



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TRIBÓMETRO PARA EL
ANÁLISIS DE DESGASTE ABRASIVO DE MATERIALES
MECÁNICOS LUBRICADOS Y NO LUBRICADOS**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

ROMERO LAFUENTE PATRICIO ISRAEL

DIRECTOR: MSC. ALEX GUZMÁN

Quito, enero 2017

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2017
Reservados todos los derechos de reproducción

**FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO
PROYECTO DE TITULACIÓN**

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1720110731
APELLIDO Y NOMBRES:	Romero Lafuente Patricio Israel
DIRECCIÓN:	Sector Solanda S23-83
EMAIL:	israeldixz@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	023062664
TELÉFONO MOVIL:	0998115986

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	Diseño y construcción de un tribómetro para el análisis de desgaste abrasivo de materiales mecánicos lubricados y no lubricados
AUTOR O AUTORES:	Romero Lafuente Patricio Israel
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Enero 2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Alex Rodolfo Guzmán Antamba
PROGRAMA;	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Automotriz
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>El trabajo está basada en la elaboración de un tribómetro "abrasivo pin disco", el tribómetro va a servir para analizar el desgaste entre piezas metálicas, además esta máquina servirá en varios parámetros, por ejemplo con lubricante, con lubricante a altas temperaturas y sin lubricante, el aparato tiene como funcionamiento básico, que tiene un probeta conectada a un motor el cual gira a altas rpm y en encima de la probeta se encuentra en contacto una pieza llamada pin, el pin desgasta a la probeta por ser de un material más duro en forma circular , el pin es regulable tanto horizontalmente como verticalmente, en caso de una variación de tamaño de la probeta, este desgaste se mide en tablas o normas para verificar el desprendimiento del material entre piezas, el desgaste que se mide es abrasivo, el cual es un consumo de material por la presión ejercida entre metales, para verificar el desgaste que existe, se pesa antes y después de pruebas de fricción, para elaboración de</p>

	<p>las piezas se hizo análisis matemáticos como las fuerzas aplicadas al resorte, la fuerza aplicada al eje del motor, cuanta potencia necesitaba el motor para realizar las pruebas. Estructurales como la carga que debe soporta la mesa por el peso de los componentes del tribómetro. Además, se realizó los planos respectivos de cada pieza del tribómetro “abrasivo pin disco” para un mejor entendimiento al momento de maquinar cada pieza de la máquina, todo esto con la finalidad de obtener la mayor eficiencia en los resultados. El tribómetro “abrasivo pin disco” puede usar tanto en ingeniería automotriz como en cualquier otra rama, ya que el tribómetro se puede usar para mejorar la eficiencia de los materiales que interactúan entre sí.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Tribómetro, desgaste abrasivo, fricción</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>This thesis is based on the development of a tribometer pin - disc, the tribometer will serve to analyze the wear between metallic pieces, in addition this machine will serve in several parameters, for example with lubricant, with lubricant at high temperatures and without lubricant, the Apparatus has as basic function, which has a specimen connected to a motor which rotates at high rpm and on top of the specimen is in contact a piece called pin, the pin wears the probe because it is of a harder material in form Circular, the pin is adjustable both horizontally and vertically, in case of a change in the size of the specimen, this wear is measured in tables or standards to verify the detachment of the material between pieces, the wear that is measured is abrasive, which is A consumption of material by the pressure exerted between metals, to verify the wear that exists, is weighed before and after friction tests, to make the pieces were made mathematical analysis as the forces applied to the spring, the force applied to the axis of the Engine, how much power the engine needed to perform the tests. Structural like the load that must support the table by the weight of the components of the tribometer. In addition, the respective planes of each piece of the pin - disc tribometer were made for a better understanding at the time of machining each piece of the machine, all with the purpose of obtaining the greatest efficiency in the results. The pin - disc tribometer can be used in automotive engineering as in any other branch, as the tribometer can be used to improve the efficiency of interacting materials.</p>

KEYWORDS	Tribometer, scuffing, friction
----------	--------------------------------

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f:  _____

Romero Lafuente Patricio Israel

1720110731

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Romero Lafuente Patricio Israel**, CI 1720110731 autor del proyecto titulado: "Diseño y construcción de un tribómetro para el análisis de desgaste abrasivo de materiales mecánicos lubricados y no lubricados "previo a la obtención del título de **INGENIERO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizó a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, enero del 2017

f:  _____

Romero Lafuente Patricio Israel

1720110731

Quito, enero del 2017

DECLARACIÓN

Yo **ROMERO LAFUENTE PATRICIO ISRAEL**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Patricio Israel Romero Lafuente

C.I.1720110731

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "**Diseño y construcción de un tribómetro para el análisis de desgaste abrasivo de materiales mecánicos lubricados y no lubricados**", que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecánica Automotriz** fue desarrollado por **ROMERO LAFUENTE PATRICIO ISRAEL**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28



Alex Guzmán MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1716331291

DEDICATORIA

Dedico a mi padre Patricio Romero, él me ha enseñado la responsabilidad y compromiso que se debe dar en el trabajo o cualquier actividad en la vida, a mi madre Silvia Lafuente ya que ella siempre estuvo pendiente de mis logros y fracasos, además nunca dejó de darme su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a todas las personas que estuvieron pendiente de esta etapa de mi vida, principalmente a mi madre Silvia Lafuente por su constante apoyo en toda mi vida, a mi padre Patricio Romero por los momentos que me ayudo para que esta etapa fuera realidad, a mi novia Gissela Paredes por estar a mi lado en los momentos de flaqueza, a mi hermano Roberto Romero por estar siempre pendiente de mí y de mis acciones. A mi tutor Alex Guzmán MSc por guiarme en las certezas y falencias de mi tesis y por ultimo agradezco a todas las personas que de alguna manera aportaron para llegar a esta instancia de mi vida como a mis compañeros, amigos, profesores y al resto de mi familia.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1.INTRODUCCIÓN	3
2.METODOLOGÍA	13
3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
3.1 ETAPA DE DECISIÓN	17
3.2 MATRIZ DE VALORACIÓN DE TRIBÓMETRO PIN DISK	17
3.3 SELECCIÓN DEL TRIBÓMETRO	19
3.4 DISEÑO	20
3.4.1 CALCULO ESTRUCTURAL	20
3.4.2 PERFIL ESTRUCTURAL	20
3.4.3 CÁLCULOS DEL RESORTE	26
3.4.4 SELECCIÓN DEL MOTOR	29
3.4.5 CÁLCULOS DEL EJE	32
3.5 CONSTRUCCIÓN	34
3.5.1 ENSAMBLE	34
3.5.2 PARTES	34
3.6 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	36
3.6.1 RESULTADOS OBTENIDOS	37
3.7 ANALISIS FINANCIERO	40
3.7.1 COSTOS DE MATERIALES	41
3.7.2 COSTOS DE MANO DE OBRA	42
3.7.3 COSTOS ADICIONALES	42
4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
5.BIBLIOGRAFÍA	46
6.ANEXOS	49

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Porcentaje según el tipo de desgaste	6
Tabla 2. Ecuaciones de carga sometida en la máquina	6
Tabla 3. Ecuaciones del resorte	8
Tabla 4. Ecuaciones del motor	11
Tabla 5. Factor a y b para obtener el factor de superficie	12
Tabla 6. Matriz de ponderación del tribómetro de 1 a 5.	19
Tabla 7. Matriz de selección de tipo de tribómetro, ponderación del 1 al 5.	19
Tabla 8. Propiedades químicas del Acero ASTM A - 500.	20
Tabla 9. Propiedades mecánicas del acero ASTM A - 500	20
Tabla 10. Propiedades del acero ASTM - 500	23
Tabla 11. Parámetros de pruebas con el tribómetro “abrasivo pin disco”	37
Tabla 12. Datos estadísticos de las pruebas con el tribómetro pin- disco	40
Tabla 13. Costos Generales del tribómetro “abrasivo pin disco” a fabricar.	41
Tabla 14. Costos y tipo de materiales de cada pieza	41
Tabla 15. Costos de mano de obra	42
Tabla 16. Valores indirectos	42
Tabla 17. Costos totales del proyecto del Tribómetro	42
Tabla 18. Perdida de material Probeta con 40N, con temperatura y lubricante	63
Tabla 19. Perdida de material Probeta con 20N, con temperatura y lubricante	64
Tabla 20. Análisis de prueba pin con el acero AISI 4340 a 40 N sin temperatura y sin grasa	65
Tabla 21. Perdida de material Probeta con 40N, con temperatura y lubricante	66
Tabla 22. Análisis de prueba pin con el acero AISI 4340 a 20N sin temperatura y sin grasa	67
Tabla 23. Perdida de material Probeta con 20N, con temperatura y lubricante	68

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Dimensiones de un resorte helicoidal.	8
Figura 2. Fuerzas que actúan en el proceso de rayado de la probeta.	10
Figura 3. Fuerzas que actúan en la herramienta.	10
Figura 4. Tribómetro de control de revestimiento de goma.	17
Figura 5. Tribómetro universal para grandes industrias.	18
Figura 6. Tribómetro Marca Nanovea sirva para pruebas en recipientes en líquido.	18
Figura 7. Tribómetro perno disco.	19
Figura 8. Empotramiento de viga en puntos extremos.	22
Figura 9. Corredera vertical.	34
Figura 10. Corredera horizontal.	34
Figura 11. Mesa y motor del tribómetro pin - disco.	35
Figura 12. Placa plástica, recipiente y sistema Pin del tribómetro "abrasivo pin disco".	36
Figura 13. Tablero Electrónico.	36
Figura 14. Pin y Probeta antes de las pruebas con el tribómetro.	37
Figura 15. Gráfica Desgaste vs Tiempo AISI 1045 a 40N con grasa y temperatura.	38
Figura 16. Gráfica Desgaste vs Tiempo AISI 1045 a 20N con grasa y temperatura.	38
Figura 17. Gráfica Desgaste vs Tiempo AISI 1045 a 40N sin grasa y sin temperatura.	39
Figura 18. Gráfica Desgaste vs Tiempo AISI 1045 a 20N sin grasa y sin temperatura.	39
Figura 19. Variador de velocidad.	61
Figura 20. Controlador de temperatura.	61
Figura 21. Esquema del Motor.	62

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. Coeficiente de fricción entre cuerpos	50
ANEXO 2. Clasificación de los procesos del desgaste	51
ANEXO 3. Tipo de alambre para el resorte	52
ANEXO 4. Propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte	53
ANEXO 5. Valores de potencia unitaria en hp y energía específica para materiales seleccionados usando herramientas de corte	54
ANEXO 6. Norma ASTM g 99 – 95a	55
ANEXO 7. Propiedades de estructura del Acero ASTM 500	60
ANEXO 8. Esquemas eléctricos para el funcionamiento del tablero del tribómetro “abrasivo pin disco”.	61
ANEXO 9. Tabulación de datos obtenidos de las pruebas con el acero AISI 1045 como probeta y El acero AISI 4340 como pin, sometidos a temperatura y lubricante, y sin temperatura y sin lubricante desde la tabla 18 a la 23.	63
ANEXO 10. Datos de referencia de tesis (Jiménez & Granda, 2015)	69
ANEXO 11. Manual de funcionamiento tribómetro “abrasivo pin disco”	74
ANEXO 12. Manual de mantenimiento tribómetro “abrasivo pin disco”	81
ANEXO 13. Ficha técnica del tribómetro “abrasivo pin disco”	84
ANEXO 14. Guía de prácticas Tribómetro “abrasivo pin disco”	85
ANEXO 15. Grasa tribology red gold	96
ANEXO 16. Motor ABB Motors	97
ANEXO 17. Planos del tribómetro “abrasivo pin disco”	98

RESUMEN

El desgaste abrasivo está en todo nuestro entorno y por ende es importante saber el desprendimiento de materiales de cada objeto, condicionalmente algunos componentes necesitan mayor dureza para evitar desgaste y otros materiales necesitan del desgaste para que exista un desplazamiento de uno o varios objetos. En el presente proyecto están todos los pasos para la elaboración de un tribómetro “abrasivo pin disco”, el cual mide el desgaste entre piezas metálicas con diferentes cargas, temperatura y revoluciones. Como primer paso se realizó una investigación sobre el tribómetro “abrasivo pin disco”, inmediatamente se observó los materiales para elaborar la máquina analizadora de desgaste abrasivo, subsiguientemente después del diseño y construcción, se obtuvieron resultados similares establecidos en la norma ASTM G99 – 95a la que aclara, que el desprendimiento de material obtenido en una prueba de desgaste, con tribómetro “abrasivo pin disco” debe aumentar progresivamente al incremento de un lapso de tiempo, también dice la norma ASTM G99 – 95a, que el coeficiente de variación debe ser menor al 15%, satisfactoriamente en las pruebas con el tribómetro “abrasivo pin disco”, se obtuvo un coeficiente de variación en los aceros del 12.67% sin el uso de lubricante. Se analizó el tipo de tribómetro de acuerdo a los costos, que fueron menores comparados con valores monetarios de adquisición con un distribuidor, además se investigó el desplazamiento de máquina, y la fácil utilización del tribómetro para que sea de mejor utilidad para los estudiantes que utilizaran el tribómetro “abrasivo pin disco”. Se observó que existe un cambio drástico al momento de hacer pruebas con lubricante y sin lubricante, ya que con 40N de carga, grasa y temperatura se percibió un desgaste volumétrico mínimo de 0.0057 cm^3 y con 40N de carga, sin grasa y sin temperatura se percibió un desgaste volumétrico de 0.1907 cm^3 . En el caso de usar lubricante debe aumentarse los parámetros de tiempo para obtener datos más significativos.

Palabras Clave: tribómetro, desgaste abrasivo, fricción, lubricante

ABSTRACT

The abrasive wear is in all our surroundings and therefore it is important to know the detachment of materials of each object, conditionally some components need more hardness to avoid wear and other materials need the wear for there is a displacement of one or more objects. In the present project are all the steps for the elaboration of an "abrasive pin disc" tribometer, which measures the wear between metallic pieces with different loads, temperature and revolutions. As a first step, an investigation was carried out on the "disc pin abrasive" tribometer, the materials for the abrasive wear analyzer were immediately observed, subsequently after design and construction, similar results were obtained established in the ASTM G99 - 95a standard. Which clarifies that the release of material obtained in a wear test with "disc pin abrasive" tribometer should increase progressively to the increase of a time span, also says the standard ASTM G99 - 95a, that the coefficient of variation must be lower to 15%, satisfactorily in the tests with the tribometer "abrasive pin disk", a coefficient of variation was obtained in steels of 12.67% without the use of lubricant. The type of tribometer was analyzed according to the costs, which were lower compared to monetary values of acquisition with a distributor, in addition the machine displacement was investigated, and the easy use of the tribometer to be of better use for the students who would use the "disc pin abrasive" tribometer. It was observed that there is a drastic change when testing with lubricant and without lubricant, since with 40N of load, grease and temperature a minimum volumetric wear of 0.0057 cm^3 was perceived and with 40N of load, without fat and without temperature was perceived A volumetric wear of 0.1907 cm^3 . In the case of using lubricant the time parameters must be increased to obtain more meaningful data.

Keywords: tribometer, scuffing, friction, lubricant

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad en el campo automotriz la tecnología y desarrollo de nuevos materiales se van implementando en las diferentes partes de los vehículos, con ellos debemos buscar y evaluar las propiedades de los materiales para obtener un funcionamiento más óptimo de las piezas del automotor, en estos momentos en el Ecuador no existe muchas pruebas de laboratorio o análisis del comportamiento de los materiales al ser sometidos unos con otros de igual o distintas características, como consecuencia existe desgaste prematuro de piezas de los automóviles, estos desgaste inesperados se debe en su mayoría a la mala elección del lubricante a usar y al acabado superficial de cada pieza. Históricamente el desgaste entre piezas ha existido desde los inicios de la revolución industrial, pero en el Ecuador el estudio de la tribología no ha sido analizado a profundidad, al investigar el desgaste de elementos mecánicos, podemos optimizar el uso de los mismos o incluso se obtendrá nuevos conocimientos en el comportamiento de los elementos mecánicos al existir desgaste por fricción. En el aspecto ambiental un estudio tribológico ayudará a la disminución de desperdicios metálicos, al dar un mejor uso de piezas y con ellos aumentar la vida útil del mecanismo automotriz, además los estudiantes de ingeniería automotriz podrán aplicar los conocimientos instruidos y verificar cual son las características y condiciones más adecuadas para los diferentes sistemas automotrices.

El objetivo principal de este proyecto es diseñar y construir un tribómetro para el análisis de desgaste abrasivo de materiales mecánicos lubricados y no lubricados.

Como objetivos específicos del presente proyecto se tiene:

- Diseñar un tribómetro “abrasivo pin disco” con ayuda de un software para ilustrar la apariencia y ensamble del mismo.
- Construir un tribómetro “abrasivo pin disco” seleccionando los materiales adecuados para el soporte estructural del sistema pin y el sistema de desplazamiento.
- Analizar el desgaste abrasivo existente entre el acero AISI 1045 como probeta y el acero AISI 4340 como pin.
- Verificar diferencias que existe entre una prueba tribológica de materiales mecánicos lubricados y no lubricados.
- Elaborar un manual de uso y un manual de mantenimiento del tribómetro “abrasivo pin disco”.

Este tribómetro sirve para el análisis de desgaste abrasivo que puede existir entre materiales de un mecanismo, además con esta máquina se podrá analizar las diferentes fricciones que existen al someter o no someter lubricante a los componentes de cualquier dispositivo que sufra desgaste abrasivo.

El concepto de “Tribología” fue usado por primera vez en un informe elaborado por la Comisión del Ministerio de Educación y Ciencia de la Gran Bretaña el 9 de marzo de 1966. Ya en este informe se señalaba con gran certeza el carácter multidisciplinario de esta ciencia, en la que, entre otras, participaban la física, la química, la metalurgia, la economía, la ciencia de materiales, la matemática y la computación.

Tribología es la ciencia que estudia el rozamiento entre superficies y todas las consecuencias que conllevan dicho fenómeno como desgaste de material, fuerzas aplicadas, cambios de temperatura.

El tribómetro es un aparato en cual mide el coeficiente de fricción de elementos y con los datos obtenidos se puede analizar las propiedades de dichos elementos.

Una parte importante en la tribología es la fricción la cual es un fenómeno que ocurre cuando interactúan entre si dos elementos, “Los organismos en cuestión puede ser un gas y un sólido (fricción aerodinámica), un líquido y un sólido (líquido fricción); la fricción puede ser debido a los procesos de disipación de energía internos dentro de un cuerpo (la fricción interna).” (Blau, 1992, pág. 12). Dentro de la fricción hay que analizar su fuerza que es aquella fuerza tangencial que se opone al movimiento de un cuerpo al estar en contacto con otro, existe dos tipos de fuerzas de fricción que son: la fuerza de fricción estática la cual es una fuerza resistiva que se opone al inicio del deslizamiento del objeto o elemento al ser aplicado una fuerza y la fuerza de fricción cinética cuya fuerza existe al comenzar el movimiento.

La rugosidad de una superficie aparentemente lisa que para el ojo humano es nula, si se lo ve a nivel microscópico se podrá observar una gran cantidad de imperfecciones y esto evitará que exista desplazamiento entre cuerpos.

Los picos de las dos superficies que se ponen en contacto determinan el área real de contacto que es una pequeña proporción del área aparente de contacto, el área real de contacto aumenta cuando aumenta la presión (la fuerza normal) ya que los picos se deforman. (Olivares , 2016, pág. 1), en el anexo 1 se observa una tabla del coeficiente de fricción de algunos materiales. Otra parte importante de la tribología que se debe analizar es el desgaste ya que se encuentra en la vida cotidiana.

El desgaste aparte de ser una propiedad del material, también es una respuesta integral del sistema con ello se quiere decir que el elemento reacciona a los estímulos que se le dan como temperatura, rozamiento, ciclos de repetición, fuerza aplicadas al material, tipo de material que va ser sometido a un contacto.

Los análisis de los sistemas han demostrado que 75% de las fallas mecánicas se deben al desgaste de las superficies en rozamiento. Se deduce fácilmente que para aumentar la vida útil de un equipo se debe disminuir el desgaste al mínimo posible. (Pedrero, 2009, págs. 59-61).

Existen varios tipos de tribómetros y se clasifican de acuerdo al tipo de material y el tipo de contacto que se esté realizando.

Máquina de cilindros cruzados ASTM - g83 esta máquina como su nombre lo dice tiene dos cilindros en contacto los cuales pueden ser de diferente material o del mismo material y se usa para medir el desgaste entre cilindros y obtener el coeficiente de fricción, uno de los cilindros está girando constantemente, ya que esta acoplado a un motor y el otro cilindro se encuentra estático gracias

a su brazo de apoyo, pero además está sometido a una fuerza para el cilindro esté constantemente en contacto con el otro.

Máquina de perno contra disco ASTM g – 99 este tribómetro tiene un perno sometido a una carga y nivelado el cual hace contacto con una probeta que está girando gracias al motor que esta acoplado, “las variables que rigen las pruebas son la carga normal, la velocidad de deslizamiento, la atmósfera y la temperatura ambiente como se muestra en la figura 8. La cantidad de desgaste puede establecerse pesando el perno en una balanza analítica”. (Barral & López, 2014, pág. 28).

Máquina de disco sobre bloque ASTM g- 77 El tribómetro Disco sobre bloque se basa en un anillo con velocidad angular controlada que aplica una carga sobre un bloque fijo ambiente, esta máquina “se utiliza para pruebas en revestimientos, grasas y aditivos, ya sea bajo condiciones secas o lubricadas, donde se obtiene una relación del desgaste”. (Barral & López, 2014, pág. 30).

Las variables que se analizan en el ensayo tribológico dependen de la fuerza par de las piezas en contacto, del sistema mecánico en el que será utilizado el equipo y el “tipo de contacto que presentan, estas pueden ser cerradas: si la superficie tiene una trayectoria cíclica y abiertas: si la trayectoria de deslizamiento se renueva constantemente” (Barral & López, 2014, pág. 32).

En la tabla 1 se muestra el porcentaje de desgaste varía dependiendo el tipo de desgaste.

Tabla 1. Porcentaje según el tipo de desgaste

TIPO DE DESGASTE	%
Desgaste abrasivo	50%
Desgaste adhesivo	15%
Desgaste mecánico – corrosivo	5%
Desgaste erosivo	8%
Desgaste por oxidación dinámica	8%
Desgaste por fatiga y otros tipos	14%

(Rivera, 2007)

Para el cálculo de las cargas ejercidas a cada parte del tribómetro pin - disco existe varias ecuaciones las cuales se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Ecuaciones de carga sometida en la máquina

ECUACIÓN	N°
$\Sigma F_x=0$ <p>Donde: Σ: Es el símbolo de sumatoria F_x: Son todas las reacciones y fuerzas en el eje X</p>	(1)
$\Sigma MA=0$ <p>Donde: Σ: Es el símbolo de sumatoria M: todos los momentos generados en determinada viga A: la letra es el punto de referencia del apoyo</p>	(2)

Tabla 2. Ecuaciones de carga sometida en la máquina (Continuación)

ECUACIÓN	N°
<p style="text-align: center;">$M_f=R*d$</p> <p>Donde: Mf: Es el momento flector R: reacción generada en el punto de apoyo d: distancia entre el punto de apoyo y el lugar de aplicación de carga</p>	(3)
<p style="text-align: center;">$S_y=F_y=n* \sigma \text{ real}$</p> <p>Donde: Fy: Es el esfuerzo de fluencia n: es el factor de seguridad σ real: esfuerzo real permisivo</p>	(4)
<p style="text-align: center;">$\sigma=F/A$</p> <p>Donde: F: fuerza o carga aplicada A: área o sección sometida a carga σ: esfuerzo mecánico</p>	(5)
<p style="text-align: center;">$\sigma_{max}=F_u/n$</p> <p>Donde: F_u=S_u= Es el esfuerzo último n: es el factor de seguridad σ máx.: esfuerzo normal máximo</p>	(6)
<p style="text-align: center;">$\sigma \text{ real}=M_f*C/I$</p> <p>Donde: Mf: momento flector C: coeficiente entre un lado del cuerpo y su media de sección transversal. σ real: esfuerzo real permisivo I: inercia generada por el cuerpo o material</p>	(7)
<p style="text-align: center;">$n=F_u/F_y$</p> <p>Donde: n: factor de seguridad F_y: esfuerzo de cedencia F_u: esfuerzo último</p>	(8)
<p style="text-align: center;">$I =1/12*(b*h^3) -1/12*(b*h^3)$</p> <p>Donde: b: base de la sección cuadrada h: altura de la sección cuadrada I: inercia generada por el cuerpo o material</p>	(9)

Los resortes se fabrican mediante procesos de trabajo en frío o en caliente, lo cual depende del tamaño del material, del índice del resorte y de las propiedades deseadas.

