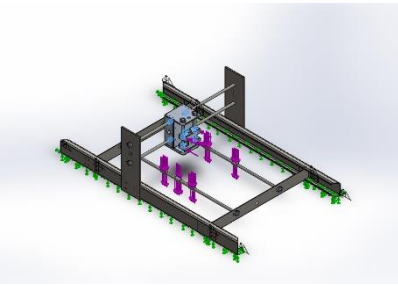
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 2.5e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.26</p> <p>Densidad: 7850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.93e+010 N/m²</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-3), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-6), Sólido 1(Cortar-Extruir4)(Ensamblaje_Y-1/Largo_estructura-1), Sólido 1(Cortar-Extruir4)(Ensamblaje_Y-1/Largo_estructura-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Platina_torre-1), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Platina_torre-2), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-1), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-2), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-3), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-4), Sólido 1(Cortar-Extruir5)(Soportemesa2-1), Sólido 1(Cortar-Extruir5)(Soportemesa2-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: 6063-T5</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 1.45e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1.85e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 6.9e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.33</p> <p>Densidad: 2700 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 2.58e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 2.3e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Ensamblaje_Torre1-1/Torre1_cubo-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Ensamblaje_Torre1-1/Torre1_platina-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Ensamblaje_Torre1-1/Torre1_soporte-1), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Ensamblaje_Torre1-1/Torre1_soporte-2),</p>



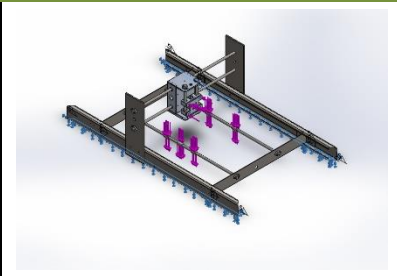
		<p>Sólido 1(Redondeo1)(Ensamblaje_Z-1/Torre2-2/Torre2_inferior-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Torre2-2/Torre2_platina-1), Sólido 1(Saliente-Extruir2)(Ensamblaje_Z-1/Torre2-2/Torre2_soportes-1), Sólido 1(Saliente-Extruir2)(Ensamblaje_Z-1/Torre2-2/Torre2_soportes-2), Sólido 1(Redondeo1)(Ensamblaje_Z-1/Torre2-2/Torre2_superior-1)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: 1.2210 (115CrV3) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 3.7e+008 N/m² Límite de tracción: 6.7e+008 N/m² Módulo elástico: 2e+011 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.29 Densidad: 7870 kg/m³ Módulo cortante: 8e+010 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1.1e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Guia_Z-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Guia_Z-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(GuiaY-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(GuiaY-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Guia_X-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Guia_X-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: Aleación 1060 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2.75742e+007 N/m² Límite de tracción: 6.89356e+007 N/m² Módulo elástico: 6.9e+010 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.33 Densidad: 2700 kg/m³ Módulo cortante: 2.7e+010 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2.4e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Ensamblaje_Z-1/Soporte_Guia-1), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Ensamblaje_Z-1/Soporte_Guia-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Ensamblaje_Z-1/Soporte_Guia-3), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Ensamblaje_Z-1/Soporte_Guia-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-1), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-2),</p>

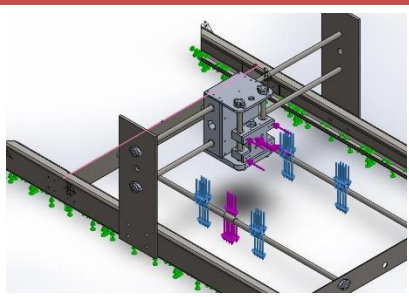
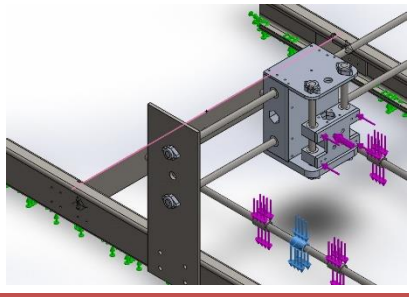
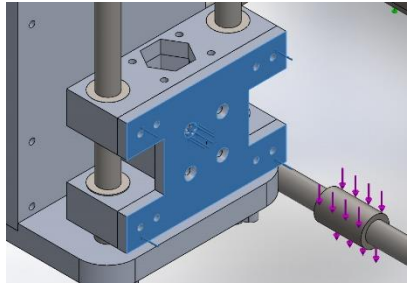


		<p>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-3), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-5), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-6), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-7), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-8)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		
	<p>Nombre: Acero aleado Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 6.20422e+008 N/m² Límite de tracción: 7.23826e+008 N/m² Módulo elástico: 2.1e+011 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.28 Densidad: 7700 kg/m³ Módulo cortante: 7.9e+010 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1.3e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-3), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-5), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-6), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-7), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-8)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-10		<p>Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	100.028	521.738	0.0144673	531.241
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

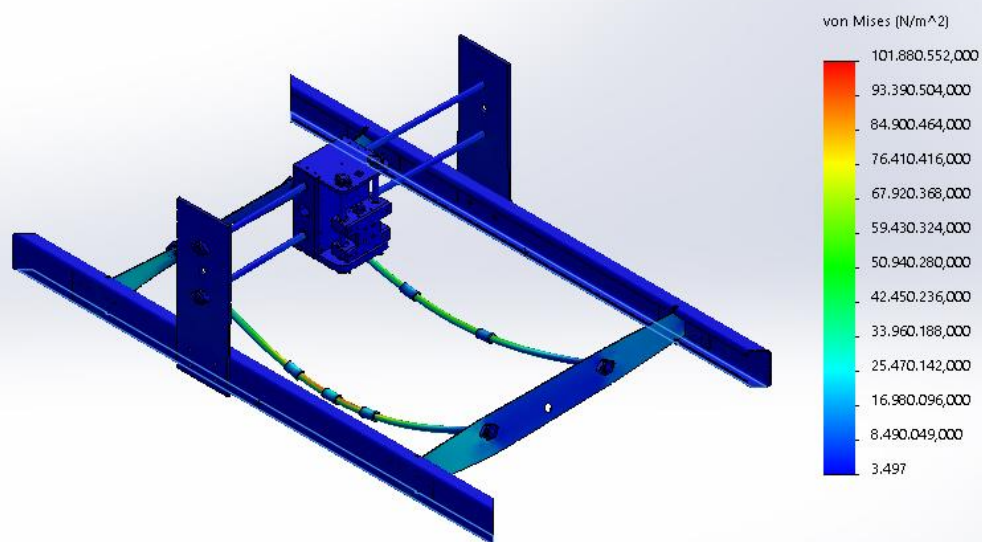
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 4 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, 105.46 N Ángulo de fase: 0 Unidades: deg</p>
Fuerza-2		<p>Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, 100 N Ángulo de fase: 0 Unidades: deg</p>
Fuerza-4		<p>Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 100 N Ángulo de fase: 0 Unidades: deg</p>



Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	3.49736 N/m ² Nodo: 152912	1.01881e+008 N/m ² Nodo: 384156

Nombre de modelo: Ensamblaje1
Nombre de estudio: Análisis estático 6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 34,7855

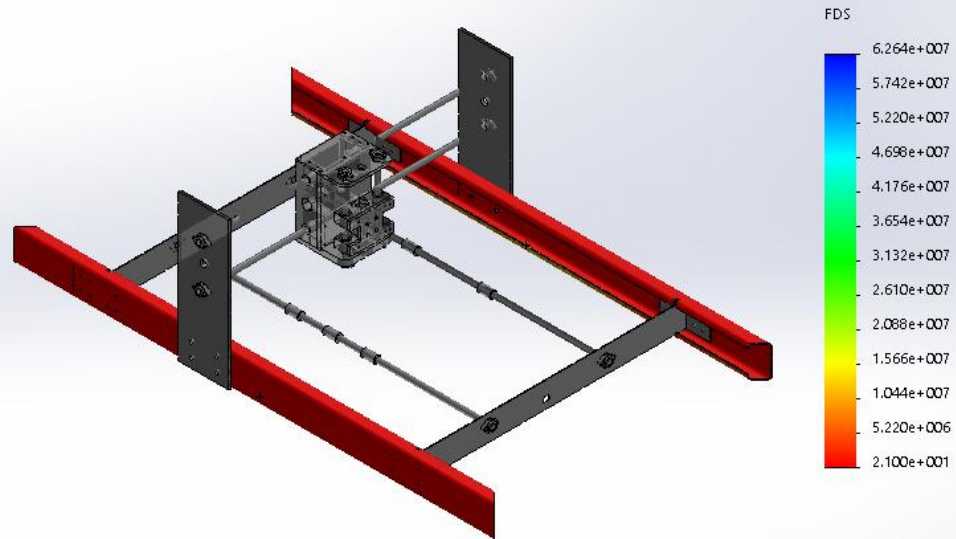


Ensamblaje1-Análisis estático 6-Tensiones-Tensiones1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de cortadura máx. (Tresca)	20.9978 Nodo: 31096	6.26404e+007 Nodo: 152912

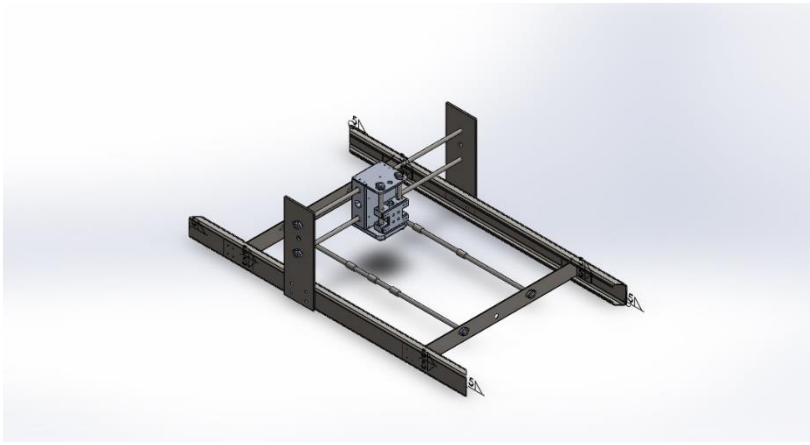
Nombre de modelo: Ensamblaje1
Nombre de estudio: Análisis estático 6-(Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensión de cortadura máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 21



Ensamblaje1-Análisis estático 6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

El factor de seguridad de las correas que forman la estructura externa de la máquina con la simulación mediante la herramienta Solidworks es de 21.





Simulación de Ensamblaje1

Fecha: Lunes, 4 de Junio de 2018

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: Análisis estático 6

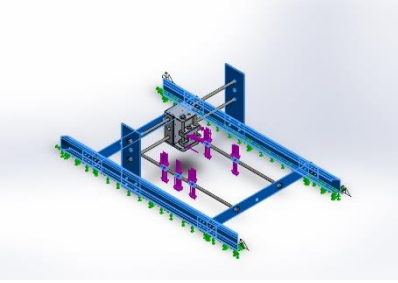
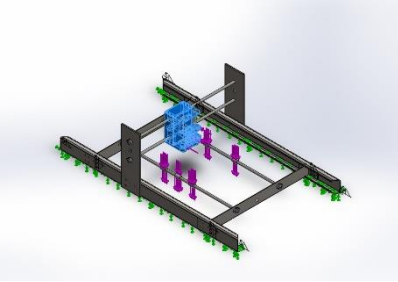
Tipo de análisis: Análisis estático

Descripción

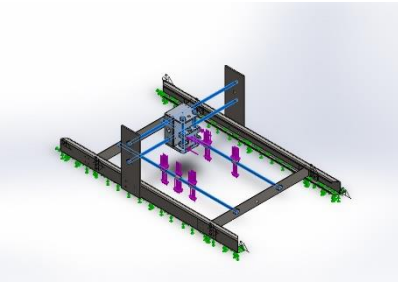
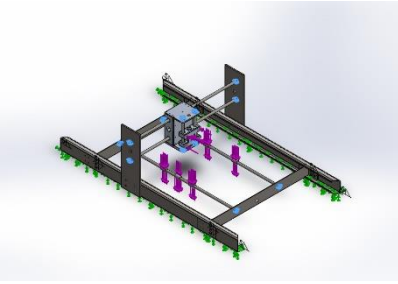
Análisis de la estructura externa de la máquina.



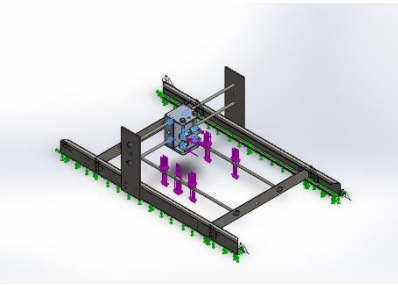
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 2.5e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.26</p> <p>Densidad: 7850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.93e+010 N/m²</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-3), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Collarin-6), Sólido 1(Cortar-Extruir4)(Ensamblaje_Y-1/Largo_estructura-1), Sólido 1(Cortar-Extruir4)(Ensamblaje_Y-1/Largo_estructura-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Platina_torre-1), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Platina_torre-2), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-1), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-2), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-3), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(Soportemesa-4), Sólido 1(Cortar-Extruir5)(Soportemesa2-1), Sólido 1(Cortar-Extruir5)(Soportemesa2-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: 6063-T5</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 1.45e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1.85e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 6.9e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.33</p> <p>Densidad: 2700 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 2.58e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 2.3e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Ensamblaje_Torre1-1/Torre1_cubo-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Ensamblaje_Torre1-1/Torre1_platina-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Ensamblaje_Torre1-1/Torre1_soporte-1), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Ensamblaje_Torre1-1/Torre1_soporte-2),</p>



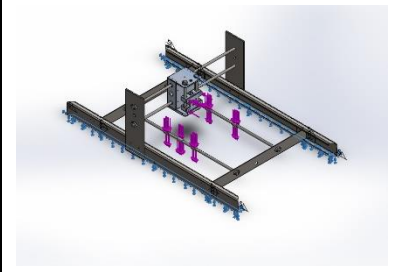
		<p>Sólido 1(Redondeo1)(Ensamblaje_Z-1/Torre2-2/Torre2_inferior-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Torre2-2/Torre2_platina-1), Sólido 1(Saliente-Extruir2)(Ensamblaje_Z-1/Torre2-2/Torre2_soportes-1), Sólido 1(Saliente-Extruir2)(Ensamblaje_Z-1/Torre2-2/Torre2_soportes-2), Sólido 1(Redondeo1)(Ensamblaje_Z-1/Torre2-2/Torre2_superior-1)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: 1.2210 (115CrV3) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 3.7e+008 N/m² Límite de tracción: 6.7e+008 N/m² Módulo elástico: 2e+011 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.29 Densidad: 7870 kg/m³ Módulo cortante: 8e+010 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1.1e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Guia_Z-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Ensamblaje_Z-1/Guia_Z-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(GuiaY-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(GuiaY-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Guia_X-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Guia_X-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: Aleación 1060 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2.75742e+007 N/m² Límite de tracción: 6.89356e+007 N/m² Módulo elástico: 6.9e+010 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.33 Densidad: 2700 kg/m³ Módulo cortante: 2.7e+010 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2.4e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Ensamblaje_Z-1/Soporte_Guia-1), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Ensamblaje_Z-1/Soporte_Guia-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Ensamblaje_Z-1/Soporte_Guia-3), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Ensamblaje_Z-1/Soporte_Guia-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-1), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-2),</p>

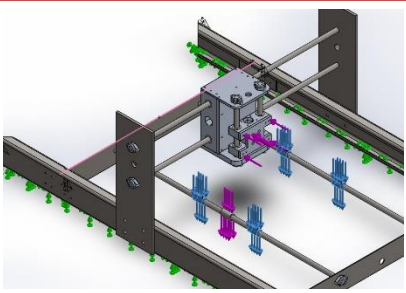
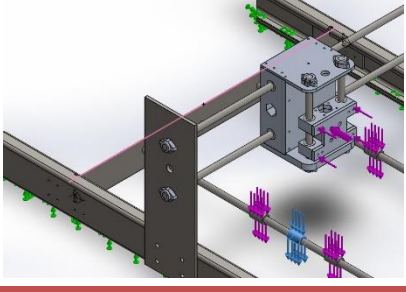
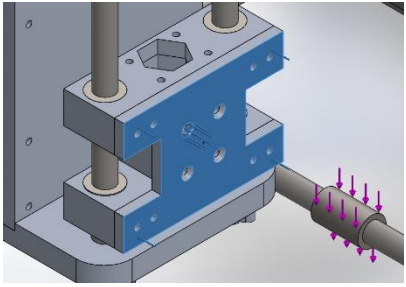


		<p>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-3), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-5), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-6), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-7), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Soporte_Guia-8)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		
	<p>Nombre: Acero aleado Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 6.20422e+008 N/m² Límite de tracción: 7.23826e+008 N/m² Módulo elástico: 2.1e+011 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.28 Densidad: 7700 kg/m³ Módulo cortante: 7.9e+010 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1.3e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-1), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-3), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-5), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-6), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-7), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rodamiento-8)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-10		<p>Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	100.005	522.847	0.076709	532.325
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

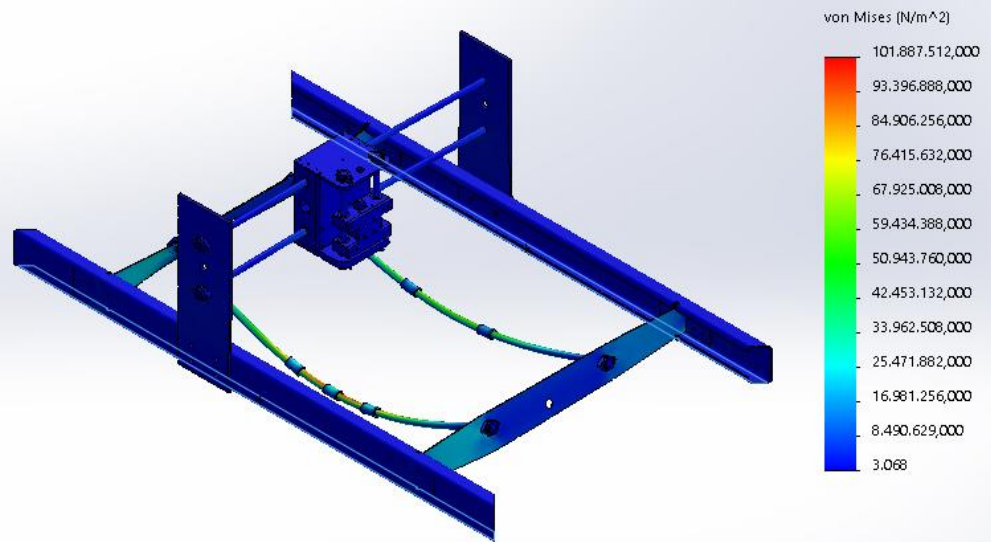
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 4 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, 105.46 N Ángulo de fase: 0 Unidades: deg</p>
Fuerza-2		<p>Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, 100 N Ángulo de fase: 0 Unidades: deg</p>
Fuerza-4		<p>Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 100 N Ángulo de fase: 0 Unidades: deg</p>



Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	3.06801 N/m ² Nodo: 78484	1.01888e+008 N/m ² Nodo: 384502

Nombre de modelo: Ensamblaje1
Nombre de estudio: Análisis estático 6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 34,7847

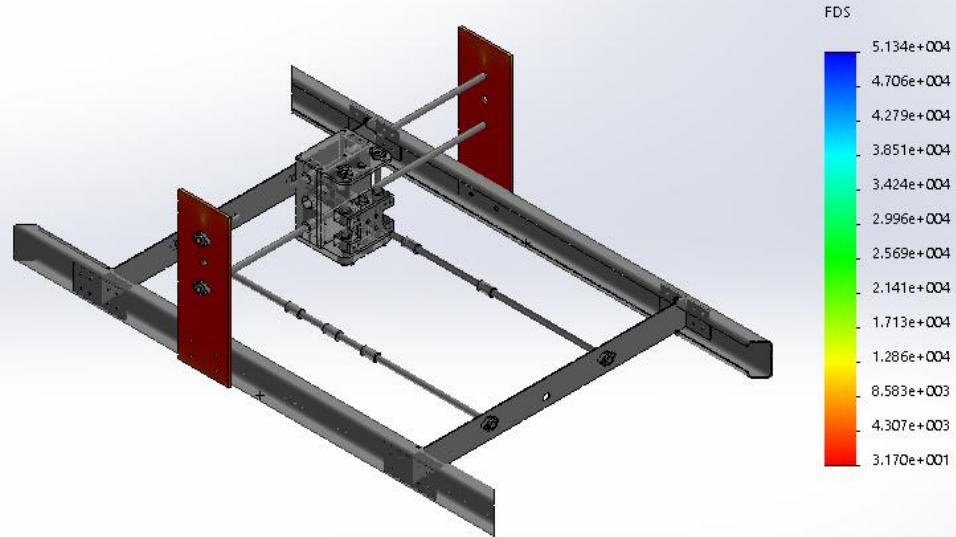


Ensamblaje1-Análisis estático 6-Tensiones-Tensiones1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de cortadura máx. (Tresca)	31.7037 Nodo: 411484	51339.9 Nodo: 449058

