

CONSTRUCCION DE UN TRIBÓMETRO TIPO PIN-DISCO CON VELOCIDAD VARIABLE BAJO NORMA ASTM G99

Julián Andrés Alzate Gaviria
Julian.alzate819@pascualbravo.edu.co

Asesor:
Profesor Elkin Mauricio González

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
Facultad de Ingeniería
Departamento de Mecánica
Tecnología en Mecánica Industrial
mayo de 2023

Tabla de contenido

1. Introducción	4
2. Identificación y descripción del problema	5
3. Justificación.....	6
4. Objetivos.....	7
5. Marco teórico.....	8
4.1 Tribómetro	8
4.1.1 Definición	8
4.1.2 Funcionamiento del tribómetro pin-disco	8
4.1.3 Aplicaciones	9
4.1.4 Partes y subsistemas del tribómetro	9
4.2 Mecanizado.....	12
4.2.1 Definición	12
4.2.2 Principales procesos de mecanizado	13
4.2.2.1 Torneado	13
4.2.2.2 Taladrado	14
4.2.2.3 Fresado.....	15
4.2.3 Herramientas de corte	19
4.2.3.1 Características de las herramientas	19
4.2.3.2 Materiales para herramientas corte.....	20
4.2.4 Condiciones de corte	21
4.2.4.1 Velocidad de corte	21
4.2.4.2 Avance.....	22
4.2.4.3 Profundidad de corte	22
4.2.4.4 Formulas	23
6. Metodología.....	23
7. Resultados.....	25
8. Anexo #1. Plano piezas modificadas	32

9. Anexo #2. Hojas de procesos	45
10. Conclusiones	80
11. Bibliografía	81

CONSTRUCCION DE UN TRIBÓMETRO TIPO PIN-DISCO CON VELOCIDAD VARIABLE BAJO NORMA ASTM G99

1. Introducción

El desgaste por fricción es un fenómeno que se presenta en todas aquellas máquinas y elementos mecánicos expuestos a condiciones de movimiento relativo, ya sea por el desplazamiento de las partes y/o sistemas que componen un dispositivo, o por la interacción de este con diversos elementos presentes en el entorno al momento de estar operando. Todas estas condiciones traen consigo la aparición del desgaste, fenómeno casi implícito en toda máquina.

Puesto que el desgaste se encuentra presente en cualquier elemento mecánico, la industria se vio en la necesidad de estudiar y controlar dicho fenómeno, para garantizar, más específicamente, el correcto funcionamiento de diversos dispositivos por mayores periodos de tiempo. Con esta finalidad, a lo largo de la historia se han diseñado diversas máquinas y pruebas para estudiar las implicaciones que tiene el desgaste sobre la vida útil de los componentes de máquina, siendo uno de estos artefactos el tribómetro tipo pin-disco. Este último es el punto de enfoque de este trabajo.

Ya habiendo explicado la relevancia que tiene el estudio del desgaste a nivel histórico, no está demás decir, que la industria colombiana no es una excepción. Bajo esta premisa, la institución universitaria Pascual Bravo tomó la iniciativa de diseñar su propio equipo tipo pin disco para la realización de pruebas tribológicas, donde, al momento de iniciar este trabajo, se contaba con un diseño

original y un rediseño, además de unos pocos elementos mecánicos fabricados previamente.

En la extensión de este texto se encontrará toda la información relacionada con los métodos, procesos, máquinas y herramientas utilizadas para la fabricación de todas las piezas no comerciales presentes en el rediseño del tribómetro. Asimismo, estarán en los anexos las hojas de procesos de las piezas, donde se describe los parámetros de corte usado en cada operación; información de valor si se desea reproducir alguna de las piezas, o realizar el mantenimiento correctivo de alguno de los componentes. Además de lo anterior, se incluirán los planos de los elementos que fueron modificados con el objetivo de mejorar la rigidez y simplicidad de la máquina.

2. Identificación y descripción del problema

Debido a la carencia de un equipo para la realización de ensayos de fricción y análisis tribológicos en la institución universitaria Pascual Bravo, se plantea fabricar los componentes mecánicos como etapa inicial en la construcción de un tribómetro tipo pin disco, diseñados previamente en un trabajo titulado “rediseño de un tribómetro tipo pin disco con velocidad variable bajo norma ASTM G99”, del cual se tiene los planos constructivos que son el eje principal para la fabricación del tribómetro de la institución.

Se pretende mecanizar todas aquellas piezas no comerciales presentes en el trabajo de grado anteriormente mencionado, con el propósito de aumentar la capacidad investigativa de la institución con un nuevo equipo para los laboratorios, el cual permitirá

una mayor comprensión del comportamiento presentado por diversos materiales cuando se les somete a condiciones de desgaste.

3. Justificación

El desarrollo de este nuevo equipo para la institución traerá consigo nuevas posibilidades pedagógicas y científicas en diversas áreas de la metal mecánica y ciencias afines, ya que el estudio de los materiales y el desgaste cuenta con un gran abanico de aplicaciones, siendo este el motivo principal por el que un tribómetro funcionará como un excelente complemento para el laboratorio de metalografía, enriqueciendo los enfoques académicos e investigativos de la institución en el campo de los materiales. Al mismo tiempo, contar con la infraestructura para realizar ensayos tribológicos bajo la norma ASTM G99 favorecerá la acreditación de alta calidad en las diversas tecnologías, ingenierías y posgrados de la universidad.

Esto también beneficiará en gran medida al reciente programa de ingeniería de materiales en el cual la universidad se encuentra trabajando, además de favorecer semilleros institucionales como el R3, donde ensayos tribológicos podrían ser de gran utilidad en sus proyectos enfocados al diseño. La tribología contará a su vez con aplicaciones en niveles académicos más avanzados, como es el caso de la maestría en energías, ofrecida actualmente por la universidad, en la cual el objeto de estudio está relacionado con las pérdidas energéticas en diversos sistemas, y la fricción representa una de las mayores causas de pérdidas energéticas, haciendo que su estudio sea de vital importancia cuando se desea hacer energéticamente más eficiente un dispositivo.

Sumado a lo anterior, la fabricación de este equipo representará un mayor beneficio económico para la institución, debido a que su precio se verá considerablemente disminuido en comparación con adquirir un tribómetro comercial.

4. Objetivos

Objetivo general

Construir un tribómetro tipo pin disco con velocidad variable bajo la norma ASTM G99 para el laboratorio de metalografía de la institución universitaria Pascual Bravo.

Objetivos específicos

- Mecanizar los componentes no comerciales presentes en el proyecto de grado titulado “rediseño de un tribómetro tipo pin-disco con velocidad variable bajo norma ASTM G99”.
- Generar la documentación técnica relacionada con los procesos de mecanizado de cada pieza.
- Ensamblar y poner a punto los componentes mecanizados para el tribómetro con el fin de garantizar su correcto funcionamiento en conjunto.

5. Marco teórico

4.1 Tribómetro

4.1.1 Definición

Un tribómetro es un equipo que permite determinar la resistencia al desgaste entre dos materiales que presentan movimiento relativo entre sí, bajo diversas condiciones de carga, tiempo y distancia de deslizamiento.

4.1.2 Funcionamiento del tribómetro pin-disco

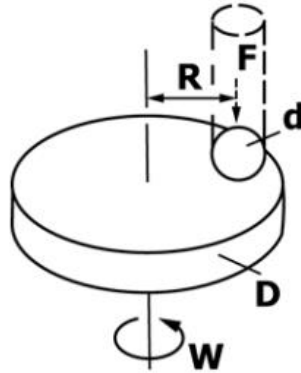
Un pin de punta esférica o plana con un diámetro (d) previamente definido se posiciona sobre un disco a una distancia (R) con respecto al eje de rotación (centro del disco), posteriormente se le imprime una fuerza (F) conocida mientras el disco gira a una velocidad controlada, dando como resultado una trayectoria circular de contacto (ver figura 1).

Al momento de la prueba la fuerza tangencial generada por el contacto entre los dos materiales es monitoreada y medida por celdas de carga, datos que son utilizados posteriormente para determinar las fuerzas de fricción presentadas a lo largo del ensayo.

Al final de la prueba se calculan los volúmenes perdidos de material en ambos cuerpos (pin y disco) para determinar el grado de desgaste del par mecánico.

Figura 1

Descripción representada del ensayo de desgaste pin-disco



Nota. Tomado de Cadavid (2022)

4.1.3 Aplicaciones

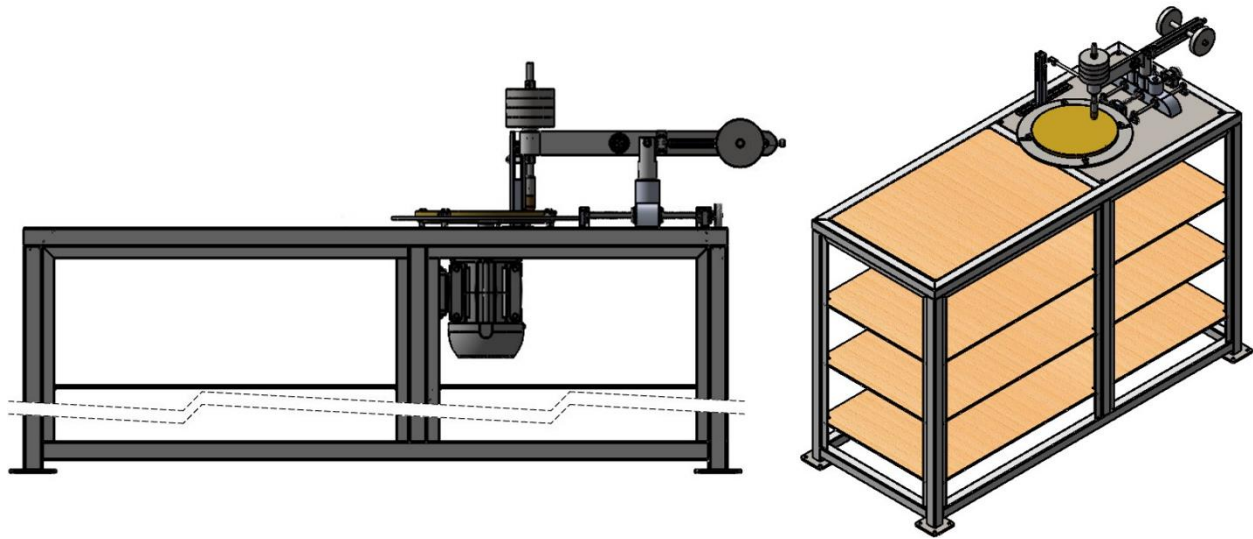
El equipo descrito en la figura 1 permite estudiar el desgaste por deslizamiento, fenómeno frecuentemente presentado en los elementos de máquina con movimiento relativo. Esto hace que este tipo de pruebas tengan mucho peso en el área investigativa y aplicada. Posibilita determinar los coeficientes de fricción y nivel de desgaste presentados por un par tribológico bajo condiciones controladas, simulando condiciones de desgaste por deslizamiento muy fieles a las presentadas por los componentes mecánicos objetivos.

4.1.4 Partes y subsistemas del tribómetro

Se presenta el tribómetro ensamblado en la figura 2.

Figura 2

Ensamble del tribómetro



a)

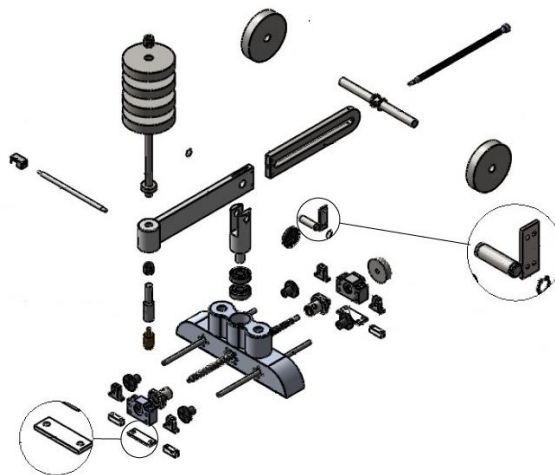
b)

Nota. a) Vista lateral. b) vista isométrica. Adaptada de Cadavid (2022)

- **Sistema de desplazamiento pin:** está conformado por el brazo ajustable, niveles, contrapesos y porta-pin. Sistema encargado de imprimir la fuerza y regular la distancia al eje de rotación (ver figura 3).

Figura 3

Sistema de desplazamiento pin

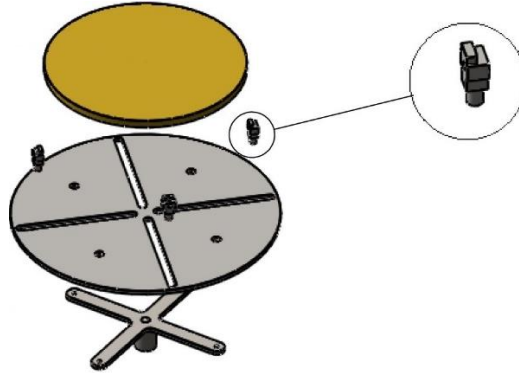


Nota. Explosionado sistema desplazamiento pin. Adaptada de Cadavid (2022)

- **Sistema de ubicación de disco:** conformado por el acople de motor, plato para disco y mordazas. Sistema encargado de centrar y sujetar el disco, además de transmitir la potencia del motor al sistema (ver figura 4).

Figura 4

Sistema de ubicación de disco



Nota. Explosionado sistema de ubicación de disco. Adaptada de Cadavid (2022)

- **Sistema torre de celda:** sistema encargado de la recolección de datos por medio de celdas de carga (ver figura 5).

Figura 5

Sistema torre celda

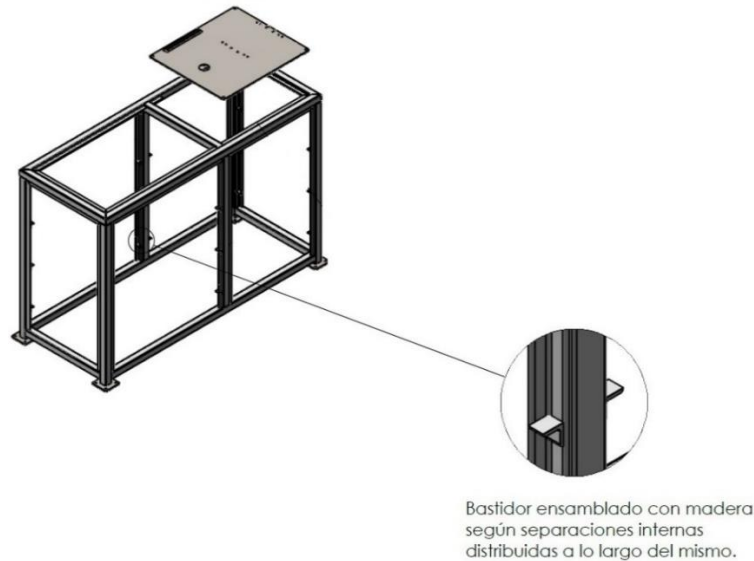


Nota. Explosionado de torre celda. Adaptada de Cadavid (2022)

Bastidor: estructura general del equipo (ver figura 6).

Figura 6

Bastidor



Nota. Adaptada de Cadavid (2022)

4.2 Mecanizado

4.2.1 Definición

El maquinado es un proceso de fabricación que utiliza herramientas de corte para modificar la geometría de una pieza base por medio de la remoción de material, retirando el excedente en forma de viruta, que al desprenderse deja expuesta una nueva superficie; siendo sus mayores exponentes los procesos de torneado, fresado y taladrado. Este proceso es mayormente utilizado para trabajar metales, aunque su aplicación puede extenderse a materiales poliméricos, como es el caso de los plásticos de ingeniería.

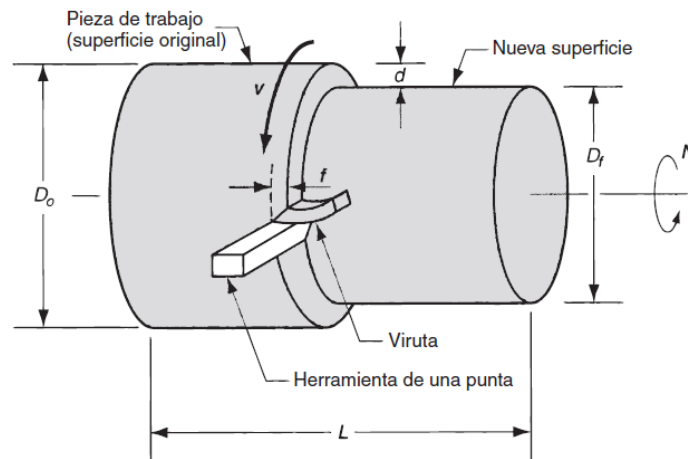
4.2.2 Principales procesos de mecanizado

4.2.2.1 Torneado

Es un proceso de maquinado que se lleva a cabo en una máquina herramienta llamada torno, donde una herramienta de corte de una sola punta llamada buril remueve material de una pieza cilíndrica en rotación. Por este proceso se pueden obtener gran variedad de formas como piezas rectas, cónicas, curvas y ranuradas, para la fabricación de ejes, pasadores, husillos, entre otros (ver figura 7).

Figura 7

Proceso de torneado



Nota. Representación de una pieza torneada. Tomado de Groover (2007).

Las principales operaciones de torneado son:

- **Refrentado:** produce una superficie plana y perpendicular al eje de rotación en la parte final de la pieza de trabajo.
- **Corte con herramientas de forma:** genera formas simétricas respecto al eje de rotación con fines estéticos o funcionales.