Los resortes de compresión están destinados a soportar esfuerzos de compresión y choque. Esto les permite disminuir su volumen cuando se

aumenta la presión ejercida sobre ellos, convirtiéndose en los dispositivos de almacenamiento de energía disponible más eficientes. (Martínez E., 2013, pág. 3). En la figura 1 se muestra las partes del resorte que se componen de la siguiente manera.

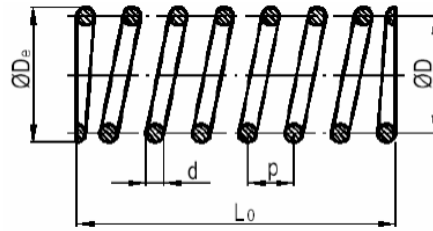


Figura 1. Dimensiones de un resorte helicoidal. (Martínez E. , 2013)

Donde:

ØDe= Diámetro exterior

ØD= Diámetro interior

ØDm= Diámetro medio

d= diámetro del grosor del alambre del resorte

p= distancia entre cada hilo del resorte o paso

Lo= longitud total del resorte

En la tabla 3 se presenta las ecuaciones necesarias para el cálculo del resorte tanto los esfuerzos como las distancias que necesita recorrer.

Tabla 3. Ecuaciones del resorte

ECUACIÓN	Nº
$S_{ut} = \frac{A}{d^m}$ <p>Donde: S_{ut}= Resistencia a la tensión A = contante de acuerdo al tipo de alambre del resorte m= contante de acuerdo al tipo de alambre del resorte d= diámetro del alambre</p>	(10)
$S_y = 0.75 * S_{ut}$ <p>Donde: S_y=Resistencia a la cedencia del alambre</p>	(11)
$S_{sy} = 0.56 * S_{ut}$ <p>Donde: S_{sy}= Resistencia a la torsion maxima permisible</p>	(12)
$N_a = N = N_t - N_i$ <p>Donde: N_t= número total de espiras $N_a = N$= número de espiras activas N_i = número de espiras inactivas</p>	(13)

Tabla 3. Ecuaciones del resorte (Continuación)

ECUACIÓN	N°
$K_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0,615}{C}$	(14)
<p>Donde: C= Índice del resorte Kw= Constante de cortante del resorte</p>	
$k = \frac{d^4 G}{8 D m^3 N} \qquad C = \frac{D m}{d}$	(15)
<p>Donde: k=Constante de la razón del resorte d= diámetro del grosor del alambre del resorte G= Modulo de elasticidad del resorte Dm= diámetro medio del resorte</p>	
$K_s = \frac{2C + 1}{2C}$	(16)
<p>Donde: Ks= esfuerzo de torsión</p>	
$\tau = K_s \frac{8 F D m}{\pi d^3}$	(17)
<p>Donde: τ=Esfuerzo cortante de operación F= Fuerza aplicada o Carga aplicada</p>	
$y = \frac{F}{k} \text{ [mm]}$	(18)
<p>Donde: y: energía de deformación total en un resorte helicoidal F: Carga sometida k: Constante de la razón del resorte</p>	
$L_f = L_o - y$	(19)
<p>Donde: Lf= Longitud de operación o longitud final Lo= Longitud inicial</p>	
$L_s = N * d$	(20)
<p>Donde: Ls= longitud solida</p>	
$F_s = k(L_f - L_s)$	(21)
<p>Donde: Fs= Esfuerzo maximo de longitud comprimida</p>	

Aunque la resistencia a la fluencia torsional se necesita para diseñar el resorte y para analizar el desempeño, los materiales para resortes suelen ensayarse

sólo a la tensión, quizá porque es un ensayo fácil y económico de realizar. Una estimación muy burda del esfuerzo de fluencia a la torsión se puede obtener si se supone que el esfuerzo de fluencia a la tensión está entre 60% y 90% de la resistencia a la tensión. Después puede emplearse la teoría de la energía de distorsión para determinar el esfuerzo de fluencia a la torsión ($S_{sy} = 0.577S_y$). Este enfoque proporciona el intervalo $0.35S_{ut} \leq S_{sy} \leq 0.52S_{ut}$ para aceros.

En el caso de los alambres del anexo 2, el esfuerzo cortante máximo permisible de un resorte se puede ver en la columna 3. El alambre de piano y el alambre para resorte de acero estirado duro tienen un límite inferior del intervalo $S = 0.45S_{ut}$.

Puesto que el sistema de fuerzas impuesto por el indentador sobre la superficie de la probeta obedece al modelo de corte ortogonal como se muestra en la figura 2, dentro de este modelo de corte se pueden definir varias fuerzas que actúan en el proceso de rayado tal como:

- Fuerza de Fricción (F): Es la fuerza que se produce entre la herramienta y la viruta que resiste el flujo de la viruta a lo largo de la cara inclinada de la herramienta.
- Fuerza Normal (N): Es la fuerza Perpendicular a la fuerza de fricción.
- Fuerza Resultante (R): Es la resultante vectorial entre la fuerza de fricción y la fuerza normal, la cual se orienta con un ángulo β .

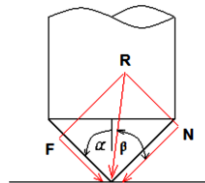


Figura 2. Fuerzas que actúan en el proceso de rayado de la probeta. (Jiménez & Granda, 2015)

De acuerdo a las notaciones geométricas dadas, y ya que el indentador es un cilindro afilado en forma de cono, se tiene que el ángulo de ataque es: $\alpha = 45^\circ$ así como se muestra en la figura 3. Además de las fuerzas mencionadas anteriormente existen otro tipo de fuerzas que actúan sobre el indentador.

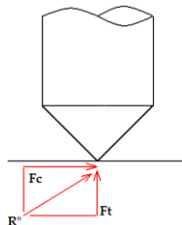


Figura 3. Fuerzas que actúan en la herramienta. (Jiménez & Granda, 2015)

Las fuerzas que se aplican en el pin son: fuerza de corte (F_c). Es la fuerza que va en dirección del corte, la misma dirección de la velocidad de corte, y la fuerza de empuje (F_t). Es perpendicular a la fuerza de corte.

A continuación, se presenta en la tabla 4 las ecuaciones del motor para servir para verificar la potencia necesaria que debe tener el motor para el trabajo que realizara el tribómetro pin - disco.

Tabla 4. Ecuaciones del motor

ECUACIÓN	N°
$F_c = f \cdot d \cdot P_u$ <p>Donde: c= Fuerza Cortante Pu = Potencia Unitaria f y d = Factores de desgaste</p>	(22)
$F = F_c \cdot \sin(\alpha) + F_t \cdot \cos(\alpha)$ <p>Fc= Fuerza de corte F= Fuerza de empuje α= ángulo de ataque del indentador</p>	(23)
$N = F_t \cdot \cos(\alpha) - F_c \cdot \sin(\alpha)$ <p>N= Fuerza normal</p>	(24)
$R = \sqrt{F^2 + N^2}$ <p>Donde: R= Fuerza resultante [N]</p>	(25)
$T_w = R \cdot d_1$ <p>Donde: Tw= Torque uno [N*m] d1= diámetro del eje del motor [m]</p>	(26)
$T_l = I(N \cdot m) \cdot \alpha \left(\frac{rad}{seg} \right)$ <p>Donde: T_l= Torque Inercial I: Momento de inercia de todo el conjunto movido por el motorreductor.</p>	(27)
$\alpha = \frac{\pi \cdot N_1}{30} \quad \omega = \frac{\pi \cdot N}{30}$ <p>Donde: α: es el valor de la aceleración angular. N= Fuerza normal [rpm]</p>	(28)
$P = T_{Total} \cdot \omega$ <p>P= Potencia requerida del motor [N*m/seg] T_{Total}= Torque total [N*m] ω= velocidad angular [rad/seg]</p>	(29)
$S'_e = 0.5 S_{ut}$ <p>Donde: S'_e = <i>Limite de resitencia a la fatiga</i></p>	(30)
$S_e = C_{carga} \cdot C_{tamaño} \cdot C_{superficie} \cdot C_{confiabilidad} \cdot C_{temperatura} \cdot S'_e$ $C_{superficie} = a S_{ut}^b$ <p>Donde: C son constantes</p>	(31)
$K_f = 1 + q(K_t - 1)$	(32)
$K_{fs} = 1 + q(K_{ts} - 1)$	(33)
$d := \left[\frac{3K_f}{\pi} \left[\left(K_f \frac{M}{S_c} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fs} \frac{T}{S_y} \right)^2 \right] \right]^{\frac{1}{3}}$ <p>Donde: d= diámetro de la fecha [pulg].</p>	(34)

De acuerdo al mismo se obtiene una tabla 5 que presenta a los factores a y b para poder obtener el factor de la superficie.

Tabla 5. Factor a y b para obtener el factor de superficie

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

(Shigley, 2008)

Desviación estándar para cualquier tamaño de muestra:

$$s = \left[\frac{\sum(x - \bar{X})^2}{(n-1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (35)$$

El coeficiente de variación (v) se expresa en porcentaje y está dado por

$$v = (s/\bar{x}) \cdot 100 \quad (36)$$

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

Para la elaboración del tribómetro abrasivo pin – disco se estableció tres etapas las cuales son, el diseño, construcción e implementación posteriormente se hizo las pruebas pertinentes para un excelente funcionamiento de la máquina.

Para la decisión del tipo de tribómetro se realizó un estudio de cada tipo de tribómetro y se efectuó una matriz de ponderación analizando características de funcionamiento y costos, obteniendo como resultado que lo más factible es la realización de un tribómetro “abrasivo pin disco”.

Después de elegir el tribómetro “abrasivo pin disco” como mejor opción, se dispuso al diseño del mismo con la ayuda de software para la realización de planos los cuales están en el anexo 17, verificando características para un adecuado funcionamiento, las cuales fueron las características del material a utilizar como soporte, las fuerzas que se ejercen en la estructura de la máquina utilizando las ecuaciones 1 a la 9 para verificar las cargas sometidas en tribómetro, en el caso de corroborar el desplazamiento y fuerza de retroceso del resorte se utilizaron las ecuaciones de la 10 a la 21 , por parte del motor se utilizó las ecuaciones de la 22 a la 29 la cual la ecuación 29 que es para obtener la potencia del motor en Hp se empresa de la siguiente manera.

$$P = T_{Total} * w$$

En la cual se comprobó la potencia de giro del motor necesaria, la cual es de 2 Hp, así mismo sus derivados están explicados en la parte de introducción, como todas las ecuaciones utilizadas en este proyecto, también se analiza las fuerzas que se estaban ejerciendo en el eje que conecta el recipiente con el motor con las ecuaciones 30 a la 34, con el cual se observa las dimensiones y características del material a utilizar.

En la construcción se realizó el mecanizado de las piezas del tribómetro “abrasivo pin disco” basados en los planos realizados en el software, consecutivamente, para el tablero electrónico se realizó diagramas eléctricos para la conexión de los diferentes dispositivos del mismo. Luego se elaboró el ensamble del tribómetro “abrasivo pin disco” para posteriormente haciendo una verificación de funcionamiento del motor, estructura, desplazamiento vertical, desplazamiento horizontal y el tablero electrónico, también en la parte eléctrica se verificó las rpm, que alcanzarán un mínimo de 600 rpm con temperatura que oscila los 50° C estos dos parámetros son los que se utilizó en las pruebas de desgaste del ensayo, Se puso en marcha la fabricación de la máquina con el ensamble de piezas y su respectiva calibración, con lo cual, este aparato se podrá utilizar en el taller automotriz y con normas de seguridad, por parte de la probeta se verificó con un acero AISI 1045 con temperatura, lubricante, y sin temperatura y sin lubricante con 20N y 40 N de carga, por diez intervalos de diez minutos, igualmente en el pin se hizo las mismas variables cambiando material usado un acero AISI 4340, este acero es más duro y resistente al desgaste que el acero AISI 1045. Se utilizó las ecuaciones 35 y 36 para la obtención de la desviación estándar muestral y la variación de coeficiente respectivamente.

De los datos obtenidos se pueden observar que se pierde material, tanto de la probeta como del pin progresivamente a través del tiempo, con lo que está de acuerdo con la norma ASTM G99 donde se dice que el desgaste que sufren las probetas ensayadas debe ser progresivo en el transcurrir del tiempo.

El análisis de costo se tomó en cuenta el gasto de cada pieza y maquinado de la misma, asimismo del valor monetario de la parte eléctrica y el presupuesto para las probetas a analizar la cual llegó a un monto de 4230.6 dólares un valor bajo comparado a la adquisición con un distribuidor.

Para un mejor manejo y entendimiento de la máquina se dispuso hacer un manual de operación, manual de mantenimiento, ficha técnica y una guía de práctica (Jiménez & Granda, 2015), para el taller, los cuales están localizados al final de la tesis en Anexos 11, 12, 13, 14 respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta a detalle todos los puntos significativos para la realización tribómetro pin – disk como son: el tipo de material para cada pieza, el estudio financiero, el estudio para escoger el mejor tribómetro, los cálculos que se realizaron para que la máquina funcione en operaciones óptimas, y una guía para que las personas que vayan a usar el tribómetro, después de todo esto se hizo un estudio de factibilidad de la construcción tribómetro pin – disk.

3.1 ETAPA DE DECISIÓN

Esta etapa fue crucial a la hora de desarrollar la máquina. Esto se debe a que la implementación del tribómetro, dependía de varios factores. Se tomó la decisión de fabricar un tribómetro abrasivo pin - disk, fue debido a que el costo era muy bajo, a comparación de una adquisición proveniente de fábrica. Asimismo, se analizó que un aparato como estos no existía en la Universidad y serviría de mucho para las prácticas de los estudiantes en el aspecto de análisis de las propiedades abrasivas de los materiales en contacto entre sí.

3.2 MATRIZ DE VALORACIÓN DE TRIBÓMETRO PIN DISK

En esta parte se analizará el caso de adquisición de un tribómetro con ello se observará los costos, rendimiento y factibilidad de conseguir. Se hará una tabla de valoración de los tribómetros que se encuentran en el mercado para observar sus características.

El primer Tribómetro industriales para el control revestimiento de goma es originario de China soporta una carga máxima de 50 N, y sus revoluciones son de 1 a 2000 rpm el costo de este tribómetro en el Mercado está oscilando de \$12000 a \$20000 como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Tribómetro de control de revestimiento de goma.
(Donnguan liyi test equioiment co., LTD, 2016)

Tribómetro universal es una máquina tipo CNC la cual tiene un gran rendimiento ya que alcanza 10000 rpm una de carga de hasta 5000N, también tiene para hacer pruebas con temperatura de 60°C hasta los 1000°C y cuenta con una pantalla que muestra topografía, desgaste de volumen, rugosidad, la imagen 3D y curva de Stribeck esta traza automáticamente la fricción contra las curvas de carga / velocidad en cambios de temperatura y humedad como se muestra en la figura 5. Con su gran desempeño esta máquina está a un valor de 100000 dólares.

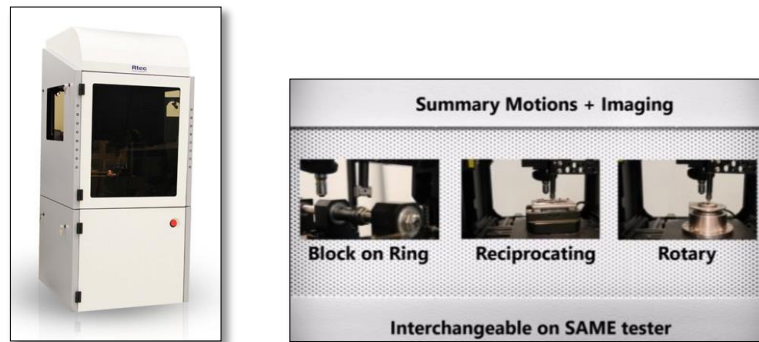


Figura 5. Tribómetro universal para grandes industrias. (Rtec-Instrumento, 2016)

El Nanovea T50 Tribómetro está diseñado para cargas de 100mn a 40N. Todos los tribómetros Nanovea están equipados con una placa de acero de 20 mm revestido sólido unido al eje de rotación principal soportado por rodamientos de alta calidad para la máxima rigidez, codificador ofrece una gama de velocidades de giro de 0,01 a 2000 rpm. Bloque en el anillo es una configuración adicional al módulo de Rotativo estándar. La alta temperatura de rotación en liquido oscila entre 150°C como se muestra en la figura 6. El precio de esta máquina esta en 46400 dólares sin contar accesorios extras.

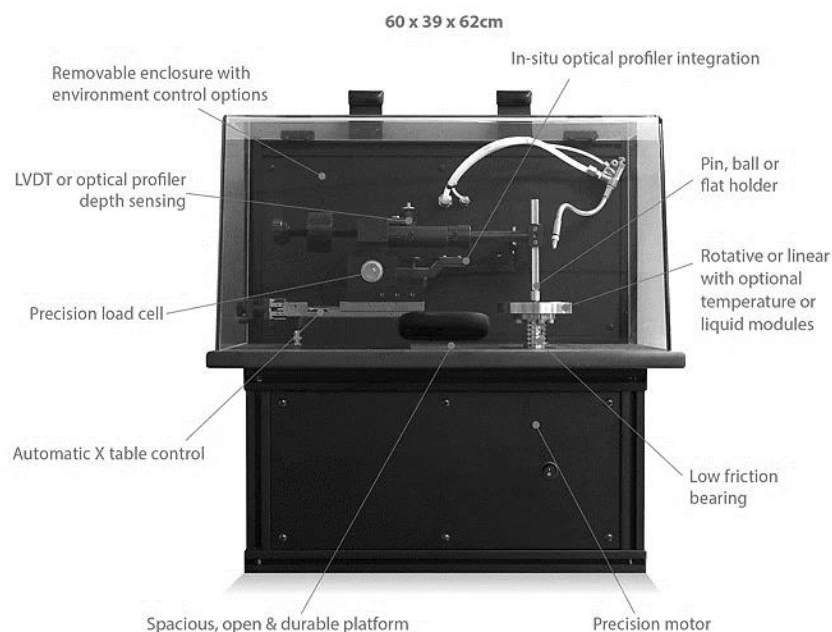


Figura 6. Tribómetro Marca Nanovea sirve para pruebas en recipientes con líquido. (Nanovea S.A, 2016)

De esta manera se determinó que la mejor opción era un tribómetro construido, el mismo que deberá poseer una excelente seguridad de acuerdo a su construcción, en las siguientes partes se analizará todo con respecto de la máquina que se construirá, así como se construyó en la tabla 6.

Tabla 6. Matriz de ponderación del tribómetro de 1 a 5

	Tribómetro control revestimiento	Tribómetro universal tipo CNC	Tribómetro Nanovea T50	Tribómetro construido
Potencia	3	5	4	4
Precio	3	1	2	4
Seguridad	4	4	4	4
Características	2	4	2	5
Total	12	14	12	17

3.3 SELECCIÓN DEL TRIBÓMETRO

A continuación, se analizará los tipos de tribómetros para escoger el más idóneo para construir.

Tabla 7. Matriz de selección de tipo de tribómetro, ponderación del 1 al 5

CARACTERÍSTICAS	Cilindros Cruzados	Pin contra Disco	Disco sobre Bloque
Construcción	2	5	4
Desplazamiento	3	2	2
Mantenimiento	2	4	3
Peso	2	2	2
Operación	3	4	4
TOTAL	12	17	15

Con los resultados obtenidos de la tabla 7 se puede decir que aparato mas idoneo para realizar las pruebas de desgaste es la máquina “abrasiva pin disco”, por sus características, facil mantenimiento y bajo precio. El cual funciona disco acoplado al motor con variación de velocidad, en el cual se encuentra una probeta que va ser desgastada por un pin alojado en la parte superior, el cual cuenta con mejores propiedades de dureza que de la probeta alojada en el pin como se muestra en la figura 7.

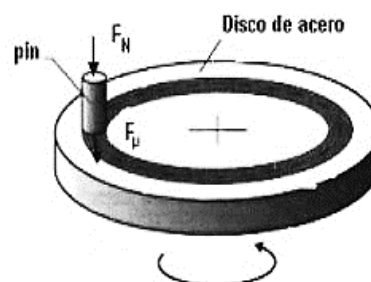


Figura 7. Tribómetro perno disco.
Fuente: (López A. , 2015)

3.4 DISEÑO

Esta etapa se procede a diseñar y calcular todos los datos que involucran para la fabricación de tribómetro “abrasivo pin disco”, aquí se aplica los tipos de materiales, cargas sometidas y los cálculos para que la máquina funcione en óptimas condiciones.

3.4.1 CALCULO ESTRUCTURAL

El primer paso al momento de construir cualquier estructura o máquina, son los cálculos ingenieriles que nos ayuda en saber la posibilidad de éxito que se puede tener antes de ponerse en marcha al construir cualquier artefacto. Entre los parámetros a tomarse en cuenta antes de cualquier construcción mecánica están los siguientes:

- Cargas Muertas y móviles.
- Momentos de inercia.
- Propiedades mecánicas.

En este capítulo se tratará todo acerca de los cálculos y conocimientos necesarios previos al diseño, construcción del tribómetro “abrasivo pin disco”.

3.4.2 PERFIL ESTRUCTURAL

El perfil estructural es el encargado de soportar todas pesos y fuerzas que actúan mientras la máquina esté en funcionamiento y reposo, la estructura será construida con un tubo estructural cuadrado norma ASTM A 500 de 2” de ancho y un espesor de 1.0. en la en anexo 7 se encuentra las propiedades del acero usado, así como también las propiedades química y mecánicas del acero como se muestran en las tablas 8 y 9.

Tabla 8. Propiedades químicas del Acero ASTM A 500

	GRADO B	GRADO C
Carbón, Max%	0.26	0.230
El manganeso, Max%	----	1.350
Phosphorus, Max%	0.035	0.035
Azufre, Max%	0.035	0.035
Copper, cuando el acero de cobre es especificada, Min%	0.2	0.2

Las propiedades mecánicas del acero ASTM A 500 están con grado B y C.

Tabla 9. Propiedades mecánicas del acero ASTM A 500

	Grado B	Grado C
Resistencia a la tracción, psi Min	58.000	62.000
El límite elástico, psi Min	46.000	50.000
Elongación en 2 "Min	23% *	21% **
* .180 "Muro y otra		
** .120 "muro y otra		

Datos previos antes de calcular las fuerzas y cargas que se aplica en la estructura:

Peso de un motor: Estimado de 23 Kg.

Peso Sistema Pin: Estimado de 0.624 Kg.

Peso Sistema Probeta: Estimado 5.952 Kg.

Peso Sistema corredera: Estimado 0.769 Kg.

Peso Posicionador vertical: Estimado 0.656 Kg.

Peso Soporte Pin: Estimado 1.132 Kg.

Peso Mesa: Estimado 33.288 Kg.

Peso Total de la Máquina: 42.421 Kg.

Pesos estimados por el programa Inventor 2017 de acuerdo a su volumen y tipo de material.

Cargas que se ejercen sobre el bastidor:

- Flexión.
- Pandeo.

Elementos sometidos a las cargas:

- Viga frontal superior.
- Viga posterior superior.
- Travesaño lateral izquierdo superior.
- Travesaño lateral derecho superior.
- Refuerzo frontal inferior.
- Refuerzo posterior inferior.
- Refuerzo lateral izquierdo inferior.
- Refuerzo lateral derecho inferior.
- Columna o refuerzo vertical.
- Viga soporte del motor.

Distribución de carga: Carga normal.

Tipo de anclaje: Empotramiento fijo.

Tipo de ensamble: Unión por soldadura.

Para el cálculo se toma en cuenta a los siguientes elementos:

- Viga frontal superior.
- Viga trasera superior.
- Travesaño lateral superior (derecho y/o izquierdo).
- Columna o refuerzo vertical.

Se escogió solo esos 4 elementos debido a que el sometimiento de la carga, se manifiesta con mayor frecuencia sobre ellos. Además, que las dimensiones de las otras partes estructurales del bastidor por su metrología similar; cumplirían con la misma función y tendrían el mismo comportamiento mecánico.

Peso estimado que va a soportar estructura de la mesa es la suma del sistema de pin, sistema de corredera, sistema del recipiente, sistema posicionador

vertical Sistema soporte pin y el peso de la mesa en sí, que es el valor de 42.421 Kg.

$W=P=$ Peso aproximado (estimación de carga).
 $m=42.421$ kg ~ masa de la máquina.

$$W=m \times g$$

$$W=42.421 \times 9,8 \left[kg \times \frac{m}{s^2} \right]$$

$$W=415.73 \text{ [N]}=P$$

El Cálculo de viga frontal superior se representa en la figura 8 con la distribución de cargas de la viga superior del tribómetro a construir.