Nombre de modelo: Ensamblaje1
Nombre de estudio: Análisis estático 6-(Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensión de cortadura máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 32

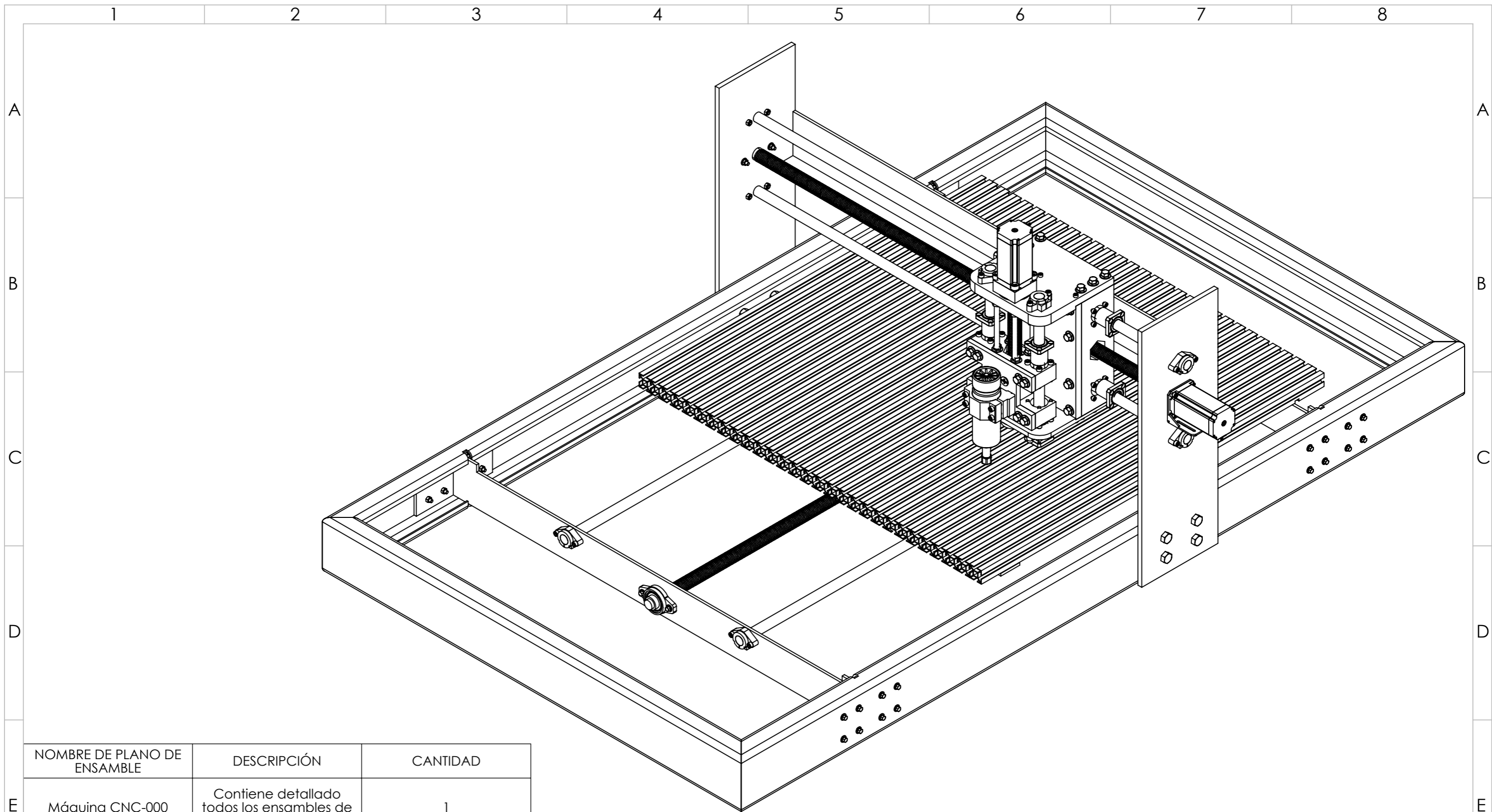


Ensamblaje1-Análisis estático 6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

El factor de seguridad de las platinas que sujetan las líneas guías del eje X de la máquina con la simulación mediante la herramienta Solidworks es de 32


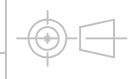


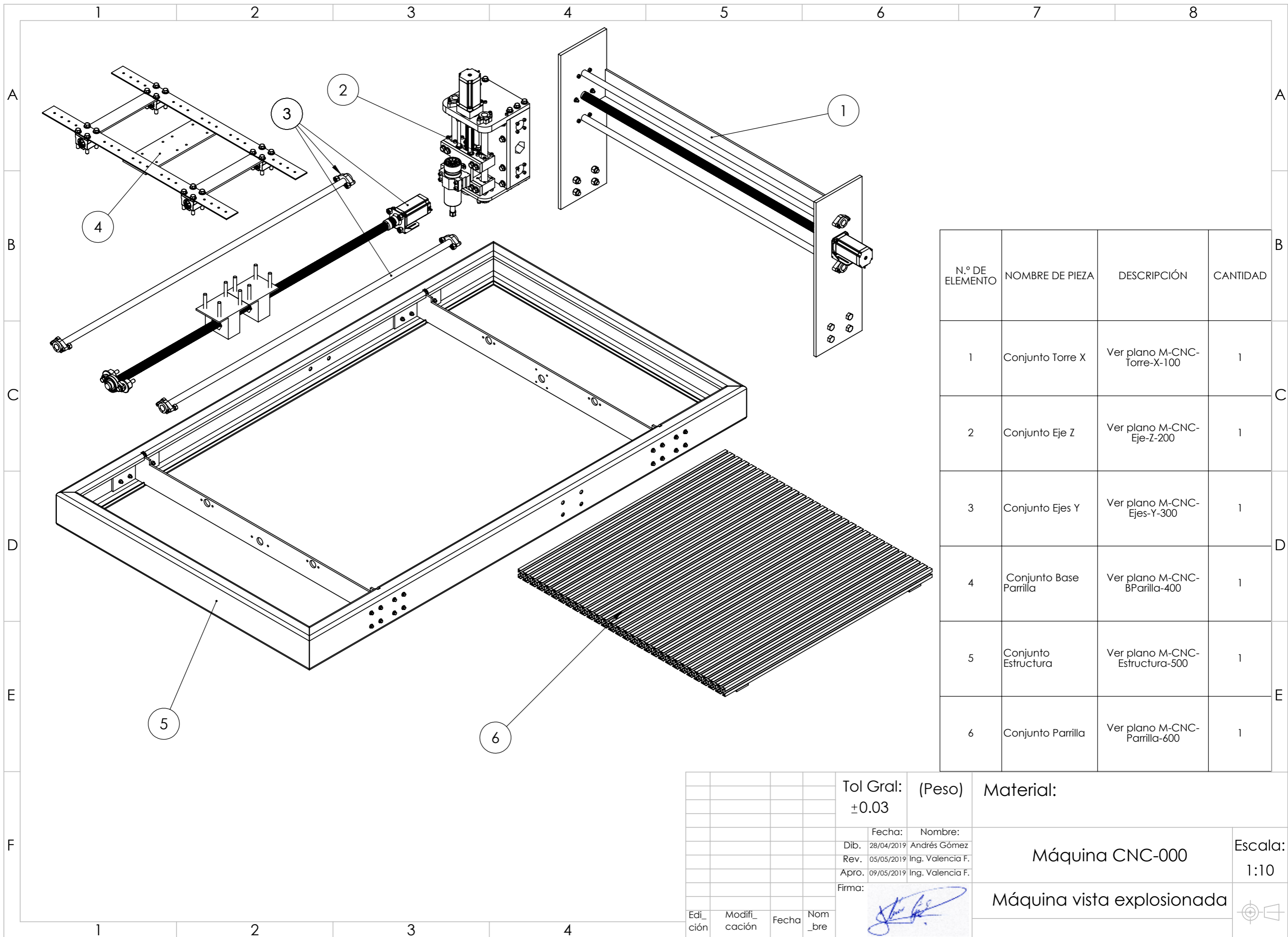
ANEXO 3
PLANOS DE CONSTRUCCIÓN




NOMBRE DE PLANO DE ENSAMBLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Máquina CNC-000	Contiene detallado todos los ensambles de la máquina.	1

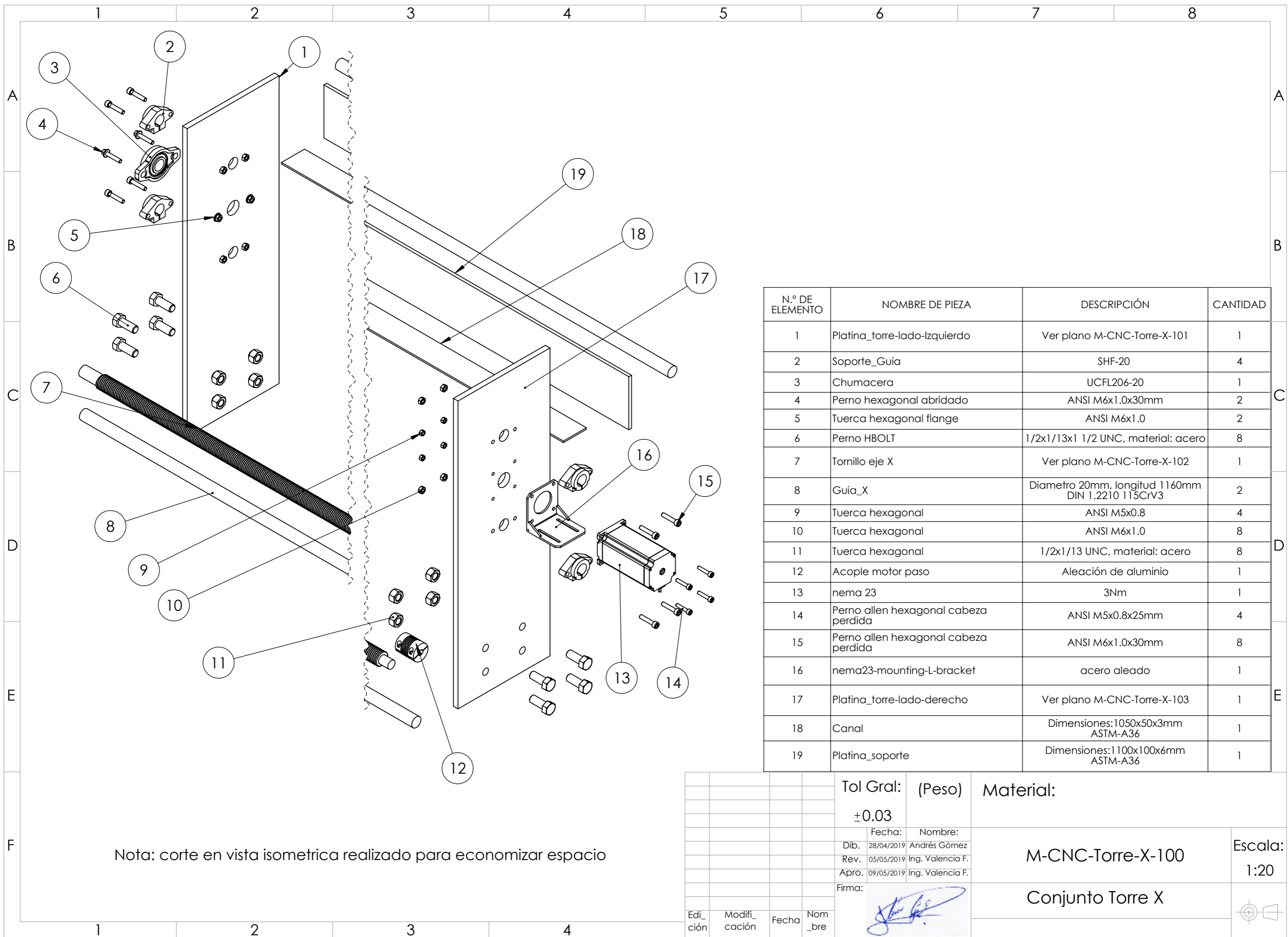
LISTA DE PLANOS SUBENSAMBLES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
M-CNC-Torre-X-100	Contiene todas las piezas necesarias de este subensamble conjunto Torre X	1
M-CNC-Eje-Z-200	Contiene todas las piezas necesarias de este subensamble conjunto Eje Z	1
M-CNC-Ejes-Y-300	Contiene todas las piezas necesarias de este subensamble conjunto Ejes Y	1
M-CNC-BParrilla-400	Contiene todas las piezas necesarias de este subensamble conjunto Base Parrilla	1
M-CNC-Estructura-500	Contiene todas las piezas necesarias de este subensamble conjunto Estructura	1
M-CNC-Parrilla-600	Contiene todas las piezas necesarias de este subensamble conjunto Parrilla	1

				Tol Gral:	(Peso)	Material:		
				±0.03				
				Fecha:	Nombre:			
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez			
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Firma:				
						Máquina CNC Máquina CNC para corte de planchas de Aluminio		Escala: 1:7 
Edi_	Modifi_	Fecha	Nom_					
ción	cación		bre					





N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Conjunto Torre X	Ver plano M-CNC-Torre-X-100	1
2	Conjunto Eje Z	Ver plano M-CNC-Eje-Z-200	1
3	Conjunto Ejes Y	Ver plano M-CNC-Ejes-Y-300	1
4	Conjunto Base Parrilla	Ver plano M-CNC-BParrilla-400	1
5	Conjunto Estructura	Ver plano M-CNC-Estructura-500	1
6	Conjunto Parrilla	Ver plano M-CNC-Parrilla-600	1

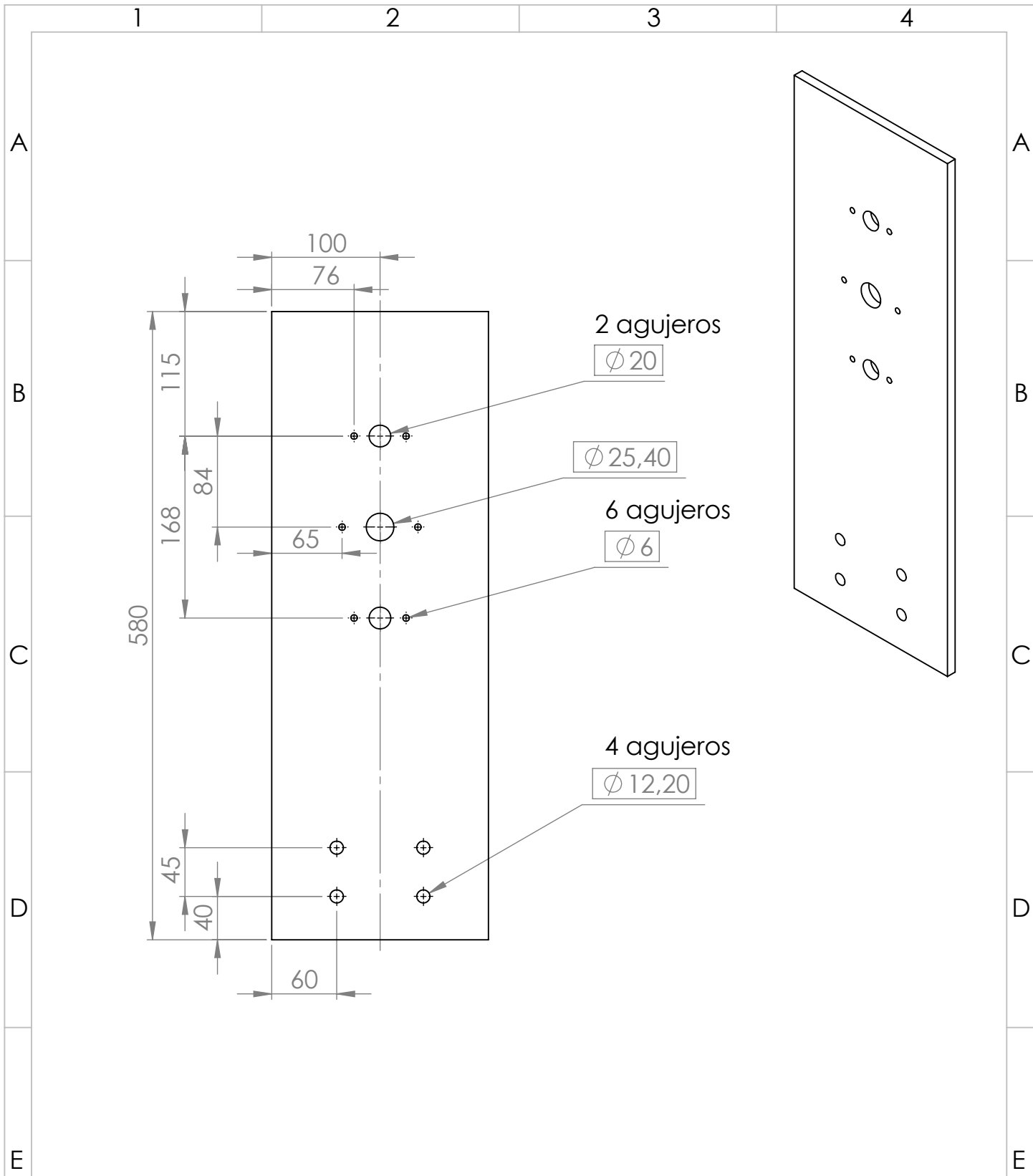
				Tol Gral: ±0.03	(Peso)	Material:	
				Fecha:	Nombre:		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Firma:			Escala: 1:10
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre	Máquina CNC-000 Máquina vista explosionada			



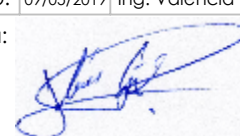

Nota: corte en vista isometrica realizado para economizar espacio

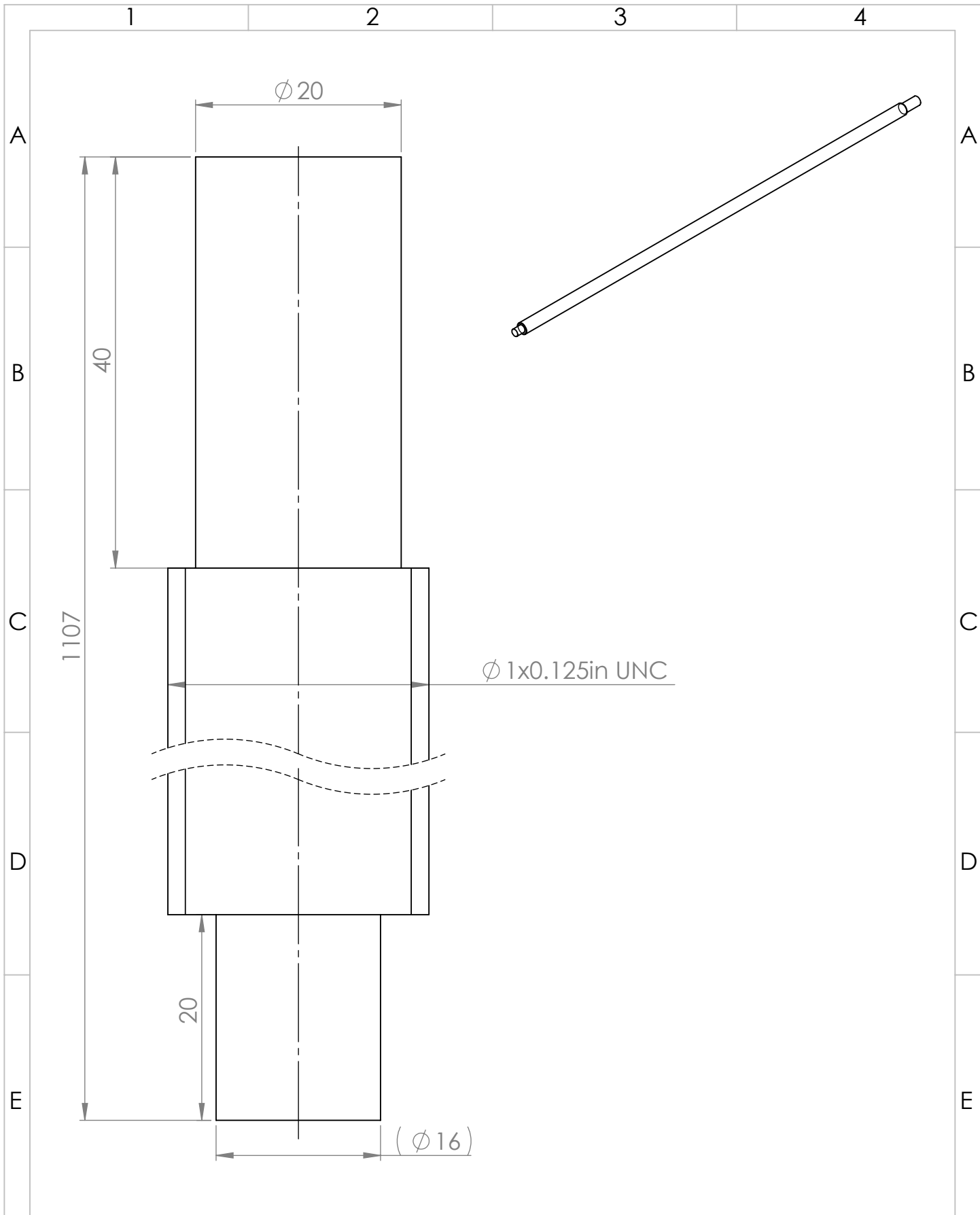
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Platina_torre-lado-izquierdo	Ver plano M-CNC-Torre-X-101	1
2	Soporte_Guia	SHF-20	4
3	Chumacera	UCFL206-20	1
4	Perno hexagonal abridado	ANSI M6x1.0x30mm	2
5	Tuerca hexagonal flange	ANSI M6x1.0	2
6	Perno HBOLT	1/2x1/13x1 1/2 UNC, material: acero	8
7	Tornillo eje X	Ver plano M-CNC-Torre-X-102	1
8	Guia_X	Diametro 20mm, longitud 1160mm DIN 1.2210 115CrV3	2
9	Tuerca hexagonal	ANSI M5x0.8	4
10	Tuerca hexagonal	ANSI M6x1.0	8
11	Tuerca hexagonal	1/2x1/13 UNC, material: acero	8
12	Acople motor paso	Aleación de aluminio	1
13	nema 23	3Nm	1
14	Perno allen hexagonal cabeza perdida	ANSI M5x0.8x25mm	4
15	Perno allen hexagonal cabeza perdida	ANSI M6x1.0x30mm	8
16	nema23-mounting-L-bracket	acero aleado	1
17	Platina_torre-lado-derecho	Ver plano M-CNC-Torre-X-103	1
18	Canal	Dimensiones:1050x50x3mm ASTM-A36	1
19	Platina_soporte	Dimensiones:1100x100x6mm ASTM-A36	1