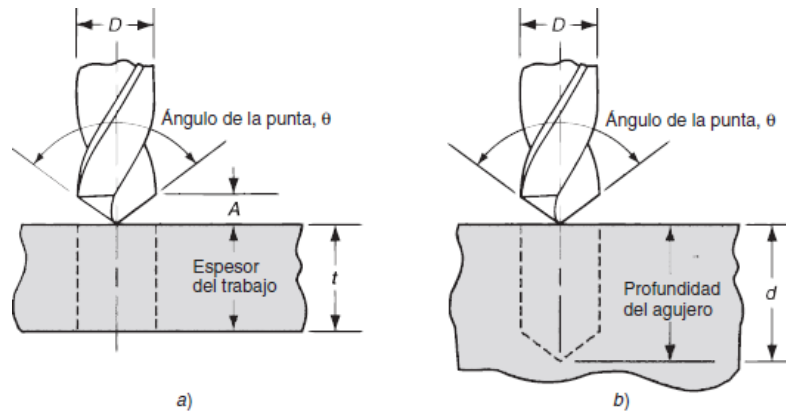
- **Taladrado:** produce un orificio cilíndrico que puede ser mandrinado posteriormente, a fin de mejorar su acabado superficial y garantizar precisión dimensional.
- **Mandrinado o perforado:** aumenta el diámetro de una perforación previamente realizada o produce ranuras circulares en el interior de la pieza.
- **Seccionado o tronzado:** corta la sección del extremo de una pieza de trabajo generalmente ya mecanizada, este proceso es muy utilizado en producciones en masa, como es el caso de los tornos CNC.
- **Roscado:** talla una rosca en la pieza, puede ser tanto interna como externa.
- **Moleteado:** produce un patrón superficial definido en el contorno de la pieza de trabajo, aumentando su rugosidad.

4.2.2.2 Taladrado

Este proceso busca realizar perforaciones redondas en una pieza de trabajo de profundidad parcial o total (agujero pasante). Esta operación se lleva a cabo usualmente con una herramienta de dos filos, cilíndrica, llamada broca, cuyo diámetro determinará la del agujero resultante. El taladro de banco es la máquina herramienta usada generalmente para este proceso, aunque otras máquinas herramientas cuentan con la posibilidad de ejecutar esta operación, como es el caso del torno o la fresadora (ver figura 8).

Figura 8

Proceso de taladrado



Nota. A) perforación pasante. B) perforación ciega. Tomado de Groover (2007).

Otras operaciones de taladrado son:

- **Abocardado y avellanado:** ambos procesos tienen como objetivo generar depresiones en la superficie de la pieza para que las cabezas de los tornillos encajen, y se posicionen en estos.
- **Taladrado de centros:** este proceso se realiza con brocas cortas, que poseen una sección cónica, conocidas como broca-centro, las cuales son utilizadas para generar orificios en el extremo de un material que se quiere tornearse entre copa y punto. También se emplean para iniciar perforaciones, con el propósito de guiar brocas de mayor envergadura, reduciendo el riesgo de fractura o descentre.
- **Rimado:** este proceso se realiza con una herramienta de corte llamada rima, la cual pule las paredes internas de un agujero cilíndrico, garantizando la precisión dimensional del diámetro de la cavidad.

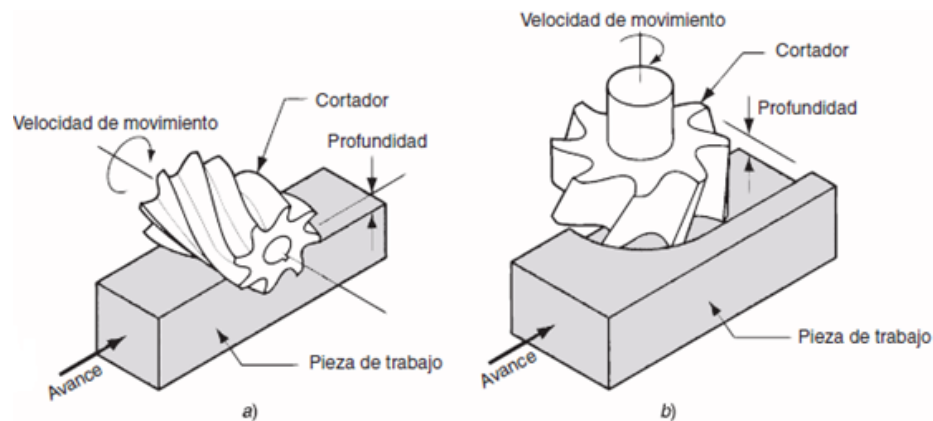
4.2.2.3 Fresado

Es una operación que consiste en pasar la pieza de trabajo por enfrente de una herramienta de corte rotativa de varios filos, donde el eje de rotación de la herramienta

es perpendicular al avance; siendo esta la principal característica que diferencia el fresado del taladrado, donde el avance y el eje de rotación de la broca son paralelos. Este proceso suele dividirse en dos grupos, el fresado periférico (ver figura 9 a) y frontal (ver figura 9 b), siendo ambos ejecutables en la fresadora universal. Una de las características de este proceso es que permite obtener geometrías complejas, así como cavidades y ranuras de diversas formas.

Figura 9

Procesos de fresado



Nota. a) Fresado periférico. b) Fresado frontal. Tomada de Groover (2007).

Fresado periférico: es cuando en el proceso de fresado el eje de giro de la herramienta es paralelo a la superficie a mecanizar.

Fresado frontal: el eje de giro de la herramienta es perpendicular a la superficie de planeado. Tiene gran versatilidad para la fabricación de geometrías complejas de diversas alturas.

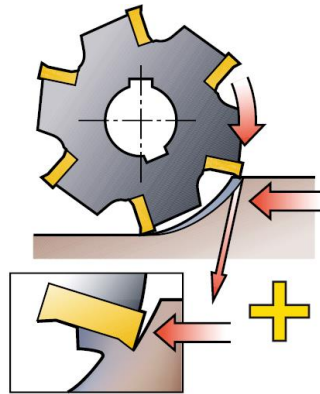
Fresado de careado: funciona bajo el mismo principio que el proceso anteriormente mencionado, con la diferencia de que se usan herramientas con mayor área de desbaste, a fin de garantizar la planitud de superficies extensas.

Es importante tener en cuenta la relación que existe entre la dirección de giro de la herramienta y el avance del material a mecanizar al momento de realizar las operaciones anteriores, ya que este parámetro es crítico en la operación de fresado, determinando parámetros como la profundidad de corte, acabado superficial y esfuerzos soportados por los filos de la herramienta.

Fresado en concordancia: es aquel donde la dirección de avance de la pieza va a favor del giro de la herramienta (ver figura 10). Este tipo de fresado es el ideal siempre y cuando el sistema de sujeción, la herramienta y la pieza lo permitan. Su principal característica es que la viruta generada es más grande al principio y disminuye a lo largo del corte, permitiendo controlar mejor la fricción y las temperaturas del mecanizado. Sin embargo, el empuje generado por la herramienta al momento de ingresar en la pieza provoca un aumento repentino del avance, situación que puede comprometer la integridad de la herramienta si las holguras presentes en la máquina son considerables; por este motivo la aplicación de este tipo de fresado no es recomendado en máquinas-herramientas convencionales.

Figura 10

Fresado en concordancia



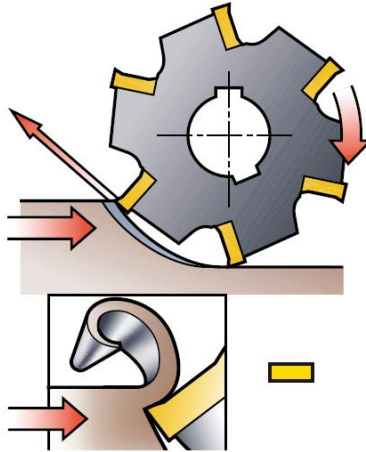
Nota. Ilustración del sentido de giro, dirección de avance y la formación de viruta. Tomada de Sanvick Coromant (2017).

Fresado en oposición: en este proceso el sentido del avance es contrario al giro de la herramienta (ver figura 11), haciendo que la viruta generada sea fina al comienzo del corte y alcance su mayor tamaño al final del recorrido. Este tipo de desbaste se caracteriza por una mayor fricción entre las superficies (herramienta-pieza) y mayores esfuerzos de tracción en los flancos de la herramienta, lo que favorece la adherencia de viruta en los filos y reduce la vida útil de la herramienta.

El fresado en oposición es utilizado con regularidad en fresadoras convencionales con el propósito de eliminar el riesgo de las holguras en el sistema de avance de la bancada. Este método también trae beneficios al momento de trabajar con herramientas de corte de alta dureza, como es el caso de los insertos cerámicos, ya que al haber menor cantidad de material al momento del ingreso de la herramienta, se reducen las fuerzas de impacto.

Figura 11

Fresado en oposición



Nota. Ilustración del sentido de giro, dirección de avance y la formación de viruta. Tomado de Sanvick Coromant (2017).

4.2.3 Herramientas de corte

Seleccionar una herramienta que cumpla con las características necesarias para efectuar un procedimiento de maquinado es de vital importancia, ya que de esta decisión dependerán variables como tiempos de trabajo, calidad superficial y precisión dimensional de las piezas a fabricar. También se deben seleccionar herramientas acordes con las máquinas herramientas a disposición, asegurándose de poder usar completamente su capacidad de remover material, a fin de reducir costos de producción y aumentar la confiabilidad de las piezas producidas.

4.2.3.1 Características de las herramientas

- **Dureza en caliente:** la herramienta debe mantener su dureza, resistencia y resistencia al desgaste a lo largo del proceso de maquinado, manteniendo su filo y capacidad de corte bajo las temperaturas de operación.
- **Tenacidad:** Las herramientas de corte además de mantener su filo requieren soportar fuerzas de impacto y vibración a lo largo del maquinado, por lo que deben

contar con la capacidad de absorber y disipar esta energía sin astillarse o fracturarse.

- **Resistencia al desgaste:** deben cumplir con un número de ciclos de maquinado antes de ser afiladas o remplazadas.
- **Estabilidad química y neutralidad:** se debe evitar la posibilidad de cualquier reacción con el material de trabajo, pues, casos como adhesión o difusión en la herramienta podrían afectar notablemente su vida útil.

4.2.3.2 Materiales para herramientas corte

Acero rápido (HSS)

Sus mayores virtudes son su economía y tenacidad, haciendo que las herramientas construidas con él tengan un buen desempeño en aplicaciones con altas fuerzas de impacto y vibración. Tiene la posibilidad de ser conformado en geometrías complejas como brocas y fresas. En el caso de buriles da la posibilidad de generar diversos perfiles, por lo que es usado con regularidad en el torneado de forma. Por otro lado, el HSS tiene limitaciones en su dureza en caliente, permitiendo velocidades de corte muy bajas, al igual que sus profundidades de corte.

Carburos de tungsteno

Consisten en partículas de carburo de tungsteno aglutinadas en una matriz de cobalto. Las herramientas fabricados con este tipo de material son obtenidas por medio de metalurgia de polvos, prensándose para conseguir las formas de pastillas o filos. Estos materiales se caracterizan por su alta dureza en diversos rangos de temperatura,

trayendo consigo mayores velocidades de corte, las cuales posibilitan la integración de procesos de alta producción a precios no muy elevados.

Insertos

Son el sistema de corte de material más vanguardista utilizado en la actualidad, siendo mayormente empleado en centros de mecanizado y maquinaria CNC, donde la posibilidad de intercambiar la cuchilla sin desmontar el portaherramientas garantiza mantener los ceros de máquina, evitando así tiempos muertos de calibración.

Los insertos cuentan con una gran variedad de formas y perfiles que les permiten ser utilizados para todo tipo de aplicaciones, además de contar con diversas categorías para el mecanizado de numerosos materiales tales como aceros, aceros inoxidable, fundiciones, metales no ferrosos, termorresistentes y templados.

4.2.4 Condiciones de corte

4.2.4.1 Velocidad de corte

“Es la velocidad en pies o metros minutos, a la cual la herramienta de corte pasa a través de la pieza, o viceversa” (Krar & Check, 2001, p. 830). Su importancia reside en la capacidad de modificar la eficiencia de los procesos de remoción de material, puesto que es una variable que afecta de forma directa los tiempos de maquinado.

Si se aplica una velocidad de corte muy elevada para una operación se pondrá en riesgo la integridad de la herramienta, produciendo tiempos muertos para reacondicionarla o cambiarla. Por el contrario, si la velocidad seleccionada es muy baja los tiempos de producción se volverán ineficientes. De ahí la importancia de aplicar las

velocidades de corte apropiadas para cada proceso y material; estas son suministradas por el fabricante de la herramienta en sus respectivos catálogos.

4.2.4.2 Avance

“Movimiento longitudinal de la herramienta en pulgadas por minuto o milésimas de pulgada por revolución. Los avances métricos se expresan en milímetro por minuto o centésimas de milímetro por revolución” (Krar & Check, 2001, p. 820). Su valor depende de diversos factores, como la cantidad de filos de la herramienta, el material que se está trabajando, lo afilada que se encuentre la herramienta, potencia de la máquina, tipo de acabado, precisión, entre otros.

Si el valor de avance es muy alto la herramienta no podrá remover el suficiente material para seguir avanzando, lo que puede generar su fallo repentino. De la misma manera, la selección de avances elevados traerá mayores temperaturas de operación, creando la necesidad de refrigerar las herramientas para mantener su funcionalidad.

4.2.4.3 Profundidad de corte

“Ancho de corte perpendicular a la dirección del movimiento de alimentación” (Sanvick Coromant, 2017, p. H82). Las profundidades de corte están principalmente limitadas por la potencia de la máquina-herramienta y la longitud efectiva de la herramienta de corte.

Las mayores profundidades de corte son utilizadas en operaciones de desbaste, donde se desea remover la mayor cantidad de material posible en cortos periodos de tiempo. Las profundidades de corte más pequeñas se emplean en procesos de acabado, donde se prioriza la calidad superficial obtenida al final del corte.

Es pertinente mencionar que a medida que se aumentan las profundidades de corte también se incrementará la fricción y los esfuerzos en la herramienta, por tanto, es necesaria una correcta selección de este parámetro para evitar la reducción prematura de la vida útil de la herramienta.

4.2.4.4 Formulas

- **Velocidad de corte**

$$[m/min] V_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \text{ o } [ft/min] V_c = \frac{\pi * D * n}{12}$$

D = \emptyset de pieza (torno) ó \emptyset de herramienta (fresado y taladrado)

n = velocidad del husillo [RPM]

- **Avance de la mesa (fresado)**

$$[m/min] \text{ o } [ft/min] V_f = f_z * n * Z_c$$

f_z = Avance por diente [mm] o [in]

n = velocidad del husillo [RPM]

Z_c = numero de dientes de la herramienta

- **Profundidad de corte (torno)**

$$[mm] \text{ o } [in] P_c = \frac{D - d}{2}$$

D = diametro antes del corte

d = diametro despues del corte

6. Metodología

Con base en los planos del tribómetro se realizaron las hojas de procesos de cada pieza, usando para esto el programa de hojas de cálculo Excel, donde se especificaron

los procesos, máquinas, velocidad de corte, rpm, como avance y profundidad de corte usadas en cada operación.

Se realizaron diversas modificaciones en la máquina. Se levantaron los planos de las piezas modificadas utilizando el software CAD Fusion 360, los cuales se adjuntan con los planos originales. Adicionalmente, se justifican los motivos por los cuales se realizaron dichos cambios.

Siguiendo las hojas de procesos previamente realizadas se procedió a maquinar los componentes mecánicos utilizando las máquinas herramientas brindadas por la institución universitaria Pascual Bravo, tales como tornos paralelos, fresadoras universales, taladros de banco y un centro de mecanizado CNC.

Las tolerancias dimensionales y calidades superficiales presentes en los planos se usaron como referencia para garantizar el correcto maquinado de las diferentes piezas.

Posterior a la fabricación de los componentes se procedió a ensamblar el dispositivo de acuerdo con los planos constructivos y el manual de usuario del equipo, asegurando un apropiado ajuste y funcionamiento de los diferentes sistemas que componen el tribómetro. Para garantizar esto, se realizaron algunas pruebas de funcionamiento para observar el comportamiento de los diversos componentes, a fin de determinar si se debían realizar modificaciones posteriores a este trabajo de grado.

7. Resultados

- Al realizar un análisis pre maquinado de todos los componentes mecánicos a fabricar, se observó que varios elementos podían ser modificados con el objetivo de simplificar sus geometrías, de manera que se redujeran los tiempos de mecanizado, material base y número de piezas finales. Al mismo tiempo, dichas modificaciones buscaban la reducción de piezas móviles no estrictamente necesarias, además de sintetizar componentes que podrían mecanizarse en una sola pieza.

Ambas consideraciones, mencionadas anteriormente, tenían como fin dos objetivos generales: el primero, proveer a la máquina de una mayor rigidez estructural al simplificar varios componentes del tribómetro en una sola pieza que cumpla sus respectivas funciones. El segundo, favorecer a la calibración y la conservación de esta a lo largo del tiempo. Esto se consiguió al disminuir el número de elementos y componentes móviles graduables.

Igualmente, al momento de realizar cualquier modificación, se realizaron ajustes dimensionales en las piezas que se encontraron sobredimensionadas con respecto a las cargas aplicadas en ellas, tal y como fue el caso específico de la pieza “brazo”.