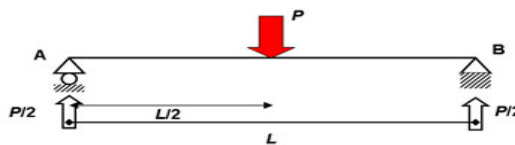


Figura 8. Empotramiento de viga en puntos extremos.
 (Castillo, 2016)

Los valores de $L= 500 \text{ mm}= 0.5 \text{ m}$ y de $\frac{L}{2} = 250\text{mm} = 0.25 \text{ m}$.

Mediante la ecuación 1 se tiene:

$$\Sigma F_x=0$$

$$R_1+R_2-P=0$$

R_1 :reacción en A = F_1

R_2 : reacción en B= F_2

Mediante la ecuación 2 se tiene:

$$\Sigma M_A=0$$

$$-P \times \frac{L}{2} + R_2 \times L = 0$$

$$- 415.73 \text{ [N]} \times 0.25(\text{m}) + R_2 \times 0.5(\text{m}) = 0$$

$$-103.933 \text{ (N.m)} + R_2 \times 0.5(\text{m}) = 0$$

$$R_2 = 207.865 \text{ (N.m)}$$

Mediante la ecuación 1 se obtiene

$$\Sigma F_x=0$$

$$R_1+R_2-P=0$$

$$R_1=P-R_2$$

$$R_1=415.73 \text{ [N]} - 207.865 \text{ [N]}$$

$$R_1=207.865 \text{ [N]}$$

Después de calcular las reacciones R_1 y R_2 , que se generan en los apoyos laterales tanto de la viga frontal como de la viga posterior; se procede a encontrar la magnitud específica de las fuerzas F_1 y F_2 que generan la carga en la viga, después de la distribución normal de la misma. $R_1=R_2$ en magnitud y sentido.

Posterior a encontrar el valor de las fuerzas y reacciones, a las que es sometida la viga frontal; se procede a definir el momento flector para cada

reacción. En este caso se establecerán dos momentos flectores por cada lado extremo de la viga, debido a los dos puntos de apoyo fijo de la misma.

Con los datos conocidos:

LT=Longitud total de la viga frontal=L = 0.5 (m)

Haciendo uso de la ecuación 3, se obtiene lo siguiente:

$$Mf1=R1*L$$

$$Mf1=207.865 [N]*0.5(m)$$

$$Mf1=103.933[N.m]$$

$$Mf2=R2*L$$

$$Mf2=207.865 [N]*0.5(m)$$

$$Mf2=103.933 [N.m]$$

Una vez conocido los valores de momento flector, se procede a encontrar las magnitudes de los esfuerzos normales máximos a los cuales la sección del tubo cuadrado puede ser sometida.

Para esto se hace uso de los siguientes valores referenciales de especificación de material, que se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Propiedades del acero ASTM - 500

Nomenclatura		F _y (3)		F _u (4)	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²
B-254	A36	250	2 530	400 a 550	4 080 a 5 620
B-99	A529	290	2 950	414 a 585	4 220 a 5 975
B-282	A242	290	2 950	435	4 430
		320	3 235	460	4 710
		345	3 515	485	4 920
B-284	A572	290	2 950	414	4 220
		345	3 515	450	4 570
		414	4 220	515	5 270
		450	4 570	550	5 620
	A992	345	3 515	450 a 620	4 570 a 6 330
B-177	A53	240	2 460	414	4 220
B-199	A500 (5)	320	3 235	430	4 360
B-200	A501	250	2 530	400	4 080
	A588	345 (6)	3 515 (6)	483 (6)	4 920 (6)
	A913	345 a 483 (7)	3 515 a 4 920 (7)	448 a 620 (7)	4 570 a 6 330 (7)

(1) Norma Mexicana.

(2) American Society for Testing and Materials.

(3) Valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del material.

(4) Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión. Cuando se indican dos valores, el segundo es el máximo admisible.

(5) ASTM especifica varios grados de acero A500, para tubos circulares y rectangulares.

(6) Para perfiles estructurales; para placas y barras, ASTM especifica varios valores, que dependen del grueso del material.

(7) Depende del grado; ASTM especifica grados 50, 60, 65 y 70.

Para obtener los datos se analiza comportamiento crítico al que puede ser sometido el material haciendo uso de datos con valores de rendimiento extremo. Se calcula el esfuerzo normal máximo, magnitud de esfuerzo último antes que el material se rompa y con un factor de seguridad alto en el caso del acero ASTM A 500 tiene un factor de seguridad de 1.5 a 2.5; dicho factor

es usado para prever comportamientos críticos y máximos en resistencia del material.

Operando la ecuación 6, se obtiene como resultado:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_u}{n}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{430 \text{ Mpa}}{2.5}$$

$$\sigma_{\max} = 172 \text{ Mpa}$$

El dato encontrado anteriormente de esfuerzo normal máximo corresponde a un valor referencial, que en teoría nos puede mostrar un cierto grado de resistencia.

El valor de esta carga, viene dada por la magnitud de fuerza que ejerce en cada uno de los apoyos que estarán localizados en el área de sección transversal del tubo cuadrado. Dicha fuerza que se aplica sobre determinada área, nos presentará cual es el esfuerzo que debe presentar experimentalmente el tubo.

A continuación, se calcula el área de la sección del tubo: Área sección cuadrada=área externa-área interna.

$$\text{Área externa} = l \times l$$

$$\text{Área externa} = 50.8 \text{ (mm)} \times 50.8 \text{ (mm)}$$

$$\text{Área externa} = 2580.64 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área interna} = l \times l$$

$$\text{Área interna} = 48.8 \text{ (mm)} \times 48.8 \text{ (mm)}$$

$$\text{Área interna} = 2381.44 \text{ mm}^2$$

Con los valores encontrados, se halla el valor del área de la sección transversal.

$$\text{Área sección cuadrada} = 2580.64 [\text{mm}^2] - 2381.44 [\text{mm}^2]$$

$$\text{Área sección cuadrada} = 199.2 \text{ mm}^2 = 0.0001992 \text{ m}^2$$

Ahora se halla el valor del esfuerzo que realiza el tubo, mediante la ecuación 5, a partir de la carga sometida por F1 o F2.

$$\sigma_{\text{ tubo }} = \frac{F}{A} \text{ sección cuadrada}$$

$$\sigma_{\text{ tubo }} = F1 \text{ o } \frac{F2}{A} \text{ sección cuadrada}$$

$$\sigma_{\text{ tubo }} = \frac{207.865 \text{ [N]}}{0.0001992 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{\text{ tubo }} = 1043498.99 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{ tubo }} = 1.04 \text{ MPa}$$

Como se puede ver el valor calculado del esfuerzo del tubo cuadrado, es mucho menor a las magnitudes máxima y mínima del esfuerzo último y el esfuerzo de cedencia. Por lo cual ya se puede concluir que es capaz de resistir cargas más elevadas y su rendimiento mecánico va a ser aun permisivo.

En la última etapa se tuvo que encontrar el valor del factor de seguridad real y ya no teórico, para esto se requiere de los valores de los siguientes parámetros:

- Esfuerzo real permisible.
- Momento flector.
- Inercia.
- Constante de la sección transversal – C.

A continuación, se observa la ecuación 7, necesaria para encontrar el esfuerzo real permisible, que se necesita para encontrar el factor de seguridad real y no teórico.

$$\sigma_{\text{real}} = \frac{Mf * C}{I}$$

Se debe obtener el valor de la inercia que se genera en la viga frontal superior, mediante el cálculo de la ecuación 9.

$$I = \frac{1}{12} * (b * h^3)_{\text{tubo cara externa}} - \frac{1}{12} * (b * h^3)_{\text{tubo cara interna}}$$

$$I = \frac{1}{12} * (50.8 * 50.8^3) - \frac{1}{12} * (48.8 * 48.8^3)$$

$$I = \frac{1}{12} * (6659702.81 \text{mm}^4) - \frac{1}{12} * (5671856.472 \text{mm}^4)$$

$$I = 554975.23 \text{ mm}^4 - 472604.71 \text{ mm}^4$$

$$I = 82370.52 \text{ mm}^4$$

$$I = 0.08237 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

Con el valor de inercia calculado de tubo cuadrado ASTM A-500, se procede a encontrar el esfuerzo real de la sección transversal, usando la ecuación 7.

$$\sigma_{\text{real}} = Mf1 * \frac{C}{I} \text{ o } Mf2 * \frac{C}{I}$$

$$\sigma_{\text{real}} = \frac{103.933 \text{ [N.m]} * \frac{\text{lado del tubo}}{2}}{I}$$

$$\sigma_{\text{real}} = \frac{103.933 \text{ [N.m]} * \frac{0.0508 \text{ m}}{2}}{0.08237 * 10^6 \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{\text{real}} = \frac{103.933 \text{ [N.m]} * 0.0254 \text{ m}}{0.08237 * 10^6 \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{\text{real}} = 32.05 * 10^6 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$\sigma_{\text{real}} = 32.05 \text{ MPa}$$

Finalmente se calcula el factor de seguridad para verificar que el diseño es confiable y se puede proseguir con la construcción, usando la ecuación 8. En este caso el Fy o también conocido como esfuerzo de fluencia será el esfuerzo máximo real calculado anteriormente y ya no el teórico como en un principio.

$$n = \frac{Fu}{Fy}$$

$$n = 430 \text{ Mpa} / 32.05 \text{ Mpa}$$

$$n = 13.41$$

∴ El diseño es confiable porque $n > 1$.

Las fuerzas aplicadas en las vigas superiores de la mesa son compartidas equitativamente entre las cuatro ya que cuentan con las mismas características como tipo de material, tipo de soldadura, dimensiones, como también la simetría y características del sistema pin son semejantes y la carga que aplican se centran en el medio de la mesa se puede concluir que las fuerzas de las vigas superiores se reparten en igual proporción.

3.4.3 CÁLCULOS DEL RESORTE

Para el cálculo del resorte se necesita usar la ecuación 12 en la que se va a obtener la resistencia a la tensión que va a soportar el resorte para el sistema pin, con la ecuación 13 se obtiene la resistencia a la fluencia del resorte y la ecuación 14 se calcula la resistencia máxima permisible.

De acuerdo con la tabla del anexo 3 la mejor elección de alambre sería el alambre de piano A228 ya que se va hacer las pruebas con cargas que varían de 10N a 40N, el alambre de piano tiene como especificación que es un acero ASTM A 500.

El acero ASTM A 500 es un acero alto carbono, éste es el mejor, el más tenaz y el más empleado de todos los materiales para fabricar resortes pequeños. Presenta la mayor resistencia a la tensión y puede soportar mayores esfuerzos ante cargas repetidas que cualquier otro material para resorte. Disponible en diámetros de 0.12 a 3 mm (0.005 a 0.125 pulg). No se emplee a temperaturas mayores de 120°C (250°F), o a temperaturas bajo cero. (Shigley, 2008, pág. 506).

- Diámetro interior: Este debe tener como mínimo 20 mm, ya que es el diámetro exterior del collar de alojamiento del resorte que posee tanto la corredera en su parte superior, como el porta pesos en su parte inferior.
- La punta del indentador debe quedar a una distancia de 20 mm de la superficie de la probeta cuando no se tiene carga, permitiendo así la maniobrabilidad en el intercambio de probetas. De esta forma de acuerdo a los requerimientos geométricos del sistema porta pesos, la longitud de operación del resorte debe ser aproximadamente de 70 mm. De acuerdo al anexo 3 se obtiene los siguientes datos del alambre de piano ASTM A228:

$$A = 2211 \text{ MPa} \cdot \text{mm}^3$$

$$m = 0.145$$

$$d = 2 \text{ mm} = 0.002 \text{ m}$$

3.4.3.1 Resistencia mínima a la tensión

Se usa la ecuación 10 para obtener la resistencia mínima a la tensión (S_{ut}).

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m}$$

$$S_{ut} = \frac{2211 \text{ MPa}}{0.002 \text{ m}^{0.145}}$$

$$S_{ut} = 5444.267 \text{ MPa}$$

3.4.3.2 Resistencia a la fluencia

Con la ecuación 11 se calcula la resistencia a la fluencia (S_y).

$$S_y = 0.75 S_{ut}$$

$$S_y = 0.75 * 5444.267 \text{ MPa}$$

$$S_y = 4083.2 \text{ MPa}$$

3.4.3.3 Resistencia a la torsión máxima permisible

Para calcular la resistencia a la torsión máxima permisible se debe utilizar la ecuación 12.

$$S_{usy} = 0.56 S_{ut}$$

$$S_{usy} = 0.56 * 544.267 \text{ MPa}$$

$$S_{usy} = 304.79 \text{ MPa}$$

3.4.3.4 Número de espiras

El número de espiras se obtiene con la ecuación 13.

$$N_a = N_t - N_i$$

$$N = 12 - 1$$

$$N = 11$$

Teniendo en cuenta que el tratamiento que se le realiza a los extremos del resorte son extremos en bruto lijados, el número de espiras activas es 11

3.4.3.5 Constante k del resorte e índice del resorte

Para obtener la constante k se debe remplazar los datos ya obtenidos y el módulo de elasticidad de 80 GPa basarse al anexo 4 el cual es del alambre de piano A228.

$$\varnothing D_e = 22 \text{ mm} = 0.022 \text{ m}$$

$$\varnothing D = 20 \text{ mm} = 0.020 \text{ m}$$

$$\varnothing D_m = 21 \text{ mm} = 0.021 \text{ m}$$

$$d = 2 \text{ mm} = 0.002 \text{ m}$$

$$N = 11$$

$$G = 80 * 10^9 \text{ Pa}$$

Se usa la ecuación 15 para calcular la constante k.

$$k = \frac{d^4 G}{8 D m^3 N}$$

$$k = \frac{0.002^4 \text{ m}^4 * 80 * 10^9 \text{ Pa}}{8 * 0.021^3 \text{ m}^3 * 11}$$

$$k = 1570.61 \text{ N/m}$$

$$k = 1.57 \text{ N/mm}$$

3.4.3.6 Índice del resorte

Se usa la ecuación 15 para obtener el índice del resorte

$$C = \frac{Dm}{d}$$
$$C = \frac{0.021 \text{ m}}{0.002 \text{ m}}$$
$$C = 10.5$$

Para la constante K_w que es el cortante directo se usa la ecuación 16 con los datos obtenidos anteriormente.

$$K_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0.615}{C}$$
$$K_w = \frac{4 * 10.5 - 1}{4 * 10.5 - 4} + \frac{0.615}{10.5}$$
$$K_w = 1.137$$

3.4.3.7 Esfuerzo de torsión

Para obtener la torsión que se aplica en el resorte se usa la ecuación 16 para para calcular el K_s y para obtener τ el se usa la ecuación 17 y la fuerza axial F aplicada es la carga máxima que se va aplicar al sistema que es de 40N.

$$K_s = \frac{2C + 1}{2C}$$
$$K_s = \frac{2 * 10.5 + 1}{2 * 10.5}$$
$$K_s = 1.048$$

3.4.3.8 Esfuerzo cortante de operación

$$\tau = K_s \frac{8FDm}{\pi d^3}$$
$$\tau = 1.048 \frac{8 * 40 \text{ N} * 0.021 \text{ m}}{\pi 0.002^3 \text{ mm}^3}$$
$$\tau = 280214559 \text{ Pa} = 280.215 \text{ MPa}$$

Puesto que el esfuerzo de operación obtenido del esfuerzo cortante de operación (τ) es menor que el esfuerzo torsional máximo permisible (S_{sy}) para aplicaciones estáticas, el resorte es seguro en cuanto a la resistencia.

3.4.3.9 Deflexión de resortes helicoidales

Se usa la ecuación 18.

$$y = \frac{F}{k}$$
$$y = \frac{40 \text{ N}}{1570.61 \text{ N/m}}$$

$$y = 0.02547 \text{ m} = 25.47 \text{ mm}$$

3.4.3.10 Longitud de operación

Se usa la ecuación 19.

$$L_f = L_o - y$$

$$L_f = 100 \text{ mm} - 25.47 \text{ mm}$$

$$L_f = 74.53 \text{ mm}$$

3.4.3.11 Longitud sólida

Se usa la ecuación 20.

$$L_s = d \cdot N$$

$$L_s = 2 \text{ mm} \times 11$$

$$L_s = 22 \text{ mm}$$

3.4.3.12 Esfuerzo máximo en la longitud comprimida

Se usa la ecuación 21.

$$F_s = k (L_f - L_s)$$

$$F_s = 1.57 \text{ N/mm} (74.53 \text{ mm} - 22 \text{ mm})$$

$$F_s = 82.472 \text{ N}$$

3.4.3.13 Esfuerzo o tensión en la longitud comprimida

Se utiliza la ecuación 17.

$$\tau_1 = K_s \frac{8F_s D m}{\pi d^3}$$

$$\tau_1 = 1.048 \frac{8 * 82.472 \text{ N} * 0.021 \text{ m}}{\pi * (0.002 \text{ m})^3}$$

$$\tau_1 = 577.75 \text{ MPa}$$

Ya que el esfuerzo que se presenta en la longitud sólida es menor que el esfuerzo torsional máximo permisible para aplicaciones estáticas, el resorte es seguro cuando se da la fuerza máxima.

3.4.4 SELECCIÓN DEL MOTOR

En la norma ASTM G99 – 95 localizada en el anexo 6 apartado 5.2 se recomienda utilizar un motor de velocidad variable, pero que su vibración no afecta a la prueba, las velocidades son típicamente en el rango de 0,3 a 3 rad / s, 3 a 30 rev / min.

La Velocidad de rotación a la que se gira las Probetas normadas, a menos que fuera cero ha sido típicamente en el intervalo de 1,5 a 5,24 rad / s, 15 a 50 rev / min. Los análisis que hace la norma mencionada son basados en ensayos que se realizan en laboratorios y a materiales que van a trabajar

teóricamente dentro de las velocidades especificadas en la norma (Jiménez & Granda, 2015).

Para este proyecto se seleccionará un motor que tenga una velocidad de salida de 0 rpm y que aumente progresivamente a un rango de 850 a 950 rpm que son velocidades típicas en las que trabaja un motor en ralentí, estas consideraciones se toman para sacar datos parecidos al momento de operación de un motor de automóvil y ver la fricción que puede ocurrir al momento de estar en contacto una camisa con los rines del pistón.

Las características del motor utilizado para este tribómetro “abrasivo pin disco”, se encuentran en anexo 16.

3.4.4.1 Cálculos de potencia del motor

Para la selección del motor se asume una velocidad de operación de:

$$V_{\text{operación}} = N1 = 1800 \text{ rpm}$$

En lo referente al torque total de trabajo, este es generado por el torque que realizan las cargas más el torque inicial del sistema.

$$T_{\text{Total}} = T_W + T_I$$

Fuerza de empuje tiene el valor de la carga Máxima aplicada en las pruebas es de:

$$F_t = 40 \text{ N}$$

Además, tiene un eje para el acople con el recipiente con diámetro $d_1 = 0.021$ m. Ya que el desgaste generado a la probeta es tan bajo se puede asumir que los factores f y d tienen un valor de:

$$f = d = 0.01 \text{ mm}$$

Utilizando la tabla de valores de potencia unitaria para materiales seleccionados del anexo 5 y asumiendo que el material de la probeta es un acero al carbono se tiene que P_u es igual a 2.8 N/mm^2 la cual se utiliza en la ecuación 22.

$$F_c = f * d * P_u$$

$$F_c = 0.01 \text{ mm} * 0.01 \text{ mm} * 2.8 \text{ N/mm}^2$$

$$F_c = 0.00028 \text{ N}$$

Reemplazando los valores de las fuerzas y con un ángulo $\alpha = 45^\circ$ se tiene que: La obtención de la fuerza de corte con la ecuación 23 y la fuerza normal con la ecuación 24.

$$F = F_c * \sin(\alpha) + F_t * \cos(\alpha)$$

$$F = 0.00028 \text{ N} * \sin(45^\circ) + 40 \text{ N} * \cos(45^\circ)$$

$$F = 28.284 \text{ N}$$

$$N = F_t \cdot \cos(\alpha) - F_c \cdot \sin(\alpha)$$

$$N = 40\text{N} \cdot \cos(45^\circ) - 0.00028\text{N} \cdot \sin(45^\circ)$$

$$N = 28.284\text{ N}$$

Para el cálculo del torque se necesita la ecuación 25 para la fuerza resultante y la ecuación 29 para el torque.

- Fuerza resultante.

$$R = \sqrt{F^2 + N^2}$$

$$R = \sqrt{28.284^2 + 28.284^2}$$

$$R = 40\text{N}$$

- Cálculo del Torque motor.

$$T_w = R \cdot d_1$$

$$T_w = 40\text{N} \cdot 0.021\text{ m}$$

$$T_w = 0.84\text{N} \cdot \text{m}$$

- Cálculo del Torque Inercial.

$$T_I = I(N \cdot \text{m}) \cdot \alpha(\text{rad/seg})$$

I: Momento de inercia de todo el conjunto movido por el motorreductor.

El valor de la inercia del conjunto es dado por una herramienta de Diseño Asistido por Computadora y es de:

$$I = 0.0001219\text{ kg m}^2$$

α : es el valor de la aceleración angular. Para el cálculo de la aceleración angular, se debe tener en cuenta que al iniciar una prueba y al encender la unidad de potencia motriz, este debe garantizar que la velocidad de régimen escogida se alcance al transcurrir un tiempo prudente, pues la velocidad máxima no puede ser alcanzada abruptamente, ya que el indentador experimentaría un golpeteo o saltos sobre la superficie de la probeta, por lo tanto el valor de la aceleración angular se obtiene con la ecuación 28 pero primero se debe obtener w con la ecuación 28.

$$w = \frac{\pi \cdot N}{30}$$

$$w = \frac{\pi \cdot 28.267}{60}$$

$$w = 1.48\text{ rad / seg}$$

$$\alpha = \frac{\pi \cdot 1800\text{ rpm}}{8}$$

$$\alpha = 706\text{ rpm} = 74.022\text{ rad/seg}$$

Por lo tanto:

$$T_I = 0.0001219(\text{Kg m}^2) * 74.022(\text{rad/seg})$$

$$T_I = 0.0090 \text{ N m}$$

- Potencia necesaria del motor.

Súmanos T_w y T_I para obtener el torque total y para obtener la potencia se usa la ecuación 32.

$$T_{\text{Total}} = T_w + T_I$$

$$T_{\text{Total}} = 0.84 \text{ N*m} + 0.0090 \text{ N*m}$$

$$T_{\text{Total}} = 0.849 \text{ N*m}$$

$$P = T_{\text{Total}} * \omega$$

$$P = 0.849 \text{ N*m} * 1.48 \text{ rpm}$$

$$P = 1.257 \text{ kW} * \frac{1 \text{ Hp}}{0.746 \text{ Kw}}$$

$$P = 1.98 \text{ Hp}$$

La potencia indica la rapidez con que puede trabajar el motor. La potencia máxima es el mayor número obtenido de multiplicar el torque del motor por la velocidad de giro en que lo genera. La potencia se expresa en Kw (Kilo Vatios).

Al motor se le acoplará, por medio de un sistema de matrimonio un eje de acero AISI 1020, para así aumentar la distancia que existe entre el eje de salida del motor al sistema disco.

3.4.5 CÁLCULOS DEL EJE

El eje es un acero AISI 1045 diseñado bajo el criterio de fatiga, se toma estas consideraciones debido a que el elemento va a estar sometido a cargas y revoluciones variables:

- $S_{ut} = 65000 \text{ Psi}$
- $S_y = 38000 \text{ Psi}$

En los cálculos realizados para obtener la potencia del motor se obtuvo los datos de la velocidad angular y el torque inercial, mediante análisis en software se pudo calcular el momento máximo del mismo.

$$M = 63.92 \text{ N*mm}$$

$$T = 20.978 \text{ N* mm}$$

- Cálculo de Fatiga de la fecha.

Se utiliza la ecuación 30.

$$S'_e = 0.5 S_{ut}$$

$$S'_e = 0.5 * 65000 \text{ Psi}$$

$$S'_e = 32500 \text{ Psi}$$

- Factor de superficie.

$$C_{\text{superficie}} = a S_{ut}^b$$

$$C_{\text{superficie}} = 2.7 * 0.065 * 10^9 \text{ kpsi}^{-0.265}$$

$$C_{\text{superficie}} = 0.0229 \text{ kpsi}$$

Para determinar el valor modificado de la fatiga se usa la ecuación 31 para obtener S_e . Pero hay que tomar en cuenta que debido a que no se conoce el tamaño, que la temperatura no es elevada, que es un diseño preliminar todos esos valores son igual a 1.

$$S_e = C_{\text{carga}} * C_{\text{tamaño}} * C_{\text{superficie}} * C_{\text{confiabilidad}} * C_{\text{temperatura}} * S'_e$$

$$S_e = 1 * 1 * 0.0229 * 10^{-3} \text{ psi} * 1 * 1 * 32500 \text{ psi}$$

$$S_e = 0.9425 \text{ psi}^2$$

Factor de concentración de esfuerzos a torsión K_f se usa la ecuación 32 y para factor de concentración de esfuerzos a torsión K_{fs} se usa la ecuación 33. En el libro de Mecánica de Shigley da como datos:

$$K_f < S_y$$

$$K_{fs} = K_{fsm} = 1.5$$

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 0.5(3.5 - 1)$$

$$K_f = 2.25$$

$$K_{fs} = 1 + q(K_{ts} - 1)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.5(2 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.5$$

Ahora se procede a determinar el diámetro de la flecha aplicando la ecuación 34.

$$d := \left[\frac{32K_f}{\pi} \cdot \left[\left(K_f \cdot \frac{M}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fs} \cdot \frac{T}{S_y} \right)^2 \right] \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.892 \text{ pulg.}$$

3.5 CONSTRUCCIÓN

Para la construcción de un tribómetro “abrasivo pin disco” se usó un programa CAD para la elaboración de planos y además nos ayuda para los cálculos necesarios para la construcción del mismo.