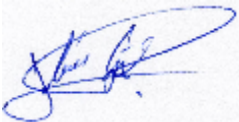

				Tol Gral:	(Peso)	Material:	
				±0.03			
				Fecha:	Nombre:		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Firma:			
						M-CNC-Torre-X-100	
						Escala: 1:20	
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre			Conjunto Torre X	
							

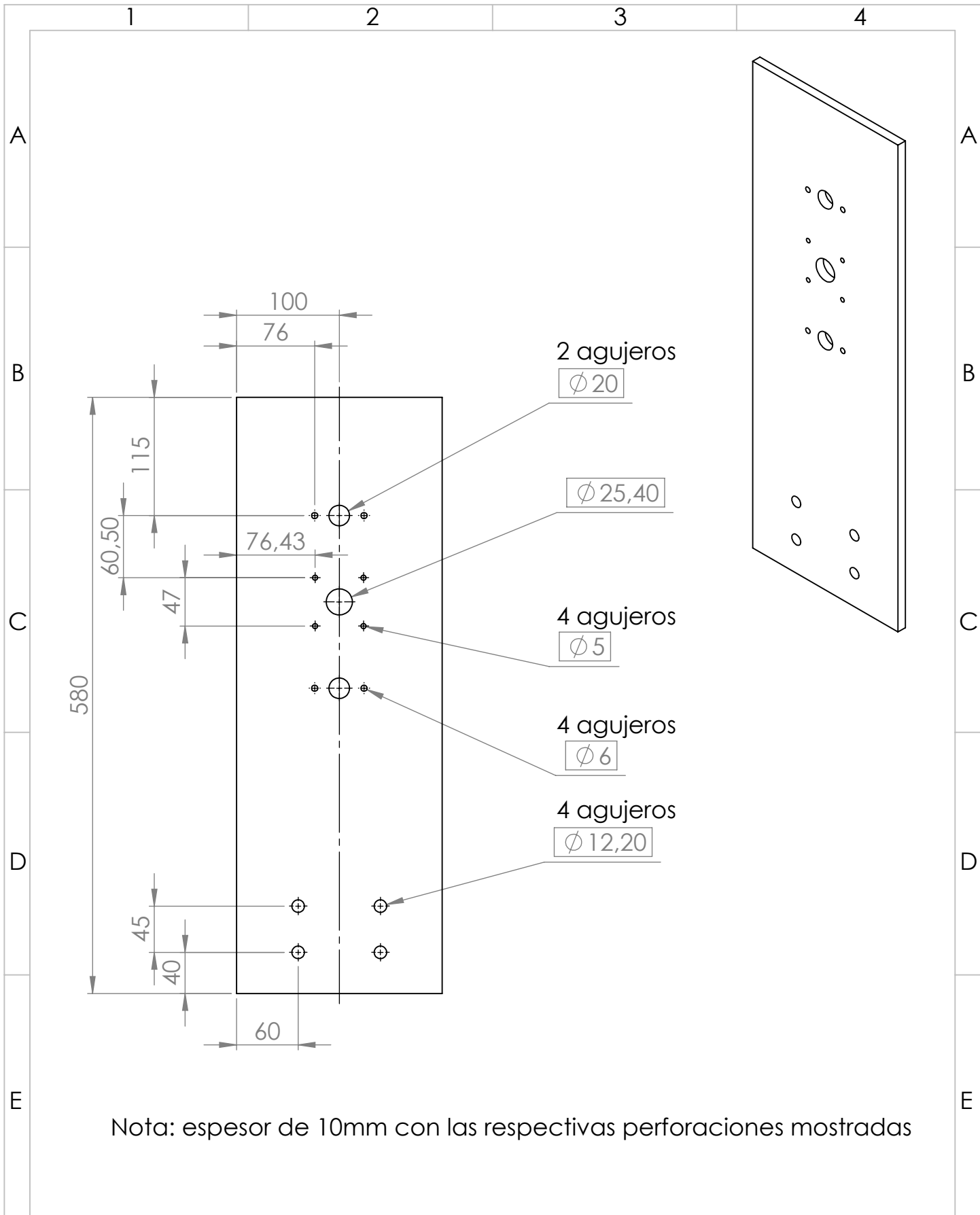


Nota: espesor de 10mm con las respectivas perforaciones mostradas

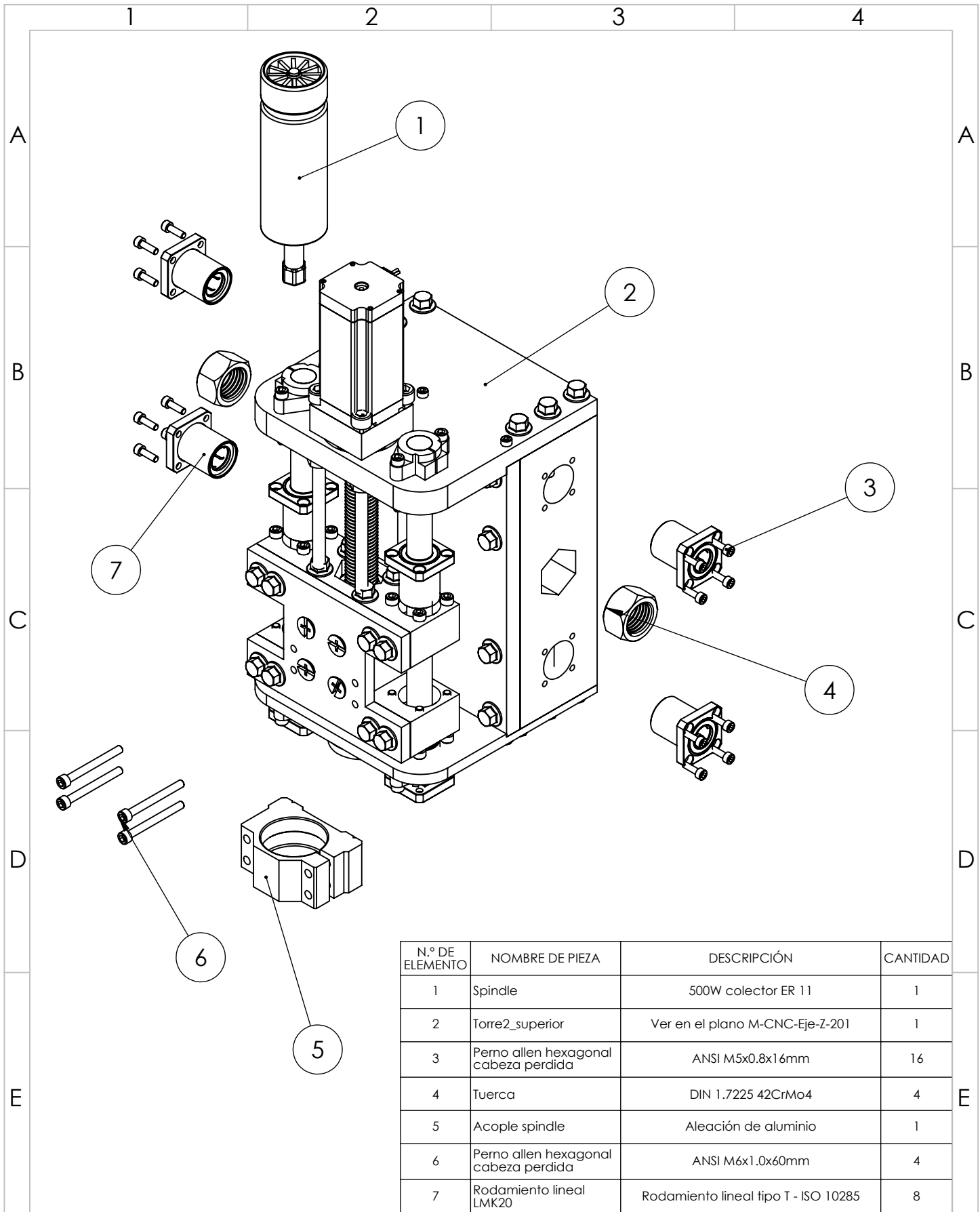
				Tol Gral:	Peso:	Material: ASTM-A36	
				± 0.03	8966.88 g		
				Fecha:	Nombre:	M-CNC-Torre-X-101	
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.	Escala: 1:5	
				Firma:	Platina_torre-lado-izquierdo		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



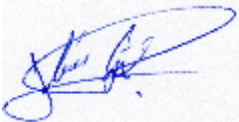

				Tol Gral: ±0.03	Peso: 3765.56 g	Material: DIN 1.7225 42CrMo4	
				Fecha:	Nombre:	M-CNC-Torre-X-102	Escala:
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		2:1
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Firma:		Tornillo Eje X	
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre				

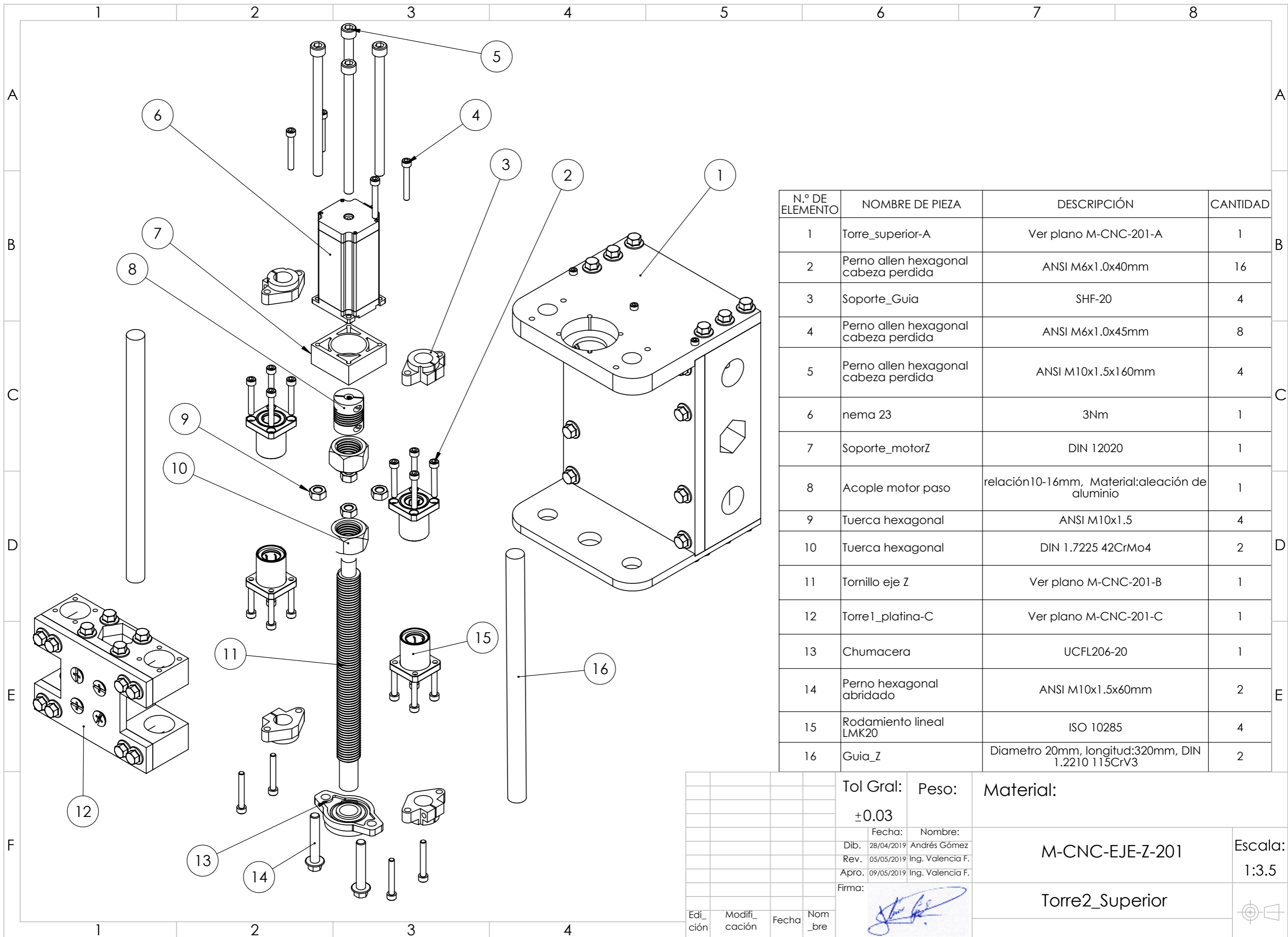


				Tol Gral:	Peso:	Material: ASTM-A36	
				± 0.03	8965.15 g		
				Fecha:	Nombre:	M-CNC-Torre-X-103	
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.	Escala: 1:5	
				Firma:	Platina_torre-lado-derecho		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



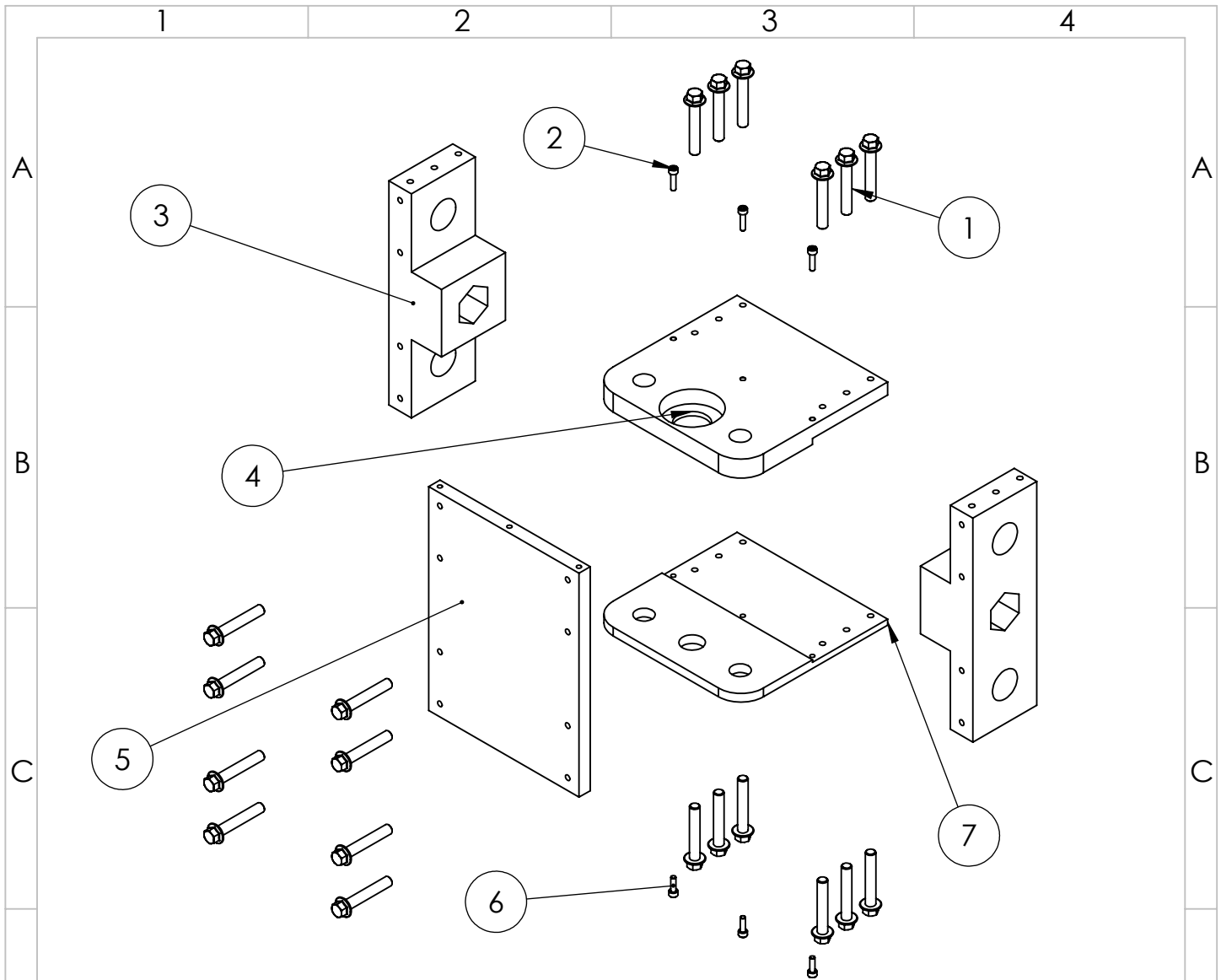
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Spindle	500W colector ER 11	1
2	Torre2_superior	Ver en el plano M-CNC-Eje-Z-201	1
3	Perno allen hexagonal cabeza perdida	ANSI M5x0.8x16mm	16
4	Tuerca	DIN 1.7225 42CrMo4	4
5	Acople spindle	Aleación de aluminio	1
6	Perno allen hexagonal cabeza perdida	ANSI M6x1.0x60mm	4
7	Rodamiento lineal LMK20	Rodamiento lineal tipo T - ISO 10285	8

				Tol Gral: ± 0.03		Peso:		Material:	
				Fecha:	Nombre:		M-CNC-Eje-Z-200		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez				
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.				
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.		Escala: 1:4		
				Firma:		Conjunto Eje Z			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