- En el caso del componente “Portadiscos” se presentó la necesidad de cambiar el método de fabricación planteado originalmente. En primera instancia este elemento fue fabricado por corte laser en una lámina de acero inoxidable 304 de ¼”

de espesor. El problema se observó cuando el elemento mostro un notable pandeo debido a la distorsión generada por el proceso de corte, la cual se debía en gran medida a la alta transferencia térmica con la que cuentan los aceros inoxidable; dicha característica aumenta significativamente la zona afectada térmicamente en estos materiales.

Se intentó solucionar este problema cargando el plato en su punto medio en un torno paralelo por varios días desde el lado convexo (ver figura 12), esto con la finalidad de obtener una deformación por fluencia lenta que contrarrestara la distorsión. Este método mejoró la planitud del disco, pero no lo suficiente para garantizar un correcto funcionamiento de la máquina, ya que, no contar con una superficie completamente plana para el portadiscos repercutía directamente en la confiabilidad de los datos tomados por la celda de carga. Por este motivo se decidió fabricar nuevamente este elemento usando en esta ocasión el ruteado CNC, método de fabricación donde los problemas de temperatura y distorsión son eliminados. Sin embargo, lamentablemente no fue posible aplicar esta solución dentro del plazo establecido de 16 semanas, por lo cual queda pendiente.

Figura 12

Disco cargado por su lado convexo



Nota. Fotografía del montaje realizado para disminuir el pando del portadiscos. Elaboración propia.

- Las mordazas encargadas de sujetar el disco fueron fabricadas en su totalidad usando métodos de mecanizado convencional. No obstante, al momento de realizar el montaje se pudo observar que su diseño y principio de funcionamiento eran deficientes, dado que no contaban con ningún sistema que garantizara la concentricidad de la muestra respecto al portadiscos. Para abordar este problema, se propuso rediseñar las mordazas, para que permitieran no solo sujetar el disco lateralmente, si no también halarlo hacia abajo; mismo principio usado para bridar piezas en los procesos de fresado. De igual manera, se sugirió como alternativa fabricar las muestras con una perforación central la cual encajaría en un pequeño eje ubicado en el punto medio del portadiscos, asegurando la concentricidad entre los dos cuerpos.

A pesar de estas propuestas de solución, no se pudieron llevar a cabo debido a la falta de tiempo y recursos. Será necesario considerar alternativas y planes de acción en el futuro para abordar estos problemas y garantizar un correcto funcionamiento de la máquina.

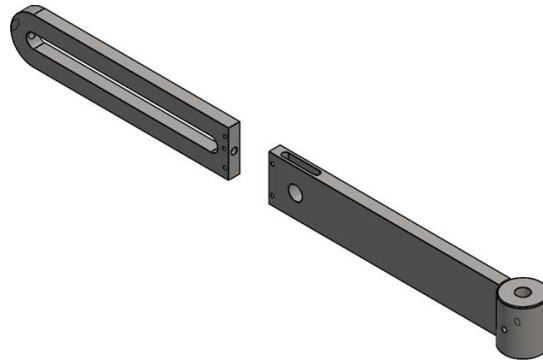
- El sistema de desplazamiento del brazo se compone de dos grupos de 3 soportes, posicionados al principio y final de la carrera recorrida por el conjunto del brazo. Cuatro de estos elementos son usados para posicionar las guías cilíndricas lisas, mientras que los dos restantes funcionan como puntos de apoyo y rotación para el tornillo patrón.

En el rediseño se había presupuestado fabricar 6 bases independientes para cada uno de estos componentes, sin embargo, hacerlo de esta manera hacía más difícil la tarea de garantizar una correcta alineación y nivel de altura entre los soportes. Con base en lo anterior, se decidió fabricar 2 bases de mayor tamaño, que pudiesen albergar los 3 apoyos necesarios en cada extremo de la carrera. Este cambio permitió eliminar los problemas de montaje y nivelación explicados antes.

- El brazo y sus sistemas fueron modificados casi en su totalidad, esto debido a diversos factores, los cuales se explican a continuación. En primer lugar, en los planos originales el sistema de contrapesos era innecesariamente complejo y difícil de maquinar, adicionalmente, el hecho de que el brazo estuviera constituido por dos piezas independientes disminuía la rigidez de este elemento (ver figura 12), además de agregar factores de alineación y deflexión en el eje roscado que unía las dos piezas.

Figura 12

Vista isométrica de la pieza "brazo"



Nota. Ambos componentes del brazo presentes en el rediseño del tribómetro. Tomado de Cadavid (2022).

Por los motivos antes descritos, se diseñó un brazo macizo, de una sola pieza, agregándole un sistema de contrapesos más simple. Se roscó la base del porta-cargas y el acople para el porta-pines para darles más estabilidad frente a vibraciones y movimientos. Cabe resaltar, que se redujo el calibre de la platina usada para fabricar el cuerpo del brazo, ya que este elemento no se encontraba expuesto a cargas significativas, haciendo que las medidas originales estuvieran sobredimensionadas en base a sus condiciones de operación.

- Para acoplar el motor al portadiscos y transferir su potencia, fue necesario diseñar un acople completo debido a que en los planos de esta pieza no incluían perforaciones para el eje del motor, ni ranura para la chaveta. Sumado a eso, la forma de sujeción entre el acople y la "estrella" era por medio de un ajuste de interferencia. Dicho método no era seguro para una aplicación donde se presentarán esfuerzos de

torsión a altas velocidades. Para solucionarlo se usaron 4 tornillos M4 que garantizaran una correcta unión entre los dos componentes.

- La torre celda, lugar donde se posiciona la celda carga para la toma de muestras, fue modificada para ser fabricada usando tan solo una platina de acero maciza, a diferencia del concepto presente en los planos, donde la propuesta de fabricación planteaba usar un perfil cuadrado, al cual se le debían generar una serie de ranuras de gran envergadura, que en términos de eficiencia y funcionalidad podían reducirse a una ranura única (tipo ojo de pescado) y seguir manteniendo sus principios de funcionamiento. Así mismo, la nueva geometría permitió prescindir de la pieza “guía de desplazamiento de celda”.

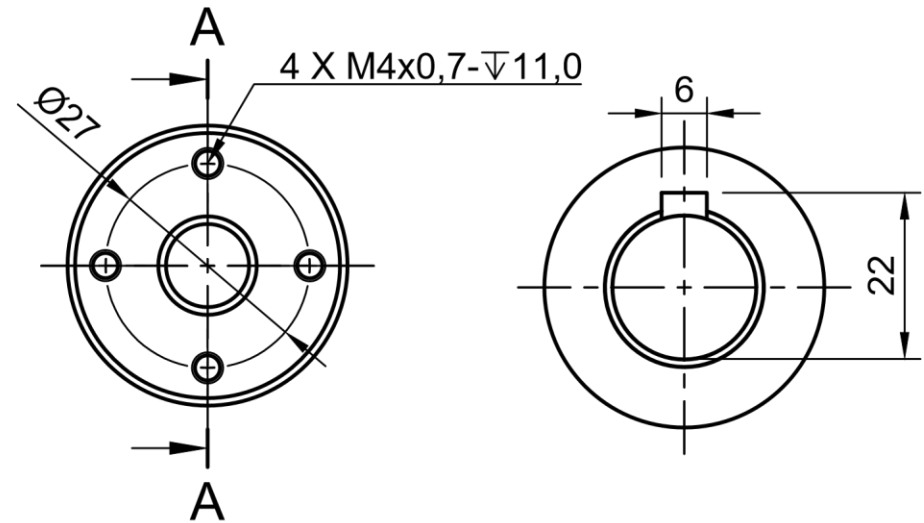
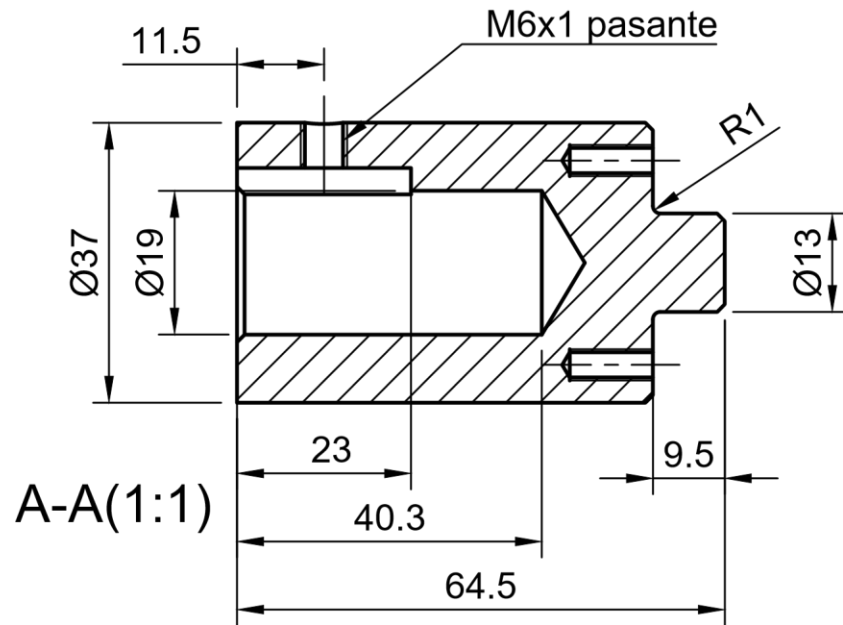
- El “sujetador de celda” fue modificado en su sección frontal, para anclarse a la cabeza de un tornillo M6 tipo socket enroscado en la celda carga, que funciona como el medio por el que la fuerza de fricción se transmite hasta el sensor, adicionalmente, su geometría simplificada para facilitar su mecanizado.

- El “brazo sensor” se fabricó de un diámetro mayor al que establecían los planos, el cual era de $\varnothing 8\text{mm}$. La decisión de fabricarlo de $\varnothing 3/8$ ” (9.5mm) fue fruto de que no existía repercusión en el funcionamiento de este elemento, mientras que, traía la ventaja de omitir un proceso de cilindrado, ya que es posible adquirir material comercial de esta medida.

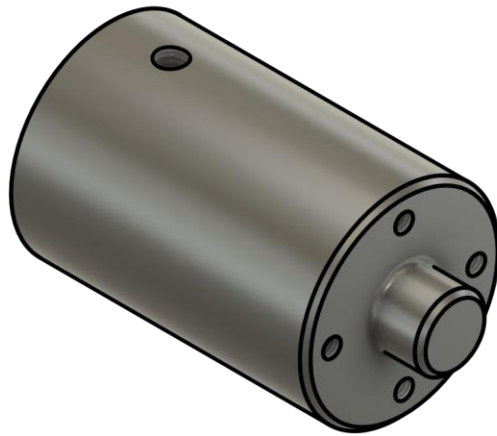
- Para el caso “torreta parte inferior” la perforación central se hizo pasante, esto con el objetivo de permitir el desmontaje de los rodamientos que se posicionan en este elemento, ya que de otro modo no sería posible extraerlos.

- Por diversos motivos, como la disponibilidad limitada de máquinas, tanto por el uso de la universidad como del colegio, el daño ocurrido en la máquina CNC HAAS de 5 ejes y los numerosos rediseños necesarios para garantizar un correcto funcionamiento de la pieza, así como un tiempo de mecanizado adecuado con base en la complejidad de cada una, se logró fabricar el 92% de los componentes de la máquina. Si se excluyen los dos elementos que no cumplieron con los requerimientos (porta discos y mordazas de disco) y que no fue posible corregirlos a tiempo, la tasa de fabricación efectiva alcanzó el 85%.

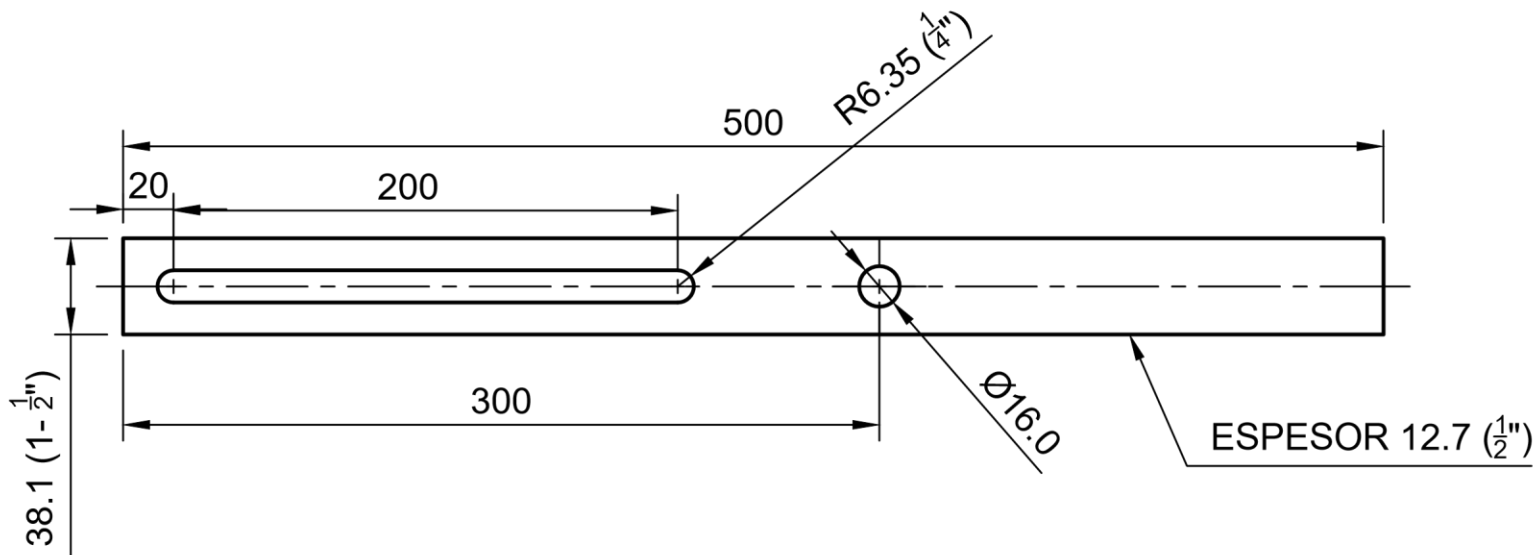
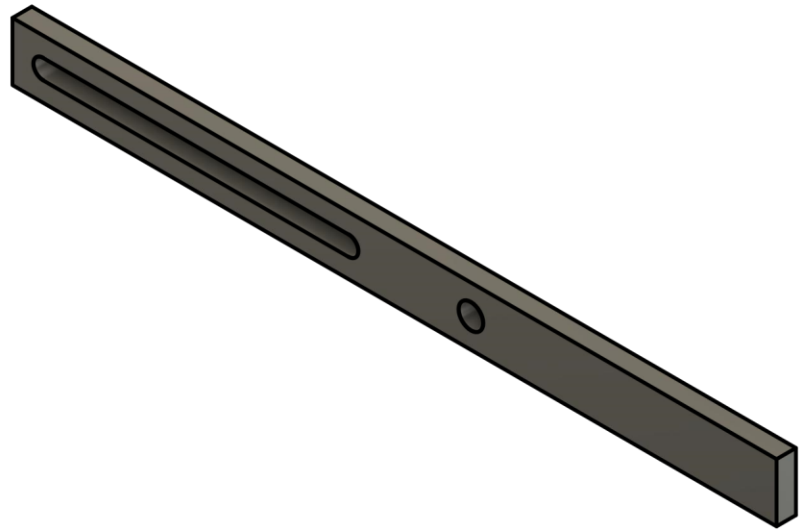
8. Anexo #1. Plano piezas modificadas



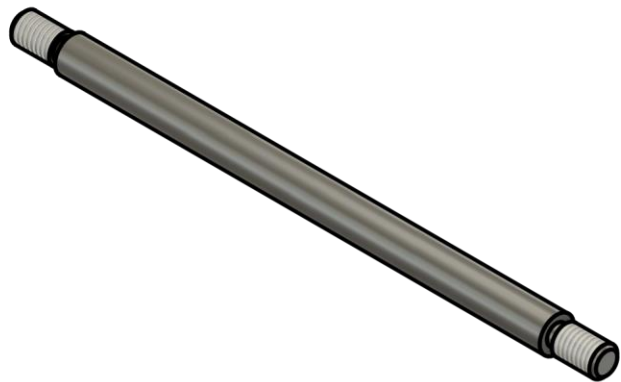
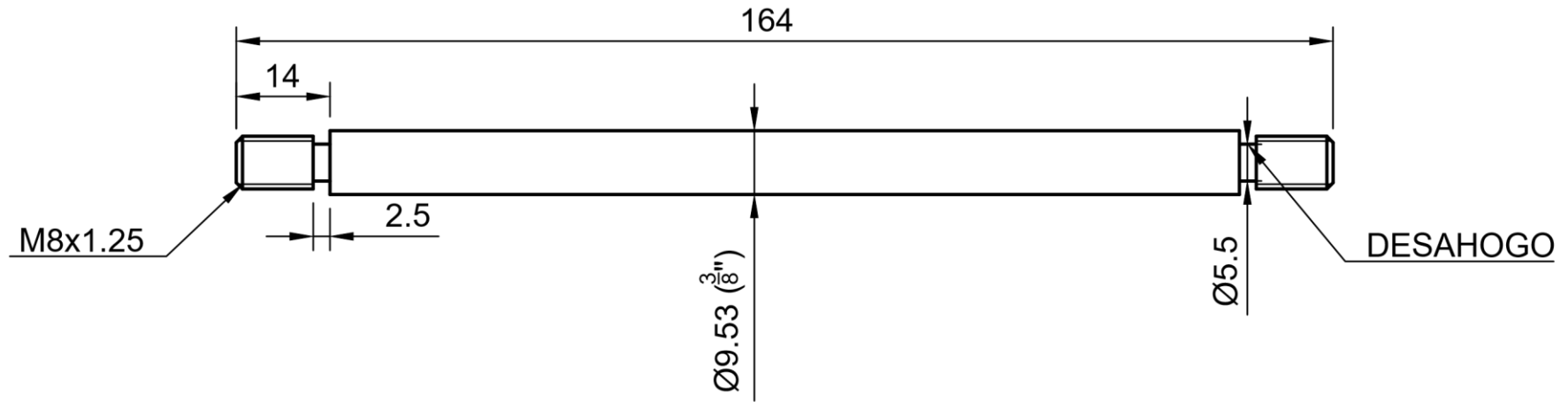
NOTA: CHAFLANES
GENERALES 1x45°