3.5.1 ENSAMBLE

Después del mecanizado de piezas se procede al ensamble total de la estructura para verificar las tolerancias, la parte eléctrica en si el buen funcionamiento de la máquina. Se hizo un ensamble preliminar antes del pintado, lijado e instalación del circuito eléctrico para posteriormente hacer un ensamble definitivo.

3.5.2 PARTES

Para la construcción de cada pieza primero se adquirió la materia prima, luego se analizó de acuerdo a los planos que tipo de mecanizado como taladrado, fresado o torneado según sea el caso necesitaban para la fabricación de cada pieza.

3.5.2.1 Sistema Pin

Para el sistema pin es un conjunto que debe tener movilidad por lo que se mecanizó una corredera vertical tipo cilindro con rosca para que el sistema pin si puede desplazarse verticalmente al momento de calibrar la distancia que debe existir entre el pin y la probeta, así como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Corredera vertical.

Se realizó una corredera horizontal la cual tiene un rodamiento interior y con la ayuda de un tornillo se puede desplazar de izquierda a derecha y viceversa, con que también servirá para poder formar círculo de desgaste al momento de que se está realizando la prueba tribológica, el material que se decidió utilizar fue aluminio para que el sistema no fuera muy pesado, así como se muestra figura 10.

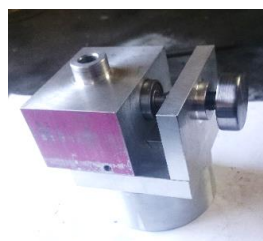


Figura 10. Corredera horizontal.

Por el medio de la corredera horizontal y corredera vertical está atravesado un eje, en la parte superior se encuentra un porta peso, el cual va hacer el encargado como su nombre lo dice de colocación de las pesas las cuales varían de 10N a 40 N. en la parte inferior, se localiza el porta indentador el que tiene la función de sujeción del indentador. En el interior del eje pin se encuentra un resorte que tiene como función de mantener el peso muerto del sistema hasta que se coloque un peso en el porta pesas.

Se fabricó un acople del recipiente con motor este está encargado de transmitir las revoluciones del motor al recipiente en el cual se fijarán las probetas, el recipiente de forma cilíndrica cuenta una tapa para evitar la salida de lubricante al momento que rotación del recipiente, las probetas se fijaran gracias a unas pinzas de sujeción que se encuentran en el interior del depósito y las cuales se pueden inmovilizar ya que se se pueden unir con tornillos con el recipiente.

Para la mesa se compró un tubo de acero cuadrado de 6 metros ASTM A 500 de 2 pulgadas por dos pulgadas, después se dispuso hacer los cortes respectivos para cada una de las piezas y luego de comprobar las dimensiones y estabilidad se procedió a soldar los pedazos para luego colocar en la parte superior una plancha de 500 mm * 500 mm para que sirva para asentamiento del sistema pin de la máquina. Es muy importante revisar el paralelismo y la perpendicularidad de la mesa ya que si no está correctamente alineada el tribómetro empezará a sufrir vibración y eso provocará un mal análisis del desgaste.

Después de hacer y colocar la estructura y plancha de tol de la mesa, se procede a instalar un soporte de sujeción para el motor el cual va estar dentro de la mesa y suspendido en el aire, se tuvo mucho cuidado para que el eje del motor se encuentre en el centro de la mesa para que se pueda acoplar con el recipiente tribológico, como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Mesa y motor del tribómetro "abrasivo pin disco".

Se acopló el motorreductor al eje de entrada empernándola a la base de la bancada.

Una pequeña mesa se fabricó para que soporte el sistema pin y cree una distancia entre el recipiente y el sistema pin el cual cuenta con 4 tubos cilíndricos que servirán de columnas de dicha estructura. Así como se presenta en la figura12.



Figura 12. Placa plástica, recipiente y sistema Pin del tribómetro “abrasivo pin disco”.

Ya para terminar se dispuso a ser la parte eléctrica la cual se basa en un tablero como se presenta en la figura 13 en cual controla el funcionamiento de tres formas:

1. Cuando se quiere hacer una prueba tribológica de dos metales en seco.
2. Esta es cuando se aspira hacer las pruebas con un lubricante.
3. Y por último cuando se pretende hacer la prueba con lubricante y con una temperatura específica.



Figura 13. Tablero Electrónico.

En los Anexo 8 se muestran los esquemas eléctricos para el funcionamiento del tablero del tribómetro “abrasivo pin disco”.

3.6 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para las pruebas efectuadas hay que tomar en cuenta varios parámetros como son las cargas aplicadas, tipo de material, la revolución del motor, el periodo de tiempo, tipo de lubricante y la temperatura que se desea calentar el lubricante estos parámetros se pueden modificar al gusto del operario o del estudiante que desea realizar el ensayo. En este caso se realizó cuatro casos diferentes como se muestra en la tabla 11.

Cada probeta cilíndrica como se ve en la figura 14 tiene un diámetro de 30 mm con una altura de 10 mm, pero puede tener un rango de 10mm a 50 mm de diámetro y el pin cilíndrico era de 3 mm de diámetro y 30 mm de altura.



Figura 14. Pin y Probeta antes de las pruebas con el tribómetro.

Se retira material a la probeta con lijas de agua con tamaño de grano de 200, 600, 1500. Además, se pesa el pin y probeta antes y después de cada prueba, para analizar volumen perdido con una balanza electrónica con 0.0001 lb de precisión luego se cambió las unidades a gr como se presenta en la tabla 11. El acero AISI 1045 tiene como características:

- Resistencia a la tracción de 570 MPa
- Límite de fluencia de 310 MPa
- Dureza de 163 HB

Tabla 11. Parámetros de pruebas con el tribómetro “abrasivo pin disco”

Material Probeta	Material Pin	Carga	Tiempo	Lubricante	Temperatura
AISI 1045	AISI 4340	40 N	10 veces de 10 min	Grasa Tribology	50° C
AISI 1045	AISI 4340	20 N	10 veces de 10 min	Grasa Tribology	50° C
AISI 1045	AISI 4340	40 N	10 veces de 10 min	Sin lubricante	25° C
AISI 1045	AISI 4340	20 N	10 veces de 10 min	Sin lubricante	25° C

Tabulación de datos obtenidos de las pruebas con el acero AISI 1045 como probeta y El acero AISI 4340 como pin, sometidos a temperatura y lubricante, y sin temperatura y sin lubricante.

3.6.1 RESULTADOS OBTENIDOS

La grasa a utilizar es tribology red Gold sus características se encuentran en el anexo 15, la tabulación de los datos de las pruebas con el tribómetro “abrasivo pin disco” se encuentran en el anexo 9 basados en la tesis cita (Jiménez & Granda, 2015) la que se encuentra la tabulación de datos y diagramas de dispersión localizada en el anexo 10.

En la figura 15 se muestra un desgaste progresivo de la probeta, con la variedad de tiempo de 50 minutos, se observa un desgaste significativo con carga de 40N con temperatura y grasa.



Figura 15. Desgaste vs Tiempo AISI 1045 a 40N con grasa y temperatura.

En la figura 16 se muestra un desgaste progresivo de la probeta, con la variedad de tiempo de 90 minutos, se observa un desgaste significativo con carga de 20N con temperatura y grasa, el diagrama sigue teniendo una tendencia correcta la diferencia con la carga de 40 N con temperatura y grasa, es que existe un desgaste menor.

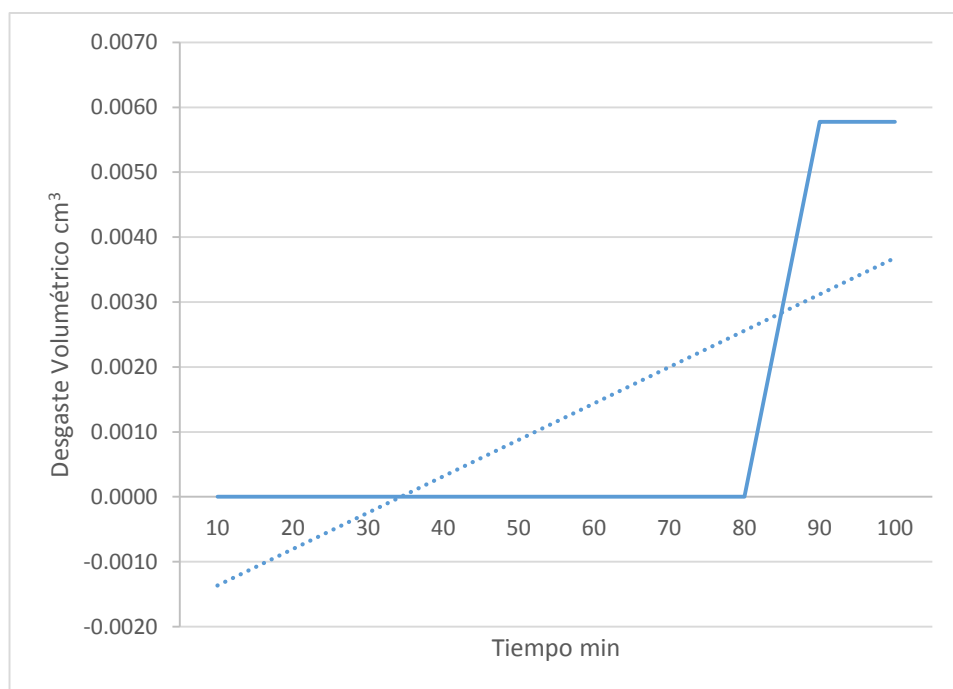


Figura 16. Desgaste vs Tiempo AISI 1045 a 20N con grasa y temperatura.

En la figura 17 se muestra un desgaste progresivo de la probeta, con la variedad de tiempo de 10 minutos, se observa un desgaste con carga de 40N sin temperatura y sin grasa.

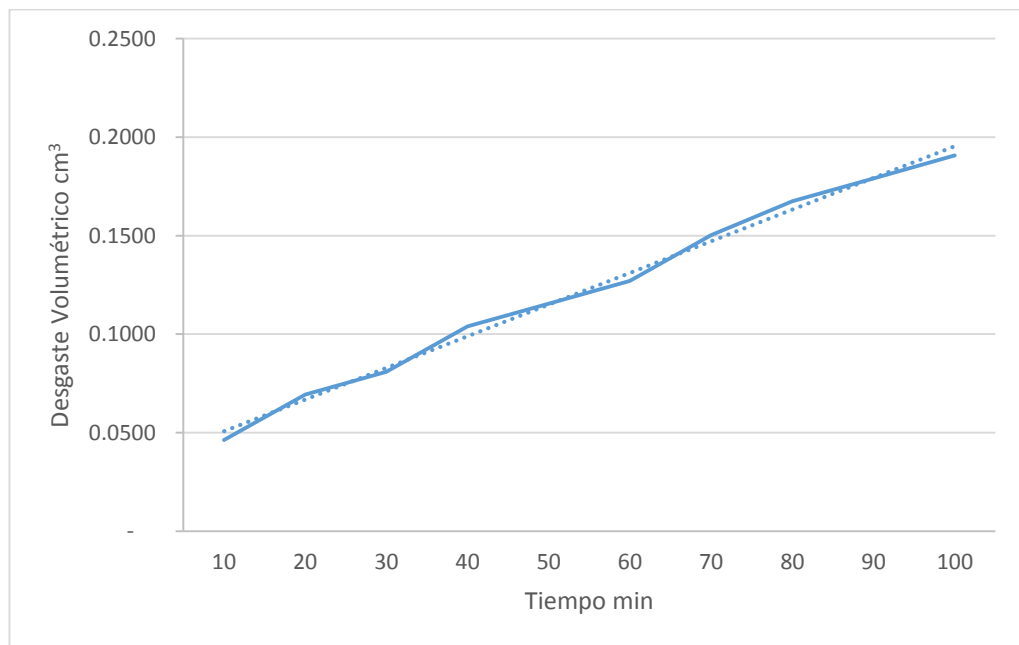


Figura 17. Desgaste vs Tiempo AISI 1045 a 40N sin grasa y sin temperatura.

En la figura 18 se muestra un desgaste progresivo de la probeta, con la variedad de tiempo de 10 minutos, se observa un desgaste con carga de 20N, sin temperatura y sin grasa, el diagrama sigue teniendo una tendencia correcta la diferencia con la carga de 40 N sin temperatura y sin grasa, es que existe un desgaste menor.

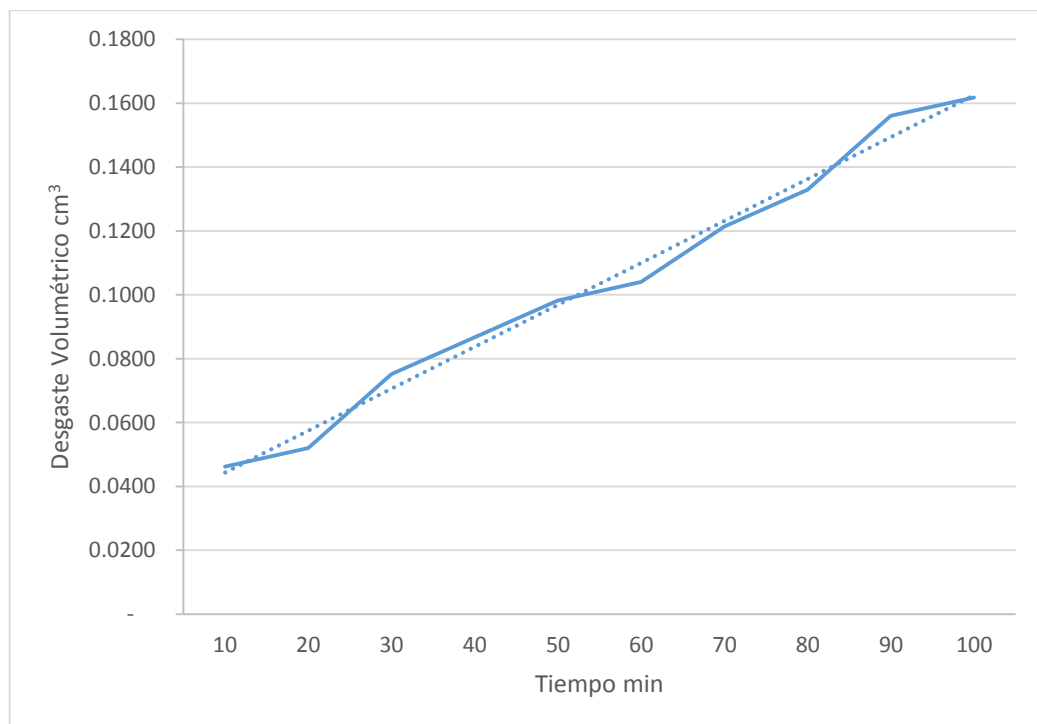


Figura 18. Desgaste vs Tiempo AISI 1045 a 20N sin grasa y sin temperatura.

Los ensayos presentados en la tabla 12 se puede observar que existe un incremento progresivo de desgaste a través del tiempo, además está de acuerdo con la norma ASTM G99 donde se dice el que el desgaste que sufren las probetas ensayadas debe ser progresivo en el transcurrir del tiempo.

Tabla 12. Datos estadísticos de las pruebas con el tribómetro “abrasivo pin disco”

Material	Carga	Lubricante	Temperatura	\bar{X}	σ	V %
AISI 1045	40 N	Grasa Tribology	50° C	0.00001	3.16228E-05	31.62
AISI 1045	20 N	Grasa Tribology	50° C	0.00001	3.16228E-05	31.62
AISI 1045	40 N	Sin lubricante	25° C	0.0003	0.000038	12.67
AISI 1045	20 N	Sin lubricante	25° C	0.0002	0.0000119	5.95

\bar{X} = media aritmética, σ = desviación estándar poblacional.

Desviación estándar y coeficiente de variación se calcula con las ecuaciones 35 y 36 respectivamente.

En el anexo 9 se encuentra las tabulaciones de las pruebas realizadas con el tribómetro “abrasivo pin disco”, en las que se puede observar que existe un mayor desgaste cuando existe mayor carga ya que existe mayor desprendimiento de material entre pruebas de 40N vs 20N ya que con 40N sin temperatura y sin lubricante el desperdicio total fue de 0.1907 gr/ cm³ y 20N sin temperatura y sin lubricante el desperdicio total fue de 0.1618 gr/ cm³, además en comparación de los ensayos con lubricación y temperatura vs sin lubricación y sin temperatura se obtuvo como resultado que existe un desgaste de material mínimo con lubricación ya que con 40N con temperatura y con lubricante el desperdicio total fue de 0.0058 gr/ cm³ y 40N sin temperatura y sin lubricante el desperdicio total fue de 0.1907gr/ cm³.

La norma ASTM G99-04 señala que en pruebas del laboratorio el coeficiente de variación en los resultados de desgaste no debe exceder del 15% y al obtener un coeficiente de variación máximo de 12.67% sin lubricante se puede concluir que las pruebas son válidas. Cuando existe grasa tiene un coeficiente de variación de 31.62% esto ocurre ya que el desgaste entre piezas es mínimo, pero sigue cumpliendo con la norma ASTM G99 la que dice que se debe incrementar el desgaste al paso del tiempo, lo recordable sería aumentar los parámetros como las rpm, la temperatura y sobretodo el periodo de tiempo en caso de usar lubricante.

3.7 ANÁLISIS FINANCIERO

En analizar los costos financieros como se observa en la tabla 13 hay que tomar en cuenta la adquisición de los materiales, la mano de obra para el maquinado de las piezas, las pruebas de funcionamiento, entre otros a continuación se presenta de forma detallada estos montos.

Tabla 13. Costos Generales del tribómetro “abrasivo pin disco” a fabricar.

TOTAL COSTOS GENERALES	
Materiales y mano de obra	\$ 2000.00
Estipendio estudiantil	\$ 1200.00
Pruebas de funcionamiento	\$ 600.00
Transporte	\$ 100.00
Otros	\$ 300.00
Subtotal	\$ 4200.00
IMPREVISTOS (10% del Subtotal)	\$ 420.00
TOTAL GENERAL (USD)	\$ 4620.00

Este monto es un aproximado del valor real total adicionando una variación del valor por motivos de imprevisto en cualquiera de los ítems anteriores.

3.7.1 COSTOS DE MATERIALES

Para la fabricación del tribómetro “abrasivo pin disco” se establece una lista de los materiales ocupados para cada una de las piezas utilizadas en la máquina, gracias se logrará tener un valor total del aparato y de cada pieza. En la tabla 14 se detalla cada pieza con su respectivo costo.

Tabla 14. Costos y tipo de materiales de cada pieza

NOMBRE	MATERIAL	CANT.	MEDIDAS	PRECIO \$
Acople motor	Transmisión	1	Diam. 30x55	35.00
Soporte probeta	Aluminio	1	Diam. 60x35	31.50
Eje de acople	Acero plata	1	Diam. 10x230	14.00
Resorte	Acero	1		10.50
Eje porta indentador	Transmisión	1	Diam. 20x60	31.50
Tuerca	Transmisión	1	Diam. 20x10	1.40
Indentador	Acero plata	1	Diam. 10x 100	30.10
Pin alojador peso	Transmisión	1	Diam. 7x60	17.50
Placa	Transmisión	1	250x250x6	14.00
Eje de acople	Transmisión	4	Diam. 3/8x257	61.60
Tornillo	Transmisión	1	Diam. 30x40	17.50
Placa lateral	Aluminio	1	70x40x15	45.50
Soporte corredera	Aluminio	1	70x70x52	112.00
Corredera sist.	Aluminio	1	70x55x55	154.00
Tuerca de altura	Transmisión	1	Diam. 70.5x38	72.80
Buje fijo	Transmisión	1	Diam. 60x53	42.00
Tuerca apriete	Transmisión	1	Diam. 60x5	10.50
Arandela presión	Transmisión	1	Diam. 70.5x2	5.60
Buje fijo	Transmisión	1	Diam. 6x20	5.60
Recipiente	Transmisión	1	Diam. 150x109	157.50
Base recipiente	Transmisión	1	Diam. 100x30	35.00
Tapa recipiente	Transmisión	1	Diam. 150x5	31.50
Mesa	Tubo cuadrado 2"x2"	1	50x50x7220	140.00
Plancha mesa	Plancha 10 mm	1	500x500	49.00
Paletas regulables	Chaveta	4	10x60	42.00
Tablero eléctrico		1		350.00
TOTAL		31		\$ 1517.60

3.7.2 COSTOS DE MANO DE OBRA

El costo de mano de obra son todos los valores monetarios que solicitaron de una o varias personas para que se realice un específico trabajo, en la tabla 9 se muestra al personal, costo y la actividad que realizaron para poder fabricar el tribómetro “abrasivo pin disco”.

En la tabla 15 se detalla los costos de la mano de obra.

Tabla 15. Costos de mano de obra

OCUPACIÓN	ACTIVIDADES	COSTO \$
Maestro metal mecánico	Torneado, Fresado	600.00
Auxiliar mecánico	Taladrado	356.00
Soldador	Suelda Eléctrica	122.00
Pintor	Pintar Piezas	60.00
Estudiante	Planos de la máquina	1200.00
Total		\$ 2338.00

3.7.3 COSTOS ADICIONALES

Estos costos son valores que no tiene que ver directamente con la fabricación de la máquina pero que sin ellos no se podían haber culminado, el aparato en la tabla 16 se presentan los siguientes montos.

Tabla 16. Valores indirectos

DESCRIPCIÓN	COSTO \$
Papelería	60.00
Transporte	65.00
Varios	350.00
Total	475.00

Las características que son similares al tribómetro que se va a fabricar es de la empresa Nanovea que tiene como nombre T50 y tiene un precio de \$46400 sin tomar en cuenta la importación del aparato, sin embargo, sin contar con este adicional se compara los dos montos. En la tabla 17 de estable una sumatoria de los costos de fabricar un tribómetro “abrasivo pin disco”.

Tabla 17. Costos totales del proyecto del Tribómetro

Descripción	Costos \$
Materia Prima	1517,60
Mano de obra	2238.00
Valores adicionales	475.00
Total	\$ 4230.60

Se compara entre los dos valores: $\$46400.00/\$4230.60=10.96$.

Nos da como resultado que es 10.96 veces más barato fabricar tribómetro “abrasivo pin disco”. Con los datos obtenidos se puede llegar a la conclusión que es factible la construcción de la máquina que comprar con algún distribuidor.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un tribómetro “abrasivo pin disco” el que permite cambios de parámetros en carga, revolución, temperatura, y lubricación, teniendo como factor de seguridad 13.41 en el cálculo estructural, el cual debe ser mayor a 1 para que sea una estructura confiable.
- Se analizó el desgaste abrasivo del acero AISI 1045 utilizado como probeta, obteniendo como resultado que el porcentaje del coeficiente de variación de dicho acero es de 12.67% sin lubricación, cumpliendo con la norma ASTM G99 – 04 donde dice que el porcentaje del coeficiente de variación debe ser menor al 15%.
- Se verificó la diferencia que existe entre una prueba de desgaste abrasivo con lubricación y sin lubricación, dando como resultado que el porcentaje del coeficiente de variación con lubricante es de 31.62%, el cual no cumple con la norma ASTM G99 – 04 donde dice que el porcentaje del coeficiente de variación debe ser menor a 15%, esto es debido a que no existe un desgaste significativo en periodo de 10 minutos utilizando lubricante.
- Se elaboró un manual de uso y mantenimiento del tribómetro “abrasivo pin disco”, permitiendo alargar la vida útil de la máquina y proporcionar seguridad para los operarios de la misma.

4.2 RECOMENDACIONES

- Modificar el tribómetro “abrasivo pin disco” para disminuir la vibración en el sistema pin de la máquina.
- Implementar al tribómetro “abrasivo pin disco”, un software que permita mostrar datos estadísticos en tiempo real del desgaste volumétrico versus tiempo.
- Elaborar estudios del desgaste volumétrico utilizando otros materiales como bronce, aluminio, titanio entre otros, recurriendo a este equipo.
- Modificar el sistema pin del tribómetro para optimizar el tiempo al momento del cambio de probetas.