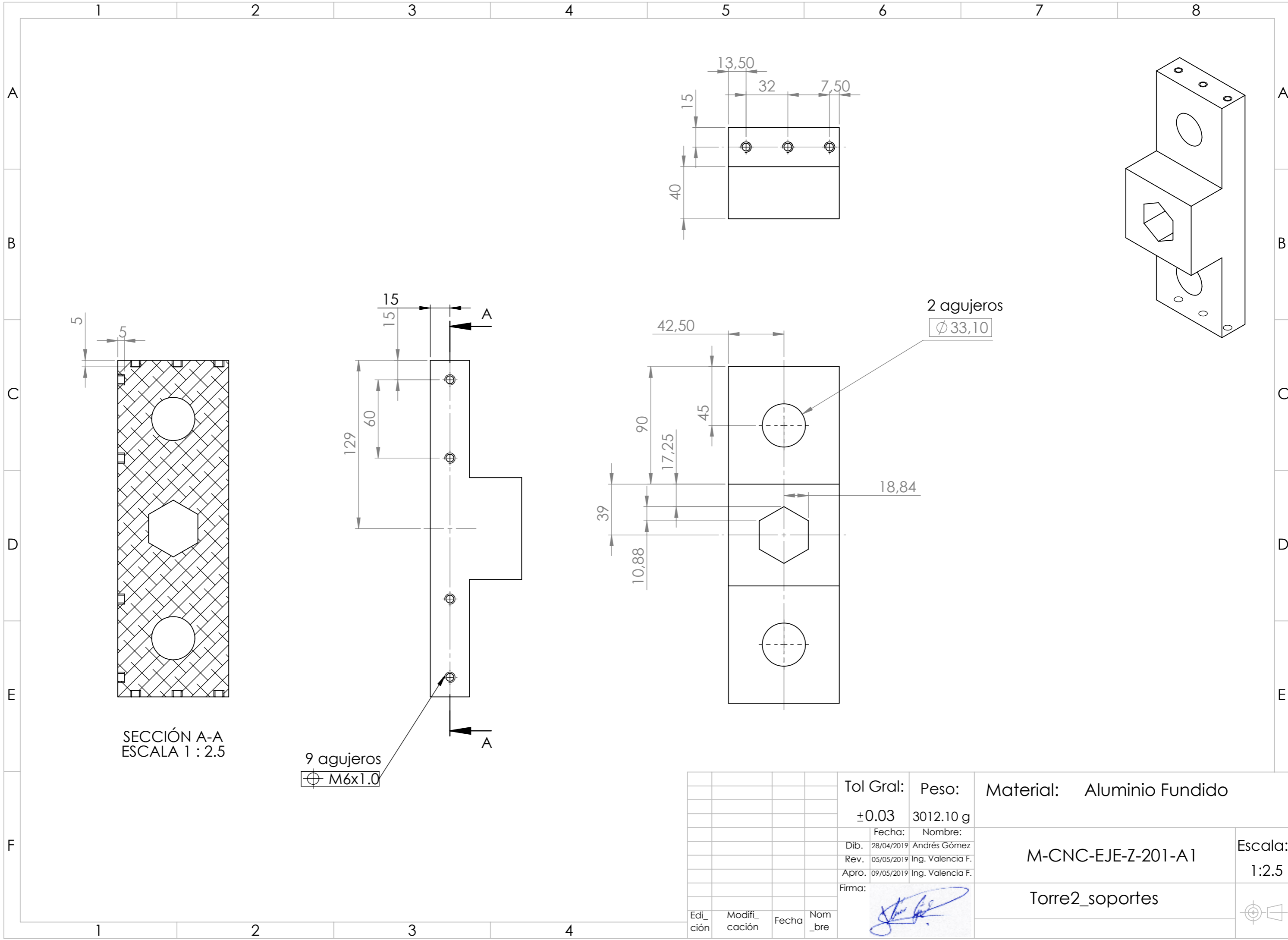
N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Torre_superior-A	Ver plano M-CNC-201-A	1
2	Perno allen hexagonal cabeza perdida	ANSI M6x1.0x40mm	16
3	Soporte_Guia	SHF-20	4
4	Perno allen hexagonal cabeza perdida	ANSI M6x1.0x45mm	8
5	Perno allen hexagonal cabeza perdida	ANSI M10x1.5x160mm	4
6	nema 23	3Nm	1
7	Soporte_motorZ	DIN 12020	1
8	Acople motor paso	relación10-16mm, Material:aleación de aluminio	1
9	Tuerca hexagonal	ANSI M10x1.5	4
10	Tuerca hexagonal	DIN 1.7225 42CrMo4	2
11	Tornillo eje Z	Ver plano M-CNC-201-B	1
12	Torre1_platina-C	Ver plano M-CNC-201-C	1
13	Chumacera	UCFL206-20	1
14	Perno hexagonal abridado	ANSI M10x1.5x60mm	2
15	Rodamiento lineal LMK20	ISO 10285	4
16	Guia_Z	Diametro 20mm, longitud:320mm, DIN 1.2210 115CrV3	2

Tol Gral:		Peso:		Material:	
±0.03					
Fecha:		Nombre:			
Dib. 28/04/2019		Andrés Gómez			
Rev. 05/05/2019		Ing. Valencia F.			
Apro. 09/05/2019		Ing. Valencia F.			
Firma:					
				M-CNC-EJE-Z-201	
				Torre2_Superior	
				Escala: 1:3.5	
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre		



N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Perno hexagonal abridado	ANSI M10x1.5x60mm	20
2	Perno allen hexagonal cabeza perdida	ANSI M5x0.8x20mm	3
3	Torre2_soportes	Ver en el plano M-CNC-Eje-Z-201-A1	2
4	Torre2_superior-A2	Ver en el plano M-CNC-Eje-Z-201-A2	1
5	Torre2_platina	Ver en el plano M-CNC-Eje-Z-201-A3	1
6	Perno allen hexagonal cabeza perdida	ANSI M5x0.8x16mm	3
7	Torre2_inferior	Ver en el plano M-CNC-Eje-Z-201-A4	1

				Tol Gral:	Peso:	Material:		Escala:			
				±0.03							
				Fecha:	Nombre:	M-CNC-Eje-Z-201-A		1:20			
				Dib.	28/04/2019					Andrés Gómez	
				Rev.	05/05/2019					Ing. Valencia F.	
				Apro.	09/05/2019	Ing. Valencia F.					
				Firma:			Torre_superior-A				
Edición	Modificación	Fecha	Número								

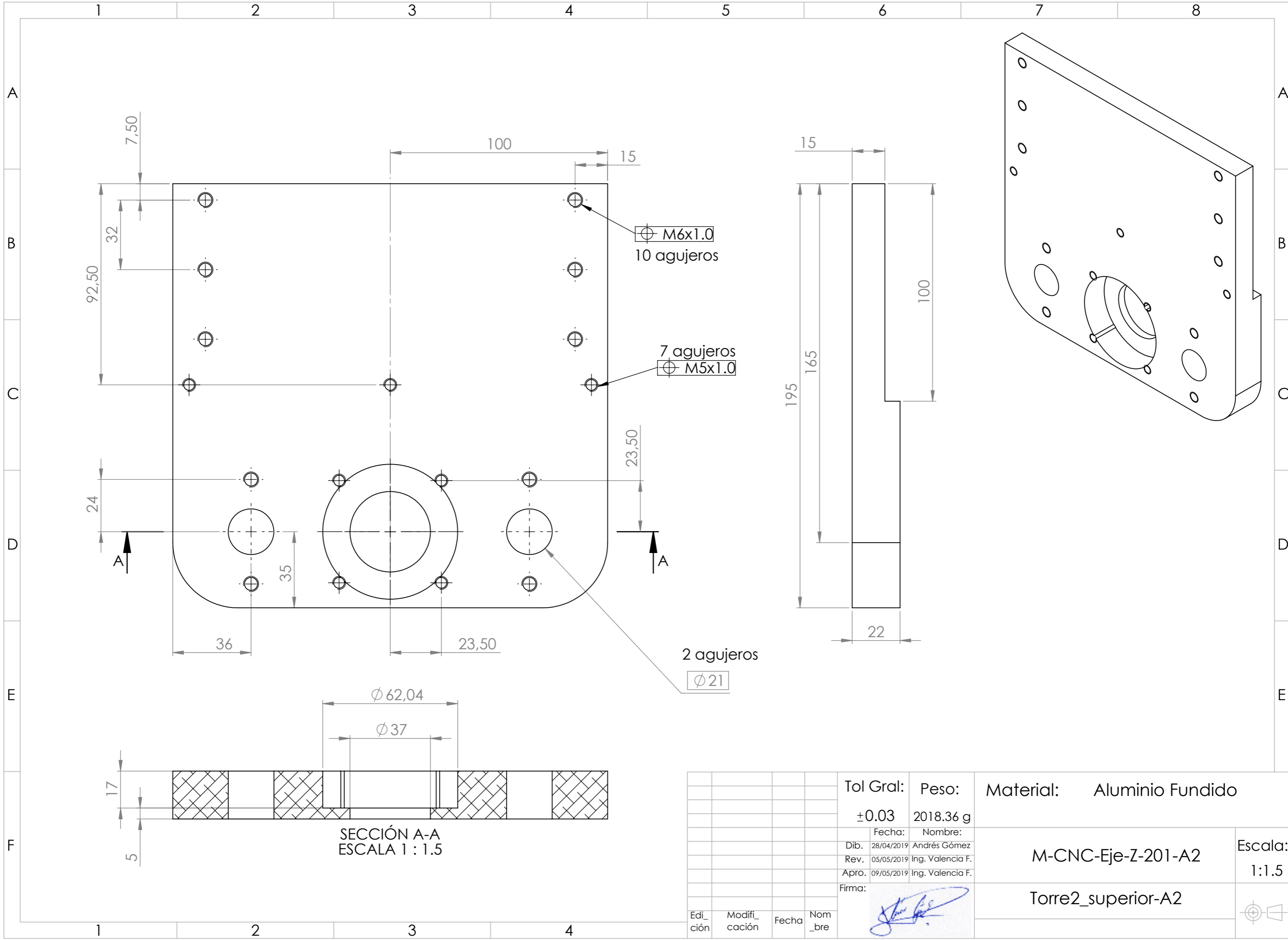


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2.5

9 agujeros
 ⊕ M6x1.0

2 agujeros
 $\text{⊕ } \text{Ø} 33,10$

				Tol Gral:	Peso:	Material: Aluminio Fundido	
				± 0.03	3012.10 g		
				Fecha:	Nombre:		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.	M-CNC-EJE-Z-201-A1	
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.	Escala: 1:2.5	
				Firma:	Torre2_soportes		
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nom- _bre				



92,50
7,50
32

100
15

⊕ M6x1.0
10 agujeros

⊕ M5x1.0
7 agujeros

24
A

35

23,50
A

36
23,50

2 agujeros
⊕ Ø21

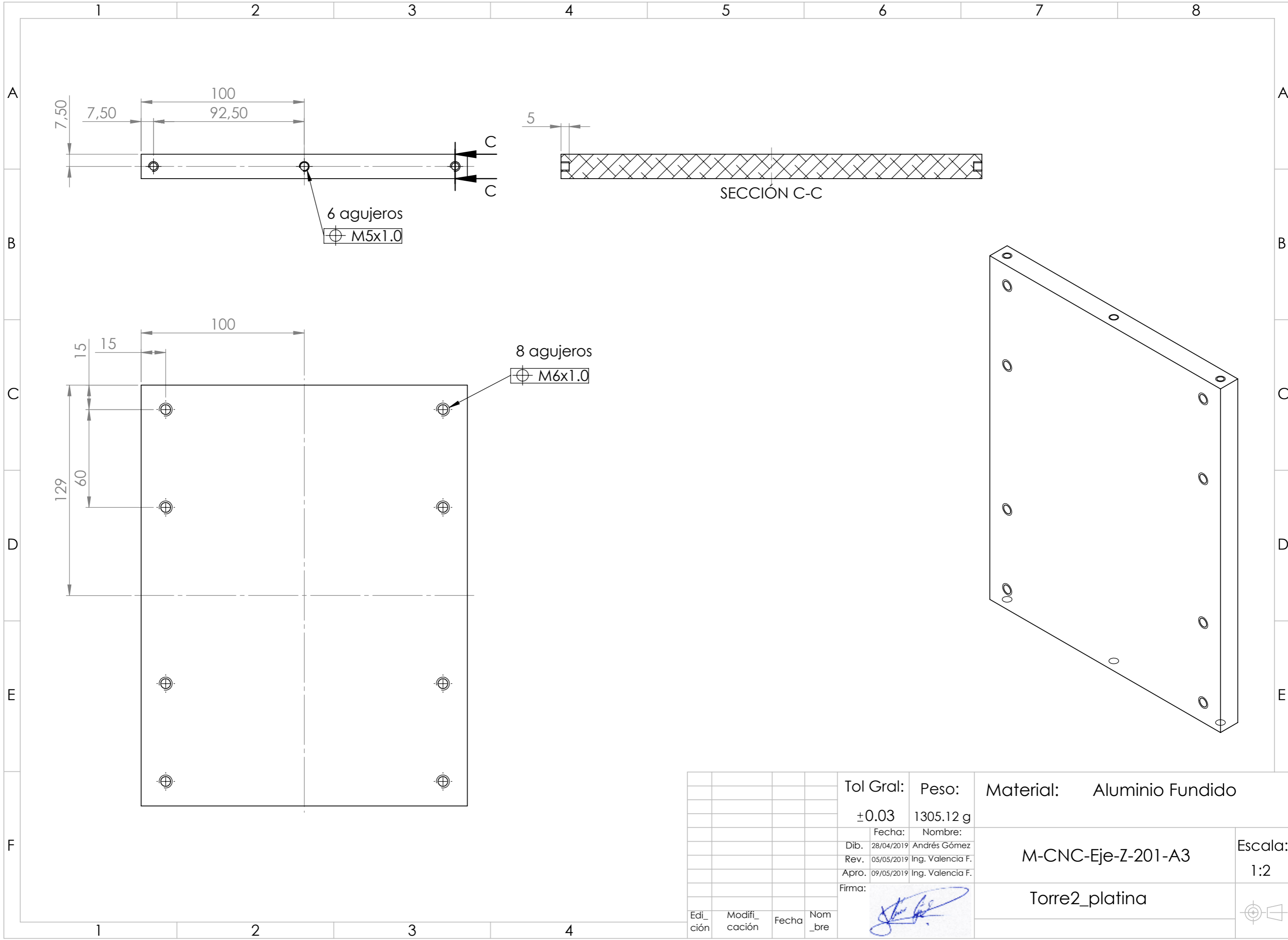
15
195
165
100
22

SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1.5

17
5

⊕ 62,04
⊕ 37

				Tol Gral:	Peso:	Material: Aluminio Fundido	
				±0.03	2018.36 g		
				Fecha:	Nombre:		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Firma:			Escala: 1:1.5
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nom- bre	Torre2_superior-A2			

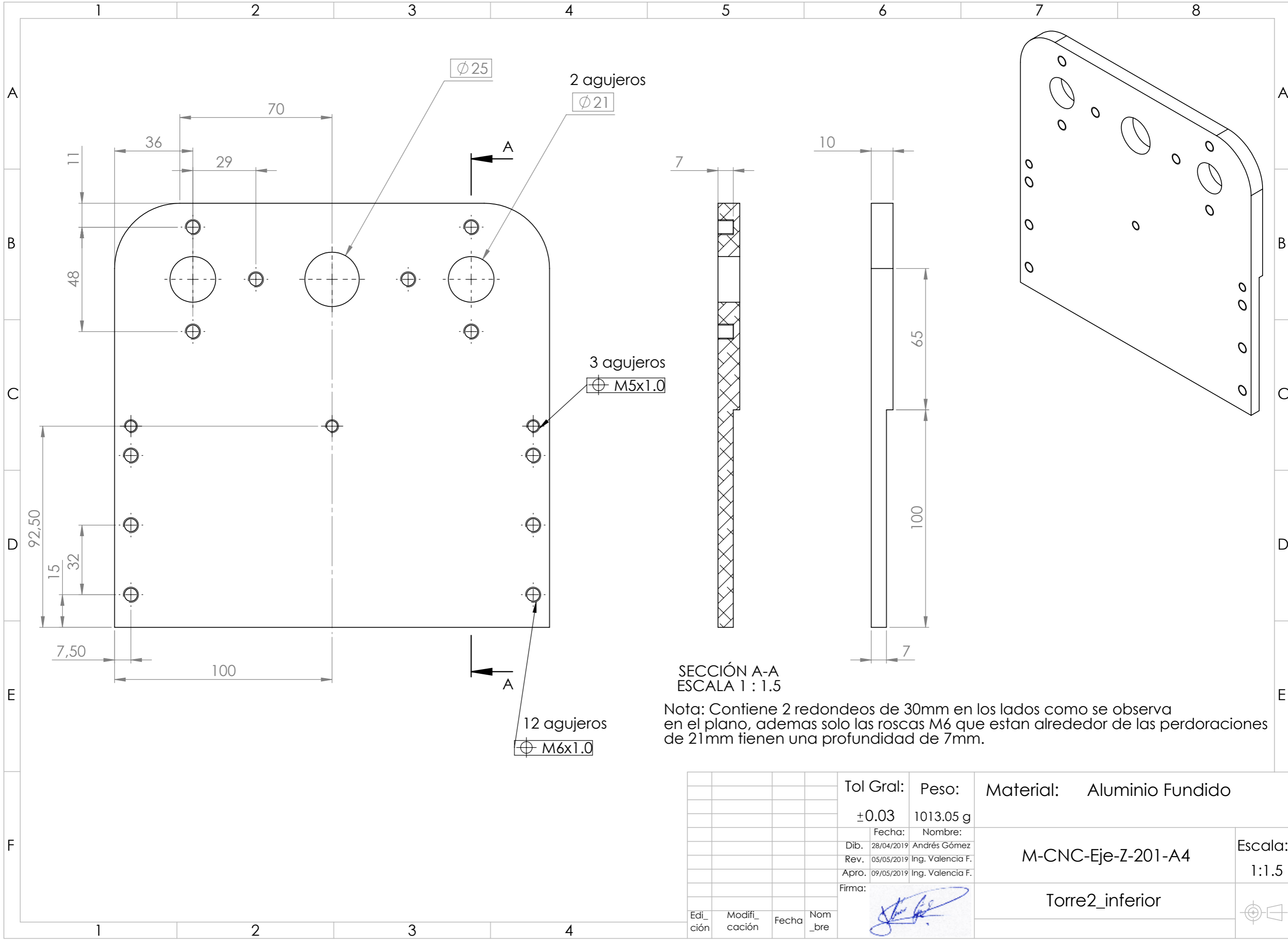


6 agujeros
 $\text{M}5 \times 1.0$

SECCIÓN C-C


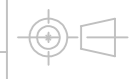
8 agujeros
 $\text{M}6 \times 1.0$

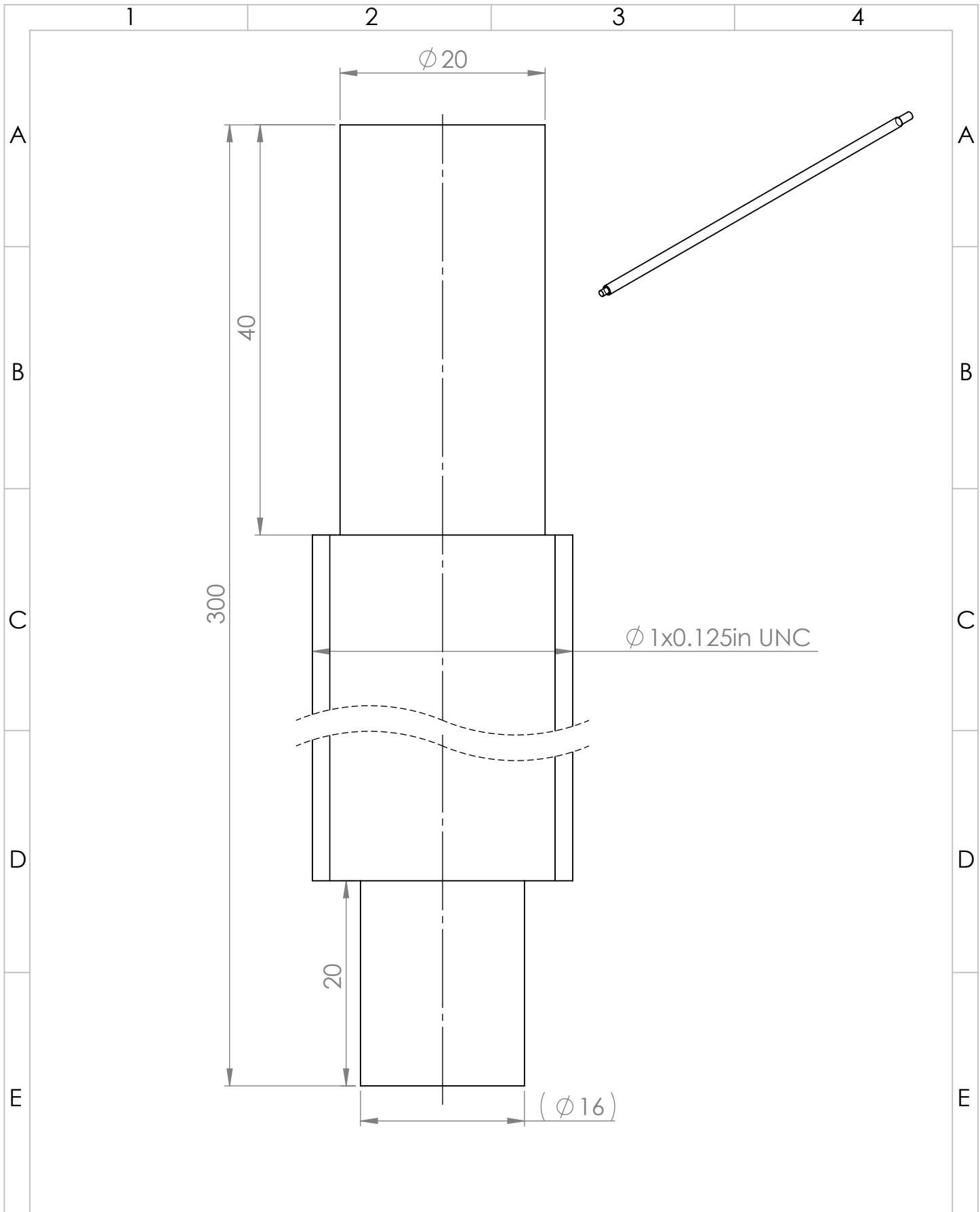
				Tol Gral:	Peso:	Material:	Aluminio Fundido
				± 0.03	1305.12 g		
				Fecha:	Nombre:		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Firma:			
						M-CNC-Eje-Z-201-A3	Escala: 1:2
						Torre2_platina	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nom- bre				