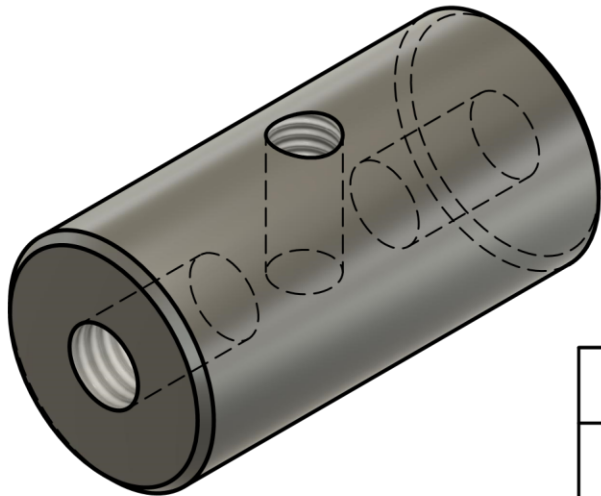
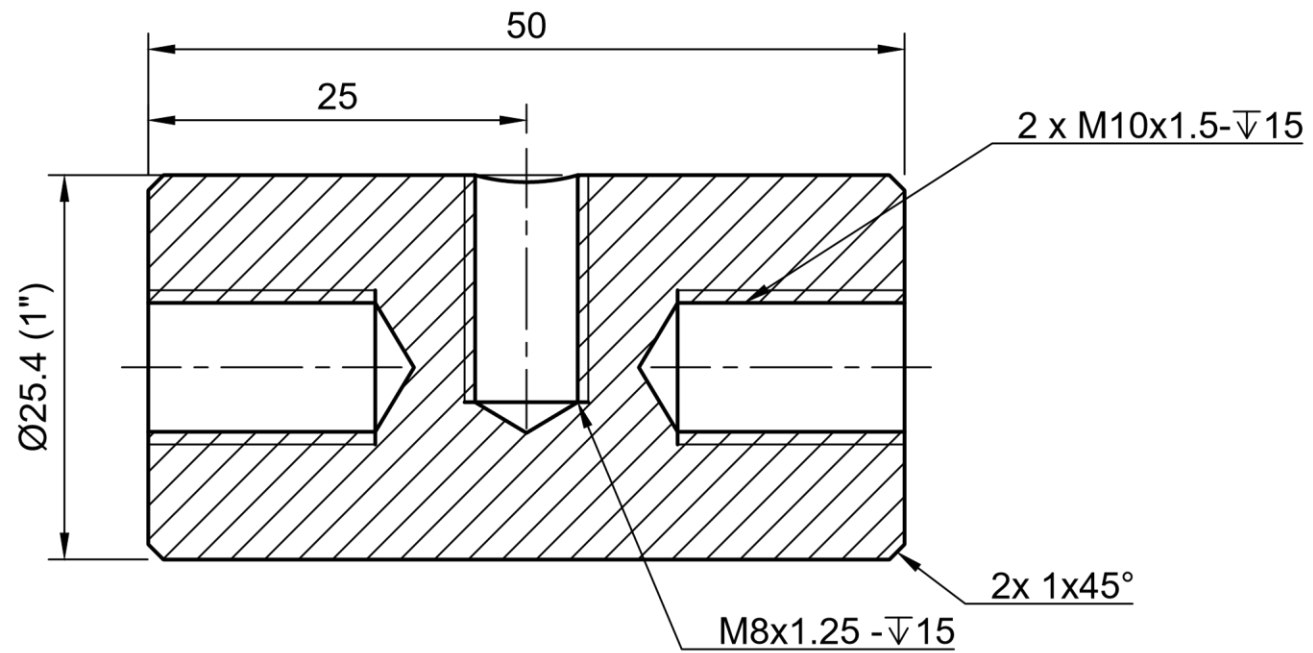
Plano No: 1	Escala: 1:1	Diseñado: Julian Alzate		Intitución universitaria Pascual Bravo	
Dimensiones: MM		Aprobado:		Fecha: 20/03/2023	Cantidad: 1
Tolerancia no especificadas 0 ó 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.1 0.000 ± 0.01		Modificaciones		Fecha	Material: AISI/SAE 1020
					Pieza: Acople motor
					Maquina: PIN DISCO
					IN 4



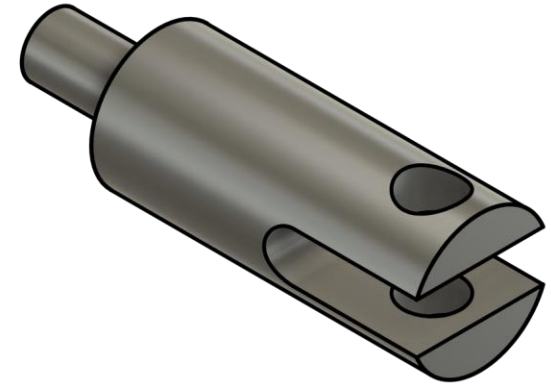
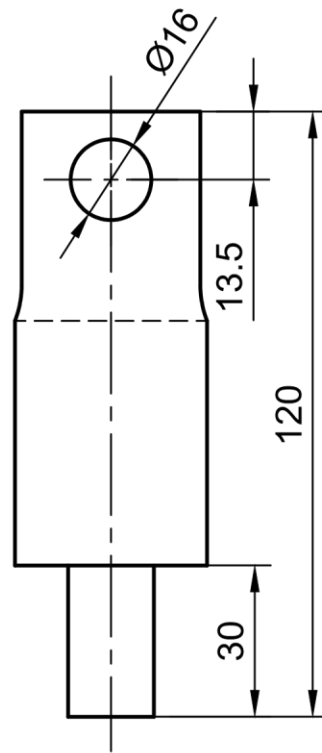
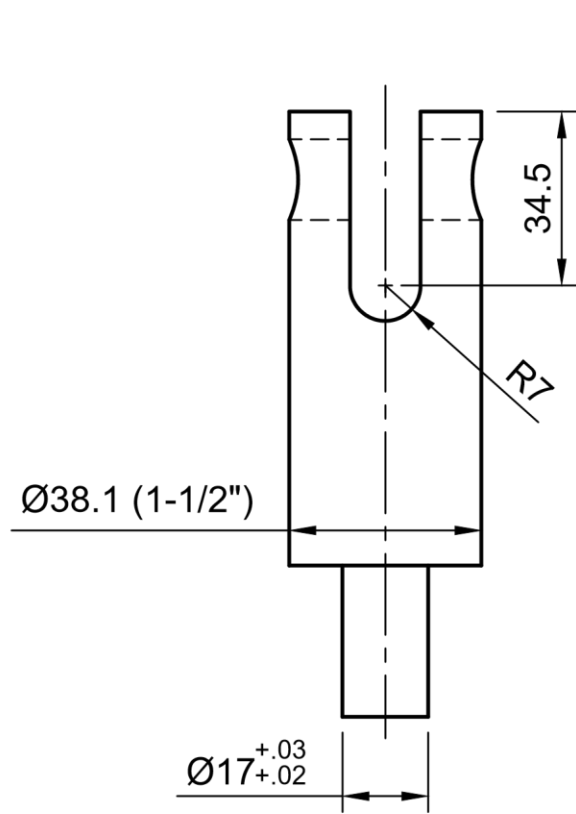
Plano No: 2	Escala: 1:3	Diseñado: Julian Alzate		Intitución universitaria Pascual Bravo		
Dimensiones: mm		Aprobado:		Fecha: 22/02/2023	Cantidad: 1	
Tolerancia no especificadas 0 o 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.1 0.000 ± 0.01		Modificaciones		Fecha	Material: AISI/SAE 1020	
					TTO Térmico: Ninguno	
					Pieza: Brazo	A4
					Maquina: Pin disco	IN



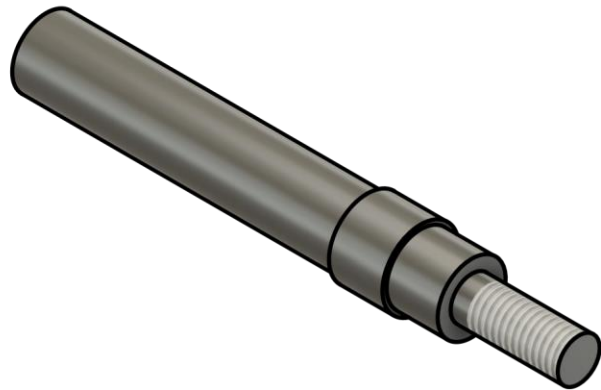
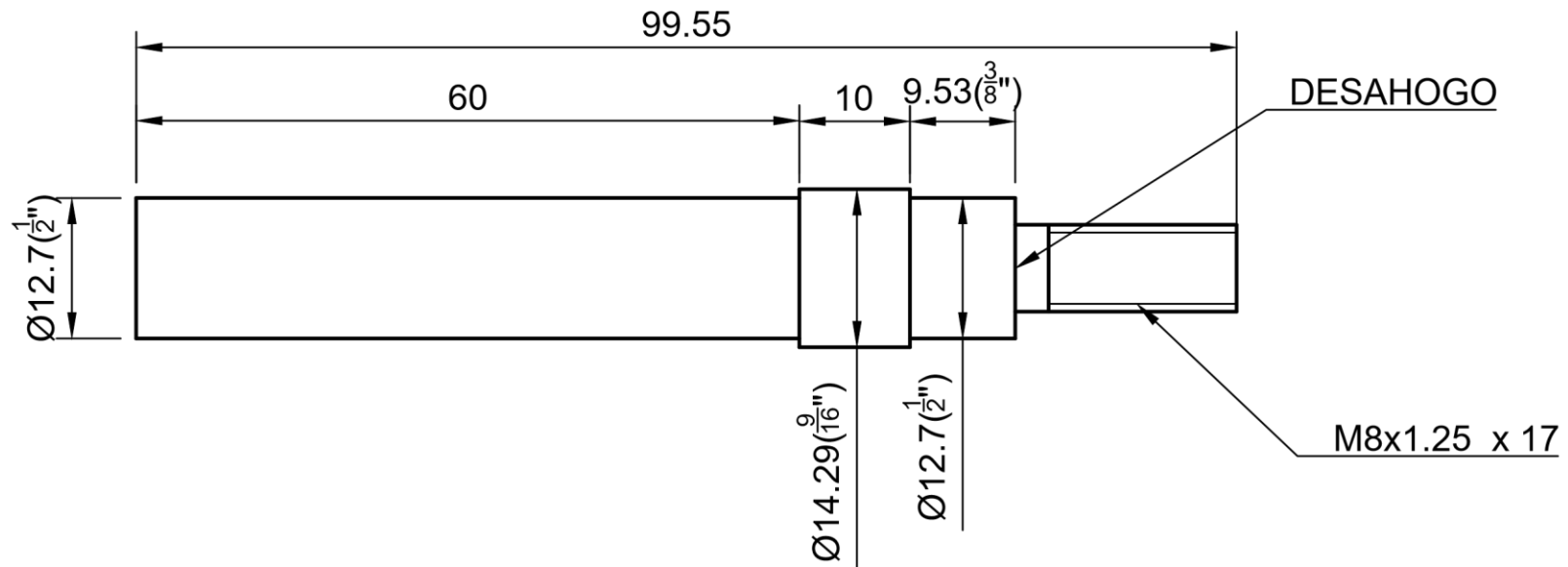
Plano No: 10	Escala: 1:1	Diseñado: Julian Alzate		Intitución universitaria Pascual Bravo	
Dimensiones: MM		Aprobado:		Fecha: 24/04/2023	Cantidad: 1
Tolerancia no especificadas 0 o 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.1 0.000 ± 0.01		Modificaciones		Fecha	Material: SAE 1020
					TTO Térmico:
					Pieza: Brazo sensor
		Maquina: PIN DISCO			IN



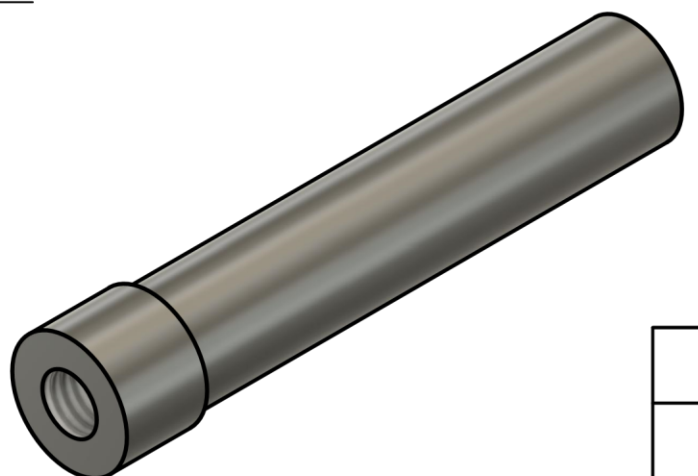
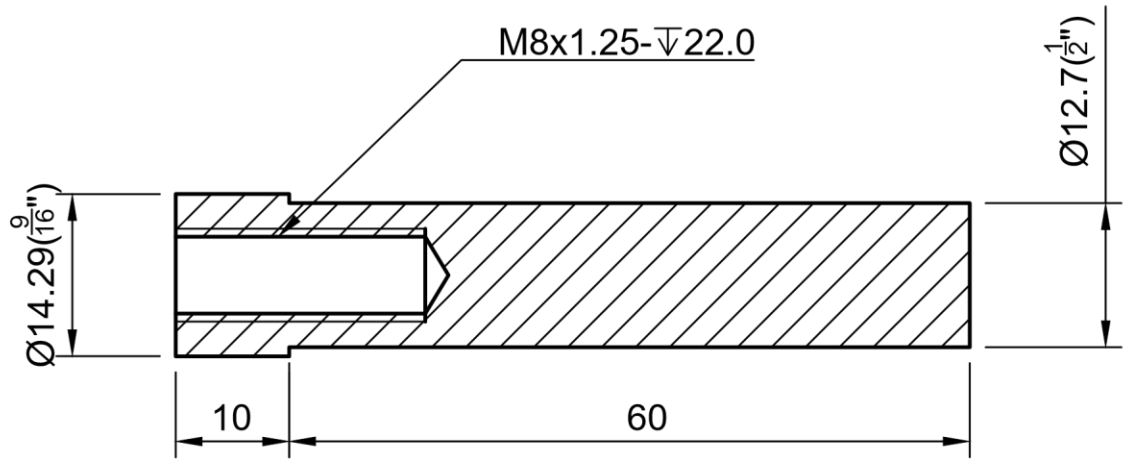
Plano No: 3	Escala: 2:1	Diseñado: Julian Alzate		Intitución universitaria Pascual Bravo	
Dimensiones: MM		Aprobado:		Fecha: 8/04/2023	Cantidad:
Tolerancia no especificadas 0 o 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.1 0.000 ± 0.01		Modificaciones		Fecha	Material: AISI/SAE 1020
					Pieza: BUJE BRAZO
					Maquina: PIN DISCO
					IN



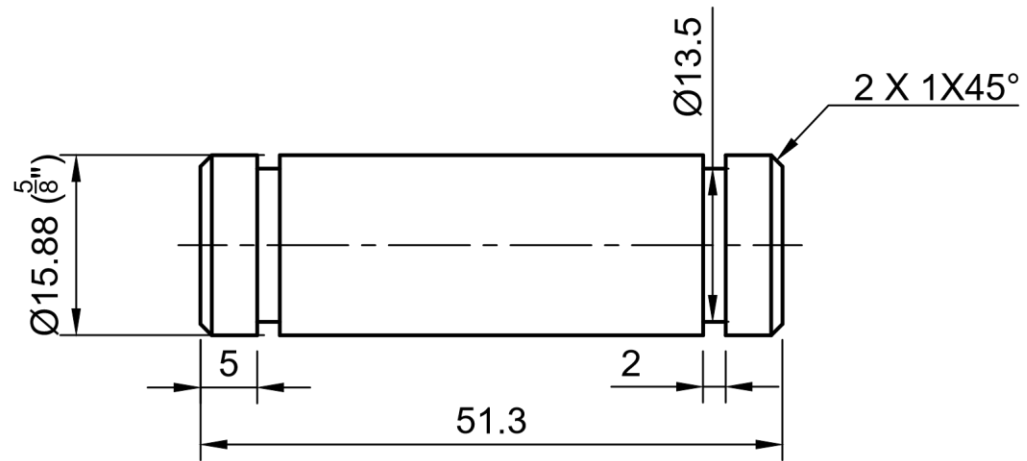
Plano No: 4	Escala: 1:1.5	Diseñado: JULIAN ALZATE		Intitución universitaria Pascual Bravo	
Dimensiones: MM		Aprobado:		Fecha: 16/04/2023	Cantidad: 1
Tolerancia no especificadas 0 o 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.1 0.000 ± 0.01		Modificaciones		Fecha	Material: INOX 304
					TTO Térmico:
					Pieza: COLUMNA DE ROTACION
				Maquina: PIN DISCO	IN