5. BIBLIOGRAFÍA

5. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, E. (15 de 07 de 2015). *Himiya*. Obtenido de <http://l.exam-10.com/himiya/7495/index.html>
- Barral, R., & López, P. (2014). *Prototipo de tribómetro anillo sobre bloque para obtención de curvas de fricción*. Mexico DF: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
- Blau, P. (1992). *Friction, Lubrication, and Wear Technology*. United States of America: ASM Handbook.
- Cadenas, P. (febrero de 2007). Efecto del tratamiento térmico posterior sobre la resistencia al desgaste por deslizamiento de un recubrimiento base níquel depositado por hvof. *Revista de metalurgia*, 52.
- Castillo, A. (2016). *Webdelprofesor*. Obtenido de http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/argicast/materias/materia2/CLASE_VIGAS.html
- Feira, Q. (04 de mayo de 2011). *Mj Física*. Obtenido de <http://mjfisica.blogspot.com/2011/05/la-densidad-de-los-cuerpos.html>
- Figueroa, M. (2009). *Diseño mecánico integral y manufactura de los componentes mecánicos de máquina tribológica de cuatro bolas para ensayos lubricados*. Mexico, D.F.: Instituto politécnico nacional.
- Fort, M. (29 de 09 de 2016). *Reliabilityweb*. Obtenido de <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/los-lubricantes/>
- Gómez, M. (2005). *Caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Hibbeler, R. (2010). *Estática*. Mexico: Pearson educación.
- Hugh, Y., & Rogers, F. (2009). *Física Universitaria*. Mexico: Pearson Educación.
- Jiménez, S., & Granda, J. (2015). *Diseño y construcción de un tribómetro rotatorio para evaluación del desgaste abrasivo de materiales en seco*. Quito: ESPE.
- Kallejero, E. (27 de noviembre de 2011). *Blogger*. Obtenido de <http://rozamiento.blogspot.com/>
- López, A. (2015). *Ensayos tribológicos*. Veracruz, México: Universidad Veracruzana.
- López, Ó. (2008). *Estudio tribológico de fricción y desgaste de capas de aleación NIP*. Barcelona: Escuela Técnica Superior de ingeniería industrial de Barcelona.
- Martínez, E. (2013). *Cálculo Helicoidal de compresión*. Cartajena: Universidad Politécnica de Cartajena.
- Martínez, F. (2002). *La Tribología ciencia y técnica para el mantenimiento*. Mexico,D.F.: Limusa Noriega Editores.
- Master, S. (2010). *Sae Master*. Obtenido de <http://www.saemaster.com/2016/06/fisica-general-fase-3-grupo-2-3.html>
- Mott, R. (2009). *Resistencia de los materiales*. México DF: Perarson Educación.
- Murias, D. (09 de Mayo de 2016). *Circula seguro*. Obtenido de <http://www.circulaseguro.com/que-hacer-caso-derrapaje-curva/>

- Norton, R. (2011). *Diseño de máquinas - un enfoque integrado*. Mexico DF: Person educación.
- Obispo, A. (2016). *Microlog*. Obtenido de http://www.microlog.net/mininoticias/esfuerzos_mecanicos_microlog.pdf
- Olivares, R. (12 de septiembre de 2016). *EcuRed*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Rozamiento>
- Olivares, R. (29 de 09 de 2016). *Ecured*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Viscosidad>
- Pedrero, J. (2009). *Efecto del Recubrimiento por Triboadhesión y Bisulfuro de Molibdeno en el Desempeño y Desgaste de Anillos de Motores de Combustión Interna*. Cuernavaca: Cenidet.
- Piovan, M. (2014). *Conceptos básicos de la Teoría de Lubricación y de Tribología en general Cojinetes Hidrodinámicos Radiales*. Ambato: UTN.
- Quijorna, A. (2007). *Elementos de máquinas*. Castilla: Universidad de Castilla.
- Rivera, A. (2007). *Diseño y construcción de un tribometro rotatorio*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Shigley, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Torres, E. (2012). *Introducción al estudio de los mecanismos de desgaste mecánico*. Cuba: Universidad de Matanzas.
- Vazquez, H. (26 de septiembre de 2014). *Monografias*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos15/coeficiente-friccion/coeficiente-friccion.shtml>
- Veloza, A. (2016). *Física ECCI*. Obtenido de <https://andyveloza.wordpress.com/primer-corte-2/tematica-del-curso-2/concepto-presion/tabla-de-densidades/>
- WEG, G. (2016). *Motores Eléctricos*. Obtenido de <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacion-50039910-manual-espanol.pdf>
- Wingquist, S. (2016). *Manual Lubricación SKF Entrenamiento grasa*. Estocolmo.
- Zemansky, M. (2009). *Física Universitaria*. Monterrey: Pearson Educación.

6. ANEXOS

6. ANEXOS

ANEXO 1.

Coeficiente de fricción entre cuerpos

Materiales en contacto	Fricción estática	Fricción cinética
Hielo // Hielo	0,1	0,11
Vidrio // Vidrio	0,9	0,4
Vidrio // Madera	0,25	0,2
Madera // Cuero	0,4	0,3
Madera // Piedra	0,7	0,3
Madera // Madera	0,4	0,3
Acero // Acero	0,74	0,57
Acero // Hielo	0,03	0,02
Acero // Latón	0,5	0,4
Acero // Teflón	0,04	0,04
Teflón // Teflón	0,04	0,04
Caucho // Cemento (seco)	1,0	0,8
Caucho // Cemento (húmedo)	0,3	0,25
Cobre // Hierro (fundido)	1,1	0,3
Esquí (encerachimbodo) // Nieve (0°C)	0,1	0,05
Articulaciones humanas	0,01	0,003

Fricción estática y dinámica entre diferentes materiales.
(Olivares , 2016)

ANEXO 2.

Clasificación de los procesos del desgaste

Tipo de desgaste	Clasificación
Desgaste adhesivo o por deslizamiento	Desgaste suave
	Desgaste severo y escofinado
Desgaste abrasivo	Desgaste debido al maquinado
	Abrasión por fractura frágil
	Erosión por impacto de partículas
	Abrasión de tres cuerpos
	Abrasión por ranurado
Desgaste por fatiga	Fatiga por contacto de rodadura
	Desgaste de percusión
	Erosión por cavitación
	Desgaste por laminación
Desgaste corrosivo	Degradación fisicoquímica de la superficie del material
Desgaste combinado	Desgaste por movimiento oscilatorio de pequeña amplitud (<i>fretting</i>)

Diseño mecánico integral y manufactura de los componentes mecánicos de máquina tribológica de cuatro bolas para ensayos lubricados.
(Figuroa, 2009)

ANEXO 3.

Tipo de alambre para el resorte

Material	ASTM núm.	Exponente <i>m</i>	Diámetro, pulg	<i>A</i> , kpsi · pulg ^{<i>m</i>}	Diámetro, mm	<i>A</i> , MPa · mm ^{<i>m</i>}	Costo relativo del alambre
Alambre de piano*	A228	0.145	0.004-0.256	201	0.10-6.5	2 211	2.6
Alambre T y R en aceite†	A229	0.187	0.020-0.500	147	0.5-12.7	1 855	1.3
Alambre estirado duro‡	A227	0.190	0.028-0.500	140	0.7-12.7	1 783	1.0
Alambre al cromo vanadio§	A232	0.168	0.032-0.437	169	0.8-11.1	2 005	3.1
Alambre al cromo silicio¶	A401	0.108	0.063-0.375	202	1.6-9.5	1 974	4.0
Alambre inoxidable 302#	A313	0.146	0.013-0.10	169	0.3-2.5	1 867	7.6-11
		0.263	0.10-0.20	128	2.5-5	2 065	
		0.478	0.20-0.40	90	5-10	2 911	
Alambre de bronce fosforado**	B159	0	0.004-0.022	145	0.1-0.6	1 000	8.0
		0.028	0.022-0.075	121	0.6-2	913	
		0.064	0.075-0.30	110	2.7-5	932	

Constantes *A* y *m* de $S_{ut} = A/d^m$ para estimar la resistencia de tensión mínima de alambres para fabricar resortes comunes

ANEXO 4.

Propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte

Material	Límite elástico, porcentaje de S_{ut} tensión, torsión		Diámetro d , pulg	E		G	
				Mpsi	GPa	Mpsi	GPa
Alambre de piano A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033-0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
Resorte estirado duro A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033-0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064-0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6
Templado en aceite A239	85-90	45-50		28.5	196.5	11.2	77.2
Resorte de válvula A230	85-90	50-60		29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo vanadio A231	88-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
A232	88-93			29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo silicio A401	85-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
Acero inoxidable							
A313*	65-75	45-55		28	193	10	69.0
17-7PH	75-80	55-60		29.5	208.4	11	75.8
414	65-70	42-55		29	200	11.2	77.2
420	65-75	45-55		29	200	11.2	77.2
431	72-76	50-55		30	206	11.5	79.3
Bronce fosforado B159	75-80	45-50		15	103.4	6	41.4
Cobre al berilio B197	70	50		17	117.2	6.5	44.8
	75	50-55		19	131	7.3	50.3
Aleación inconel X-750	65-70	40-45		31	213.7	11.2	77.2

ANEXO 5.

Valores de potencia unitaria en hp y energía específica para materiales seleccionados usando herramientas de corte

Material	Dureza Brinell	Energía específica. o potencia unitaria		Caballos de fuerza unitaria
		N- m/mm ³	ln-lb/in ³	HP/(in ³ /min)
Acero al carbono	150-200	1.6	240000	0.6
	201-250	2.2	320000	0.8
	251-300	2.8	400000	1.0
Aceros aleados	200-250	2.2	320000	0.8
	251-300	2.8	400000	1.0
	301-350	3.6	520000	1.3
	351-400	4.4	640000	1.6
Hierros fundidos	125-175	1.1	160000	0.4
	175-250	1.6	240000	0.6
Acero Inoxidable	150-250	2.8	400000	1.0
Aluminio	50-100	0.7	100000	0.25
Aleaciones de Al	100-150	0.8	120000	0.3
Latón	100-150	2.2	320000	0.8
Bronce	100-150	2.2	320000	0.8
Aleaciones de Mg	50-100	0.4	60000	0.15

ANEXO 6.

Norma ASTM g 99 – 95a



Designation: G 99 – 95a (Reapproved 2000)^{e1}

Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus¹

This standard is issued under the fixed designation G 99; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{e1} NOTE—Editorial corrections were made throughout in May 2000.

1. Scope

1.1 This test method describes a laboratory procedure for determining the wear of materials during sliding using a pin-on-disk apparatus. Materials are tested in pairs under nominally non-abrasive conditions. The principal areas of experimental attention in using this type of apparatus to measure wear are described. The coefficient of friction may also be determined.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process²
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods²
- E 178 Practice for Dealing with Outlying Observations²
- G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion³

2.2 Other Standard:⁴

- DIN-50324 Testing of Friction and Wear

3. Summary of Test Method

3.1 For the pin-on-disk wear test, two specimens are required. One, a pin with a radiused tip, is positioned perpendicular to the other, usually a flat circular disk. A ball, rigidly held, is often used as the pin specimen. The test machine causes either the disk specimen or the pin specimen to revolve about the disk center. In either case, the sliding path is a circle on the disk surface. The plane of the disk may be oriented

either horizontally or vertically.

NOTE 1—Wear results may differ for different orientations.

3.1.1 The pin specimen is pressed against the disk at a specified load usually by means of an arm or lever and attached weights. Other loading methods have been used, such as, hydraulic or pneumatic.

NOTE 2—Wear results may differ for different loading methods.

3.2 Wear results are reported as volume loss in cubic millimetres for the pin and the disk separately. When two different materials are tested, it is recommended that each material be tested in both the pin and disk positions.

3.3 The amount of wear is determined by measuring appropriate linear dimensions of both specimens before and after the test, or by weighing both specimens before and after the test. If linear measures of wear are used, the length change or shape change of the pin, and the depth or shape change of the disk wear track (in millimetres) are determined by any suitable metrological technique, such as electronic distance gaging or stylus profiling. Linear measures of wear are converted to wear volume (in cubic millimetres) by using appropriate geometric relations. Linear measures of wear are used frequently in practice since mass loss is often too small to measure precisely. If loss of mass is measured, the mass loss value is converted to volume loss (in cubic millimetres) using an appropriate value for the specimen density.

3.4 Wear results are usually obtained by conducting a test for a selected sliding distance and for selected values of load and speed. One set of test conditions that was used in an interlaboratory measurement series is given in Table 1 and Table 2 as a guide. Other test conditions may be selected depending on the purpose of the test.

3.5 Wear results may in some cases be reported as plots of wear volume versus sliding distance using different specimens for different distances. Such plots may display non-linear relationships between wear volume and distance over certain portions of the total sliding distance, and linear relationships over other portions. Causes for such differing relationships include initial “break-in” processes, transitions between regions of different dominant wear mechanisms, etc. The extent of such non-linear periods depends on the details of the test system, materials, and test conditions.

3.6 It is not recommended that continuous wear depth data

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee G02 on Wear and Erosion and is the direct responsibility of Subcommittee G02.40 on Non-Abrasive Wear.

Current edition approved Nov. 10, 1995. Published January 1996. Originally published as G 99-90. Last previous edition G 99 – 95.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.02.

⁴ Available from Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstrasse 6, 1000 Berlin 30, Germany.

TABLE 1 Characteristics of the Interlaboratory Wear Test Specimens

NOTE 1—See Note 4 in 10.4 for information.

	Composition (weight%)	Microstructure	Hardness (HV 10)	Roughness ^A	
				$R_{p,2}$ (mean) (μm)	R_a (mean) (μm)
Steel ball (100 Cr6) (AISI 52 100) ^B Diameter 10 mm	1.35 to 1.65 Cr ← 0.95 to 1.10 C 0.15 to 0.35 Si 0.25 to 0.45 Mn	martensitic with minor carbides and austenite	838 ± 21	0.100	0.010
Steel disc (100 Cr6) (AISI 52 100) ^C Diameter 40 mm	← <0.030 P ← <0.030 S	martensitic with minor carbides and austenite	852 ± 14	0.952	0.113
Alumina ball, diameter = 10 mm ^D	← 95 % Al ₂ O ₃ (with additives of TiO ₂ , MgO and ZnO)	equi-granular alpha alumina with very minor secondary phases	1610 ± 101 (HV 0.2)	1.369	0.123
Alumina disc, diameter = 40.6 mm ^D			1599 ± 144 (HV 0.2)	0.968	0.041

^A Measured by stylus profilometry. $R_{p,2}$ is maximum peak-to-valley roughness. R_a is arithmetic average roughness.

^B Standard ball-bearing balls (SKF).

^C Standard spacers for thrust bearings (INA).

^D Manufactured by Compagnie Industrielle des Ceramiques Electroniques, France.

TABLE 2 Results of the Interlaboratory Tests^A

NOTE 1—See Note 4 in 10.4.

NOTE 2—Numbers in parentheses refer to all data received in the tests. In accordance with Practice E 178, outlier data values were identified in some cases and discarded, resulting in the numbers without parentheses. The differences are seen to be small.

NOTE 3—Values preceded by ± are one standard deviation.

NOTE 4—Between eleven and twenty laboratories provided these data.

NOTE 5—Calculated quantities (for example, wear volume) are given as mean values only.

NOTE 6—Values labeled “NM” were found to be smaller than the reproducible limit of measurement.

NOTE 7—A similar compilation of test data is given in DIN-50324.

Results (ball) (disk)	Specimen Pairs			
	Steel-steel	Alumina-steel	Steel-alumina	Alumina-alumina
Ball wear scar diameter (mm)	2.11 ± 0.27 (2.11 ± 0.27)	NM	2.08 ± 0.35 (2.03 ± 0.41)	0.3 ± 0.06 (0.3 ± 0.06)
Ball wear volume (10 ⁻³ mm ³)	198 (198)	...	186 (169)	0.08 (0.08)
Number of values	102 (102)	...	60 (64)	56 (59)
Disk wear scar width (mm)	NM	0.64 ± 0.12 (0.64 ± 0.12)	NM	NM
Disk wear volume (10 ⁻³ mm ³)	...	480 (480)
Number of values	...	60 (60)
Friction coefficient	0.60 ± 0.11	0.76 ± 0.14	0.60 ± 0.12	0.41 ± 0.08
Number of values	109	75	64	76

^A Test conditions: $F = 10\text{ N}$; $v = 0.1\text{ ms}^{-1}$; $T = 23^\circ\text{C}$; relative humidity range 12 to 78 %; laboratory air; sliding distance 1000 m; wear track (nominal) diameter = 32 mm; materials: steel = AISI 52 100; and alumina = $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

obtained from position-sensing gages be used because of the complicated effects of wear debris and transfer films present in the contact gap, and interferences from thermal expansion or contraction.

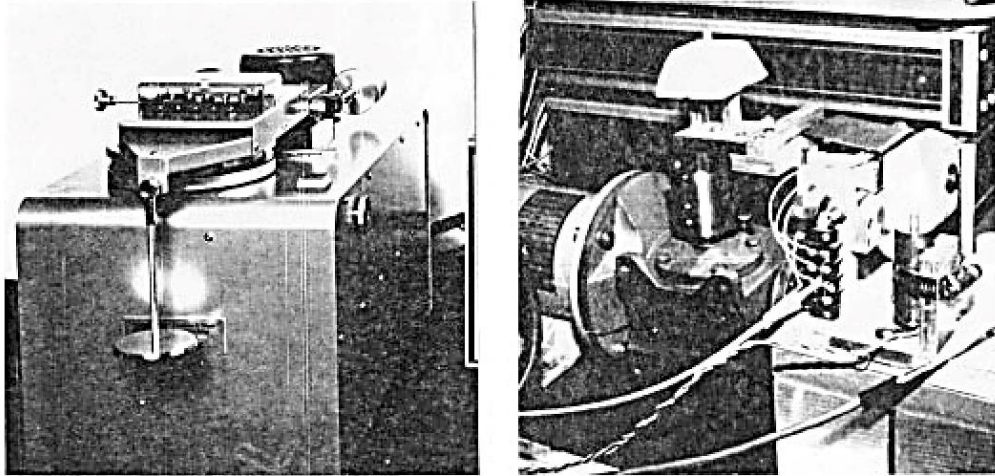
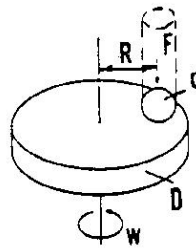
4. Significance and Use

4.1 The amount of wear in any system will, in general, depend upon the number of system factors such as the applied load, machine characteristics, sliding speed, sliding distance, the environment, and the material properties. The value of any wear test method lies in predicting the relative ranking of material combinations. Since the pin-on-disk test method does not attempt to duplicate all the conditions that may be experienced in service (for example; lubrication, load, pressure, contact geometry, removal of wear debris, and presence of corrosive environment), there is no assurance that the test will predict the wear rate of a given material under conditions differing from those in the test.

5. Apparatus

5.1 General Description—Fig. 1 shows a schematic drawing of a typical pin-on-disk wear test system, and photographs of two differently designed apparatuses.⁵ One type of typical system consists of a driven spindle and chuck for holding the revolving disk, a lever-arm device to hold the pin, and attachments to allow the pin specimen to be forced against the revolving disk specimen with a controlled load. Another type of system loads a pin revolving about the disk center against a stationary disk. In any case the wear track on the disk is a

⁵ A number of other reported designs for pin-on-disk systems are given in “A Catalog of Friction and Wear Devices,” American Society of Lubrication Engineers (1973). The sole source of supply of commercially built machines known to the committee at this time is Falex Corp., 1020 Airpark Dr., Sugar Grove, IL 60554. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,¹ which you may attend.



NOTE 1— F is the normal force on the pin, d is the pin or ball diameter, D is the disk diameter, R is the wear track radius, and w is the rotation velocity of the disk.

FIG. 1 (a) Schematic of pin-on-disk wear test system. (b) Photographs of two different designs.

circle, involving multiple wear passes on the same track. The system may have a friction force measuring system, for example, a load cell, that allows the coefficient of friction to be determined.

5.2 Motor Drive—A variable speed motor, capable of maintaining constant speed ($\pm 1\%$ of rated full load motor speed) under load is required. The motor should be mounted in such a manner that its vibration does not affect the test. Rotating speeds are typically in the range 0.3 to 3 rad/s (60 to 600 r/min).

5.3 Revolution Counter—The machine shall be equipped with a revolution counter or its equivalent that will record the number of disk revolutions, and preferably have the ability to shut off the machine after a pre-selected number of revolutions.

5.4 Pin Specimen Holder and Lever Arm—In one typical system, the stationary specimen holder is attached to a lever arm that has a pivot. Adding weights, as one option of loading, produces a test force proportional to the mass of the weights applied. Ideally, the pivot of the arm should be located in the plane of the wearing contact to avoid extraneous loading forces

due to the sliding friction. The pin holder and arm must be of substantial construction to reduce vibrational motion during the test.

5.5 Wear Measuring Systems—Instruments to obtain linear measures of wear should have a sensitivity of $2.5\ \mu\text{m}$ or better. Any balance used to measure the mass loss of the test specimen shall have a sensitivity of 0.1 mg or better; in low wear situations greater sensitivity may be needed.

6. Test Specimens and Sample Preparation

6.1 Materials—This test method may be applied to a variety of materials. The only requirement is that specimens having the specified dimensions can be prepared and that they will withstand the stresses imposed during the test without failure or excessive flexure. The materials being tested shall be described by dimensions, surface finish, material type, form, composition, microstructure, processing treatments, and indentation hardness (if appropriate).

6.2 Test Specimens—The typical pin specimen is cylindrical or spherical in shape. Typical cylindrical or spherical pin

specimen diameters range from 2 to 10 mm. The typical disk specimen diameters range from 30 to 100 mm and have a thickness in the range of 2 to 10 mm. Specimen dimensions used in an interlaboratory test with pin-on-disk systems are given in Table 1.

6.3 *Surface Finish*—A ground surface roughness of 0.8 μm (32 μin.) arithmetic average or less is usually recommended.

NOTE 3—Rough surfaces make wear scar measurement difficult.

6.3.1 Care must be taken in surface preparation to avoid subsurface damage that alters the material significantly. Special surface preparation may be appropriate for some test programs. State the type of surface and surface preparation in the report.

7. Test Parameters

7.1 *Load*—Values of the force in Newtons at the wearing contact.

7.2 *Speed*—The relative sliding speed between the contacting surfaces in metres per second.

7.3 *Distance*—The accumulated sliding distance in meters.

7.4 *Temperature*—The temperature of one or both specimens at locations close to the wearing contact.

7.5 *Atmosphere*—The atmosphere (laboratory air, relative humidity, argon, lubricant, etc.) surrounding the wearing contact.

8. Procedure

8.1 Immediately prior to testing, and prior to measuring or weighing, clean and dry the specimens. Take care to remove all dirt and foreign matter from the specimens. Use non-chlorinated, non-film-forming cleaning agents and solvents. Dry materials with open grains to remove all traces of the cleaning fluids that may be entrapped in the material. Steel (ferromagnetic) specimens having residual magnetism should be demagnetized. Report the methods used for cleaning.

8.2 Measure appropriate specimen dimensions to the nearest 2.5 μm or weigh the specimens to the nearest 0.0001 g.

8.3 Insert the disk securely in the holding device so that the disk is fixed perpendicular (±1°) to the axis of the resolution.

8.4 Insert the pin specimen securely in its holder and, if necessary, adjust so that the specimen is perpendicular (±1°) to the disk surface when in contact, in order to maintain the necessary contact conditions.

8.5 Add the proper mass to the system lever or bale to develop the selected force pressing the pin against the disk.

8.6 Start the motor and adjust the speed to the desired value while holding the pin specimen out of contact with the disk. Stop the motor.

8.7 Set the revolution counter (or equivalent) to the desired number of revolutions.

8.8 Begin the test with the specimens in contact under load. The test is stopped when the desired number of revolutions is achieved. Tests should not be interrupted or restarted.

8.9 Remove the specimens and clean off any loose wear debris. Note the existence of features on or near the wear scar such as: protrusions, displaced metal, discoloration, microcracking, or spotting.

8.10 Remeasure the specimen dimensions to the nearest 2.5 μm or reweigh the specimens to the nearest 0.0001 g, as appropriate.