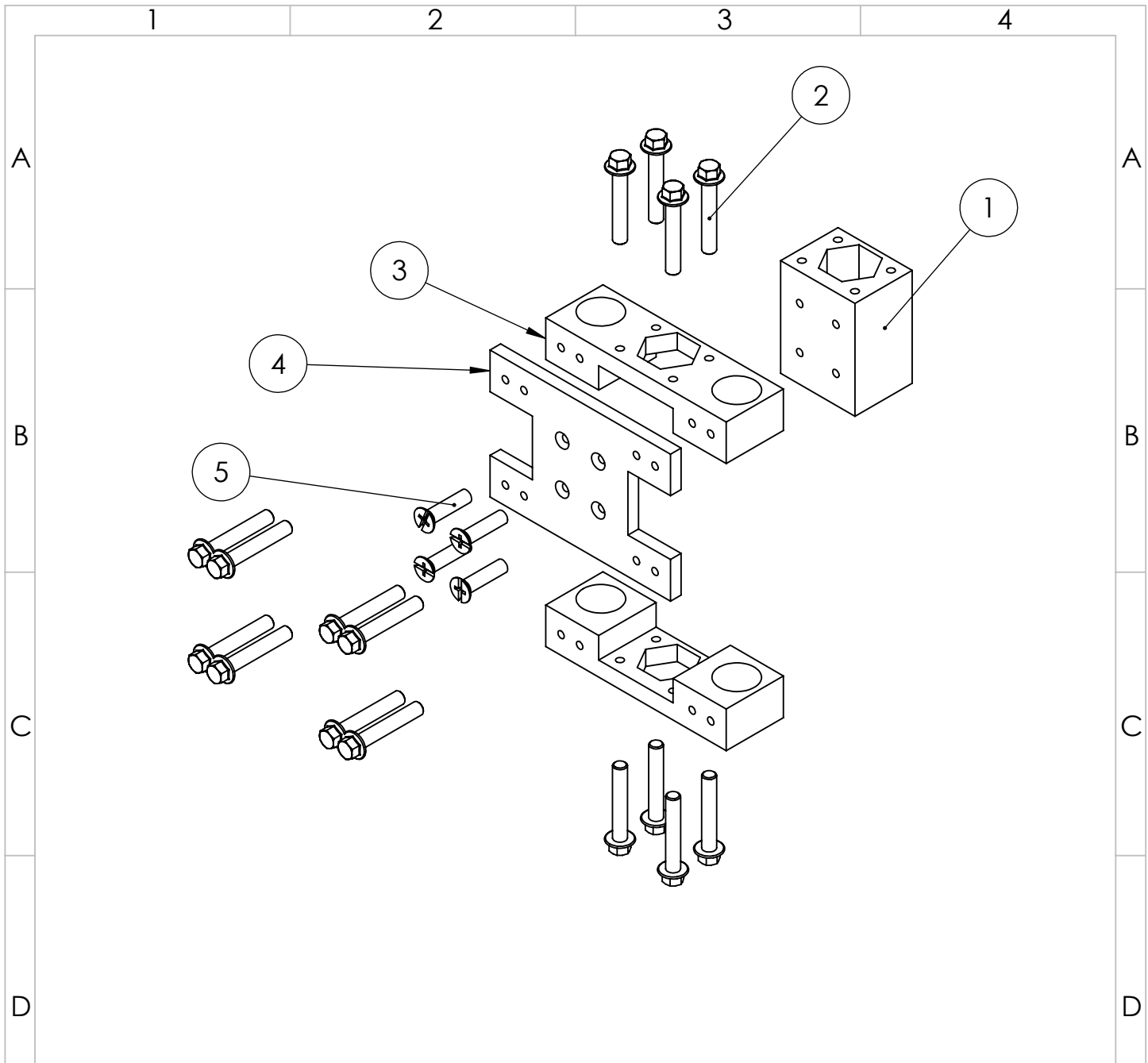
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1.5

Nota: Contiene 2 redondeos de 30mm en los lados como se observa en el plano, además solo las roscas M6 que están alrededor de las perforaciones de 21mm tienen una profundidad de 7mm.

				Tol Gral:	Peso:	Material: Aluminio Fundido	
				± 0.03	1013.05 g		
				Fecha:	Nombre:		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Firma:			Escala: 1:1.5
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nom- bre	M-CNC-Eje-Z-201-A4			
						Torre2_inferior	

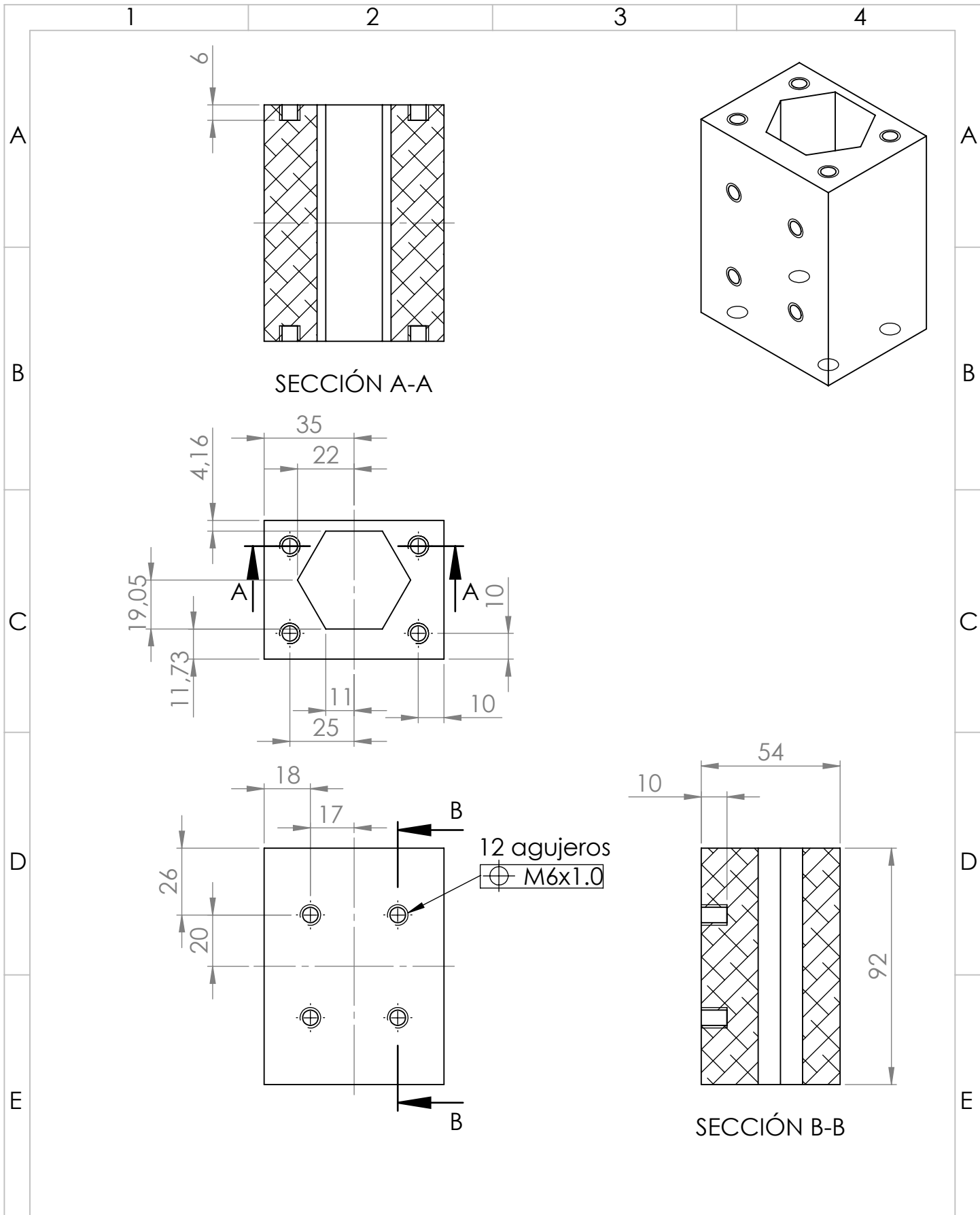


				Tol Gral:	Peso:	Material:	DIN 1.7225 42CrMo4
				± 0.03	962.88 g		
				Fecha:	Nombre:	M-CNC-201-B	Escala: 2:1
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.	Tornillo Eje Z	
				Firma:			
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre				



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Torre1_cubo	Ver plano M-CNC-Eje-Z-201-C1	1
2	Perno hexagonal abridado	ANSI M10x1.5x60mm	16
3	Torre1_soporte	Ver plano M-CNC-Eje-Z-201-C2	2
4	Torre1_platina	Ver plano M-CNC-Eje-Z-201-C3	1
5	Perno cabeza plana phillips	ANSI M10x1.0x35mm	4

				Tol Gral:	Peso:	Material:		Escala:
				±0.03				
				Fecha:	Nombre:	Torre1_platina-C		
				Dib.	28/04/2019			Andrés Gómez
				Rev.	05/05/2019			Ing. Valencia F.
				Apro.	09/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Firma:				
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre					

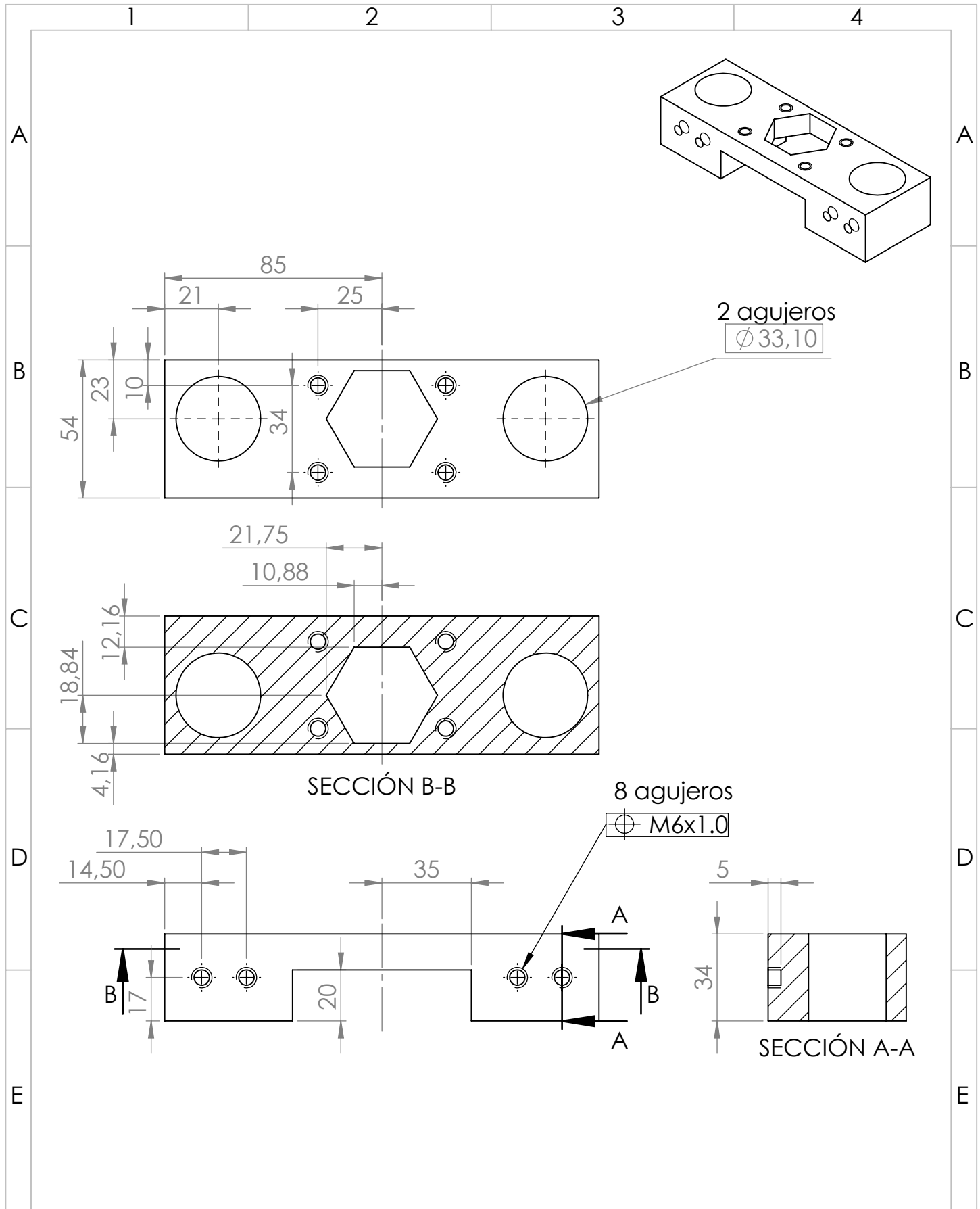


SECCIÓN A-A

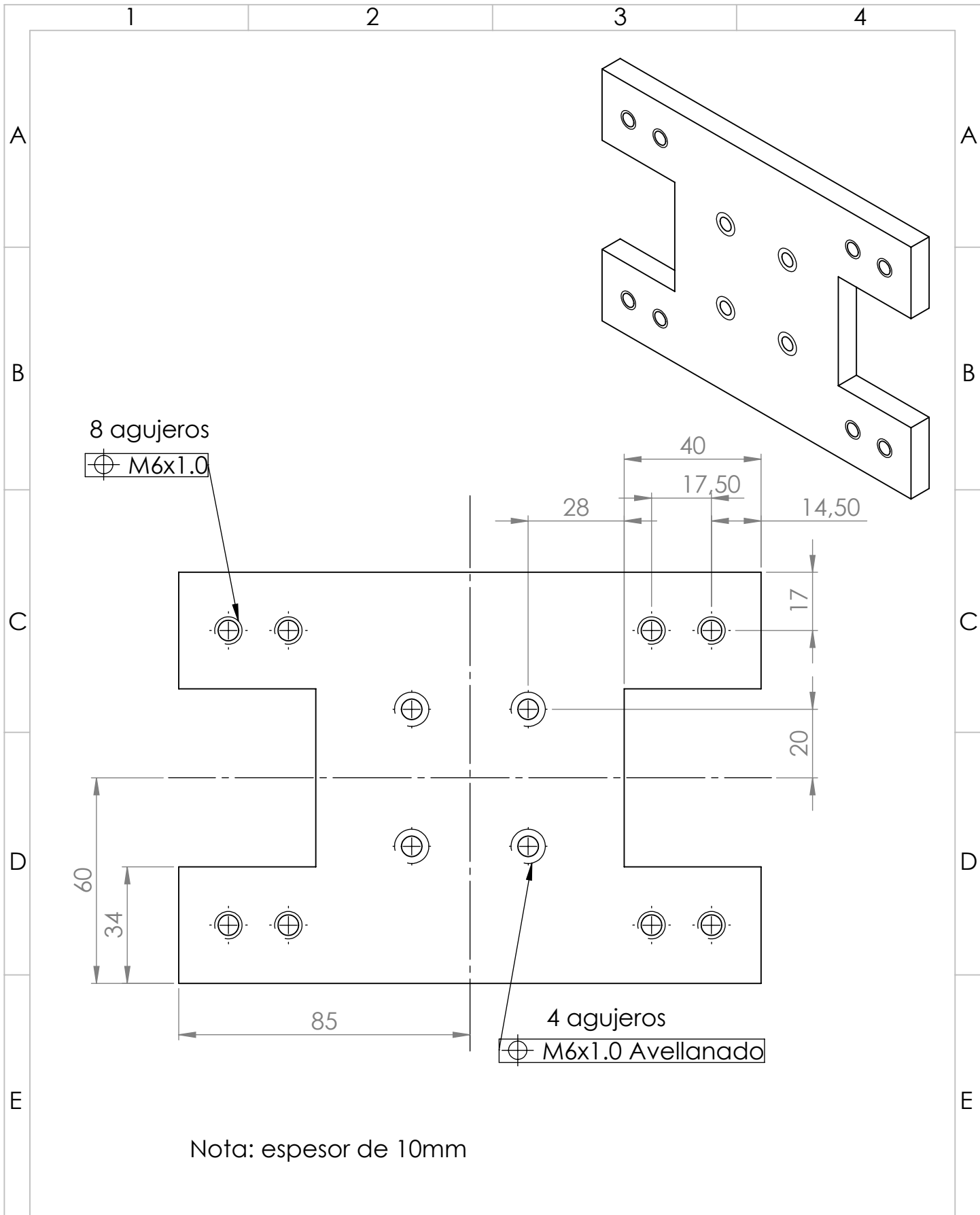
SECCIÓN B-B

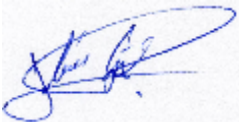

12 agujeros
 \varnothing M6x1.0

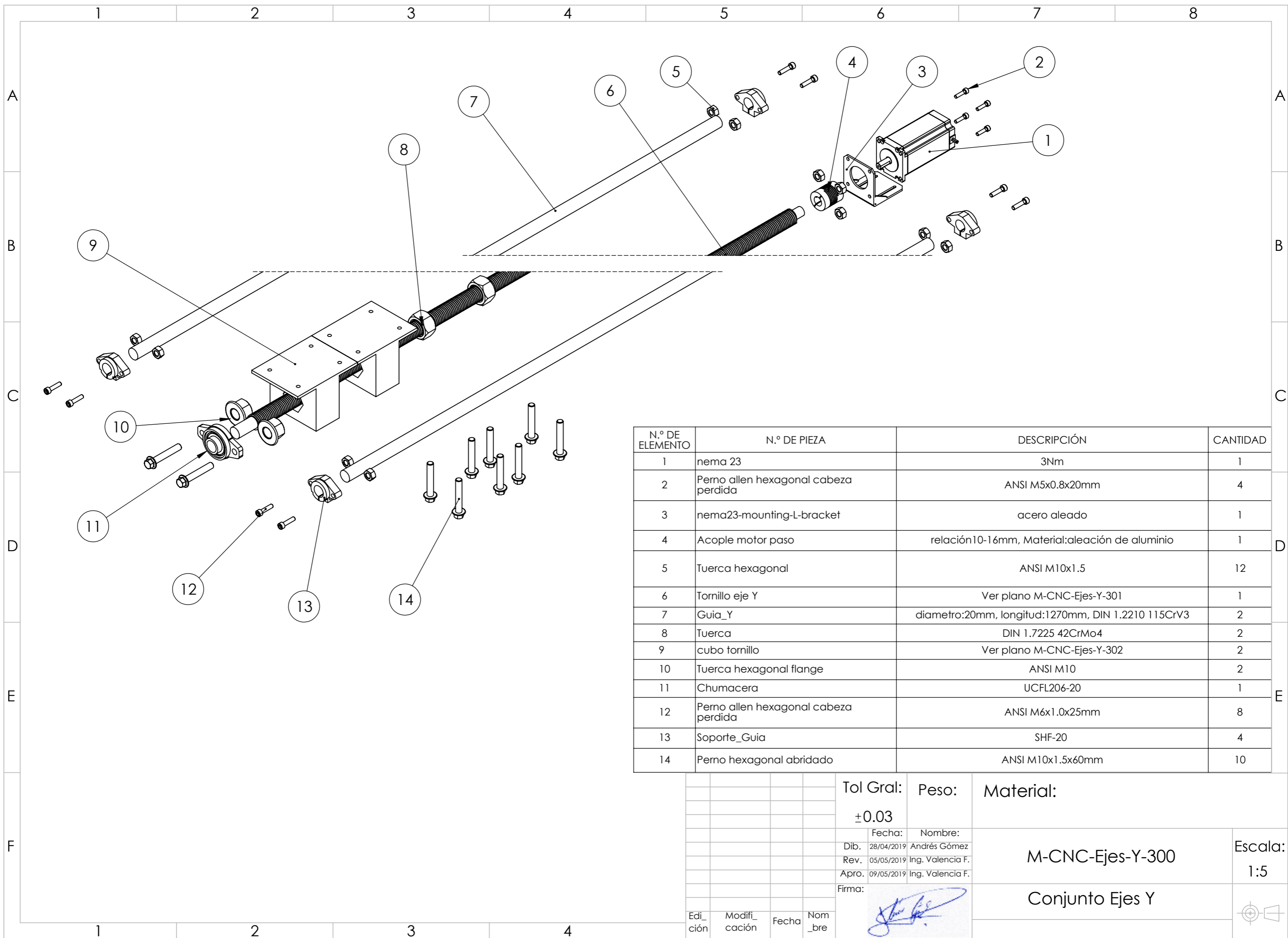
				Tol Gral:	Peso:	Material: Aluminio Fundido	Escala: 1:2
				± 0.03	623.12 g		
				Fecha:	Nombre:	M-CNC-Eje-Z-201-C1	
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.	Torre1_cubo	
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre	Firma:			