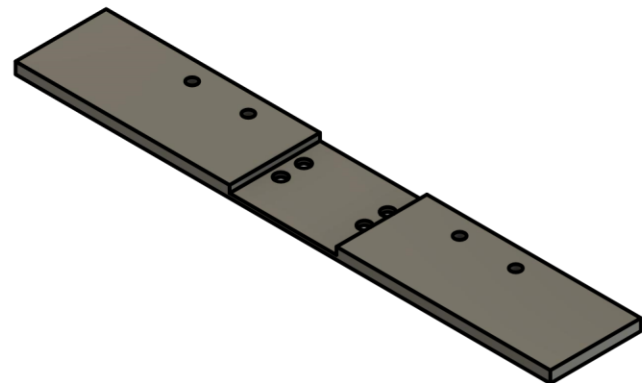
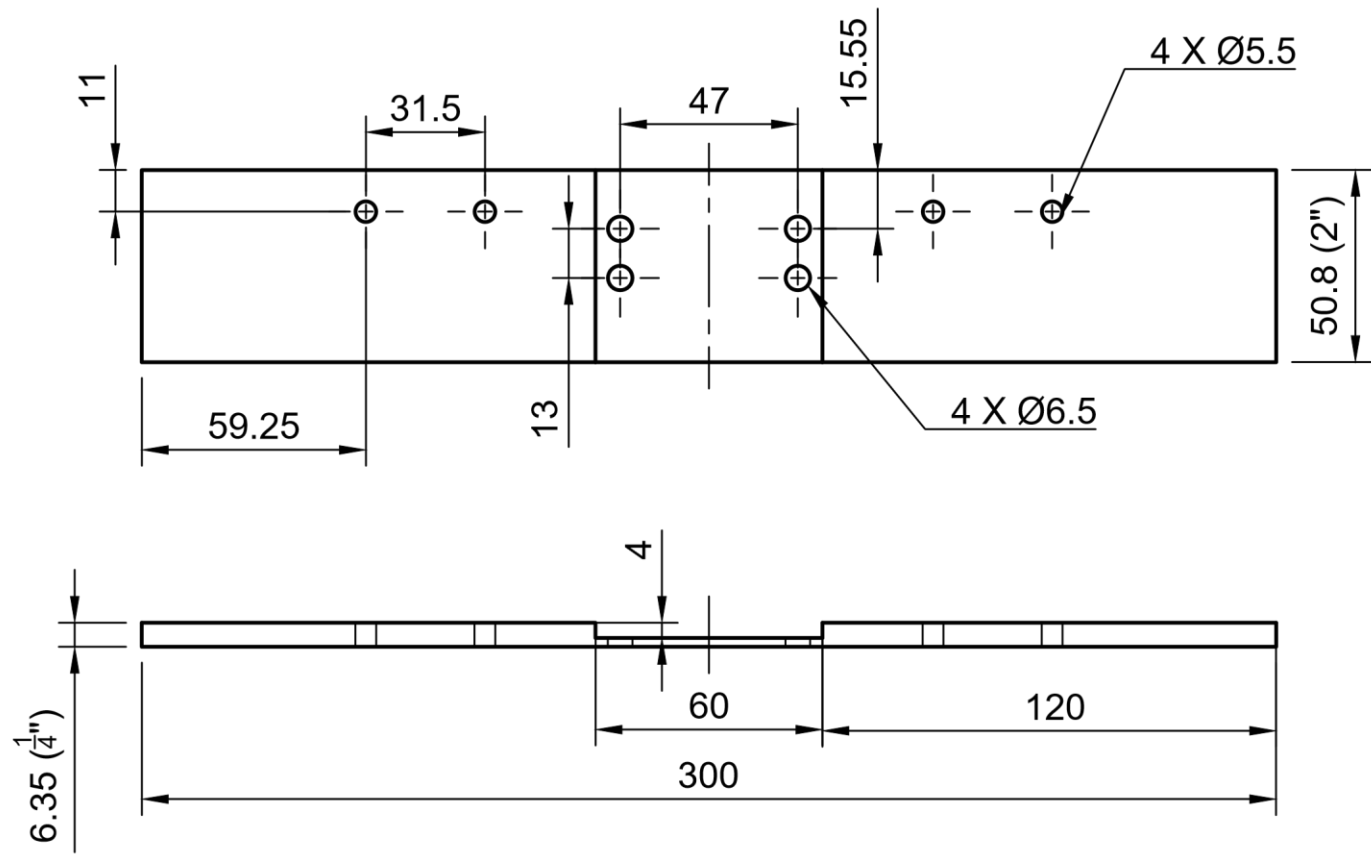
Plano No: 5	Escala: 1:1	Diseñado: Julian Alzate		Intitución universitaria Pascual Bravo	
Dimensiones: MM		Aprobado:		Fecha: 4/03/2023	Cantidad: 1
Tolerancia no especificadas 0 ó 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.1 0.000 ± 0.01		Modificaciones	Fecha	Material:	TTO Térmico:
				Pieza: Contrapeso 1	A4
				Maquina: PIN DISCO	IN



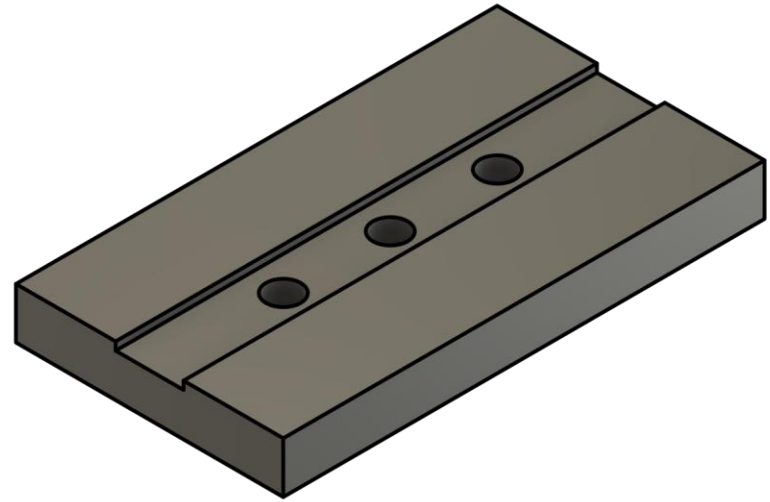
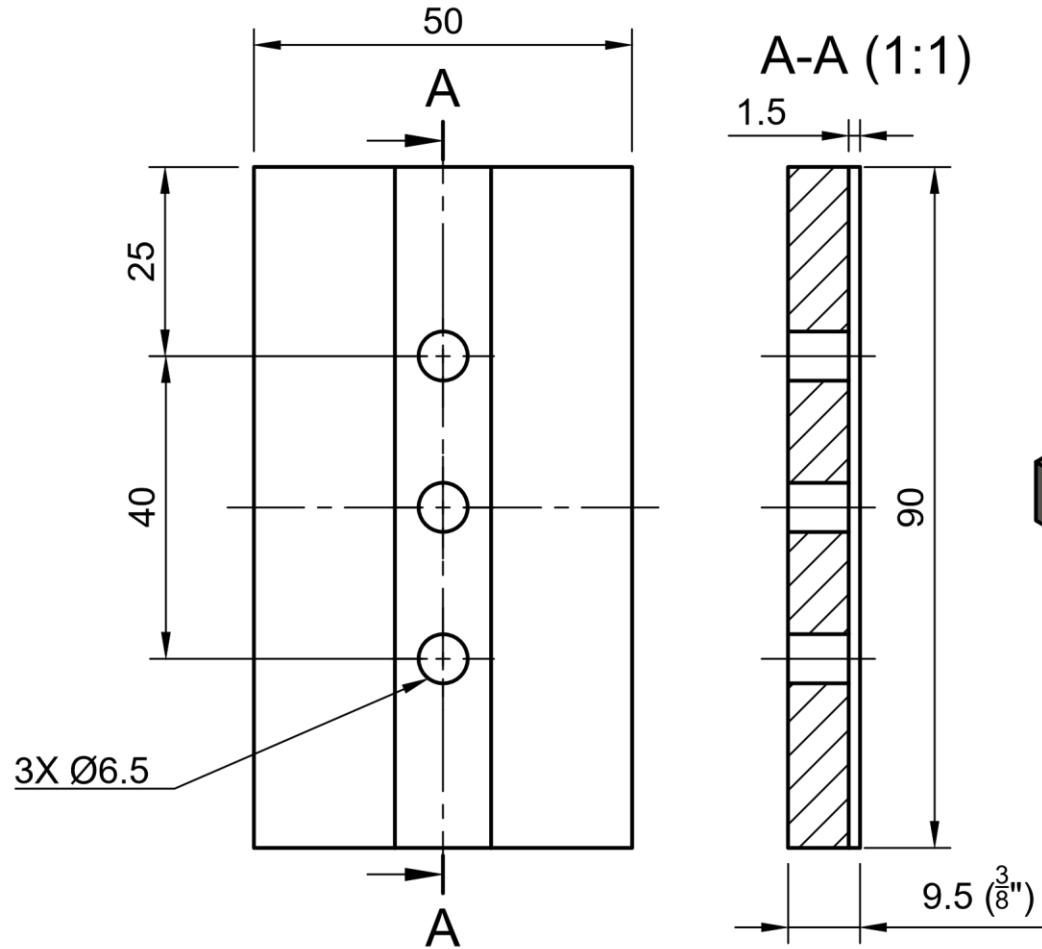
Plano No: 6	Escala: 1.5:1	Diseñado: Julian Alzate		Intitución universitaria Pascual Bravo	
Dimensiones: mm		Aprobado:		Fecha: 21/03/2023	Cantidad: 1
Tolerancia no especificadas 0 ó 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.1 0.000 ± 0.01		Modificaciones		Fecha	Material: AISI/SAE 1020
					Pieza: Contrapeso 2
					Maquina: pin disco
					IN



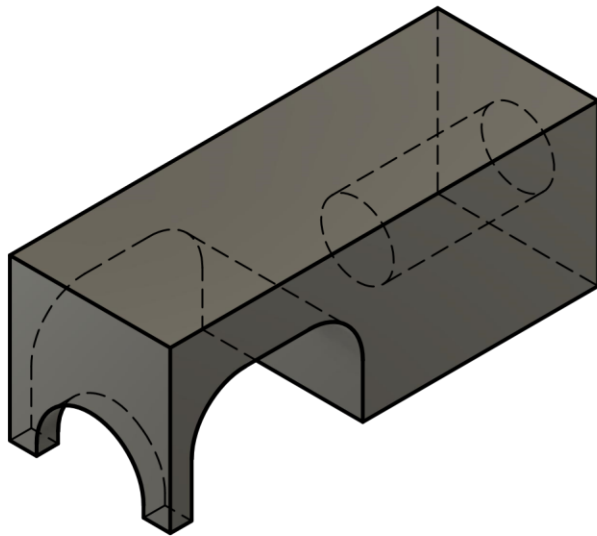
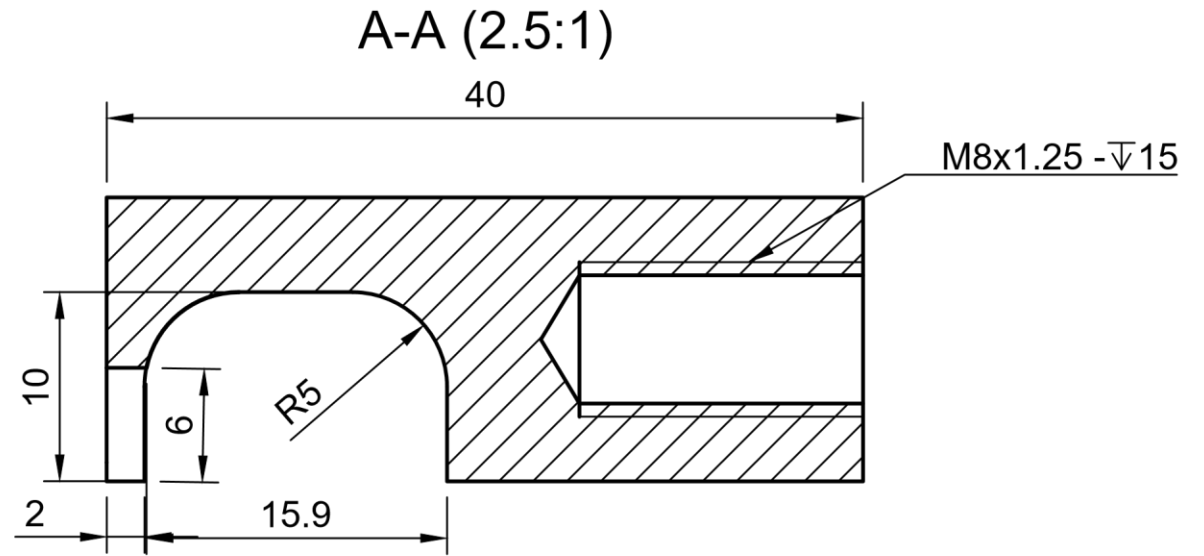
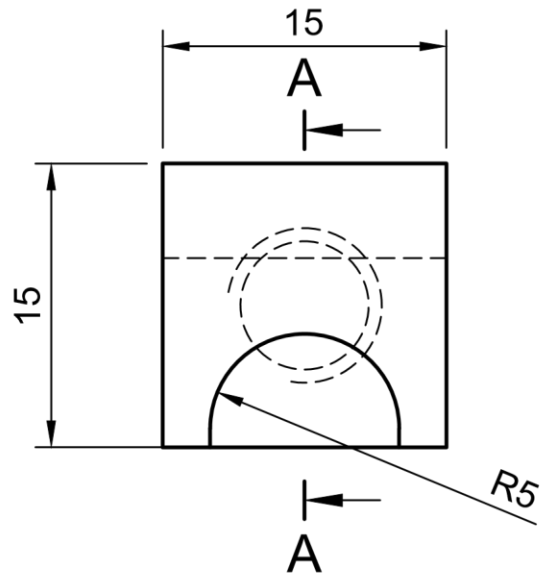
Plano No: 7	Escala: 1.5:1	Diseñado: Julian Alzate		Intitución universitaria Pascual Bravo	
Dimensiones: MM		Aprobado:		Fecha: 16/04/2023	Cantidad:
Tolerancia no especificadas 0 o 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.1 0.000 ± 0.01		Modificaciones		Fecha	Material: SAE 1020
					TTO Térmico:
					Pieza: Pasador
		Maquina: PIN DISCO			IN



Plano No: 8	Escala: 1:2	Diseñado: Julian Alzate		Intitución universitaria Pascual Bravo	
Dimensiones: MM		Aprobado:		Fecha: 22/04/2023	Cantidad: 2
Tolerancia no especificadas 0 o 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.1 0.000 ± 0.01		Modificaciones		Material: SAE 1020	TTO Térmico:
		Fecha		A4	
				Pieza: Platina base	
		Maquina: PIN DISCO			IN



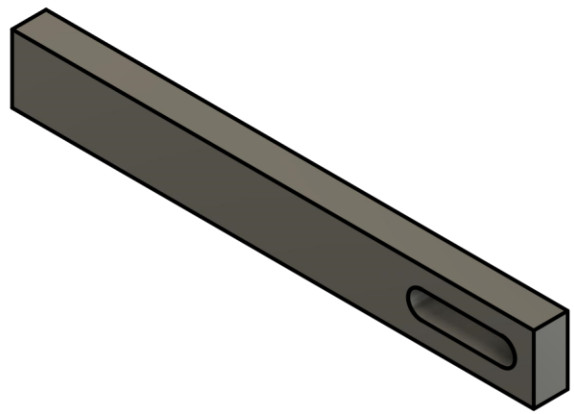
Plano No: 11	Escala: 1:1	Diseñado: Julian Alzate		Intitución universitaria Pascual Bravo	
Dimensiones: MM		Aprobado:		Fecha: 12/05/2023	Cantidad: 1
Tolerancia no especificadas 0 o 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.1 0.000 ± 0.01		Modificaciones		Material: SAE 1020	TTO Térmico:
		Fecha		A4	
				Pieza: Base columna de celda	
		Maquina: PIN DISCO			IN 4



Plano No: 12	Escala: 2.5:1	Diseñado: Julian Alzate		Intitución universitaria Pascual Bravo	
Dimensiones: MM		Aprobado:		Fecha: 22/05/2023	Cantidad: 1
Tolerancia no especificadas 0 o 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.1 0.000 ± 0.01		Modificaciones		Fecha	Material: SAE 1020
					TTO Térmico:
					Pieza: Sujetador de celda
		Maquina: PIN DISCO			IN 4 ⊕



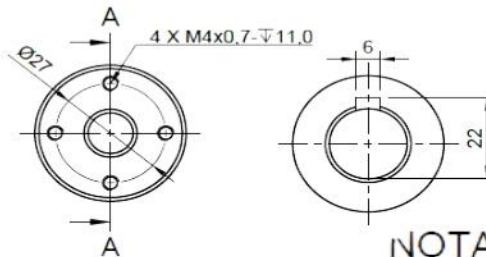
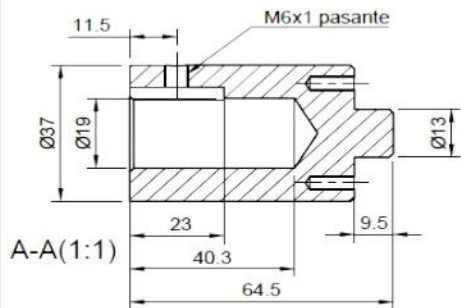
NOTA: PULIR
ARISTAS VIVAS