8.11 Repeat the test with additional specimens to obtain sufficient data for statistically significant results.

9. Calculation and Reporting

9.1 The wear measurements should be reported as the volume loss in cubic millimetres for the pin and disk, separately.

9.1.1 Use the following equations for calculating volume losses when the pin has initially a spherical end shape of radius *R* and the disk is initially flat, under the conditions that only one of the two members wears significantly:

$$\begin{aligned} \text{pin (spherical end) volume loss, mm}^3 & \quad (1) \\ &= \frac{\pi (\text{wear scar diameter, mm})^4}{64 (\text{sphere radius, mm})} \end{aligned}$$

assuming that there is *no significant disk wear*. This is an approximate geometric relation that is correct to 1 % for (wear track width/sphere radius) < 0.3, and is correct to 5 % for (wear scar diameter/sphere radius) < 0.7. The exact equation is given in Appendix X1.

$$\begin{aligned} \text{disk volume loss, mm}^3 & \quad (2) \\ &= \frac{\pi (\text{wear track radius, mm})(\text{track width, mm})^3}{6 (\text{sphere radius, mm})} \end{aligned}$$

assuming that there is *no significant pin wear*. This is an approximate geometric relation that is correct to 1 % for (wear track width/sphere radius) < 0.3, and is correct to 5 % for (wear track width/sphere radius) < 0.8. The exact equation is given in Appendix X1.

9.1.2 Calculation of wear volumes for pin shapes of other geometries use the appropriate geometric relations, recognizing that assumptions regarding wear of each member may be required to justify the assumed final geometry.

9.1.3 Wear scar measurements should be done at least at two representative locations on the pin surfaces and disk surfaces, and the final results averaged.

9.1.4 In situations where both the pin and the disk wear significantly, it will be necessary to measure the wear depth profile on both members. A suitable method uses stylus profiling. Profiling is the only approach to determine the exact final shape of the wear surfaces and thereby to calculate the volume of material lost due to wear. In the case of disk wear, the average wear track profile can be integrated to obtain the track cross-section area, and multiplied by the average track length to obtain disk wear volume. In the case of pin wear, the wear scar profile can be measured in two orthogonal directions, the profile results averaged, and used in a figure-of-revolution calculated for pin wear volume.

9.1.5 While mass loss results may be used internally in laboratories to compare materials of equivalent densities, this test method reports wear as volume loss so that there is no confusion caused by variations in density. Take care to use and report the best available density value for the materials tested when calculating volume loss from measured mass loss.

9.1.6 Use the following equation for conversion of mass loss to volume loss.

$$\text{volume loss, mm}^3 = \frac{\text{mass loss, g}}{\text{density, g/cm}^3} \times 1000. \quad (3)$$

9.2 If the materials being tested exhibit considerable transfer between specimens without loss from the system, volume loss may not adequately reflect the actual amount or severity of wear. In these cases, this test method for reporting wear should not be used.

9.3 Friction coefficient (defined in Terminology G 40) should be reported when available. Describe the conditions associated with the friction measurements, for example, initial, steady-state, etc.

9.4 Adequate specification of the materials tested is important. As a minimum, the report should specify material type, form, processing treatments, surface finish, and specimen preparation procedures. If appropriate, indentation hardness should be reported.

10. Precision and Bias ⁶

10.1 The precision and bias of the measurements obtained with this test method will depend upon the test parameters chosen.

10.2 The reproducibility of repeated tests on the same material will depend upon material homogeneity, machine and material interaction, and careful adherence to the specified procedure by the machine operator.

10.3 Normal variations in the procedure will tend to reduce the accuracy of the test method as compared to the accuracy of such material property tests as hardness, density, or thermal expansion rate. Properly conducted tests should, however, maintain a within-laboratory coefficient of variation of 20 % or less for wear loss values. Table 2 contains wear data obtained

from interlaboratory tests (see Note 4). Standard deviation values are given for the measured quantities. Limits of 95 % repeatability can be obtained by multiplying those standard deviation values by the factor 2.8 ×. Reproducibility limits (between laboratories) are not available but are estimated to be twice as large as the repeatability limits.

10.4 No bias can be assigned to these results since there are no absolute accepted values for wear.

NOTE 4—The interlaboratory data given in Table 1 and Table 2 resulted through the cooperation of thirty one institutions in seven countries with the help of national representatives within the Versailles Advanced Materials and Standards (VAMAS) working party on wear test methods.⁷

10.5 In any test series, all data must be considered in the calculation, including outliers (data exceeding the obvious range); they are treated according to Practice E 178.

10.6 While two or more laboratories may develop test data that is within the acceptable coefficient of variation for their own individual test apparatus, the actual data of each laboratory may be relatively far apart. The selection of sample size and the test method for establishing the significance of the difference in averages shall be agreed upon between laboratories and shall be based on established statistical methods of Practice E 122, Practice E 177, and STP 15D.⁸

11. Keywords

11.1 ceramic wear; friction; metal wear; non-abrasive; pin-on-disk; wear

⁶ Additional data are available at ASTM Headquarters.

⁷ Czichos, H., Becker, S., and Lexow, J., *Wear*, Vol 114, 1987, pp 109–130 and *Wear*, Vol 118, 1987, pp 379–380.

⁸ Manual on Quality Control of Materials, ASTM STP 15D, ASTM, 1951.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. EQUATIONS

X1.1 Exact equations for determining wear volume loss are as follows for:

X1.1.1 A spherical ended pin:

$$\text{pin volume loss} = (\pi h/6)[3d^2/4 + h^2] \quad (X1.1)$$

where:

- h = $r - [r^2 - d^2/4]^{1/2}$
- d = wear scar diameter, and
- r = pin end radius.

Assuming no significant disk wear.

X1.1.2 A disk:

$$\text{disk volume loss} = 2\pi R [r^2 \sin^{-1}(d/2r) - (d/4)(4r^2 - d^2)^{1/2}] \quad (X1.2)$$

where:

- R = wear track radius, and
- d = wear track width.

Assuming no significant pin wear.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

ANEXO 7.

Propiedades de estructura del Acero ASTM 500

Dimensiones nominales		Peso teórico	Area A	Ejes X-X e Y-Y		
A	Espesor			I	W	i
mm	mm	Kgf/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
15	1,0	0,42	0,53	0,17	0,23	0,56
	1,5	0,59	0,75	0,22	0,29	0,54
20	1,0	0,58	0,73	0,43	0,43	0,77
	1,5	0,83	1,05	0,58	0,58	0,74
	2,0	1,05	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,0	0,73	0,93	0,88	0,71	0,97
	1,5	1,06	1,35	1,21	0,97	0,95
	2,0	1,36	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,0	0,89	1,13	1,57	1,05	1,18
	1,5	1,30	1,65	2,19	1,46	1,15
	2,0	1,68	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,0	1,20	1,53	3,85	1,93	1,59
	1,5	1,77	2,25	5,48	2,74	1,56
	2,0	2,31	2,94	6,93	3,46	1,54
	3,0	3,30	4,21	9,28	4,64	1,48

I es el momento de inercia, W es el módulo de resistencia y la i es el radio de giro.
(Catalogo CINTAC)

ANEXO 8.

Esquemas eléctricos para el funcionamiento del tablero del tribómetro “abrasivo pin disco”

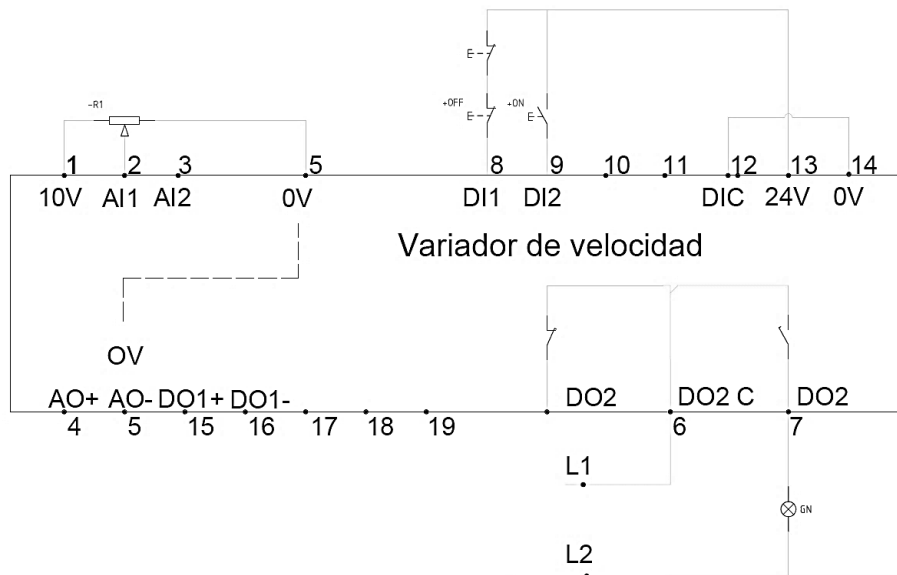


Figura 19. Variador de velocidad.

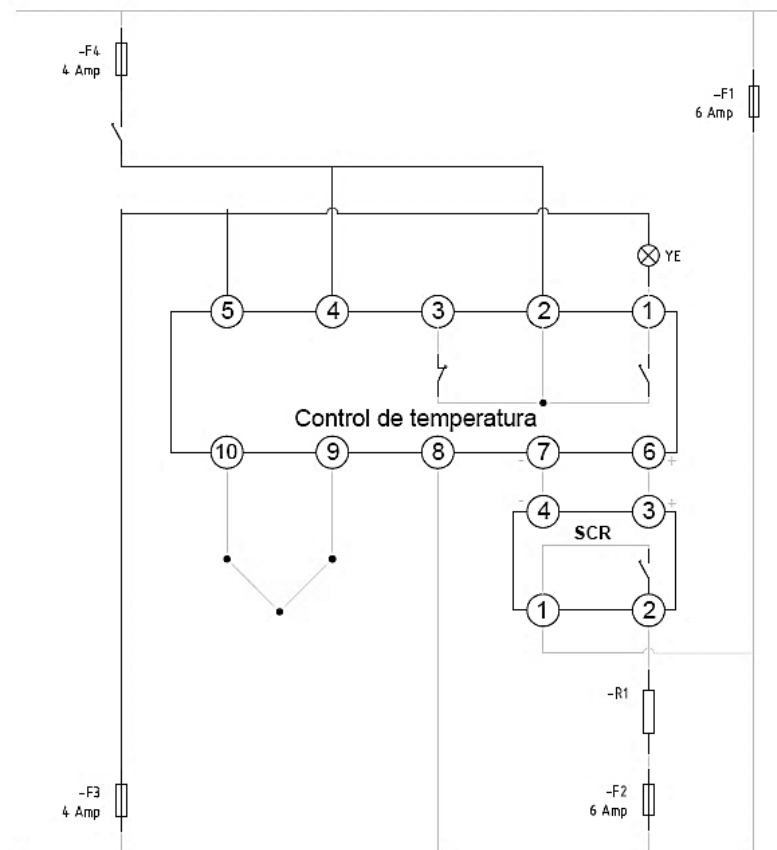


Figura 20. Controlador de temperatura.

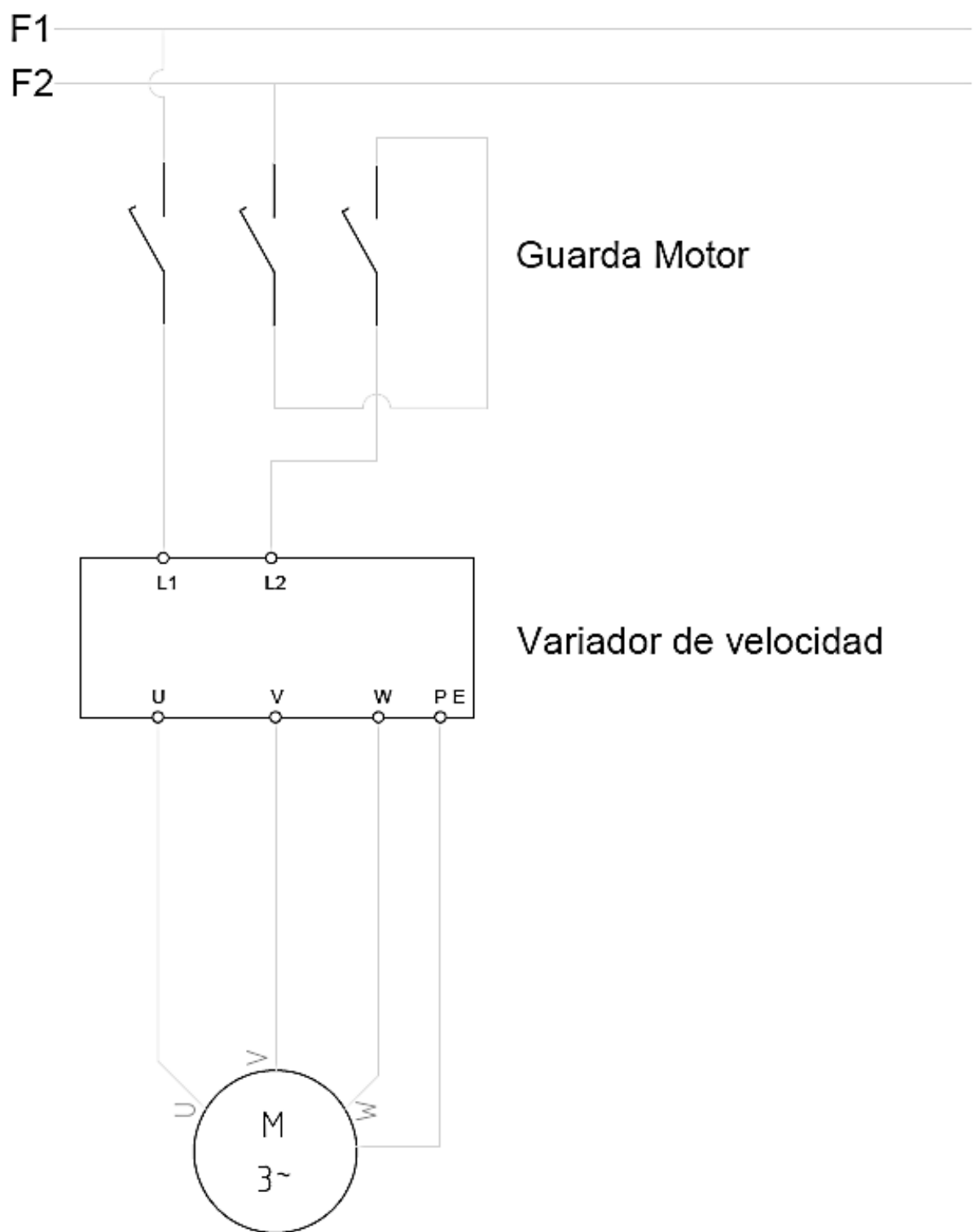


Figura 21. Esquema del Motor.

ANEXO 9.

Tabulación de datos obtenidos de las pruebas con el acero AISI 1045 como probeta y El acero AISI 4340 como pin, sometidos a temperatura y lubricante, y sin temperatura y sin lubricante desde la tabla 18 a la 23

Tabla 18. Perdida de material Probeta con 40N, con temperatura, y lubricante

Acero AISI 1045						
Revoluciones	600 rpm					
Carga aplicada	40 N					
Temperatura	50° C					
Lubricante	Grasa tribology					
Tiempo	Masa Inicial	Masa Final	Masa perdida	M pérdida acumulada	Masa Perdida	Desgaste
min	lb	lb	lb	lb	gr	gr/cm3
10	0.1406	0.1406	0	0	0.000000	0.000000
20	0.1406	0.1406	0	0	0.000000	0.000000
30	0.1406	0.1406	0	0	0.000000	0.000000
40	0.1406	0.1406	0	0	0.000000	0.000000
50	0.1406	0.1405	0.0001	0	0.045359	0.005778
60	0.1405	0.1405	0	0	0.000000	0.000000
70	0.1405	0.1405	0	0	0.000000	0.000000
80	0.1405	0.1405	0	0	0.000000	0.000000
90	0.1405	0.1405	0	0	0.000000	0.000000
100	0.1405	0.1405	0	0	0.000000	0.000000

No existe un desgaste del pin en esta prueba

Tabla 19. Perdida de material Probeta con 20N, con temperatura, y lubricante

Acero AISI 1045 Pin						
Revoluciones	600 rpm					
Carga aplicada	20 N					
Temperatura	50° C					
Lubricante	Grasa Tribology					
Tiempo	Masa Inicial	Masa Final	Masa perdida	M pérdida acumulada	Masa Perdida	Desgaste
min	lb	lb	lb	lb	gr	cm ³
10	0.1454	0.1454	0	0.0008	0.000000	0.000000
20	0.1454	0.1454	0	0.0008	0.000000	0.000000
30	0.1454	0.1454	0	0.0008	0.000000	0.000000
40	0.1454	0.1454	0	0.0008	0.000000	0.000000
50	0.1454	0.1454	0	0.0008	0.000000	0.000000
60	0.1454	0.1454	0	0.0008	0.000000	0.000000
70	0.1454	0.1454	0	0.0008	0.000000	0.000000
80	0.1454	0.1454	0	0.0008	0.000000	0.000000
90	0.1454	0.1453	0.0001	0.0009	0.045359	0.005778
100	0.1453	0.1453	0	0.0009	0.000000	0.005778

No existe un desgaste del pin en esta prueba

Tabla 20. Análisis de prueba pin con el acero AISI 4340 a 40 N sin temperatura y sin grasa

Acero AISI 4340 Pin						
Revoluciones	600 rpm					
Carga aplicada	40 N					
Temperatura	25° C					
Lubricante	Sin grasa					
Tiempo	Masa Inicial	Masa Final	Masa perdida	M pérdida acumulada	Masa Perdida	Desgaste
min	lb	lb	lb	lb	gr	cm ³
10	0.0036	0.0034	0.0002	0.0008	0.090718	0.011556
20	0.0034	0.0033	0.0001	0.0009	0.045359	0.005778
30	0.0033	0.0032	0.0001	0.0010	0.045359	0.005778
40	0.0032	0.0031	0.0001	0.0011	0.045359	0.005778
50	0.0031	0.0030	1E-04	0.0012	0.045359	0.005778
60	0.0030	0.0028	0.0002	0.0014	0.090718	0.011556
70	0.0028	0.0028	0	0.0014	0.000000	0.000000
80	0.0028	0.0027	0.0001	0.0015	0.045359	0.005778
90	0.0027	0.0026	0.0001	0.0016	0.045359	0.005778
100	0.0026	0.0025	0.0001	0.0016	0.045359	0.000000

Tabla 21. Perdida de material Probeta con 40N, con temperatura, y lubricante

Acero AISI 1045						
Revoluciones	600 rpm					
Carga aplicada	40 N					
Temperatura	25° C					
Lubricante	Sin lubricante					
Tiempo	Masa Inicial	Masa Final	Masa perdida	M pérdida acumulada	Masa Perdida	Desgaste
min	lb	lb	lb	lb	gr	gr/cm3
10	0.1408	0.1400	0.0008	0.0008	0.362874	0.0462
20	0.1400	0.1396	0.0004	0.0012	0.181437	0.0231
30	0.1396	0.1394	0.0002	0.0014	0.090718	0.0116
40	0.1394	0.1390	0.0004	0.0018	0.181437	0.0231
50	0.1392	0.1390	0.0002	0.0020	0.090718	0.0116
60	0.1390	0.1388	0.0002	0.0022	0.090718	0.0116
70	0.1388	0.1384	0.0004	0.0026	0.181437	0.0231
80	0.1383	0.1380	0.0003	0.0029	0.136078	0.0173
90	0.1379	0.1377	0.0002	0.0031	0.090718	0.0116
100	0.1377	0.1375	0.0002	0.0033	0.090718	0.0116

Tabla 22. Análisis de prueba pin con el acero AISI 4340 a 20N sin temperatura y sin grasa

Acero AISI 4340 Pin						
Revoluciones	600 rpm					
Carga aplicada	20 N					
Temperatura	25° C					
Lubricante	Sin Lubricante					
Tiempo	Masa Inicial	Masa Final	Masa perdida	M pérdida acumulada	Masa Perdida	Desgaste
Min	lb	lb	lb	lb	gr	cm ³
10	0.0028	0.0026	0.0002	0.0008	0.090718	0.011556
20	0.0026	0.0026	0	0.0008	0.000000	0.000000
30	0.0026	0.0026	0	0.0008	0.000000	0.000000
40	0.0026	0.0025	0.0001	0.0009	0.045359	0.005778
50	0.0025	0.0024	0.0001	0.0010	0.045359	0.005778
60	0.0024	0.0022	0.0002	0.0012	0.090718	0.011556
70	0.0022	0.0022	0	0.0012	0.000000	0.000000
80	0.0022	0.0021	0.0001	0.0013	0.045359	0.005778
90	0.0021	0.0021	0	0.0013	0.000000	0.000000
100	0.0021	0.0021	0	0.0013	0.000000	0.000000

Tabla 23. Perdida de material Probeta con 20N, con temperatura, y lubricante

Acero AISI 1045						
Revoluciones	600 rpm					
Carga aplicada	20 N					
Temperatura	25° C					
Lubricante	Sin Lubricante					
Tiempo	Masa Inicial	Masa Final	Masa perdida	M pérdida acumulada	Masa Perdida	Desgaste
min	lb	lb	lb	lb	gr	gr/cm3
10	0.1414	0.1413	1E-04	0.0008	0.045359	0.005778
20	0.1413	0.1412	0.0001	0.0009	0.045359	0.005778
30	0.1412	0.1408	0.0004	0.0013	0.181437	0.023113
40	0.1408	0.1406	0.0002	0.0015	0.090718	0.011556
50	0.1406	0.1404	0.0002	0.0017	0.090718	0.011556
60	0.1404	0.1403	1E-04	0.0018	0.045359	0.005778
70	0.1403	0.1400	0.0003	0.0021	0.136078	0.017335
80	0.1400	0.1398	0.0002	0.0023	0.090718	0.011556
90	0.1398	0.1394	0.0004	0.0027	0.181437	0.023113
100	0.1394	0.1393	1E-04	0.0028	0.045359	0.005778

ANEXO 10.