				Tol Gral:	Peso:	Material:		Aluminio Fundido	
				± 0.03	302.26 g				
				Fecha:	Nombre:	M-CNC-Eje-Z-201-C2		Escala:	
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez			1:2	
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.				
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.	Torre1_soporte			
				Firma:					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



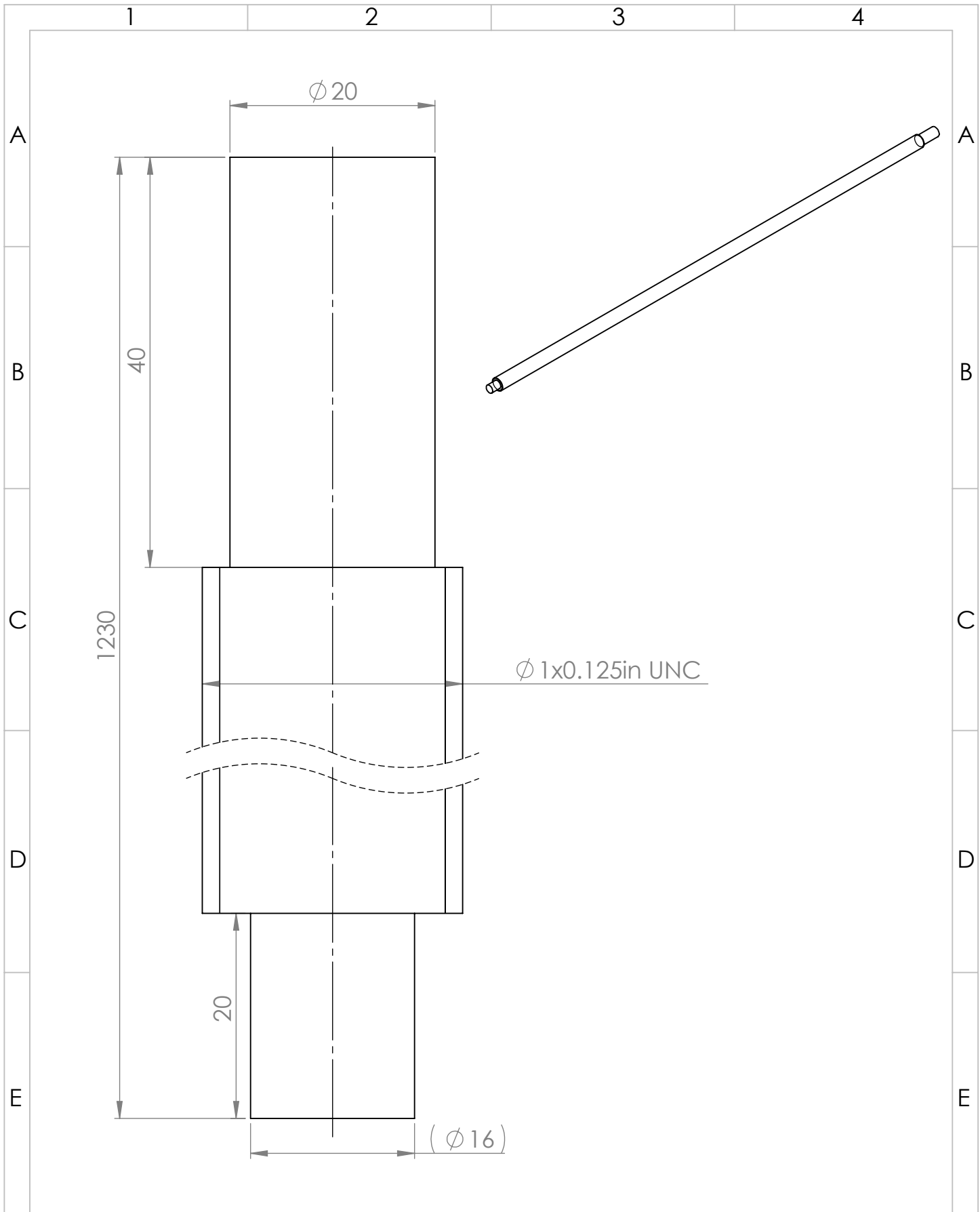
				Tol Gral: ± 0.03	Peso: 205.53 g	Material: Aluminio Fundido	
				Fecha:	Nombre:	M-CNC-Eje-Z-201-C3	Escala: 1:2
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Firma:		Torre1_platina	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

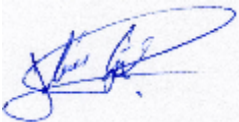



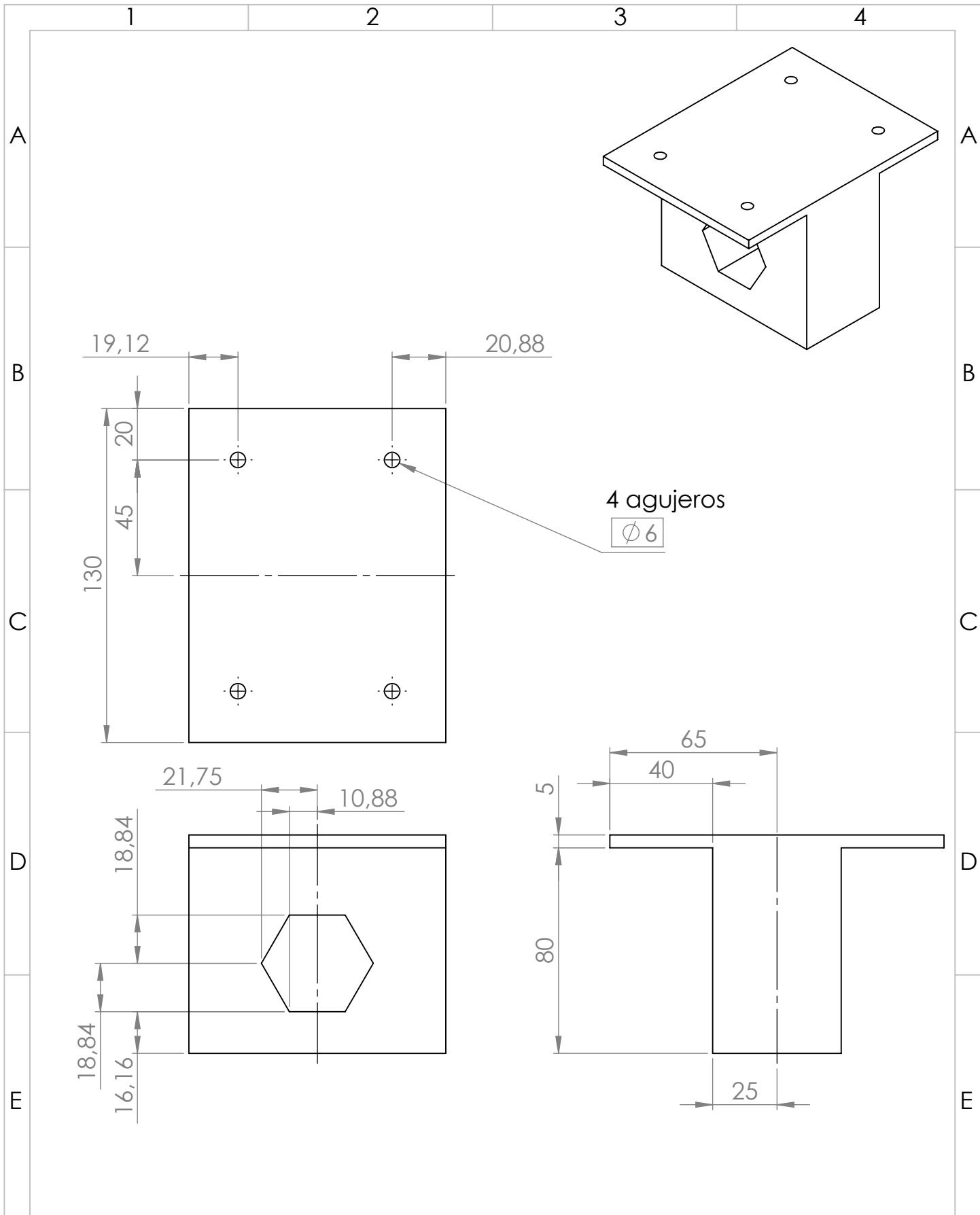
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	nema 23	3Nm	1
2	Perno allen hexagonal cabeza perdida	ANSI M5x0.8x20mm	4
3	nema23-mounting-L-bracket	acero aleado	1
4	Acople motor paso	relación10-16mm, Material:aleación de aluminio	1
5	Tuerca hexagonal	ANSI M10x1.5	12
6	Tornillo eje Y	Ver plano M-CNC-Ejes-Y-301	1
7	Guia_Y	diametro:20mm, longitud:1270mm, DIN 1.2210 115CrV3	2
8	Tuerca	DIN 1.7225 42CrMo4	2
9	cubo tornillo	Ver plano M-CNC-Ejes-Y-302	2
10	Tuerca hexagonal flange	ANSI M10	2
11	Chumacera	UCFL206-20	1
12	Perno allen hexagonal cabeza perdida	ANSI M6x1.0x25mm	8
13	Soporte_Guia	SHF-20	4
14	Perno hexagonal abridado	ANSI M10x1.5x60mm	10

				Tol Gral:	Peso:	Material:		
				±0.03				
				Fecha:	Nombre:			
				Dib.	28/04/2019	Andrés Gómez		M-CNC-Ejes-Y-300
				Rev.	05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro.	09/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Firma:			Conjunto Ejes Y	
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre					Escala: 1:5

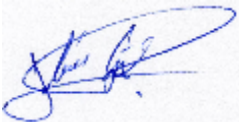



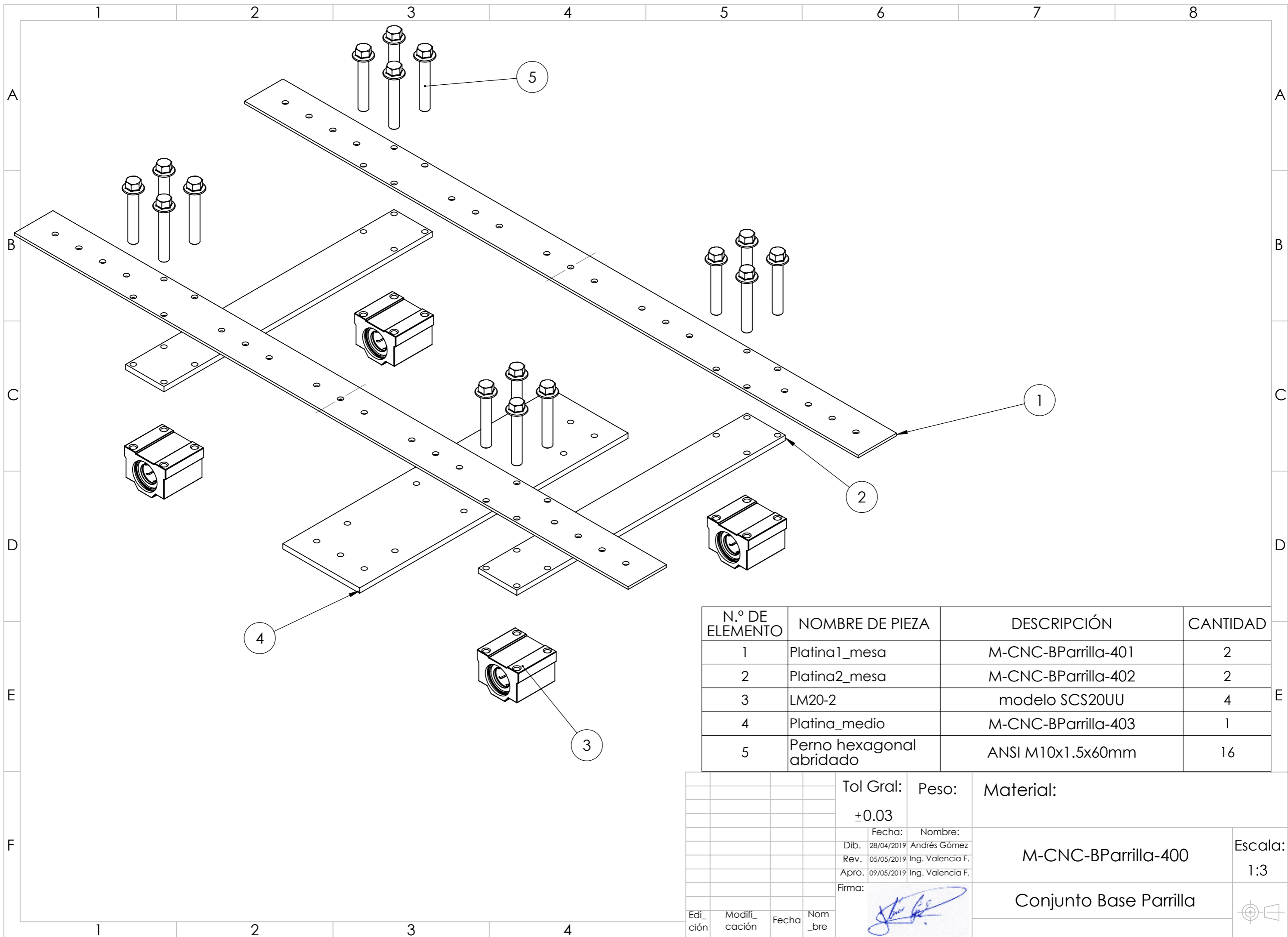


				Tol Gral:	Peso:	Material: DIN 1.7225 42CrMo4	Escala: 2:1
				± 0.03	546.53 g		
				Fecha:	Nombre:	M-CNC-Ejes-Y-301	Tornillo Eje Y
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Firma:			
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre				




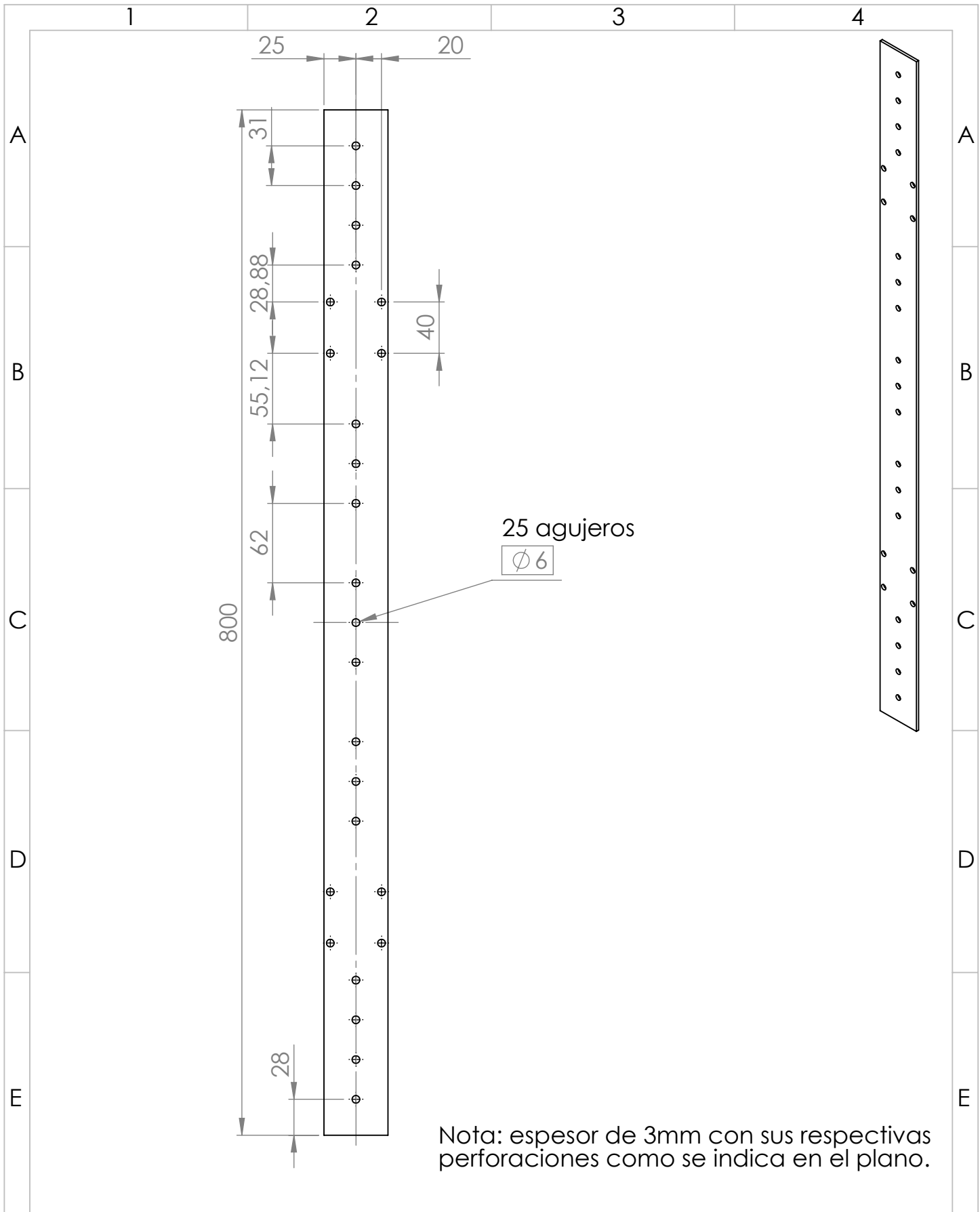
4 agujeros
 $\phi 6$

				Tol Gral:	Peso:	Material:		Aluminio Fundido
				± 0.03	563.21 g			
				Fecha:	Nombre:	M-CNC-Ejes-Y-302		Escala: 1:2
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez			
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Firma:			cubo tornillo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

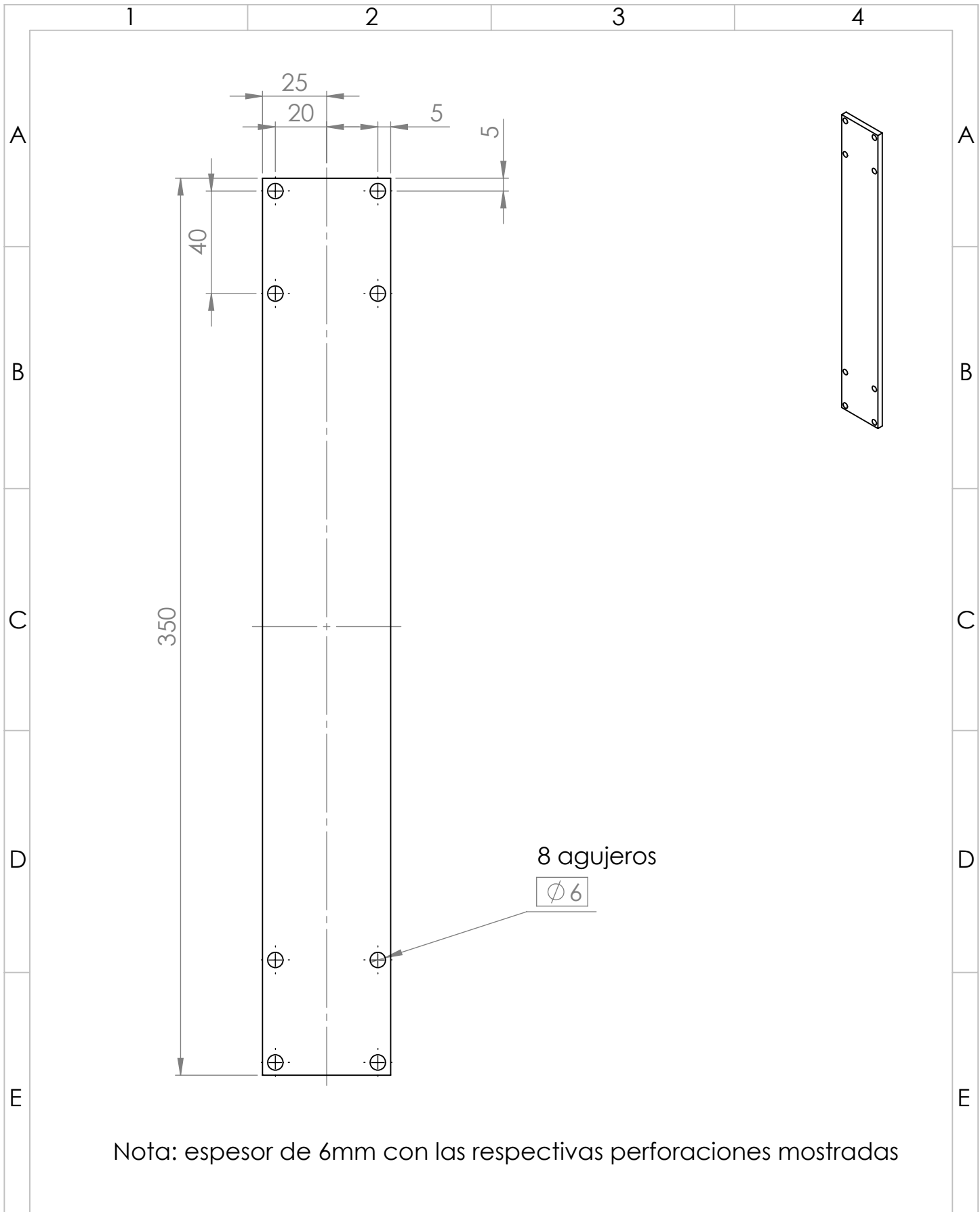


N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Platina1_mesa	M-CNC-BParrilla-401	2
2	Platina2_mesa	M-CNC-BParrilla-402	2
3	LM20-2	modelo SCS20UU	4
4	Platina_medio	M-CNC-BParrilla-403	1
5	Perno hexagonal abridado	ANSI M10x1.5x60mm	16