Plano No: 10	Escala: 1:1	Diseñado: Julian Alzate		Intitución universitaria Pascual Bravo	
Dimensiones: MM		Aprobado:		Fecha: 11/05/2023	Cantidad: 1
Tolerancia no especificadas 0 o 0.0 ± 0.2 0.00 ± 0.1 0.000 ± 0.01		Modificaciones		Fecha	Material: SAE 1020
					TTO Térmico: A4
					Pieza: Columna celda
				Maquina: PIN DISCO	IN 4

9. Anexo #2. Hojas de procesos

ACOPLE MOTOR



NOTA: CHAFLANES
GENERALES 1x45°



secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	corte de material Ø1-1/2" longitud 67,5mm	N/A	segueta	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	refrentado cara 1	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	880	0,05 mm/rev	1	0,5mm	
30	refrentado cara 2	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	880	0,05 mm/rev	1	0,5mm	
40	perforacion de centrado	torno paralelo	broca centro #4	27	1432	N/A	1	3/4 del cono	

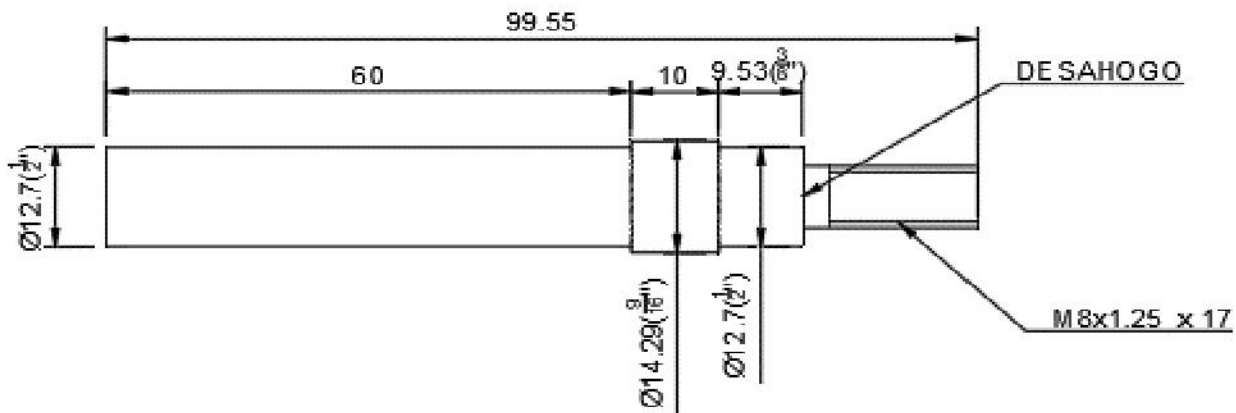
50	cilindrado entre copa y punto a un $\varnothing 37$, longitud 40mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	880	0,05 mm/rev	1	1,1mm	
60	(girar la pieza) cilindrado entre copa y punto a un $\varnothing 37$, longitud 24,5mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	880	0,05 mm/rev	1	1,1mm	
70	cilindrado a un $\varnothing 13,9$ mm (longitud 9,5mm) desbaste	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	95	796	0,05 mm/rev	7	3,3mm	
80	cilindrado a un $\varnothing 13$ mm (longitud 9,5mm) acabado	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	880	0,05 mm/rev	1	0,9mm	
90	chaflanes 1X45°	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	880	N/A	N/A	N/A	

100	(girar de la pieza) perforación Ø1/2"	torno paralelo	broca hss 1/2"	27	677	N/A	N/A	23mm	
110	perforación Ø15mm	torno paralelo	broca hss 15mm	27	573	N/A	N/A	23mm	
120	perforación Ø3/4"	torno paralelo	broca hss 3/4"	27	451	N/A	N/A	23mm	
130	chaflan 1X45°	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	880	N/A	N/A	N/A	
140	4 perforaciones Ø1/8" equidistantes en cabezal divisor	fresadora universal	broca hss 1/8"	27	1353	N/A	N/A	11mm	
150	roscado de las perforaciones M4x0,7	N/A	bandeador y machuelo	N/A	N/A	N/A	N/A	11mm	






16	montaje de mortajador paralelo al eje horizontal, con la pieza posicionada en el cabezal divisor	fresadora universal	buril de forma cuadrada 6mm	N/A	N/A	N/A		
17	mecanizado de cuñero, longitd 23mm	fresadora universal	buril de forma cuadrada 6mm	33	75	N/A		

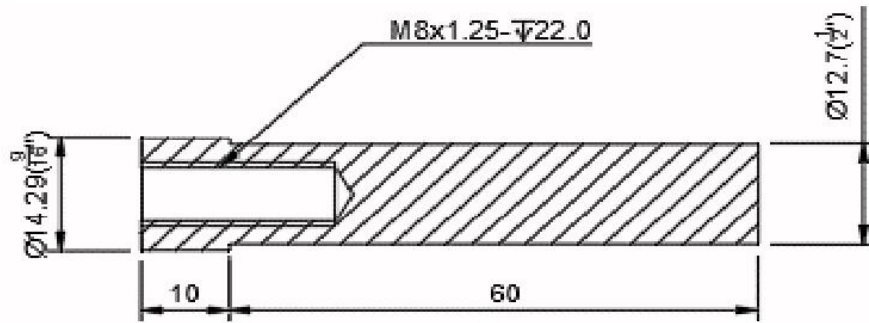
N/A	
60	

SISTEMA CONTRAPESO 1



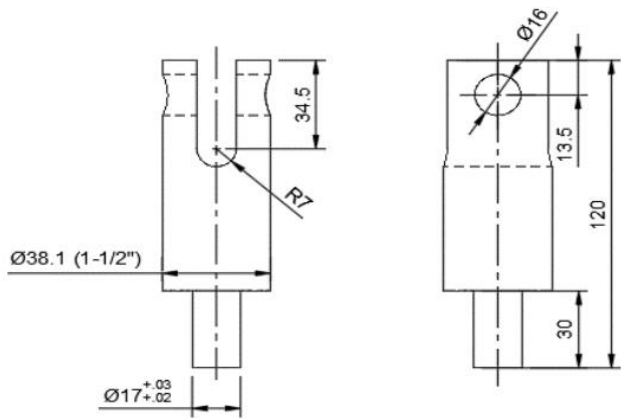
secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	corte de material Ø9/16" longitud 103mm	N/A	segueta	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	refrentado de cara 1	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2337	0,05 mm/rev	1	2mm	
30	refrentado de cara 2	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2337	0,05 mm/rev	1	1,45mm	
40	perforacion de centrado	torno paralelo	broca centro #4	27	1432	manual	N/A	3/4 del cono	
50	cilindrado entre copa y punto a Ø12.7, longitud 60 mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2337	0,05 mm/rev	1	1,6mm	

60	(giro de pieza) cilindrado en voladizo a $\varnothing 12.7$, longitud 29,83mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2337	0,05 mm/rev	1	1,45mm	
70	cilindrado a $\varnothing 8.7$, longitud 20,02mm (desbaste)	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2337	0,25mm/r ev	2	2mm	
80	cilindrado a $\varnothing 8$, longitud 20,02mm (acabado)	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2337	0,05 mm/rev	1	0,7mm	
90	mecanizado de desahogo $\varnothing 6.75$, longitud 4mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2337	manual	1	1,25mm	
100	roscado M8x1.25, longitud 16mm	torno paralelo	buril roscado 60° acero rapido	8	159	1,25mm/r ev	11	0,1mm	
110	rectificado de rosca M8x1,25	N/A	dado/tarraja	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	



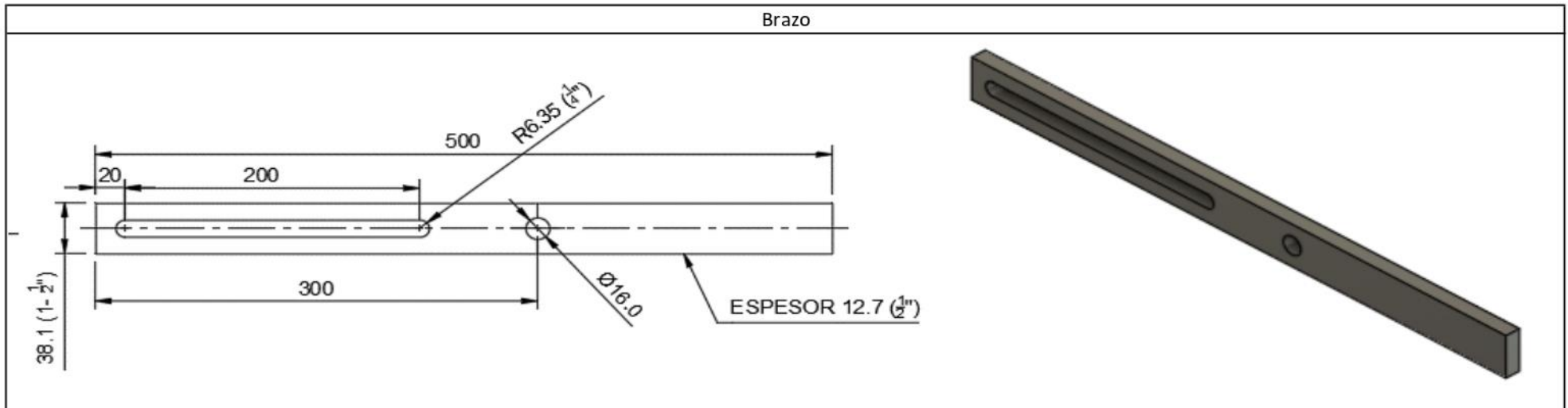
secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	corte de material Ø9/16" longitud 73mm	N/A	segueta	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	refrentado de cara 1	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2337	0,05 mm/rev	1	1,5mm	
30	refrentado de cara 2	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2337	0,05 mm/rev	1	1,5mm	
40	cilindrado en voladizo a un Ø12.7, longitud 20mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2337	0,05 mm/rev	1	1,6mm	
50	(giro de pieza) perforacion de centro	torno paralelo	broca centro #4	27	1432	N/A	N/A	3/4 del cono	

60	cilindrado entre copa y punto a Ø12.7, longitud 40mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2337	0,05 mm/rev	1	1,6mm	
70	perforacion Ø17/64"	torno paralelo	broca Ø17/64"	27	637	N/A	N/A	22mm	
80	roscado M8x1,25	torno paralelo	machuelo M8x1,25/ bandeador	N/A	N/A	N/A	N/A	22mm	

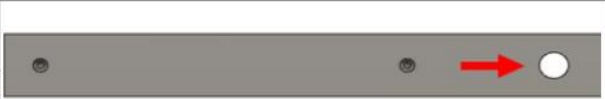





secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	corte de material Ø1-1/2", longitud 124mm	N/A	sierra mecánica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	refrentado de cara 1	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	94	785	0,05 mm/rev	2	1mm	
30	refrentado de cara 2	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	94	785	0,05 mm/rev	2	1mm	
40	cilindrado en voladizo a un Ø17.3, longitud 30mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	85	710	0,1 mm/rev	10	2,6mm	

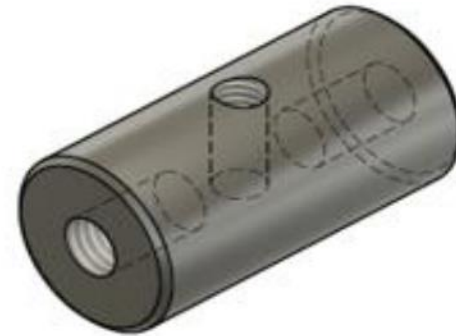
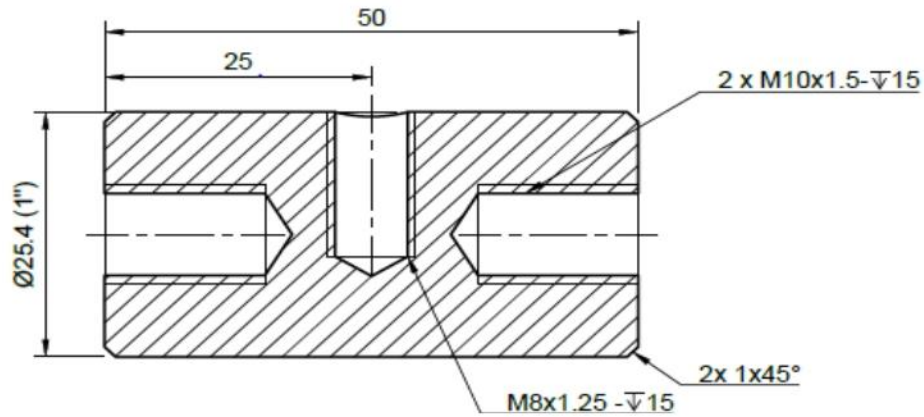
40	cilindrado en voladizo a un Ø17, longitud 30mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	94	1730	0,05 mm/rev	1	0,3mm	
40	montaje en cabezal divisor, ranurado Ø14 de longitud 41,5mm	fresadora universal	broca fresa Ø14mm HSS 4 filos	33	750	229 mm/min	10	3,8mm	
40	rotar 90°, perforacion pasante Ø16mm	fresadora universal	broca HSS Ø16mm	27	537	N/A	N/A	Pasante	









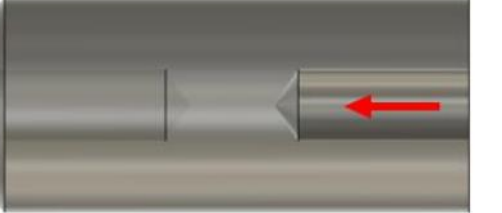
secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	corte de material (1/2" X 1-1/2"), longitud 503mm	N/A	sierra mecánica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	escudrado de ambos extremos de la barra	fresadora universal	broca fresa HSS Ø16mm 4 filos	33	657	467 mm/min	2	1,5 mm	
30	perforación de centro, centrada y a 20mm de uno de los extremos	fresadora universal	broca centro #4	27	1432	N/A	N/A	3/4 del cono	
40	perforación de centro, colineal y a 200mm de la anterior	fresadora universal	broca centro #4	27	1432	N/A	N/A	3/4 del cono	
50	perforación de centro, colineal y a 80mm de la anterior	fresadora universal	broca centro #4	27	1432	N/A	N/A	3/4 del cono	

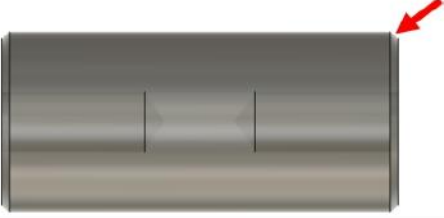
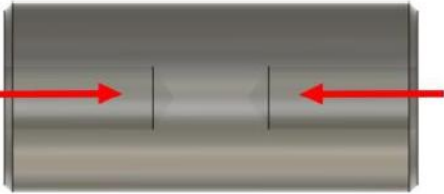
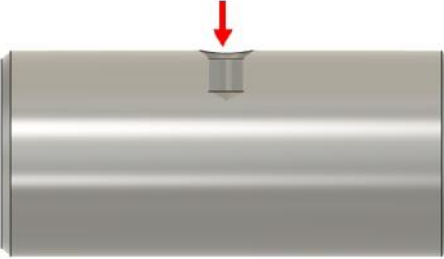
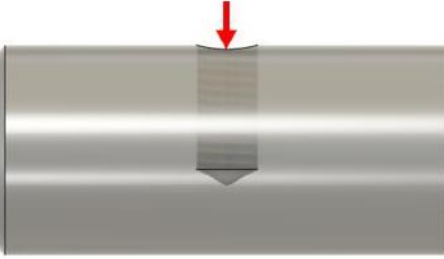
60	perforacion $\varnothing 1/2"$	fresadora universal	broca HSS $\varnothing 1/2"$	27	677	N/A	N/A	Pasante	
70	perforacion $\varnothing 16\text{mm}$	fresadora universal	broca HSS $\varnothing 16\text{mm}$	27	537	N/A	N/A	Pasante	
80	perforacion $\varnothing 8\text{mm}$ centrada en la perforacion de la secuencia 40	fresadora universal	broca HSS $\varnothing 8\text{mm}$	27	1074	N/A	N/A	Pasante	
90	perforacion $\varnothing 1/2"$	fresadora universal	broca HSS $\varnothing 1/2"$	27	677	N/A	N/A	Pasante	
100	perforacion $\varnothing 8\text{mm}$ centrada en la perforacion de la secuencia 30	fresadora universal	broca HSS $\varnothing 8\text{mm}$	27	1074	N/A	N/A	Pasante	
110	perforacion $\varnothing 1/2"$	fresadora universal	broca HSS $\varnothing 1/2"$	27	677	N/A	N/A	Pasante	
120	ranurado $\varnothing 1/2"$, longitud 200mm, entre las secuencias	fresadora universal	broca fresa HSS $\varnothing 1/2"$ 4 filos	33	827	588 mm/min	8	1,6 mm (pasante)	