Datos de referencia de tesis (Jiménez & Granda, 2015)

TABLA 4.4: Pérdida de masa del pin Acero AISI M2

PARAMETROS DE PRUEBA ACERO AISI M2						
Carga Aplicada		20 N				
Revoluciones		900 Rpm				
MATERIAL	Tiempo	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida de Masa	Pérdida Acumulada	Desgaste
	min	g	g	mg	mg	mm ³
AISI M2	10	1,49	1,48	0,01	0,01	0,0013
	20	1,48	1,47	0,01	0,02	0,0013
	30	1,47	1,46	0,01	0,03	0,0013
	40	1,46	1,45	0,01	0,04	0,0013
	50	1,45	1,44	0,01	0,05	0,0013
	60	1,44	1,43	0,01	0,06	0,0013
	70	1,43	1,42	0,01	0,07	0,0013
	80	1,42	1,41	0,01	0,08	0,0013
	90	1,4	1,39	0,01	0,09	0,0013
	100	1,39	1,38	0,01	0,1	0,0013
	110	1,38	1,37	0,01	0,11	0,0013
	120	1,37	1,35	0,02	0,13	0,0025

(Jiménez & Granda, 2015)

TABLA 4.5: Pérdida de masa en la probeta AISI 1045

PARAMETROS DE PRUEBA ACERO AISI 1045						
Dureza		84 HB				
Carga Aplicada		20 N				
Revoluciones		900 rpm				
MATERIAL	Tiempo	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida de Masa	Pérdida Acumulada	Desgaste
	min	g	g	mg	mg	mm ³
AISI 1045	10	141	140,8	0,2	0,2	0,0255
	20	140,8	140,8	0,02	0,22	0,0025
	30	140,8	140,7	0,07	0,29	0,0089
	40	140,7	140,7	0,03	0,32	0,0038
	50	140,7	140,6	0,08	0,4	0,0102
	60	140,6	140,5	0,05	0,45	0,0064
	70	140,5	140,5	0,04	0,49	0,0051
	80	140,5	140,5	0,02	0,51	0,0025
	90	140,4	140,4	0,07	0,58	0,0089
	100	140,4	140,3	0,11	0,69	0,014
	110	140,3	140,2	0,06	0,75	0,0076
	120	140,2	140,1	0,05	0,8	0,0064

(Jiménez & Granda, 2015)

TABLA 4.6: Pérdida de masa en el pin Acero AISI M2

PARAMETROS DE PRUEBA ACERO AISI M2						
Carga Aplicada		20 N				
Revoluciones		900 rpm				
MATERIAL	Tiempo	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida de Masa	Pérdida Acumulada	Desgaste
	min	g	g	mg	mg	mm ³
AISI M2	10	1,39	1,38	0,01	0,01	0,0013
	20	1,38	1,37	0,01	0,02	0,0025
	30	1,37	1,35	0,02	0,04	0,0051
	40	1,35	1,33	0,02	0,06	0,0076
	50	1,33	1,29	0,04	0,1	0,0127
	60	1,29	1,28	0,01	0,11	0,014
	70	1,28	1,27	0,01	0,12	0,0153
	80	1,27	1,26	0,01	0,13	0,0166
	90	1,26	1,25	0,01	0,14	0,0178
	100	1,25	1,24	0,01	0,15	0,0191
	110	1,24	1,23	0,01	0,16	0,0204
	120	1,23	1,22	0,01	0,17	0,0217

(Jiménez & Granda, 2015)

TABLA 4.7: Pérdida de masa en la probeta AISI 1020

PARAMETROS DE PRUEBA ACERO AISI 1020						
Dureza		65 HB				
Carga Aplicada		40 N				
Revoluciones		600 rpm				
MATERIAL	Tiempo	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida de Masa	Pérdida Acumulada	Desgaste
	min	g	g	mg	mg	mm ³
AISI 1020	10	65,79	65,75	0,04	0,04	0,0051
	20	65,75	65,72	0,03	0,07	0,0089
	30	65,72	65,7	0,02	0,09	0,0115
	40	65,67	65,65	0,02	0,11	0,014
	50	65,65	65,63	0,02	0,13	0,0166
	60	65,63	65,6	0,03	0,16	0,0204
	70	65,6	65,58	0,02	0,18	0,0229
	80	65,58	65,55	0,03	0,21	0,0268
	90	65,55	65,53	0,02	0,23	0,0293
	100	65,5	65,47	0,03	0,26	0,0331
	110	65,45	65,43	0,02	0,28	0,0357
	120	65,43	65,4	0,03	0,31	0,0395

(Jiménez & Granda, 2015)

TABLA 4.8: Pérdida de masa en el pin Acero AISI M2

PARAMETROS DE PRUEBA ACERO AISI M2						
Carga Aplicada		40 N				
Revoluciones		600 rpm				
MATERIAL	Tiempo	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida de Masa	Pérdida Acumulada	Desgaste
	min	g	g	mg	mg	mm ³
AISI M2	10	1,39	1,38	0,01	0,01	0,0013
	20	1,38	1,37	0,01	0,02	0,0013
	30	1,37	1,36	0,01	0,03	0,0013
	40	1,36	1,35	0,01	0,04	0,0013
	50	1,35	1,33	0,02	0,06	0,0025
	60	1,33	1,29	0,04	0,10	0,0051
	70	1,29	1,25	0,04	0,14	0,0051
	80	1,25	1,23	0,02	0,16	0,0025
	90	1,23	1,20	0,03	0,19	0,0038
	100	1,20	1,19	0,01	0,20	0,0013
	110	1,19	1,17	0,02	0,22	0,0025
	120	1,17	1,15	0,02	0,24	0,0025

(Jiménez & Granda, 2015)

TABLA 4.9: Pérdida de masa en la probeta AISI 1045

PARAMETROS DE PRUEBA ACERO AISI 1045						
Dureza		84 HB				
Carga Aplicada		40 N				
Revoluciones		600 rpm				
MATERIAL	Tiempo	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida de Masa	Pérdida Acumulada	Desgaste
	min	g	g	mg	mg	mm ³
AISI 1045	10	132,57	132,52	0,05	0,22	0,03
	20	132,52	132,50	0,02	0,24	0,03
	30	132,50	132,47	0,03	0,27	0,03
	40	131,47	131,45	0,02	0,29	0,04
	50	131,45	131,41	0,04	0,33	0,04
	60	131,41	131,38	0,03	0,36	0,05
	70	131,38	131,35	0,03	0,39	0,05
	80	131,35	131,32	0,03	0,42	0,05
	90	131,32	131,30	0,02	0,44	0,06
	100	131,30	131,28	0,02	0,46	0,06
	110	131,28	131,25	0,03	0,49	0,06
	120	131,25	131,20	0,05	0,54	0,07

(Jiménez & Granda, 2015)

TABLA 4.10: Pérdida de masa en el pin Acero M2

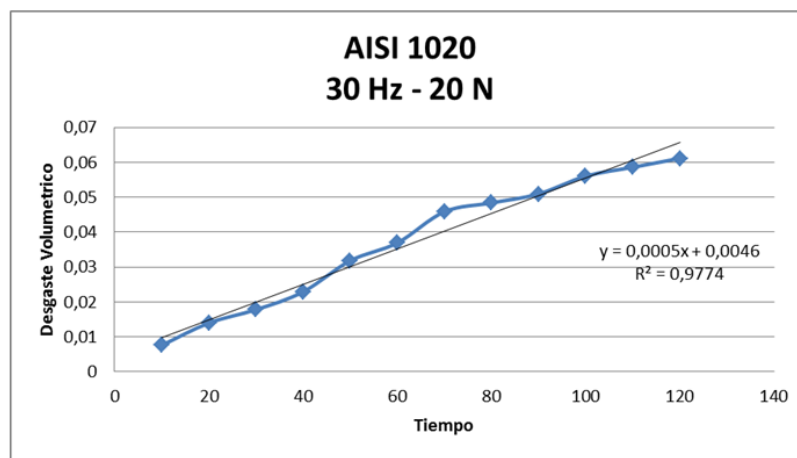
PARAMETROS DE PRUEBA ACERO AISI M2						
Carga Aplicada		40 N				
Revoluciones		600 rpm				
MATERIAL	Tiempo	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida de Masa	Pérdida Acumulada	Desgaste
	min	g	g	mg	mg	mm ³
AISIM2	10	1,29	1,28	0,01	0,01	0,0013
	20	1,28	1,27	0,01	0,02	0,0025
	30	1,27	1,26	0,01	0,03	0,0038
	40	1,26	1,25	0,01	0,04	0,0051
	50	1,25	1,23	0,02	0,06	0,0076
	60	1,23	1,19	0,04	0,10	0,0127
	70	1,19	1,15	0,04	0,14	0,0178
	80	1,15	1,13	0,02	0,16	0,0204
	90	1,13	1,10	0,03	0,19	0,0242
	100	1,10	1,09	0,01	0,20	0,0255
	110	1,09	1,07	0,02	0,22	0,0280
120	1,07	1,05	0,02	0,24	0,0306	

(Jiménez & Granda, 2015)

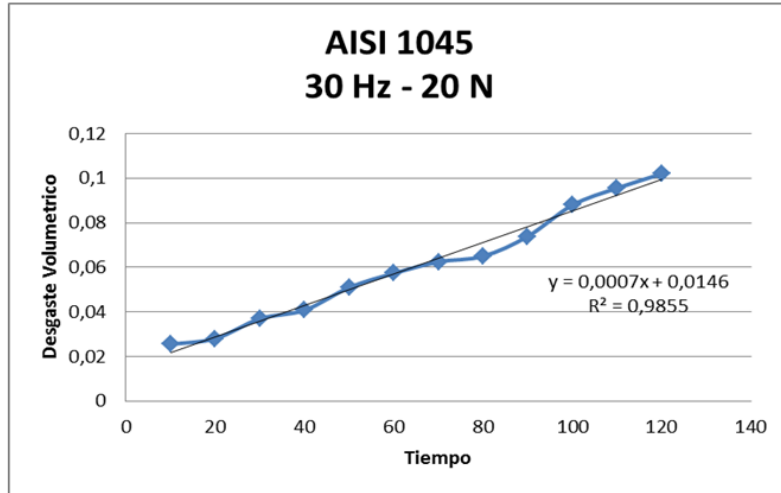
TABLA 4.11: Análisis del desgaste en las probetas

Análisis estadístico						
Material AISI	Carga	Número de Pruebas	Tiempo	Media	Desv. Estándar	Coef de Variación
	N		seg	\bar{X}	σ	%
1020	20	12	120	0,0611	0,0024	3,9728
1045	20	12	120	0,0667	0,0036	5,3973
1020	40	12	120	0,077	0,0098	12,7273
1045	40	12	120	0,0779	0,0087	11,1742

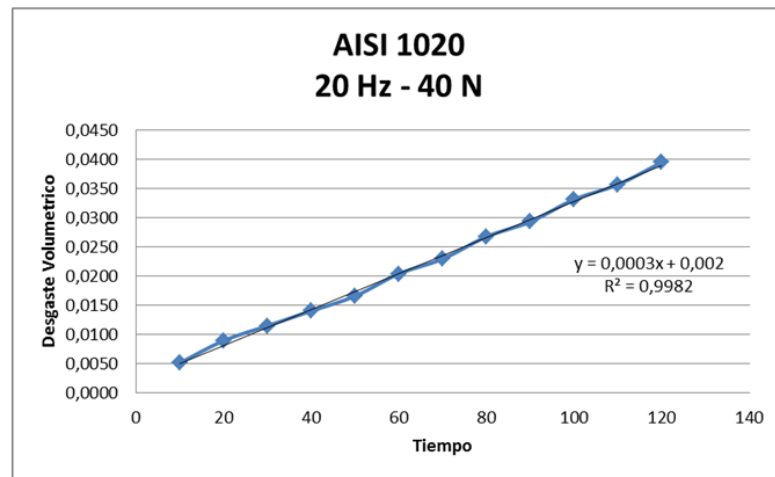
(Jiménez & Granda, 2015)



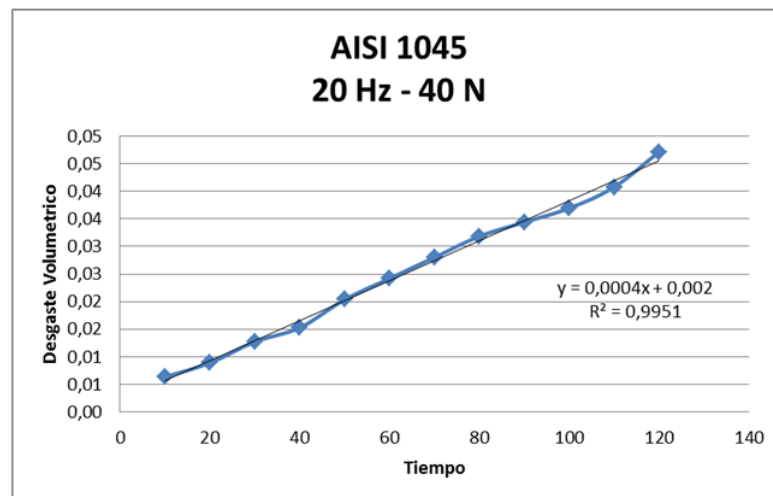
(Jiménez & Granda, 2015)



(Jiménez & Granda, 2015)



(Jiménez & Granda, 2015)



(Jiménez & Granda, 2015)

ANEXO 11.

Manual de funcionamiento tribómetro “abrasivo pin disco”

Inspección previa al manejo de la Máquina



ADVERTENCIA

No ponga en funcionamiento la máquina antes de:

Tomar las medidas de protección adecuadas, detalladas en este manual.

Consignas previas de seguridad antes de realizar cada prueba de laboratorio con el objetivo de detectar posibles daños de la máquina o lesiones de la persona que va a trabajar:

1. Leer el apartado sobre la inspección y medidas de seguridad, antes de poner en funcionamiento la máquina.
2. Inspeccionar el lugar en el cual va a funcionar la máquina.
3. Chequear visualmente todas las partes, verificando que se encuentre en buen estado, para que la máquina funcione correctamente.
4. Chequear que la máquina se encuentre nivelada.
5. Realizar pruebas de funcionamiento.
6. Al final de su utilización dejar limpiando la máquina y el área de trabajo.

Riesgos derivados del uso Incorrecto.

1. La máquina debe ser operada por personal autorizado.
2. La persona que vaya a operar la máquina puede sufrir lesiones, ya que tiene partes en movimiento.
3. La operación incorrecta puede dañar tanto las partes eléctricas como mecánicas.

Instalación

A continuación, se indican los procedimientos que deben realizarse para la puesta a punto del equipo.

Inserción de las probetas.

Teniendo en cuenta que cada probeta metálica. Ver figura 1. Debe cumplir con las dimensiones por parte del pin debe cumplir un cilindro de 3 mm de diámetro y 30 mm de altura y la probeta puede tener un rango de dimensiones de un cilindro de 10 mm a 50 mm de diámetro con una altura de 2 mm a 15 mm, se procede a ubicarla en el alojamiento del porta probeta de la siguiente manera:

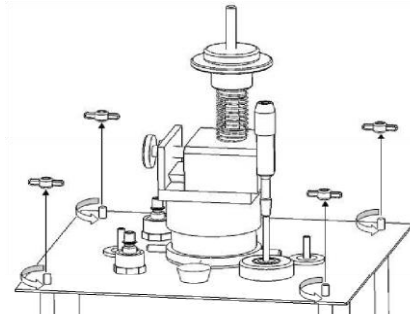


Figura 1. Probeta.

1. Desenrosque las tuercas que aseguran la placa de soporte de todo el conjunto superior. Ver figura 2.

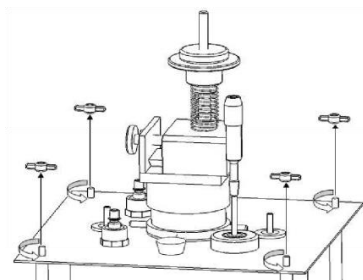


Figura 2. Retirada de las tuercas.

2. Desenrosque los pernos que sujetan la tapa del recipiente cilíndrico, retire la tapa y el empaque. Ver figura 3.

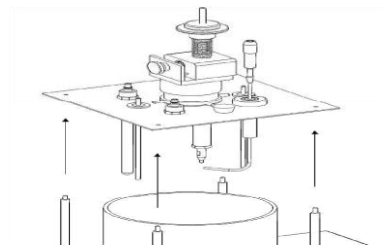


Figura 3. Retirada del conjunto superior.

3. Desenrosque los pernos de las mordazas que sujetan la probeta, luego colocar la probeta y a continuación ajustar fuertemente los pernos de tal manera que la probeta quede lista para realizar las pruebas. Ver figura 4.

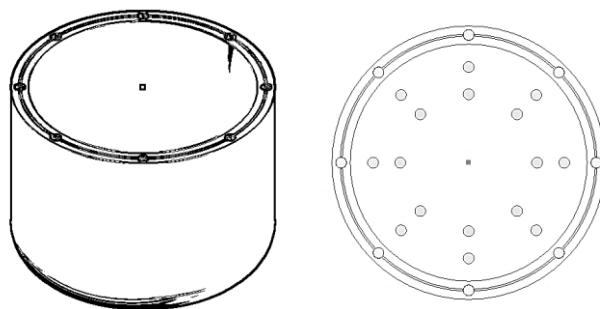


Figura 4. Recipiente.

4. Cuando se realice la prueba con lubricación poner la tapa del recipiente cilíndrico, empaque y el conjunto superior.
5. En el caso que vaya a realizar la prueba con lubricación poner el fluido de trabajo, coloque la resistencia, el termostato, la tapa del recipiente cilíndrico, empaque y el conjunto superior.

Operación del Tribómetro

A continuación, se enumeran los pasos que deben realizarse para el encendido y apagado del Tribómetro para una prueba **sin lubricación**.

1. Conecte la máquina a una línea de alimentación bifásica 220 Voltios.
2. En el interior del tablero de control ubique en la posición de encendido (On) los 2 interruptores magnéticos (Breaker) instalados para protección del circuito de control y el interruptor magnético (guarda motor) para protección del motor.

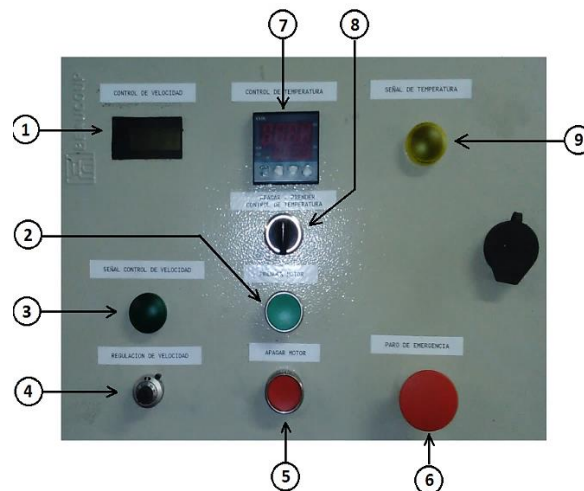


Figura 5. Puerta del tablero de control.

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. Control de velocidad | 6. Paro de emergencia |
| 2. Encendido del motor | 7. Control de temperatura |
| 3. Señal del control de velocidad | 8. Apagado y encendido del control de temperatura |
| 4. Regulación de velocidad | 9. Señal de temperatura |
| 5. Apagado de motor | |
3. Activar el variador de frecuencia oprimiendo el pulsador color verde, el cual está ubicado en la parte frontal de la puerta del tablero de control del tribómetro. Ver figura 5, punto 2. Para asegurarse que se encuentra activado chequear que el indicador luminoso (Led) color verde este encendido. Ver figura 5, punto 3
 4. Verificar que el indicador (display) del variador de frecuencia esté encendido. Ver figura 5, punto 1
 5. Mediante el sistema de posicionamiento del pin del tribómetro, lleve la punta del indentador hasta la superficie de la probeta y ajuste el radio de rayado en la probeta, por medio del tornillo deslizante de la corredera.
 6. Inserte en el porta pesos del tribómetro la carga de prueba.

7. Girar el potenciómetro que se encuentra en la parte frontal del tablero en sentido horario y ajustar a la velocidad deseada para el ensayo. Ver figura 5, punto 4.
8. Luego que el motor llega a la velocidad de régimen, se inicia la prueba
9. Después de terminar la prueba, girar el potenciómetro que se encuentra en la parte frontal del tablero en sentido anti-horario hasta llegar a cero. Ver figura 5, punto 4.
10. Apagar el variador de frecuencia accionando el pulsador color rojo, luego de haber terminado la prueba. Ver figura 5, punto 5.
11. En el interior del tablero de control, ubique en la posición de apagado (Off) los 2 interruptores magnéticos (Breaker) instalados para protección del circuito de control y el interruptor magnético (guarda motor) para protección del motor.
12. Desconecte el equipo de la línea de alimentación.

Nota: En caso de que suceda algún imprevisto, presionar el botón de emergencia tipo hongo color rojo, el cual está ubicado en la parte frontal de la puerta del tablero de control del tribómetro. Ver figura 5, punto 6.

A continuación, se enumeran los pasos que deben realizarse para el encendido del Tribómetro para una prueba **con lubricación**.

1. Poner el lubricante en el interior del recipiente cilíndrico.
2. Repetir los pasos N° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, que se realizan para la prueba sin lubricación.
3. Ubicar el selector control de temperatura en la posición prender, el cual está ubicado en la parte frontal de la puerta del tablero de control del tribómetro. Para asegurarse que se encuentra activado chequear que el indicador luminoso (Led) color amarillo esté encendido (señal de temperatura). Ver figura 5, punto 8.
4. Fijar la temperatura en la cual se va a realizar la prueba, en el Control de temperatura. Ver figura 5, punto 7.

NOMBRE DE LA PARTE Y FUNCION

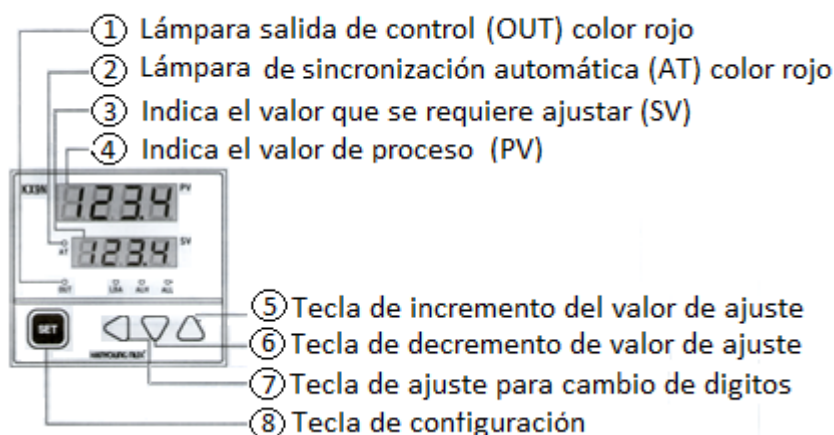


Figura 6. Control de temperatura.

5. Para fijar la temperatura en la cual se va a realizar la prueba. Presionar la tecla de configuración por un segundo. Ver figura 6, punto 8.
6. Luego presionar la tecla de incremento del valor de ajuste. Ver figura 6, punto 5; o tecla decremento de ajuste hasta llegar al valor deseado. Ver figura 6, punto 6.
7. Para aumentar los dígitos presionar la tecla de ajuste para cambio de dígitos. Ver figura 6, punto 7.
8. Una vez finalizada la prueba. Ubicar el selector control de temperatura en la posición apagar, el cual está ubicado en la parte frontal de la puerta del tablero de control del tribómetro. Ver figura 5, punto 8. Para asegurarse que se encuentra desactivado chequear que el indicador luminoso (Led) color amarillo esté apagado. Ver figura 5, punto 9.
9. Repetir los pasos N° 9, 10, 11, 12, que se realizan para la prueba sin lubricación.
10. Quitar el lubricante del interior del recipiente cilíndrico y limpiar.

Nota: En caso de que suceda algún imprevisto, presionar el botón de emergencia tipo hongo color rojo, el cual está ubicado en la parte frontal de la puerta del tablero de control del tribómetro. Ver figura 5, punto 6.

Configuración de los parámetros de operación del variador de frecuencia

La configuración interna del variador de frecuencia está formada por: Ajustes de parámetros de datos del motor, parámetros específicos de macros de aplicación, y ajuste de parámetros comunes, en esta aplicación se utilizarán 11 parámetros.

A continuación, se mencionarán los parámetros más relevantes para el funcionamiento óptimo del equipo, si se desea mayor información sobre los demás parámetros debe remitirse a la guía de usuario – SINAMIC V20 INVERTER marca SIEMENS que brinda el fabricante. En la figura 7, se muestra la distribución del panel frontal del variador.

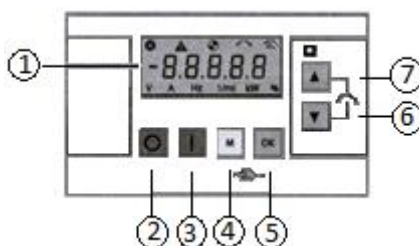


Figura 7. Panel de navegación del variador de frecuencia.

Fuente: Manual de usuario- SINAMIC V20 INVERTER marca SIEMENS /operación del panel de navegación.

- Al presionar el botón (0), Ver figura 7, punto 2. Se detiene el convertidor.
- Para que inicie el convertidor de frecuencia se debe presionar el botón (I). Ver figura 7, punto 3.

- Presionar el botón multifunción (M). (Ver figura 7, punto 4). Si la pulsación es breve (<2s) ingresa en el menú de ajuste de parámetros. Si la pulsación es larga (>2s) vuelve a la pantalla de estado.
- Presionar el botón multifunción (Ok). (Ver figura 7, punto 5). Si la pulsación es breve (<2s), cambia entre los valores de estado. Si la pulsación es larga (>2s), edición rápida de valores o números de parámetro.
- Seguidamente por medio de los botones arriba (Ver figura 7, punto 7). Mueve la selección hacia arriba por un menú, o aumenta un valor o una consigna y abajo (Ver figura 7, punto 6). Mueve la selección hacia abajo por un menú, o disminuye un valor o una consigna.).
- Al presionar al mismo tiempo los pulsadores arriba (Ver figura 7, punto 7) + abajo (Ver figura 7, punto 6), se invierte la rotación del motor.
 - Para retornar a la pantalla de estado presionar largamente (>2s) el botón (M). Ver figura 7, punto 4.

Para el manejo del variador de frecuencia a continuación, se describen 11 parámetros.

- Parámetro 1 (p0100): Potencia y frecuencia.
Este parámetro sirve para indicarle al variador, en qué tipo de potencia y frecuencia trabaja el motor, para este caso se escoge el N° 1, que corresponde a hp. y 60 Hz.
- Parámetro 2 (p0304): Tensión (V).
Este parámetro corresponde al voltaje que va a trabajar el motor, que en este caso es 220 V.
- Parámetro 3 (p0305): Corriente (A).
Este valor corresponde a la corriente nominal del motor, que para este caso es 7,8 A.
- Parámetro 4 (p0309): Eficiencia. (%)
Este parámetro corresponde a la Eficiencia nominal del motor, que en este caso es 100 %.
- Parámetro 5 (p0310): Frecuencia nominal del motor (Hz).
Este valor corresponde a la Frecuencia nominal del motor, que para este caso es 60 Hz.
- Parámetro 6 (p0311): Velocidad nominal del motor (rpm)
Este parámetro corresponde a la velocidad nominal del motor, que en este caso es 1800 rpm.
- Parámetro 7 (P1082): Máxima Velocidad.
Este valor corresponde al límite superior de velocidad a la cual operara el equipo, que para este caso es de 1800 rpm.
- Parámetro 8 (P1080): Mínima Velocidad.
Este corresponde al límite inferior de operación del equipo, que en este caso es 0 rpm.
- Parámetro 9 y 10 (P1120, P1121): Rampa de aceleración y rampa de desaceleración.
La modificación de este parámetro se realiza con el fin de obtener una rampa de aceleración y una rampa de desaceleración al iniciar y

finalizar las pruebas. Mediante la configuración de este parámetro, se brinda un tiempo en el cual se alcanza la velocidad de régimen que se haya escogido en P1120 y de igual manera brindar un margen de tiempo para obtener la mínima velocidad que se escogió en P1121, y de esta manera evitar que el indentador genere saltos intempestivos sobre la probeta, debido al encendido y apagado repentino del motor. En este caso la rampa de aceleración y desaceleración es de 5 segundos.