				Tol Gral:	Peso:	Material:	
				±0.03			
				Fecha:	Nombre:		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez	M-CNC-BParrilla-400	
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Firma:			Escala: 1:3
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre	Conjunto Base Parrilla			

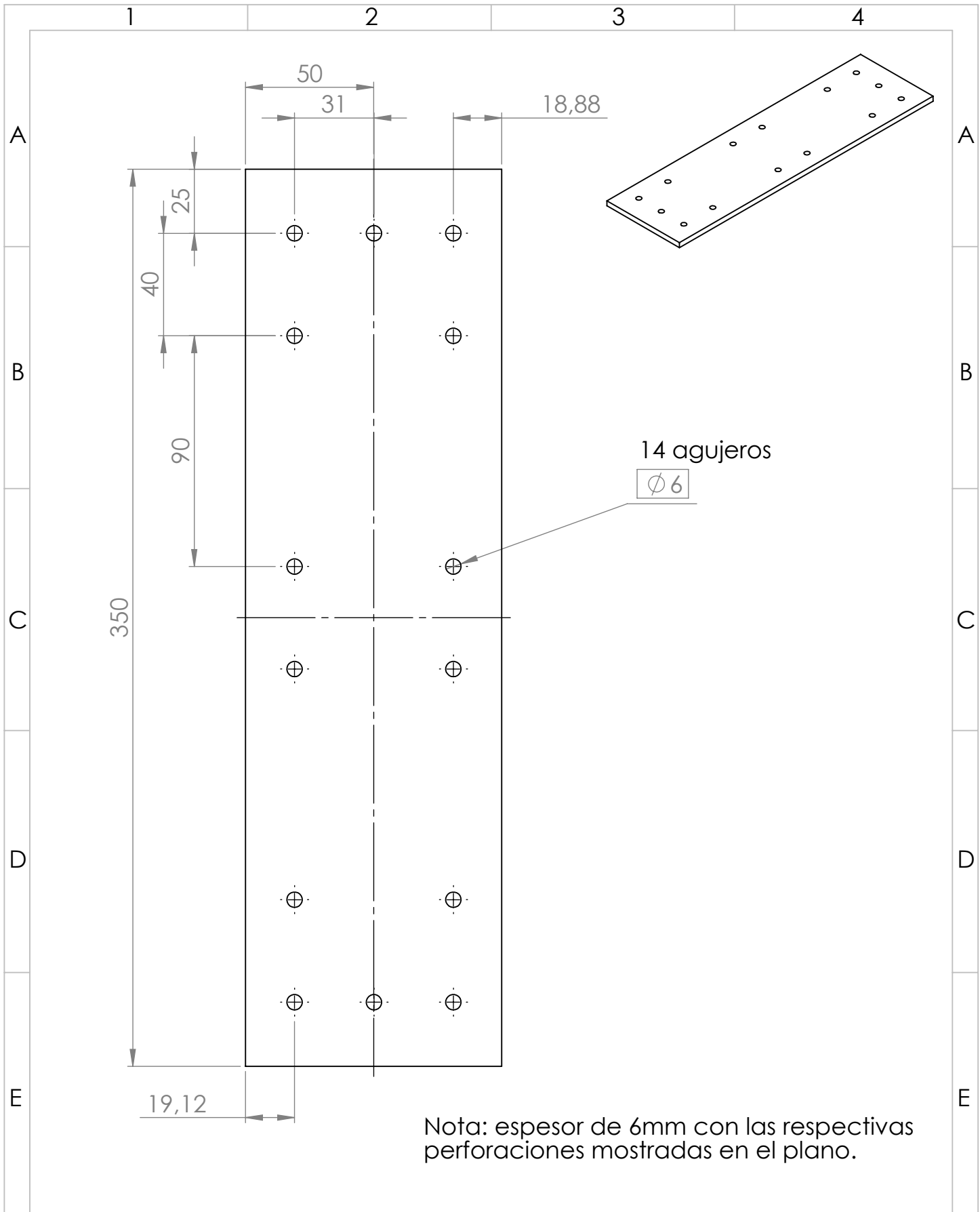


				Tol Gral:	Peso:	Material:	ASTM-A36	Escala:
				± 0.03	927.71 g			
				Fecha:	Nombre:	Platina1_mesa		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez			
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Firma:				
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre					



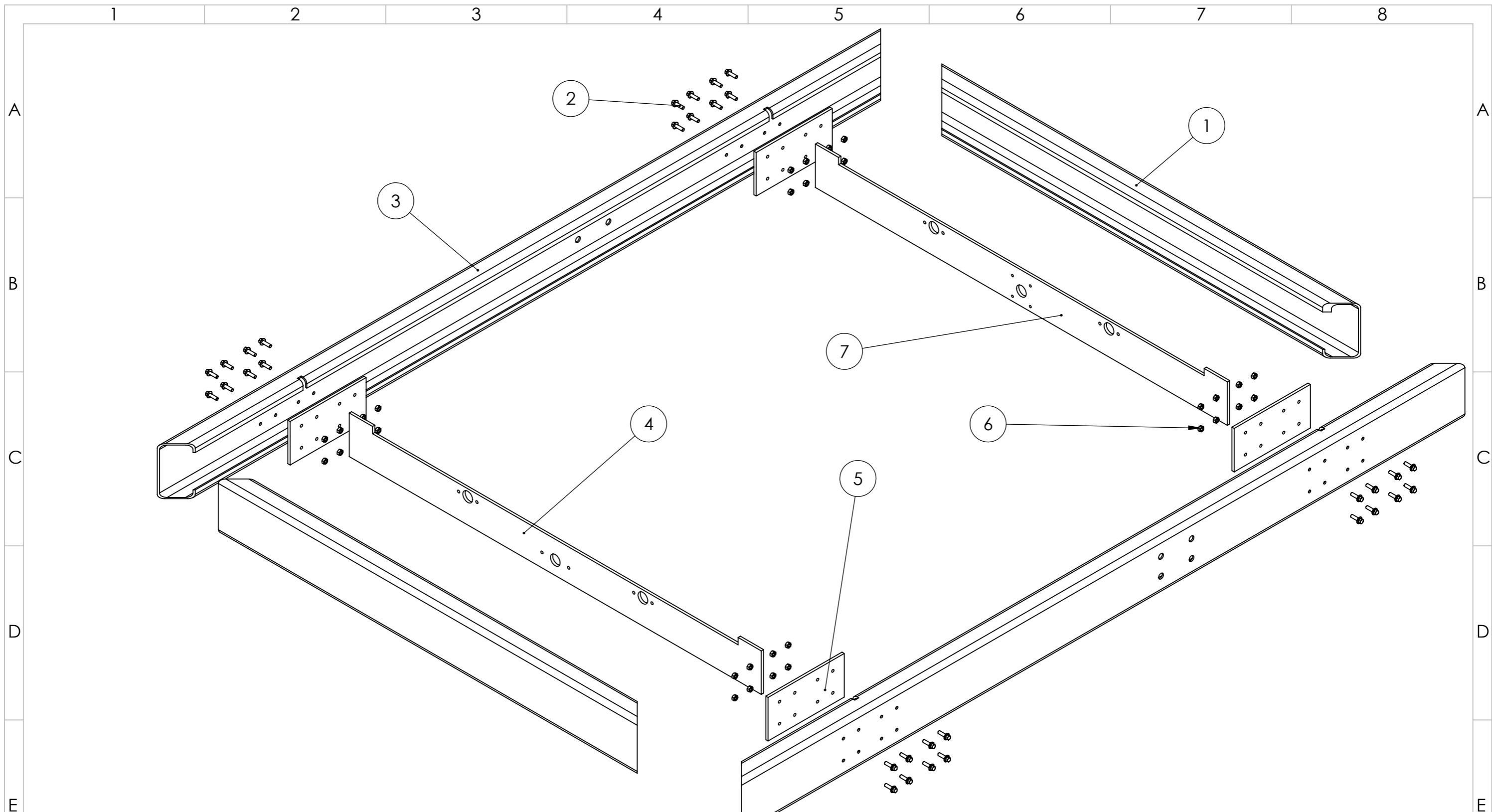
Nota: espesor de 6mm con las respectivas perforaciones mostradas

				Tol Gral: ±0.03	Peso: 815.67 g	Material: ASTM-A36	
				Fecha:	Nombre:	M-CNC-BParrilla-402	Escala: 1:2
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Firma:		Platina2_mesa	
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre				

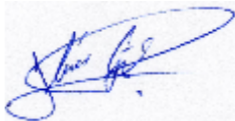



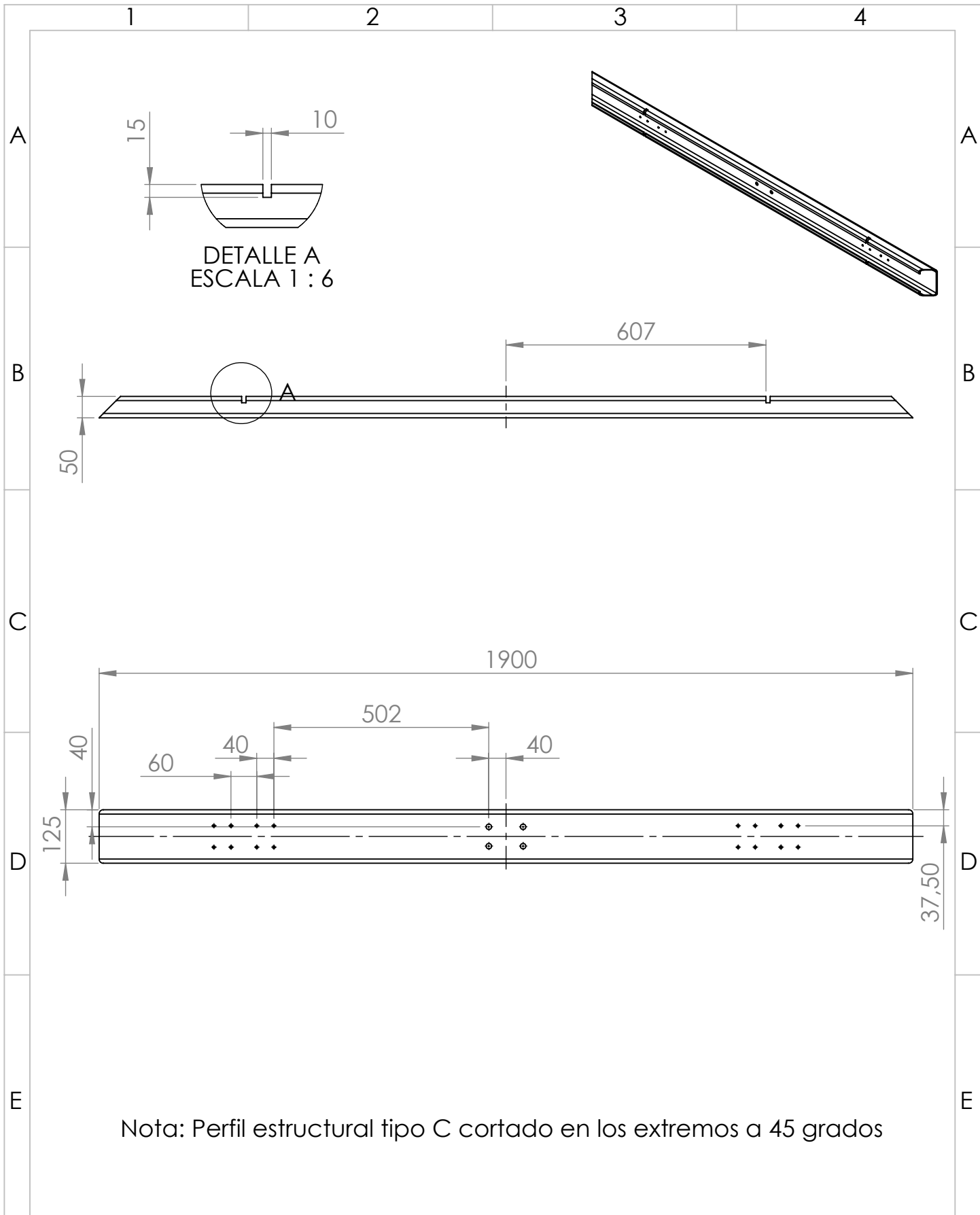
Nota: espesor de 6mm con las respectivas perforaciones mostradas en el plano.

				Tol Gral:	Peso:	Material:	ASTM-A36	Escala:
				±0.03	1013.56 g			
				Fecha:	Nombre:	Platina_medio		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez			
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Firma:				
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre					

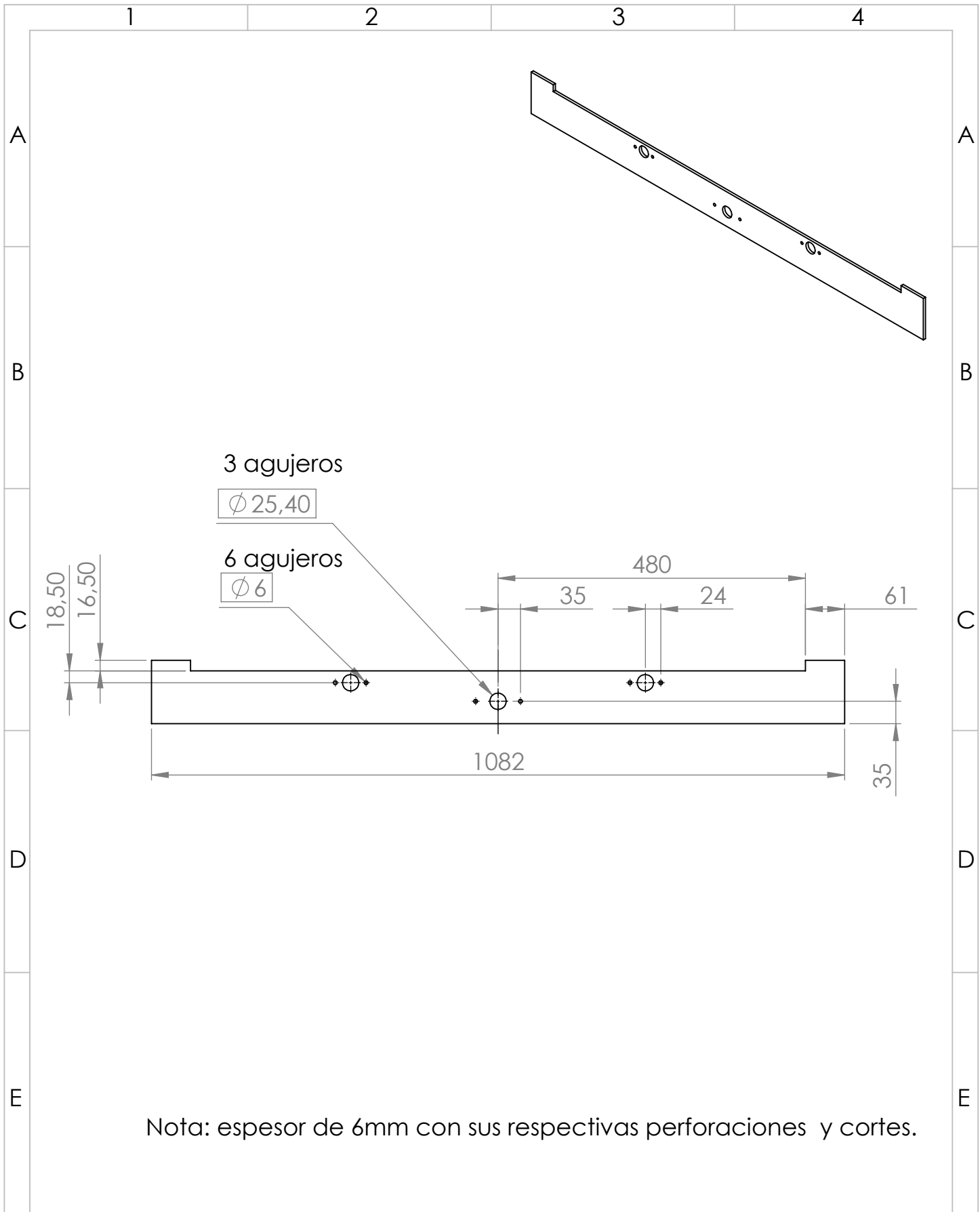


N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Ancho_estructura	Perfil estructural C de longitud de 1100mm ASTM-A36	2
2	Perno hexagonal abridado	ANSI M6x1.0x20mm	32
3	Largo_estructura	Ver en plano M-CNC-Estructura-501	1
4	Platina2_lado chumacera	Ver en plano M-CNC-Estructura-502	1
5	Platina1_I	Ver en plano M-CNC-Estructura-503	4
6	Tuerca hexagonal	ANSI M6x1.0	32
7	Platina2_lado motor	Ver en plano M-CNC-Estructura-504	1

				Tol Gral:	Peso:	Material:		
				±0.03				
				Fecha:	Nombre:			
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez			
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Firma:				
						M-CNC-Estructura-500		
						Conjunto Estructura		
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre					Escala: 1:7
								

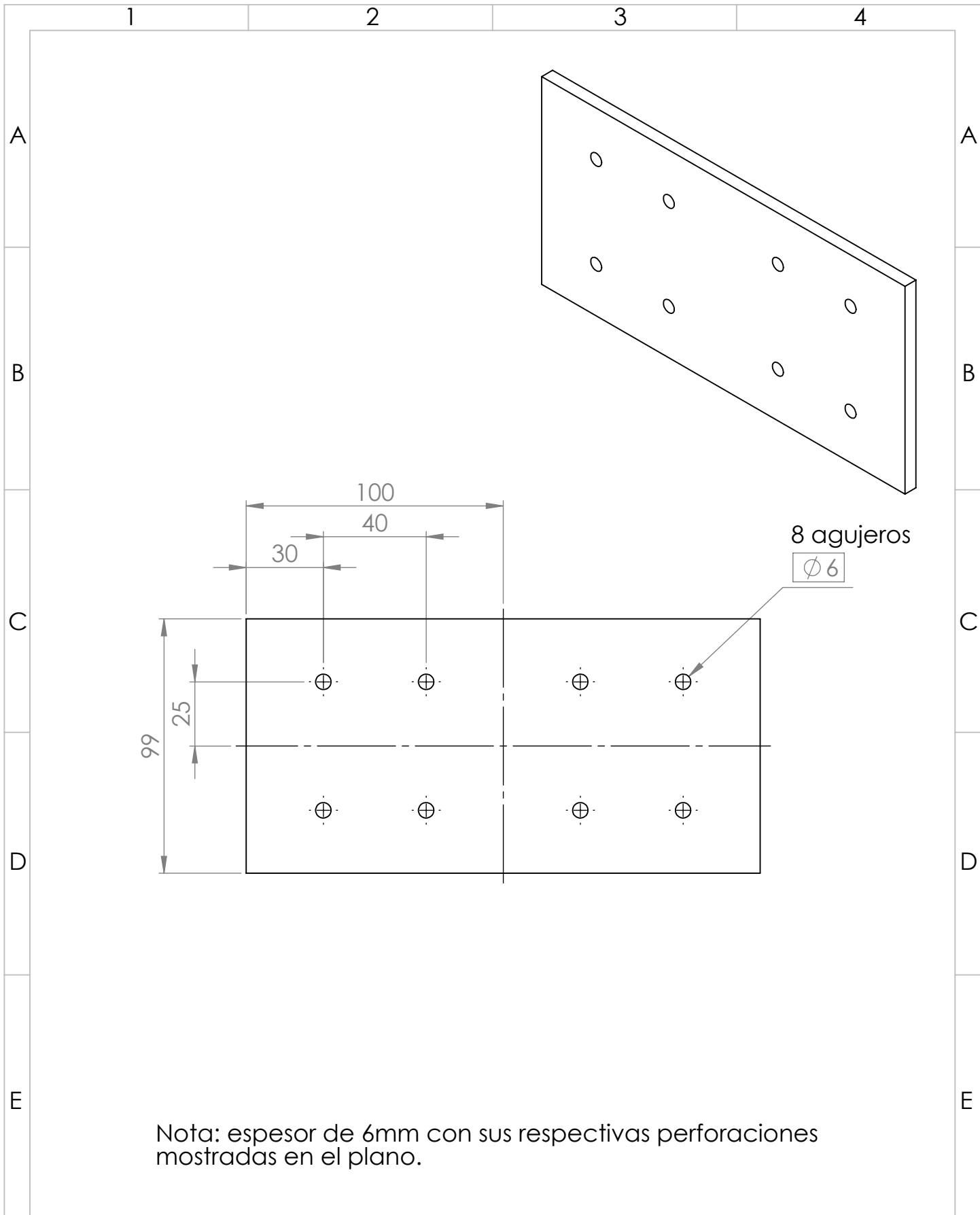


				Tol Gral:	Peso:	Material:	ASTM-A36	Escala:
				±0.03	11063.08 g			
				Fecha:	Nombre:	Largo_estructura		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez			
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Firma:				
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre					