Buje brazo

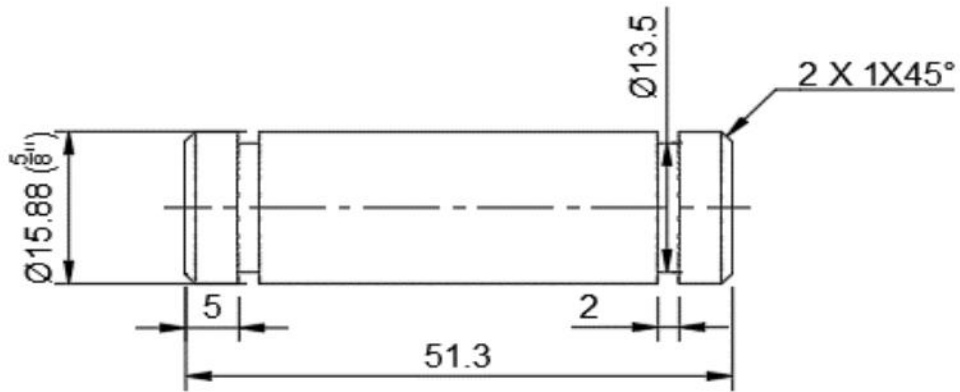


secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	corte de material Ø1/2", longitud 53mm	N/A	sierra mecanica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	refrentado de cara 1	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	1316	0,05 mm/rev	1	1,5mm	
30	(giro de pieza) refrentado de cara 2	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	1316	0,05 mm/rev	1	1,5mm	





40	chaflan 1x45°	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	1316	N/A	N/A	N/A	
50	perforacion de centro	torno paralelo	broca centro #4	27	1432	N/A	N/A	3/4 del cono	
60	perforacion Ø6mm	torno paralelo	broca HSS Ø6mm	27	1432	N/A	N/A	18 mm	
70	perforacion Ø8,5mm	torno paralelo	broca HSS Ø8,5mm	27	1011	N/A	N/A	18 mm	
80	(giro de pieza) perforacion de centro	torno paralelo	broca centro #4	27	1432	N/A	N/A	3/4 del cono	
90	perforacion Ø6mm	torno paralelo	broca HSS Ø6mm	27	1432	N/A	N/A	18 mm	
100	perforacion Ø8,5mm	torno paralelo	broca HSS Ø8,5mm	27	1011	N/A	N/A	18 mm	

110	chaflan 1x45°	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	1316	N/A	N/A	N/A	
120	roscado de ambas perforaciones a M10x1,5	N/A	machuelo / bandeador	N/A	N/A	N/A	N/A	Profundidad completa del agujero	
130	perforacion de centro en la mitad de la longitud del cilindro	fresadora universal	broca centro #4	27	1432	N/A	N/A	3/4 del cono	
140	perforacion Ø6,75mm	fresadora universal	broca HSS 17/64"	27	1273	N/A	N/A	15mm	
150	roscado a M8x1,25	fresadora universal	machuelo / bandeador	N/A	N/A	N/A	N/A	longitud del agujero	

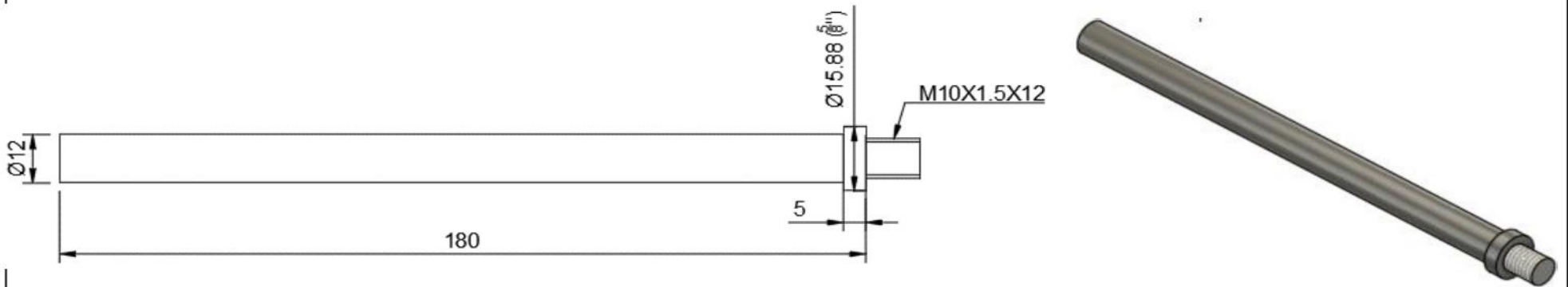
Pasador brazo







secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	corte de material $\varnothing 5/8"$, longitud 53mm	N/A	seguetea	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	refrentado de cara 1	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2089	0,05 mm/rev	1	1mm	
30	(giro de pieza) refrentado de cara 2	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2089	0,05 mm/rev	1	0,7mm	

40	chaflan 1x45°	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2089	N/A	N/A	N/A	
50	ranurado a Ø13,5mm, ancho 2mm	torno paralelo	buril ranurado HSS	8,75	174	Manual	1	2,4 mm	
60	(giro de pieza) ranurado a Ø13,5mm, ancho 2mm	torno paralelo	buril ranurado HSS	9,75	194	Manual	1	2,4 mm	
70	chaflan 1x45°	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2089	N/A	N/A	N/A	

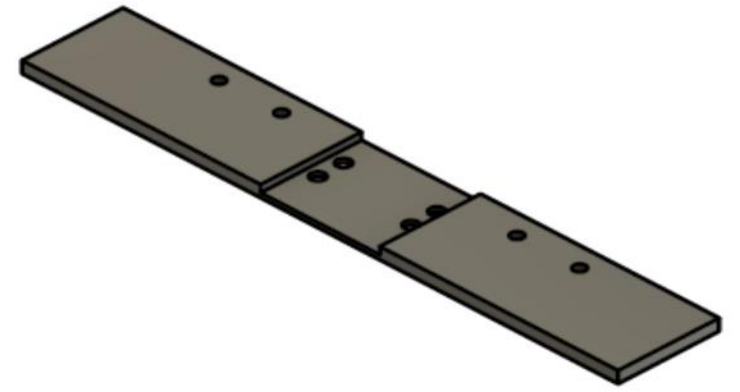
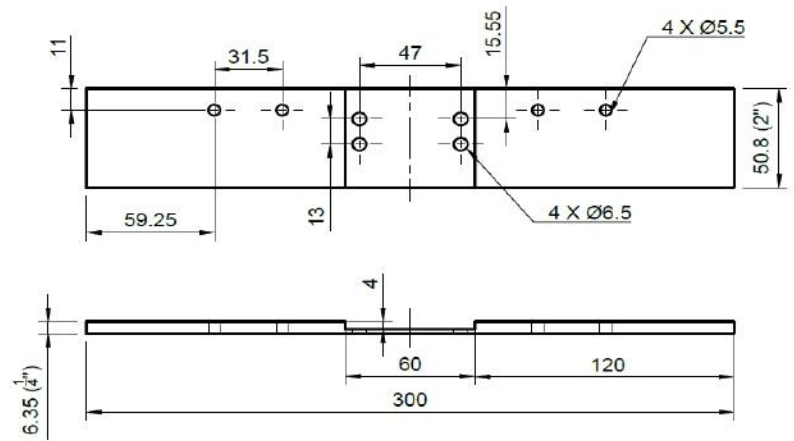
Porta cargas



secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	corte de material Ø5/8", longitud 194mm	N/A	seguetea	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	refrentado de cara 1	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2089	0,05 mm/rev	1	1mm	
30	(giro de pieza) refrentado de cara 2	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2089	0,05 mm/rev	1	1mm	

40	perforacion de centro	torno paralelo	broca centro #4	27	1432	N/A	N/A	3/4 del cono	
50	cilindrado entre copa y punto a Ø12mm, longitud 175mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	2089	0,1 mm/rev	2	1,95 mm	
60	(giro de pieza) cilindrado en voladizo a Ø10mm, longitud 12mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	90	1790	0,05 mm/rev	2	2,95 mm	
70	roscado M10x1,5	torno paralelo	buril HSS roscado 60°	4,38	139	1,5 mm/rev	8	0,2 mm	
70	rectificado de rosca	N/A	dado y tarraja	N/A	N/A	N/A	N/A	toda la rosca	

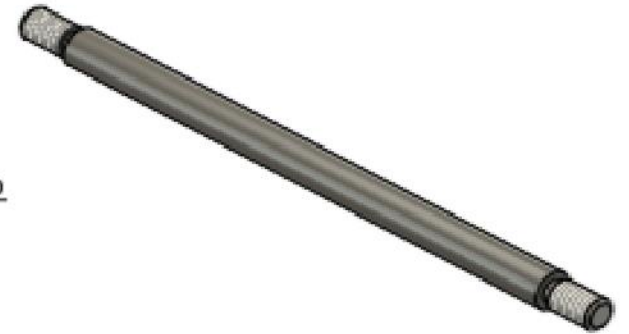
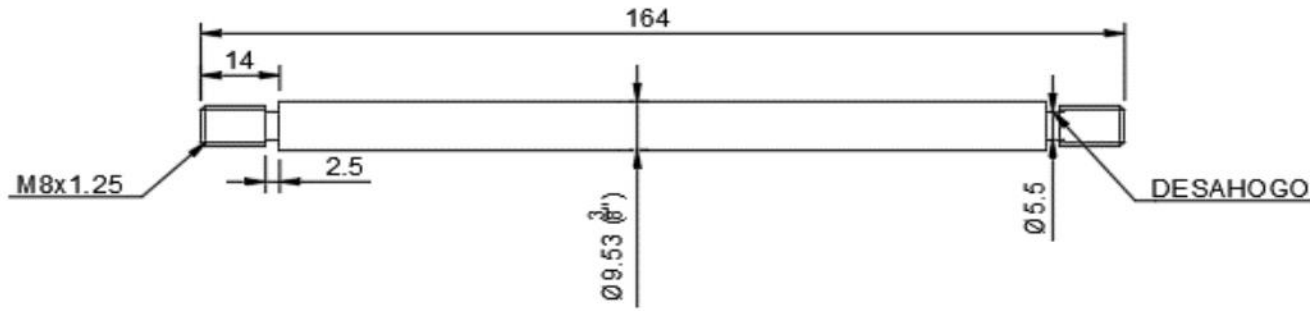
Platina base



secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	corte de material platina 2"x1/4", longitud 302mm	N/A	seguetea	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	escuadrado cara 1	fresadora universal	broca fresa HSS Ø16mm 4 filos	30	597	244 mm/min	1	1mm	
30	escuadrado cara 2	fresadora universal	broca fresa HSS Ø16mm 4 filos	30	597	245 mm/min	1	1mm	


40	fresado de cajera	fresadora universal	broca fresa HSS Ø16mm 4 filos	30	597	246 mm/min	2	2mm	
50	realizacion de perforaciones de centro de todos los agujeros	fresadora universal	broca centro #4	27	1432	N/A	N/A	3/4 del cono	
60	4x perforaciones Ø5,5mm	fresadora universal	broca HSS Ø5,5mm	27	1563	N/A	N/A	pasantes	
70	4x perforaciones Ø6mm	fresadora universal	broca HSS Ø6mm	27	1432	N/A	N/A	pasantes	

Brazo sensor

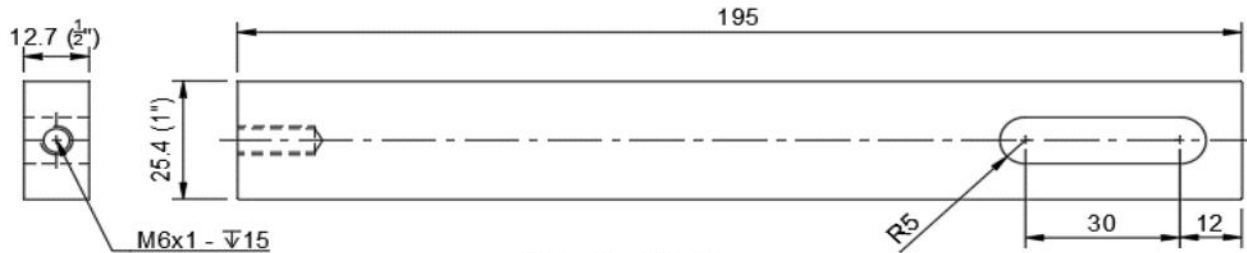


secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	corte de material Ø3/8", longitud 166mm	N/A	seguetea	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	refrentado de cara 1	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrada	105	3518	0,1 mm/rev	1	1mm	
30	(giro de pieza) refrentado de cara 2	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrada	105	3518	0,1 mm/rev	1	1mm	

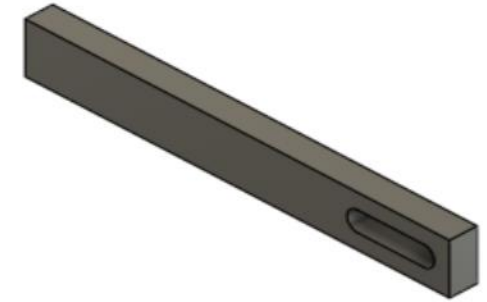
40	cilindrado en voladizo a Ø8mm, longitud 14mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	3518	0,05 mm/rev	1	1,5mm	
50	chaflan 1x45°	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	3518	N/A	N/A	N/A	
60	(giro de pieza) cilindrado en voladizo a Ø8mm, longitud 14mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	3518	0,05 mm/rev	1	1,5mm	
70	chaflan 1x45°	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	105	3518	N/A	N/A	N/A	
80	torneado de desahogo, longitud 2,5mm	torno paralelo	buril de roscado 60°	25	995	manual	4	0,5 mm	

90	tallado de rosca M8x1,25, longitud 11,5mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	3,85	129	1,25 mm/rev	7	0,3 mm	
100	(giro de pieza) torneado de desahogo, longitud 2,5mm	torno paralelo	buril de roscado 60°	25	995	manual	4	0,5 mm	
110	tallado de rosca M8x1,25, longitud 11,5mm	torno paralelo	buril de pastilla soldada cilindrado	3,85	129	1,25 mm/rev	7	0,3 mm	
120	rectificado de ambas roscas	N/A	dado y tarraja	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

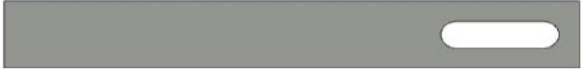
Columna celda



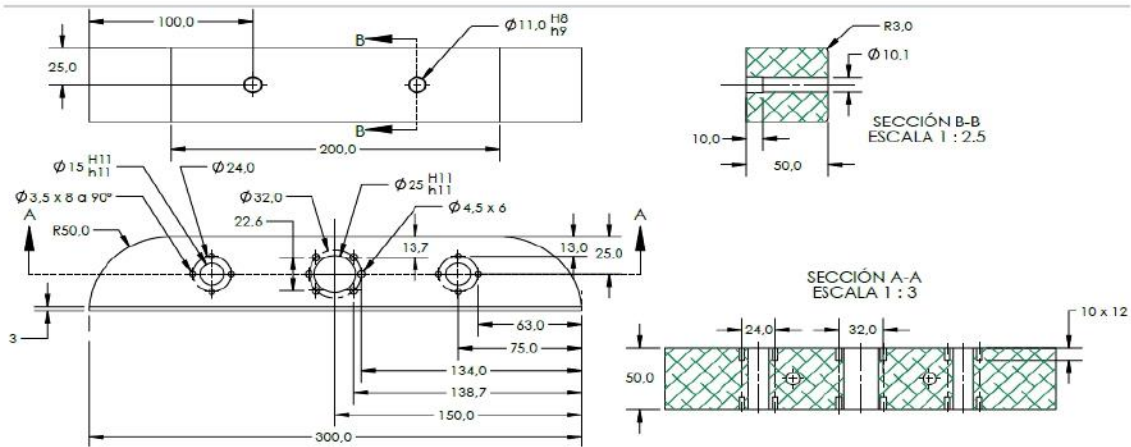
NOTA: PULIR ARISTAS VIVAS



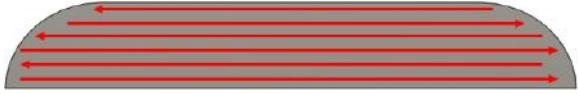


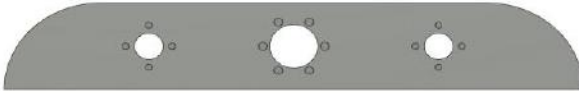
secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	corte de material 1"x1/2", longitud 197mm	N/A	seguetea	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	escuadrado cara 1	fresadora universal	broca fresa HSS Ø10mm 4 filos	27	859	350 mm/min	1	1mm	
30	escuadrado cara 2	fresadora universal	broca fresa HSS Ø10mm 4 filos	27	859	350 mm/min	1	1mm	
40	2 perforaciones Ø10mm colineales a una distancia de 30mm	fresadora universal	broca HSS Ø10	27	859	N/A	N/A	Pasante	

50	ranurado Ø10mm	fresadora universal	broca fresa HSS Ø10mm 4 filos	30	955	96 mm/min	5	2,55mm	
60	perforacion Ø5mm	fresadora universal	broca HSS Ø5mm	27	1719	N/A	N/A	15mm	
70	roscado M6x1	N/A	Machuelo y bandeador	N/A	N/A	N/A	N/A	Profundidad del agujero	