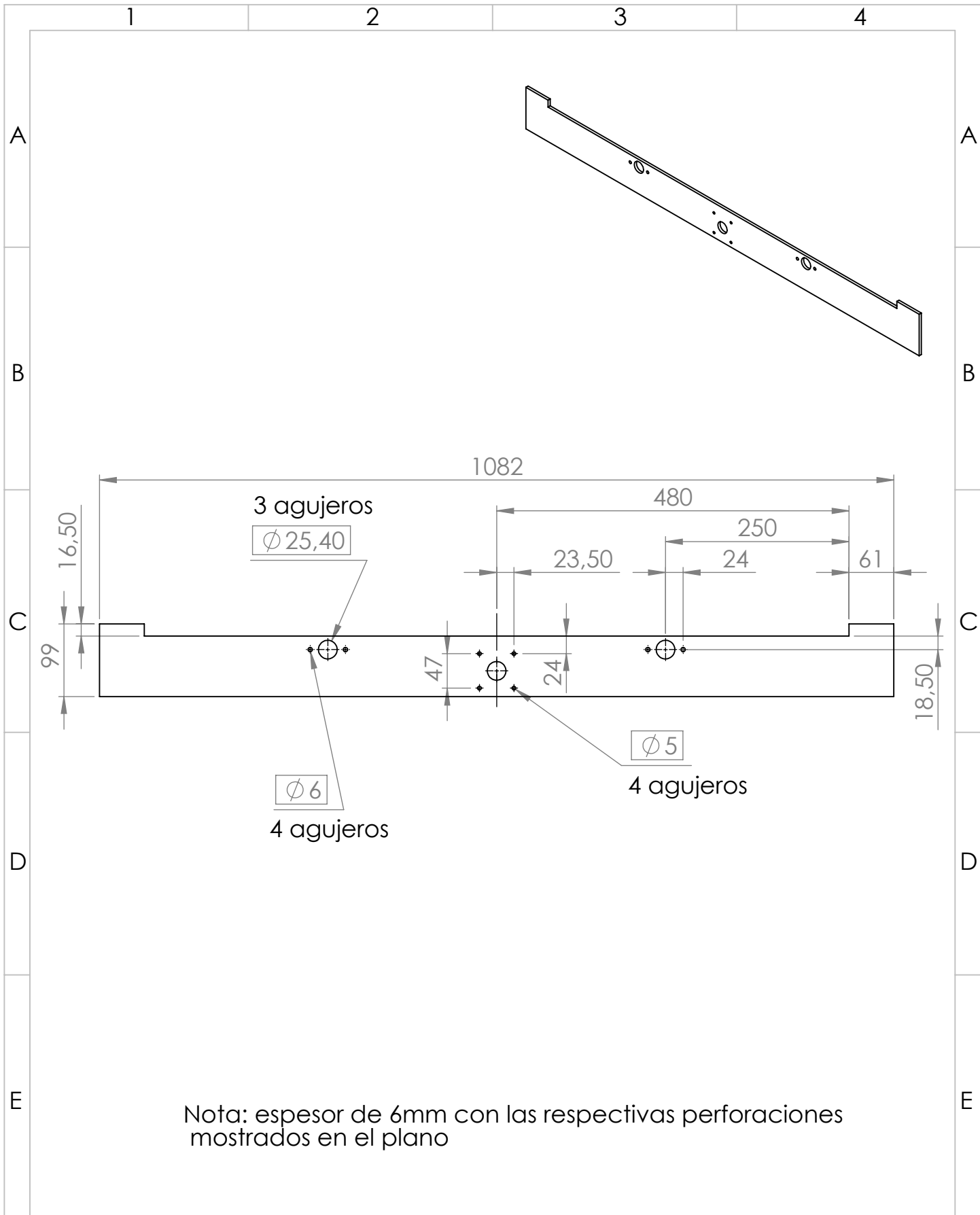
Nota: espesor de 6mm con sus respectivas perforaciones y cortes.

				Tol Gral:	Peso:	Material:	ASTM-A36
				± 0.03	4219.61 g		
				Fecha:	Nombre:	M-CNC-Estructura-502	Escala: 1:8
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.	Platina2_lado chumacera	
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre	Firma:			



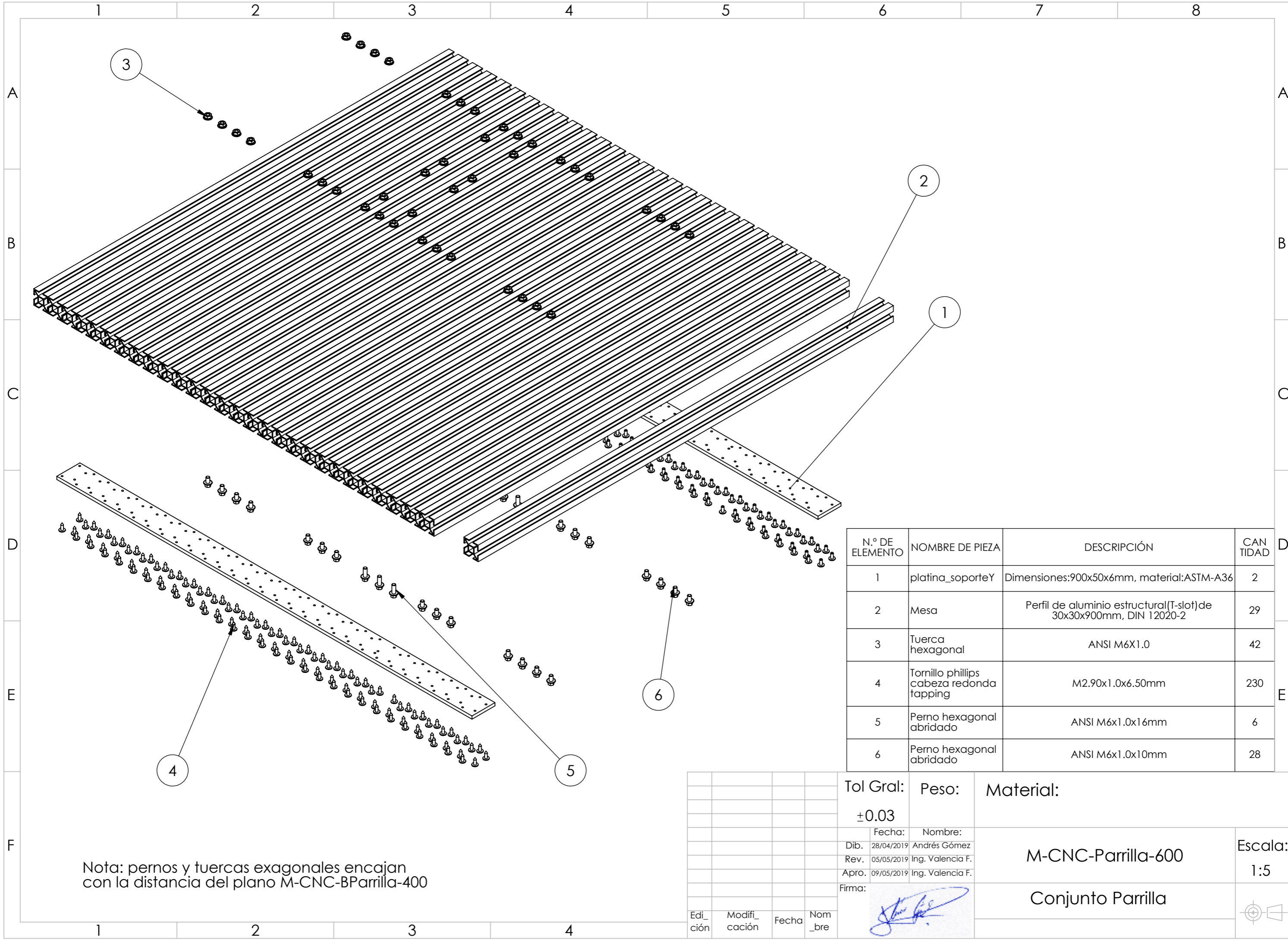
Nota: espesor de 6mm con sus respectivas perforaciones mostradas en el plano.

				Tol Gral:	Peso:	Material:	ASTM-A36	Escala:
				±0.03	921.93 g			
				Fecha:	Nombre:	Platina1_I		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez			
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Firma:				
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre					



Nota: espesor de 6mm con las respectivas perforaciones mostrados en el plano

				Tol Gral:	Peso:	Material:	ASTM-A36	Escala:
				±0.03	4218.57 g			
				Fecha:	Nombre:	Platina2_lado motor		
				Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez			
				Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.			
				Firma:				
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre					



N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CAN TIDAD
1	platina_soporteY	Dimensiones:900x50x6mm, material:ASTM-A36	2
2	Mesa	Perfil de aluminio estructural(T-slot)de 30x30x900mm, DIN 12020-2	29
3	Tuerca hexagonal	ANSI M6X1.0	42
4	Tornillo phillips cabeza redonda tapping	M2.90x1.0x6.50mm	230
5	Perno hexagonal abridado	ANSI M6x1.0x16mm	6
6	Perno hexagonal abridado	ANSI M6x1.0x10mm	28

Tol Gral:	Peso:	Material:	Escala:
±0.03			
Fecha:	Nombre:	M-CNC-Parrilla-600	1:5
Dib. 28/04/2019	Andrés Gómez		
Rev. 05/05/2019	Ing. Valencia F.		
Apro. 09/05/2019	Ing. Valencia F.	Conjunto Parrilla	
Firma:			
Edi_ ción	Modifi_ cación	Fecha	Nom_ bre

Nota: pernos y tuercas exagonales encajan con la distancia del plano M-CNC-BParrilla-400

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE CNC PARA CORTE DE PLANCHAS DE ALUMINIO POR DESBASTE DE MATERIAL

El presente documento tiene como finalidad brindar la información necesaria para el correcto uso de la maquina CNC por parte del operario. Todos los procesos descritos en este manual son de vital importancia para garantizar que el corte de piezas tenga el mayor grado de calidad.

la tecnología CNC tiene un grado de dificultad elevado, por lo que se recomienda que la persona encargada del uso de la máquina tenga conocimientos sobre sistemas CNC.

1. Requerimientos para el uso de la máquina

- Energía eléctrica 110VAC 60Hz.
- Equipo de protección personal.
- Fresa para corte de aluminio.

Con los requisitos mencionados anteriormente se puede proceder al uso de la máquina teniendo en cuenta los siguientes procesos a seguir:

1. Verificar que el selector se encuentre en la posición OFF.
2. Colocar la herramienta a utilizarse.
3. Sujetar el material a cortar mediante las mordazas con firmeza para evitar movimiento en el transcurso del proceso de corte.
4. Conectar el enchufe de la maquina a una conexión de energía eléctrica.
5. Encender la máquina mediante el posicionamiento del selector en ON. Cerciorarse que la luz verde este encendida.
6. Verificar que no exista ningún elemento que obstaculice el desplazamiento de la herramienta.
7. Tomar el control manual y ubicar el selector de eje y velocidad a las posiciones deseadas.
8. Desplazarse a lo largo del área de trabajo a una velocidad alta siempre y cuando la herramienta se encuentra lejos del material a cortarse, si la herramienta se encuentra cerca, se recomienda la utilización de las velocidades X1 y X10.

9. Tomar el cero pieza, es decir, ubicarse lo mas cerca del elemento a cortar sin que la herramienta se choque, para este proceso se puede utilizar un papel y colocarlo entre la herramienta y el material e irse acercando poco a poco, se recomienda el uso de la velocidad X1 para realizar esta operación, mientras el papel no se presione entre la herramienta y el papel irse acercando paulatinamente, una vez que el papel se presione y no se mueva retiramos el papel y ese punto será considerado nuestro cero pieza.
10. Una vez ubicado el cero pieza, es necesario establecer esa posición en nuestra máquina, para lo cual existen dos métodos; el primer método es que tengamos la línea de posicionamiento de cero pieza dentro de nuestro código G y así no necesitamos realizar ninguna configuración en la máquina. El segundo método es utilizar la pantalla LCD entrando al menú y seleccionando la opción Comandos Personalizados, se nos mostrará algunas opciones, seleccionamos la opción “Set 0 pieza”. Una vez hecho este proceso tenemos establecido el cero pieza dentro de nuestra máquina.
11. Cargar el archivo con el código G en nuestra máquina, este proceso se lo realiza mediante una memoria SD en el cual debe encontrarse nuestro archivo con una extensión .GCODE, necesario para que sea reconocido por el intérprete de código G. para cargar el archivo nos dirigimos al menú de la pantalla SD, seleccionamos “MENÚ SD” y se mostrara los archivos que se encuentran dentro de nuestra memoria, ubicar el archivo que vamos a cortar, al seleccionarlo empezara a realizar las acciones que se encuentren dentro del código.
12. Revisar que el proceso de corte se realice de manera adecuada, evitar introducir las manos durante el corte, de existir algún inconveniente presionar el botón de paro de emergencia.
13. Una vez terminado el corte y si la herramienta se encuentra cerca de la pieza realizar un desplazamiento hasta que se encuentre en un punto donde no represente un riesgo para el operario.
14. Desmontar la pieza cortada, limpiarla con una brocha y de ser necesario realizar un proceso de pulido. Limpiar el área de trabajo.
15. Si se va a realizar otro proceso de corte realizar los mismo pasos establecidos anteriormente, si ya no se va a realizar un corte apagar la máquina llevando el selector que se encuentra en el gabinete hacia la posición OFF.

MANUAL DE MANTENIMIENTO

Para el correcto funcionamiento de la máquina es necesario realizar un mantenimiento periódico de los elementos electrónicos y mecánicos.

Mantenimiento mecánico:

Mantenimiento	Frecuencia	Actividad
Guías de desplazamiento ejes X,Y,Z	Después de cada uso	Limpiar el material residual del proceso de corte (viruta) de los elementos de los sistemas de movimiento: guías, tornillo, con una tela limpia.
Mesa de trabajo	Después de cada uso	Limpiar la mesa de trabajo con una escobilla, o aspiradora antes de limpiar las guías del eje Y.
Rodamientos lineales	Antes de cada uso	Revisar que estén libres de viruta, en caso de presentarse limpiar con una tela limpia.
Pernos y tornillos	Antes de cada uso	Revisar que estén sujetos adecuadamente.
Elementos del sistema de movimiento	Cada 6 meses	Extraer o desarticular todos los elementos de los sistemas de movimiento, para un mantenimiento preventivo, limpiando en su totalidad, rodamientos, guías, tuercas, tornillos de transmisión de potencia y engrasándolos según sea necesario, revisar los rodamientos lineales y cambiarlos si se necesita.
Elementos de sujeción	Cada 6 meses	Extraer cada elemento, acoples de motor a tornillo, chumaceras, sujetadores de pared, revisarlos y cambiarlos si están defectuosos.
Fresas	Antes de cada uso	Verificar que la fresa tenga un filo adecuado, cambiarlas si es necesario.

Mantenimiento Eléctrico-Electrónico:

Mantenimiento	Frecuencia	Actividad
Cable de poder	Antes de cada uso	Revisar que el cable no presente discontinuidades en su recubrimiento exterior y cambiarlo si realiza falsos contactos.
Gabinete de control	Mensual	Verificar la continuidad entre las conexiones de los elementos dentro del gabinete, si no se establece continuidad entre alguna conexión, verificar la continuidad entre terminales o cambiar completamente el cable.
Protecciones	Mensual	Desconectar los elementos de la etapa de alimentación y realizar un cortocircuito controlado después del breaker. Si la protección no responde a este proceso, cambiarlas.
Tarjetas electrónicas	Cada 6 meses	Desconectar las tarjetas electrónicas y realizar una limpieza exhaustiva, removiendo el polvo con una escobilla y limpiar contactos.
Finales de carrera	Antes de cada uso	Verificar la señal de cada final de carrera manualmente cuando se encuentre encendida la máquina, presionándolos y verificando que la luz indicadora se encuentre encendida, cambiarlos si es necesario.

Cuadro de posibles fallas:

Fallas	Posibles razones	Soluciones
La máquina no enciende	<ul style="list-style-type: none">- Cable de alimentación desconectado, mal conectado o defectuoso.- Breaker con contacto abierto.	<ul style="list-style-type: none">- Conectar el cable correctamente, si esta defectuoso, cambiarlo.- Cambiar la configuración del braker a cerrado, si el problema persiste cambiar de protección.
Que los motores no enciendan	<ul style="list-style-type: none">- Mal conexión entre terminales- Drivers defectuosos- Tarjeta auxiliar no entrega la señal a los drivers	<ul style="list-style-type: none">- Revisar la conexión entre terminales, si el problema persiste revisar la continuidad y reemplazar los cables defectuosos.- Cambiar los drivers con mal funcionamiento- Intercambiar la tarjeta electrónica.
Que los ejes no se muevan	<ul style="list-style-type: none">- Contacto entre la torre y un final de carrera.- Que el eje este sujeto o mal acoplado.- Que el tornillo esté deteriorado.- Que el acople flexible se rompa.	<ul style="list-style-type: none">- Apagar la máquina y mover manualmente el eje, posteriormente realizar homing.- Verificar que los prisioneros del acople o la chumacera este sujetos adecuadamente, verificar que las tuercas estén sujetas con el prisionero.- Cambiar el tornillo apenas los dientes de la rosca presenten un deterioro o los sistemas de movimiento presenten un movimiento forzado.- Cambiarlo por otro similar, tomando en consideración la relación del eje de 10mm a 16mm

Que no realice homing	<ul style="list-style-type: none"> - Que el botón de homing no se encuentre conectado. - Que el botón no funcione. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar la conexión del botón a la placa electrónica, medir continuidad presionando el botón. - Cambiarlo inmediatamente.
Que no cargue el archivo con el código G	<ul style="list-style-type: none"> - Incompatibilidad de extensión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar la extensión del archivo que sea en .GCODE y volver a cargarlo.
Pantalla LCD no enciende	<ul style="list-style-type: none"> - Mal conexión. - Daños en el controlador LCD. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar la correcta conexión entre la pantalla y la placa de control CNC. - Cambiar la LCD.
Que el control manual para desplazamiento de ejes no funcione	<ul style="list-style-type: none"> - Conexión inadecuada de conector VGA. - Cable UTP de 16 hilos dañado. - Desconexión de terminales hacia la placa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar que el conector VGA se encuentre debidamente conectado y en buen estado. - Revisar la continuidad de cada hilo, desmontando el control manual de movimiento, cambiar todo el cable si es necesario. - Revisar la continuidad entre el conector VGA y la placa electrónica.
Que el husillo no encienda	<ul style="list-style-type: none"> - Mala conexión con el driver. - Mal funcionamiento del conversor de PWM a 0V-10V. - Que no exista el comando de revoluciones dentro del archivo de código G 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar la continuidad entre terminales y cambiarlos si es necesario. - Realizar la medición de prueba del conversor enviando varias velocidad por código G y verificando el voltaje. - Insertar el comando M3 seguido de las revoluciones teniendo en cuenta el rango permitido de 0-12000 rpms