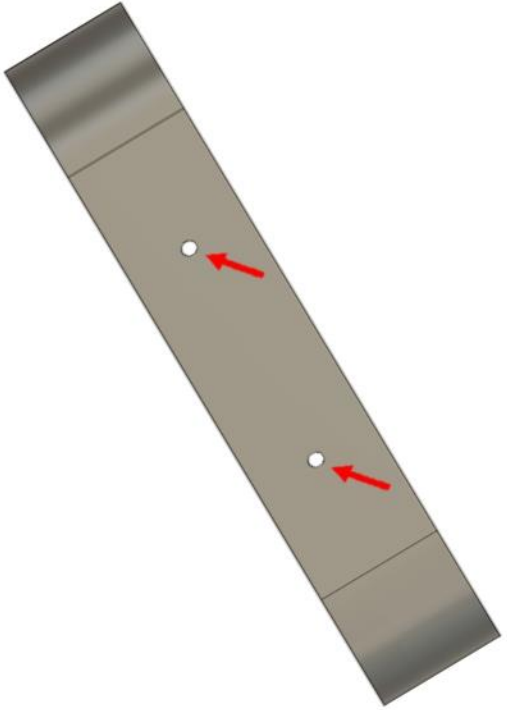
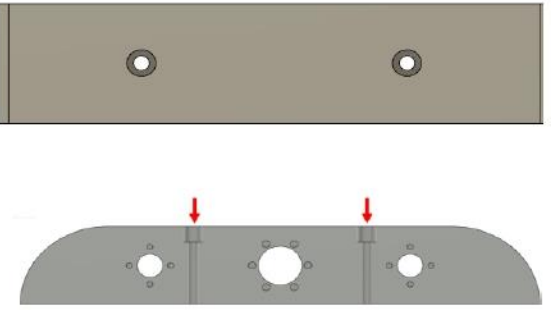
Torreta parte inferior



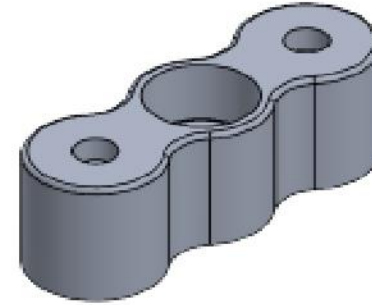
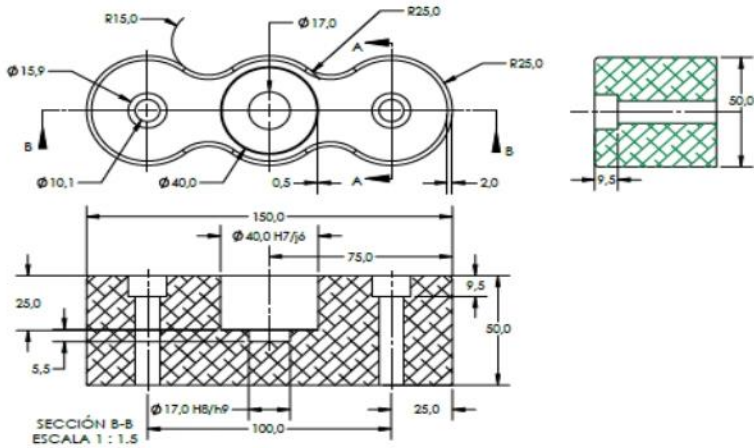
secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	Material base 2"X2"X300,8mm	N/A	Sierra mecanica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20 (70)	Ciclo de contorneado	HASS 5 ejes	broca fresa carburo de tungteno $\phi 16\text{mm}$ 2 filis	352	7000	2000 mm/min	50	Radial 0,4mm (constante) Axial 0,5mm (Def)	


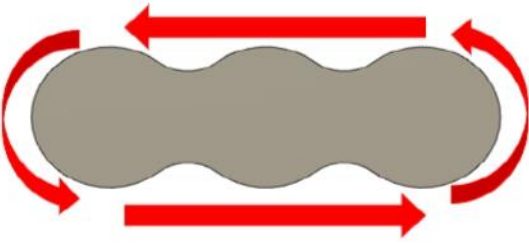
30 (80)	Ciclo planeado	HASS 5 ejes	broca fresa carburo de tungsteno Ø16mm 2 filos	352	7000	2000 mm/min	1	axial 0,4mm (Step 12mm)	
40 (90)	Ciclo de centrado	HASS 5 ejes	Broca centro #5	31,4	2000	333 mm/min	1	3,4 mm	
50	Ciclo taladrado	HASS 5 ejes	broca HSS Ø12mm	56,55	1500	100 mm/min	1	50mm	
60	Ciclo de cajera (Pocket)	HASS 5 ejes	broca fresa carburo de tungsteno Ø10mm 2 Filos	282,75	9000	2000 mm/min	100	Deft 0,5mm	

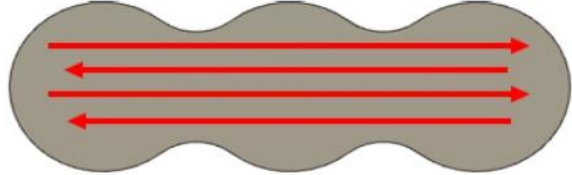
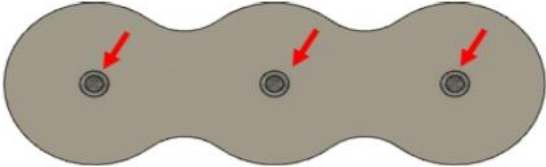
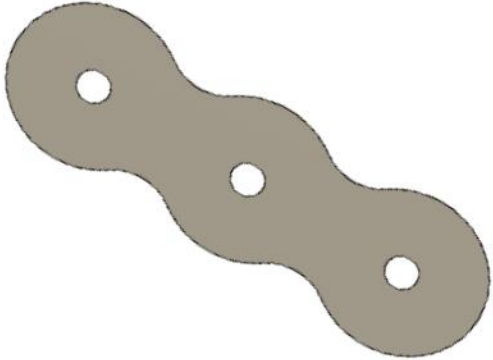
Se gira la pieza y se repiten los las secuencias 20, 30 y 40. Estas corresponden a las secuencias 70, 80 y 90 respectivamente.

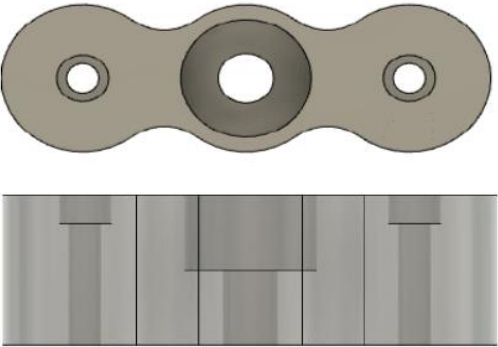
100	Ciclo de centrado	HASS 5 ejes	Broca centro #5	31,4	2000	333 mm/min	1	3,4 mm	
110	Ciclo de taladrado picoteo (parte superior)	HASS 5 ejes	broca HSS Ø6mm	37,7	2000	150 mm/min	1	50mm (retraccion 1mm cada 2mm de profundidad)	
120	Ciclo de taladrado picoteo (parte superior)	HASS 5 ejes	broca HSS Ø8mm	42,73	1700	150 mm/min	1	50mm (retraccion 1mm cada 2mm de profundidad)	
130	Ciclo de cajera (Pocket)	HASS 5 ejes	broca fresa carburo de tungsteno Ø6mm 2filos	164	8700	2000 mm/min	20	Deft 0,5mm	

Torreta parte superior



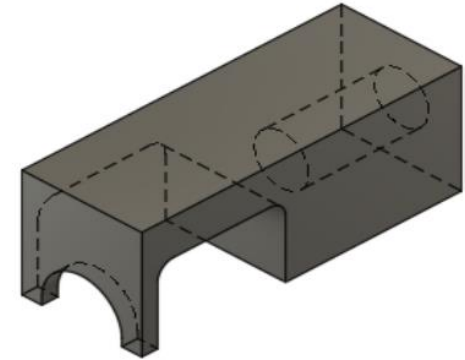
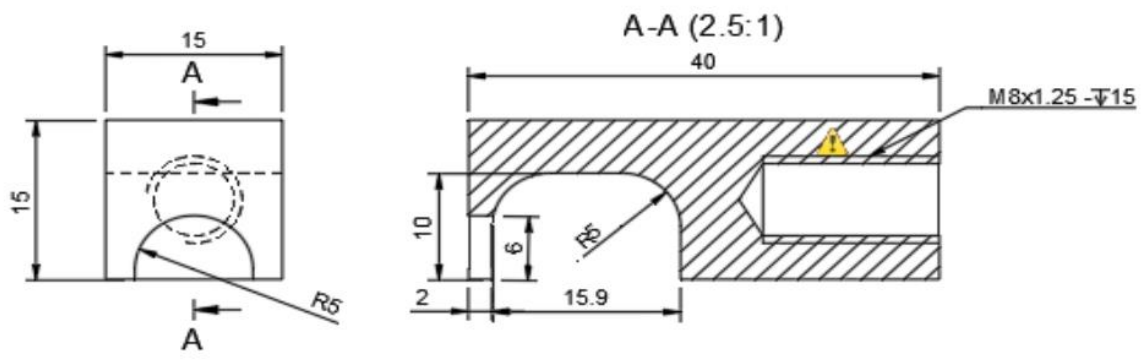
secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	Material base 2"X2"X151mm	N/A	Sierra mecanica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20 (80)	Ciclo de contorneado	HASS 5 ejes	broca fresa carburo de tungteno $\phi 16\text{mm}$ 2 filis	352	7000	2000 mm/min	50	Radial 0,4mm (constante) Axial 0,5mm (Deflt)	

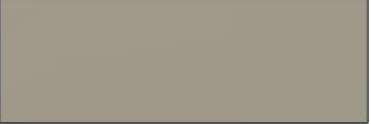

30 (90)	Ciclo planeado	HASS 5 ejes	broca fresa carburo de tungteno Ø16mm 2 filos	352	7000	2000 mm/min	1	axial 0,4mm (Step 12mm)	
40	Ciclo de centrado	HASS 5 ejes	Broca centro #5	31,4	2000	333 mm/min	1	3,4 mm	
50	Ciclo de taladrado picoteo	HASS 5 ejes	broca HSS Ø6mm	37,7	2000	150 mm/min	1	50mm (retraccion 1mm cada 2mm de profundidad)	
60	Ciclo de taladrado picoteo	HASS 5 ejes	broca HSS Ø10mm	37,7	1200	150 mm/min	1	50mm (retraccion 1mm cada 2mm de profundidad)	

70	Ciclo de cajera (Pocket)	HASS 5 ejes	broca fresa carburo de tungsteno Ø10mm 2 Filos	282,75	9000	2000 mm/min	100	Deflt 0,5mm	
----	--------------------------	-------------	---	--------	------	-------------	-----	-------------	--


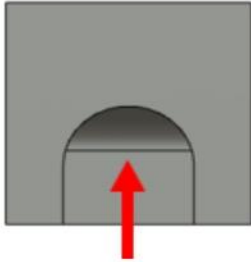
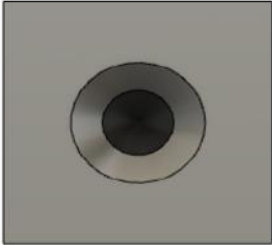
Se gira la pieza y se repiten los las secuencias 20 y 30. Estas corresponden a las secuencias 80 y 90 respectivamente.

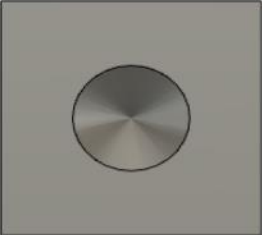
Sujetador de celda



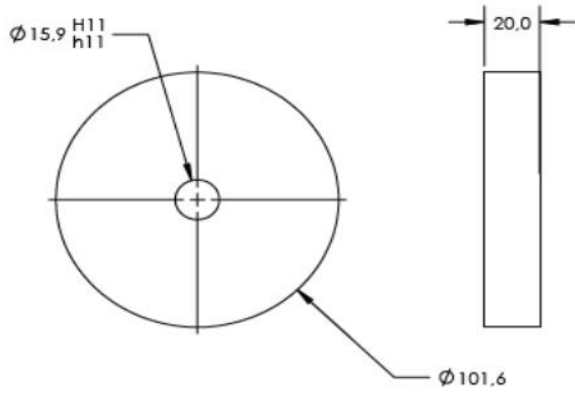
secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	Material base 3/4"X3/4"X42mm	N/A	Sierra mecanica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	escuadrado cara 1	fresadora universal	broca fresa HSS Ø10mm 4 filios	30	955	97 mm/min	1	1 mm	

30	escuadrado cara 2	fresadora universal	broca fresa HSS Ø10mm 4 filos	30	955	97 mm/min	1	1 mm	
40	planeado superficie 1	fresadora universal	broca fresa HSS Ø10mm 4 filos	30	955	97 mm/min	2	1 mm	
50	Giro de pieza 180° planeado superficie 2	fresadora universal	broca fresa HSS Ø10mm 4 filos	30	955	97 mm/min	2	1 mm	
60	Giro de pieza 90° planeado superficie 3	fresadora universal	broca fresa HSS Ø10mm 4 filos	30	955	97 mm/min	2	1 mm	
70	Giro de pieza 180° planeado superficie 4	fresadora universal	broca fresa HSS Ø10mm 4 filos	30	955	97 mm/min	2	1 mm	

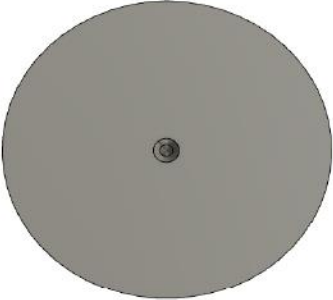

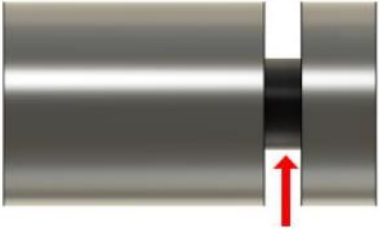
80	vaciado de caja	fresadora universal	broca fresa HSS Ø10mm 4 filos	25	796	20 mm/min	10	1,5 mm axial	
90	ranurado longitud 8mm	fresadora universal	broca fresa HSS Ø10mm 4 filos	30	955	70 mm/min	1	2 mm	
100	perforacion de centro	fresadora universal	broca centr #4 4 filos	27	1432	N/A	1	3/4 del cono	

110	perforacion $\varnothing 17/32''$	fresadora universal	broca HSS $\varnothing 17/32''$ 4 filos	27	1273	N/A	1	15 mm	
120	machueliado M8x1,25	N/A	Machuelo y bandeador	N/A	N/A	N/A		Profundida de agujero	

Pesos



secuencia	operación	máquina	herramienta	VC	RPM	avance	pasadas	profundidad	esquemas
10	Material base $\phi 4''$ Sin cortar	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
20	Refrentado cara 1	Torno paralelo	Buril de pastilla soldad cilindrado	125	392	0,08 mm/rev	1	0,2mm	

30	perforacion de centro	Torno paralelo	broca centro #4	27	1432	N/A	1	3/4 del cono	
40	perforacion	Torno paralelo	broca Ø10mm 4 filos	27	859	N/A	1	80mm	
50	perforacion	Torno paralelo	broca Ø5/8" 4 filos	27	537	N/A	1	80mm	
60	tronzado	Torno paralelo	Cuchilla HSS 4 filos	7	20	La mas baja de la maquina	1	94,6mm	

10. Conclusiones

- Se genero exitosamente las fichas técnicas de fabricación de todos los componentes de la máquina.
- Se ensablo y puso a punto los diferentes sistemas del tribómetro, de los cuales el sistema de “posicionamiento de disco” fue el único que no cumplió con el desempeño esperado, debido a las dificultades presentadas con el porta discos y las mordazas, piezas que necesitaran una intervención posterior. Con esto se obtuvo un funcionamiento óptimo de 3 de los cuatro sistemas, 75% respectivamente.
- Se fabrico un 92% de las piezas no comerciales de la máquina, quedando pendientes de fabricación el juego masas, las cuales son empleadas para generar la carga normal y generar el contra peso.
- Con base en los 3 puntos anteriores se alcanzó un 90% de los objetivos planteados.

11. Bibliografía

- Cadavid, A. (2022). Evaluación técnica de un diseño preliminar de un tribómetro tipo pin disco [Trabajo de grado para ingeniero mecánico, Institución universitaria Pascual Bravo]. Obtenido de https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/1598/1/Rep_IUPB_Ing_Mec_Trobómetro.pdf
- Campuzano-García, J. Á., Braulio-Sánchez, M., Díaz-Medina, J. D., González-Durán, J. E. E., & Durán-Reséndiz, P. (2022). Diseño y desarrollo de máquina de desgaste tipo pin on ring. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 5(1), 105–120. <https://doi.org/10.37636/recit.v5i1105120>
- F. Diaz. *Lecturas de ingeniería 2: tribología: fricción, desgaste y lubricación*. Facultad De Estudios Superiores Cuautitlán. Laboratorio De Tecnología De Materiales. (2007)
- Groover, M. (2007). *fundamentos de manufactura moderna*. McGraw-Hill.
- Heinrich, G. (1994). *Alrededor de las máquinas-herramientas*. Reverté.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2008). *manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Prentice Hall.
- Krar, S. F., & Check, A. F. (2001). *tecnología de las máquinas herramienta*. Alfaomega.

- Meneses, S. (2020) Diseño de un tribómetro pin-disco con velocidad y carga variable según ASTM G99. Trabajo de grado para Ingeniero Mecánico. Institución Universitaria Pascual Bravo.
- Oberg, E., Jones, F. D., Horton, H. L., & Ryffel, H. H. (2012). Machinery's handbook 29th Edition [Version PDF]. INDUSTRIAL PRESS.
- Sanvick Coromant. (noviembre de 2017). Formación manual. Obtenido de Sanvick Coromant:
<https://coromantstrgprod.blob.core.windows.net/publications/8a7de6a5-4b85-495a-b52b-97b8ea13f251.pdf?sv=2021-06-08&st=2022-11-05T00%3A47%3A06Z&se=2022-11-05T02%3A52%3A06Z&sr=b&sp=r&rscd=inline%3B+filename%3DC-2920-40.pdf&rsct=application%2Fpdf&sig=ee262dW>