Un aspecto a tener en cuenta en la programación de este equipo, es que en la pantalla del variador indica la frecuencia en Hz. Ver figura 5, punto 1. En la tabla 1 está regulación de la velocidad.

Tabla 1. Equivalencia Hertzios a Rpm

Hz.	rpm.	Hz.	rpm.
3,33	100	16,63	500
6,66	200	19,95	600
9,95	300	23,27	700
13,32	400	26,62	800

- **Parámetro 11 (Cn-007):** Macro de conexión.
Se selecciona esta macro porque el circuito de control de la máquina, para el manejo del variador de frecuencia, trabaja con pulsadores externos y con control analógico.

ANEXO 12.

Manual de mantenimiento tribómetro “abrasivo pin disco”

POLÍTICA DEL MANTENIMIENTO.

La política del mantenimiento es garantizar la eficiencia y disponibilidad de los equipos, asegurando la vida útil de los mismos y minimizando los costos que acarrearán un paro o falla imprevista no programada.

Objetivos del mantenimiento

- Garantizar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos e instalaciones.
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.
- Disminuir las fallas o averías aplicando un correcto mantenimiento y así permitiendo el normal funcionamiento de la máquina.
- Aumentar la vida útil de la máquina.
- Reducir los costos ocasionados por fallas imprevistas.
- Manejar un correcto inventario de repuesto para evitar interrupciones prolongadas debido a la espera de adquisiciones

CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento son todas las actividades necesarias para mantener el equipo e instalaciones en condiciones adecuadas para su normal funcionamiento.

El mantenimiento es importante para mejorar la producción buscando la máxima disponibilidad y confiabilidad de los equipos e instalaciones.

Una mala aplicación de mantenimiento incide en la calidad y cantidad de producción.

En consecuencia, la finalidad del mantenimiento es brindar la máxima capacidad de producción.

Existen diferentes tipos de mantenimiento, para el tribómetro se considera como estrategia de disponibilidad y operatividad el mantenimiento preventivo.

Mantenimiento Preventivo

Es el mantenimiento que se realiza con el fin de prevenir la ocurrencia de fallas, y mantener en un nivel determinado a los equipos, se conoce como mantenimiento preventivo directo o periódico, por cuanto sus actividades están controladas por el tiempo; se basa en la confiabilidad de los equipos. Para ello, se usan instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no destructivas, como análisis de lubricantes, comprobaciones de temperatura de equipos eléctricos etc.

Ventajas del Mantenimiento Preventivo

Muchas son las ventajas al aplicar el mantenimiento eficiente y correctamente, en forma general es garantizar la producción, y mantener los equipos operables aumentando la vida útil.

- La planificación ayuda a documentar los mantenimientos que se aplica a cada uno de los equipos, llevar un histórico de desempeño y prevenir fallas.
- Una inspección constante para tomar decisiones y reducir tiempos de parada.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Mediante la verificación del estado de la máquina, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.
- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.

MANTENIMIENTO PARA EL TRIBÓMETRO

Plan de mantenimiento

La elaboración del plan de mantenimiento preventivo para el tribómetro está relacionada con la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la máquina, el equipo de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad, logrando alcanzar un mayor grado de confiabilidad.

El proceso de diseño del plan de mantenimiento se inicia con el procedimiento del mantenimiento, la elaboración de la ficha técnica, diagnóstico del estado de la ficha de conclusiones, control de piezas cambiadas o reparadas y hoja de vida.

Recopilación de la información

La información se obtiene directamente de los planos de fabricación y montaje; las recomendaciones en cuanto a operaciones y periodicidad de los mantenimientos son suministradas por los fabricantes de los componentes (motor, variador, etc.).

PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO

A continuación, se mencionan las posibles fallas junto a las causas que la producen y la posible solución de ellas a cada uno de los elementos críticos del equipo.

Sistema de potencia

Motor: Es apropiado para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial. Este es el encargado de transmitir el torque al eje que hace girar la probeta.

Puesto que uno de los elementos críticos en el funcionamiento del tribómetro es el motor, a continuación, en la figura 1 se indica la estructura general, en la tabla 1 se mencionan las partes más representativas del tribómetro abrasivo “abrasivo pin disco”.

Tabla 1. Lista de partes constitutivas del motor

Tapa y soporte rodamiento lado eje	Arrolamiento estático
Rodamiento	Caja de bornes
Rotor de jaula	Soporte lado ventilador
Rodamiento	Ventilador
Estator	Tapa de ventilación

Gráfica de las partes del motor.

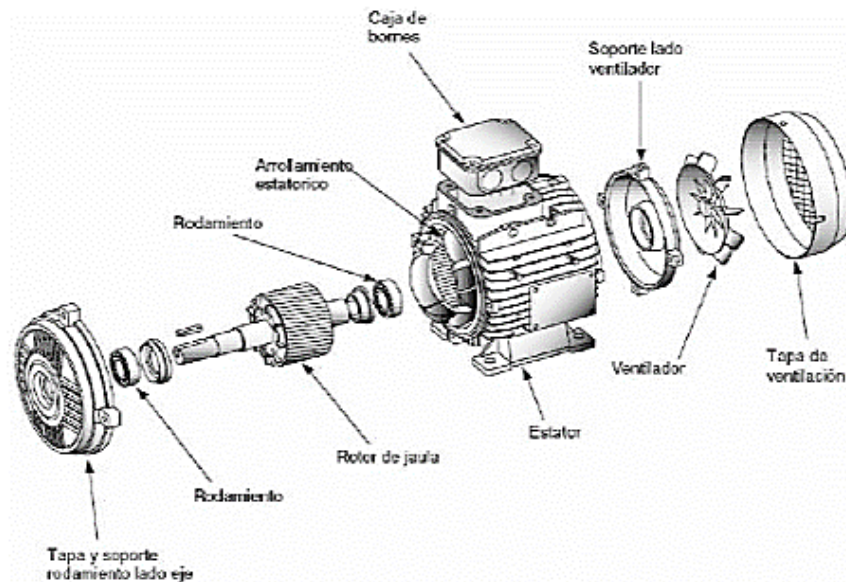


Figura 1. Estructura general del motor.

Plan de mantenimiento para el tribómetro en el cual se hace un estimado del periodo de mantenimiento de cada sistema del tribómetro “abrasivo pin disco” localizado en la tabla 2.

Tabla 2. Mantenimiento preventivo

Nº	Parte de la máquina	Acción	Elemento para mantenimiento	Frecuencia
1	Corredera horizontal	Limpiar	Franela sin pelusa o brocha	Antes y después de cada práctica
2	Corredera vertical	Limpiar	Franela sin pelusa o brocha	Antes y después de cada práctica
4	Porta probetas	Limpiar	Franela sin pelusa	Antes y después de cada práctica
5	Motor	Inspección	Operario	Antes de cada práctica
		Medir voltaje de alimentación	Multímetro	Cada mes
6	Tablero de control	Limpiar	Aire comprimido 10 psi	Cada mes
7	Variador de frecuencia	Limpiar	Aire comprimido 10 psi	Cada mes

ANEXO 13.

Ficha técnica del tribómetro “abrasivo pin disco”

Tabla 24. Esta ficha contiene la mayor información técnica del equipo

FICHA TÉCNICA	
DATOS DEL MOTOR	
Marca: ABB Motors	Tipo: jaula de ardilla
Potencia: 2 hp	rpm: 1800
Voltios: 220/440 V AC	Amperaje: 6.2 A
Frecuencia: 60 Hz	
DATOS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA	
Marca: SIEMENS	Tipo: SINAMICS V20
Potencia: 2 hp	Tensión: 220 voltios
DATOS DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA	
Marca: HANYOUNG NUX	Tipo: KX4N
Tensión: 220 V AC	
DATOS DEL GUARDAMOTOR	
Marca: Siemens	Tipo:
Tensión: 220 V AC	Amperaje: 5 A a 10 A
Frecuencia: 60 Hz	

ANEXO 14.

Guía de prácticas tribómetro “abrasivo pin disco”

GUÍA DE PRÁCTICAS

Elaboración de la guía de prácticas

Tema.

Evaluación del Desgaste Abrasivo de Materiales con lubricación y sin lubricación en el Tribómetro “abrasivo pin disco”.

Objetivos.

- ✓ Comprender el principio de funcionamiento del tribómetro rotatorio para evaluación del desgaste abrasivo de materiales con lubricación y sin lubricación con posibilidad de alterar la temperatura.
- ✓ Calcular el desgaste que se ocasiona por el contacto entre el pin y el disk.
- ✓ Analizar la capacidad de desgaste producido por medio de la utilización de los distintos pesos.

Marco Teórico

Tribología es la ciencia que estudia el rozamiento entre superficies y todas las consecuencias que conllevan dicho fenómeno como desgaste de material, fuerzas aplicadas, cambios de temperatura.

Tribómetro

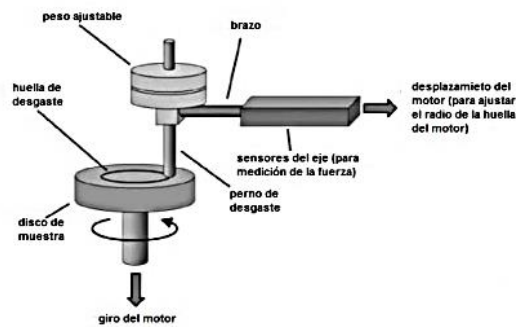
El tribómetro es un aparato en cual mide el coeficiente de fricción de elementos y con los datos obtenidos se puede analizar las propiedades de dichos elementos.

Tribómetro Perno Contra Disco.

Esta máquina es usada para pruebas de desgaste, en ella el perno se coloca perpendicularmente a un disco giratorio. Las variables que rigen las pruebas son la carga normal, la velocidad de deslizamiento, la atmósfera y la temperatura ambiente. La cantidad de desgaste puede establecerse pesando el disco en una balanza analítica.

Para ensayos de desgaste hechos en máquinas del tipo perno sobre disco, se debe posicionar un perno con una punta hemisférica perpendicular al disco, la trayectoria del deslizamiento del pin es un círculo a través de la superficie del disco.

El perno normalmente se coloca contra el disco a una carga dada por medio



de un brazo o palanca, al que se le agrega una determinada carga.

Figura 1. Perno contra disco.
(Norma Técnica ASTM G-65)

Este sencillo método facilita la obtención y el estudio de la fricción y el comportamiento de desgaste en casi todas las combinaciones de material en estado sólido, con variables en el tiempo, la presión de contacto, la velocidad, la temperatura, la humedad, la lubricación, entre otras.

Los resultados de las pruebas se reportan individualmente, como la pérdida de volumen en milímetros cúbicos para el perno y el disco. Se recomienda que cada material se ensaye en ambos roles, como perno y como disco. La cantidad de desgaste se determina, midiendo dimensiones lineales apropiadas de ambas variables antes y después de la prueba, o pesando

Pruebas de Desgaste

Para la prueba de desgaste con este método se necesitan dos probetas. El primero es un "pin" cuyo tamaño es muy reducido, el cual es posicionado perpendicularmente a la otra pieza, la cual usualmente es un disco circular. La máquina de pruebas causa que el "pin" o el disco giren entre sí; como consecuencia de ello, se forma un camino de desgaste en el disco. El plano del disco puede ser orientado vertical u horizontalmente. Los resultados de desgaste pueden diferir según la orientación del disco. La probeta en forma de "pin" se presiona sobre el disco con una carga específica, y dicha probeta, se encuentra sujeta a un dispositivo posicionado con contrapesos. Los reportes de desgaste se realizan en términos de pérdida de volumen en milímetros cúbicos. La pérdida de masa por desgaste se puede convertir en pérdida de volumen mediante la utilización de adecuados valores de densidad.

En términos generales el equipo consiste en un posicionador de un "pin" esférico sobre un disco, el cual gira por la acción de un motor a unas determinadas revoluciones por minuto.

El "pin" se encuentra localizado a un radio del centro del disco. Un motor con velocidad variable capaz de mantener la velocidad seleccionada constante es requerido, además, debe estar montado de tal manera que las vibraciones no afecten las pruebas. Las velocidades de rotación pueden ser de 0 a 800 rpm, por lo cual, la máquina tiene control digital de hz equivalente a las revoluciones las equivalencias se encuentran en la tabla 1. La balanza utilizada para medir la pérdida de masa en las probetas

deberá tener una sensibilidad de por lo menos 0.1 mg las partes más relevantes del tribómetro “abrasivo pin disco” se encuentren en la tabla 2. Se puede ver un esquema de las partes del tribómetro en la figura 2 y del tablero eléctrico en la figura 3.

Tabla 1. Equivalencia Hertzios a Rpm

Hz.	rpm.	Hz.	rpm.
3,33	100	16,63	500
6,66	200	19,95	600
9,95	300	23,27	700
13,32	400	26,62	800

A continuación, se presenta el esquema del tribómetro “abrasivo pin disco”.

Esquema del Equipo.

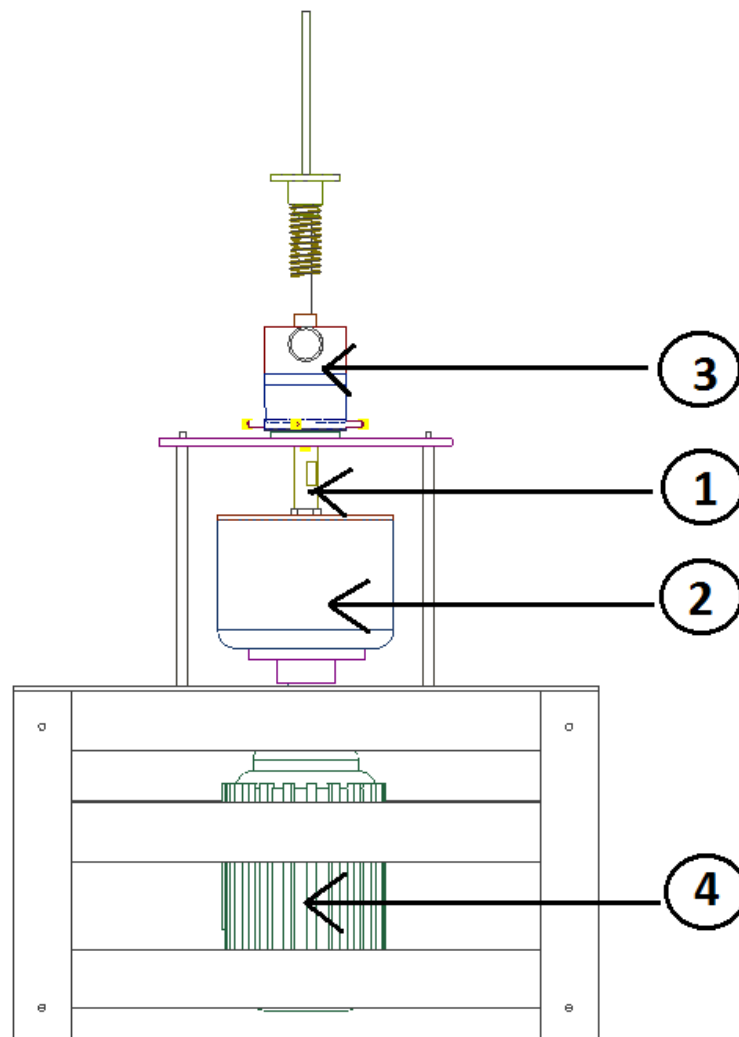


Figura 2. Vista Frontal del equipo.

Tabla 2. Partes del tribómetro

N°	ELEMENTO
1	Sist. Pin abrasivo
2	Sist. Porta probetas
3	Sist. Corredera vertic. y horiz.
4	Motor

Gráfico de las partes del tablero eléctrico del tribómetro “abrasivo pin disco”

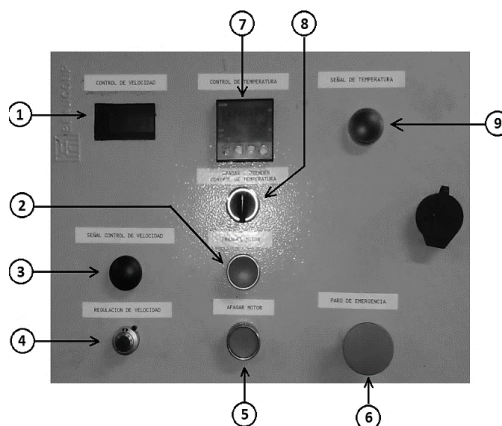


Figura 3. Tablero eléctrico.

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. Control de velocidad | 6. Paro de emergencia |
| 2. Encendido del motor | 7. Control de temperatura |
| 3. Señal del control de velocidad | 8. Apagado y encendido del control de temperatura |
| 4. Regulación de velocidad | 9. Señal de temperatura |
| 5. Apagado de motor | |

Consideraciones de Utilización del Equipo

1. Nunca utilice el equipo a menos que conozca y aplique los principios de seguridad.
2. Evite situaciones de riesgo.
3. Inspeccione siempre el equipo antes de comenzar cualquier trabajo.
4. Antes de utilizar el equipo compruebe que todas sus funciones operen correctamente.
5. Utilice el equipo únicamente con el fin para el que fue diseñado.

Principios básicos.

La inspección previa al manejo del equipo se trata de una inspección visual que el operario debe realizar antes de cada prueba de laboratorio con el objetivo de detectar cualquier posible daño.

Riesgos Derivados del Uso Incorrecto.

Nunca deje de prestar atención al equipo, el uso del mismo por personas no autorizadas puede causar graves lesiones al operario como el deterioro o daño de las partes internas del equipo.

Este equipo no se encuentra aislado eléctricamente en su totalidad, evite introducir los dedos en las conexiones o mientras este se encuentre en operación.

Política de Mantenimiento.

La política del mantenimiento es garantizar la eficiencia y disponibilidad de los equipos, asegurando la vida útil de los mismos y minimizar los costos que acarrea el mantenimiento, en la tabla 3 se observa los periodos y acciones de cada parte de la máquina para el mantenimiento.

Tabla 3. Partes de la máquina con su respectivo mantenimiento

Nº	Parte de la máquina	Acción	Elemento para mantenimiento	Frecuencia
1	Corredera horizontal	Limpiar	Franela sin pelusa o brocha	Antes y después de cada práctica
2	Corredera vertical	Limpiar	Franela sin pelusa o brocha	Antes y después de cada práctica
4	Porta probetas	Limpiar	Franela sin pelusa	Antes y después de cada práctica
5	Motor	Inspección	Operario	Antes de cada práctica
		Medir voltaje de alimentación	Multímetro	Cada mes
6	Tablero de control	Limpiar	Aire comprimido 10 psi	Cada mes
7	Variador de frecuencia	Limpiar	Aire comprimido 10 psi	Cada mes

El objetivo del mantenimiento es aumentar la vida útil de la máquina y atender las fallas o averías en el menor tiempo posible, permitiendo el normal funcionamiento de la misma.

Procedimiento.

Operación del Tribómetro

A continuación, se enumeran los pasos que deben realizarse para el encendido y apagado del Tribómetro para una prueba **sin lubricación**.

1. Conecte la máquina a una línea de alimentación bifásica 220 Voltios.
2. En el interior del tablero de control ubique en la posición de encendido (On) los 2 interruptores magnéticos (Breaker) instalados para protección del circuito de control y el interruptor magnético (guarda motor) para protección del motor.
3. Activar el variador de frecuencia oprimiendo el pulsador color verde, el cual está ubicado en la parte frontal de la puerta del tablero de control del tribómetro. Ver figura 3, punto 2. Para asegurarse que se encuentra activado chequear que el indicador luminoso (Led) color verde este encendido. Ver figura 3, punto 3
4. Verificar que el indicador (display) del variador de frecuencia esté encendido. Ver figura 3, punto 1
5. Mediante el sistema de posicionamiento del pin del tribómetro, lleve la punta del indentador hasta la superficie de la probeta y ajuste el radio de rayado en la probeta, por medio del tornillo deslizante de la corredera.
6. Inserte en el porta pesos del tribómetro la carga de prueba.

7. Girar el potenciómetro que se encuentra en la parte frontal del tablero en sentido horario y ajustar a la velocidad deseada para el ensayo. Ver figura 3, punto 4.
8. Luego que el motor llega a la velocidad de régimen, se inicia la prueba
9. Después de terminar la prueba, girar el potenciómetro que se encuentra en la parte frontal del tablero en sentido anti-horario hasta llegar a cero. Ver figura 3, punto 4.
10. Apagar el variador de frecuencia accionando el pulsador color rojo, luego de haber terminado la prueba. Ver figura 3, punto 5.
11. En el interior del tablero de control, ubique en la posición de apagado (Off) los 2 interruptores magnéticos (Breaker) instalados para protección del circuito de control y el interruptor magnético (guarda motor) para protección del motor.
12. Desconecte el equipo de la línea de alimentación.

Nota: En caso de que suceda algún imprevisto, presionar el botón de emergencia tipo hongo color rojo, el cual está ubicado en la parte frontal de la puerta del tablero de control del tribómetro. Ver figura 3, punto 6.

A continuación, se enumeran los pasos que deben realizarse para el encendido del Tribómetro para una prueba **con lubricación**.

11. Poner el lubricante en el interior del recipiente cilíndrico.
12. Repetir los pasos N° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, que se realizan para la prueba sin lubricación.
13. Ubicar el selector control de temperatura en la posición prender, el cual está ubicado en la parte frontal de la puerta del tablero de control del tribómetro. Para asegurarse que se encuentra activado chequear que el indicador luminoso (Led) color amarillo esté encendido (señal de temperatura). Ver figura 3, punto 8.
14. Fijar la temperatura en la cual se va a realizar la prueba, en el Control de temperatura. Ver figura 3, punto 7.

NOMBRE DE LA PARTE Y FUNCION

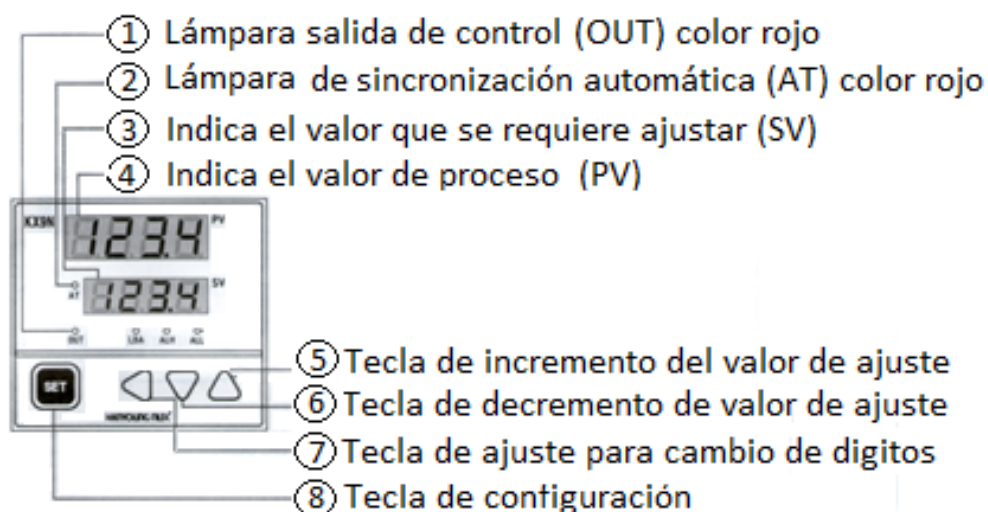


Figura 4. Control de temperatura.

15. Para fijar la temperatura en la cual se va a realizar la prueba. Presionar la tecla de configuración por un segundo. Ver figura 4, punto 8.
16. Luego presionar la tecla de incremento del valor de ajuste. Ver figura 4, punto 5; o tecla decremento de ajuste hasta llegar al valor deseado. Ver figura 4, punto 6.
17. Para aumentar los dígitos presionar la tecla de ajuste para cambio de dígitos. Ver figura 4, punto 7.
18. Una vez finalizada la prueba. Ubicar el selector control de temperatura en la posición apagar, el cual está ubicado en la parte frontal de la puerta del tablero de control del tribómetro. Ver figura 3, punto 8. Para asegurarse que se encuentra desactivado chequear que el indicador luminoso (Led) color amarillo esté apagado. Ver figura 4, punto 9.
19. Repetir los pasos N° 9, 10, 11, 12, que se realizan para la prueba sin lubricación.
20. Quitar el lubricante del interior del recipiente cilíndrico y limpiar.

Nota: En caso de que suceda algún imprevisto, presionar el botón de emergencia tipo hongo color rojo, el cual está ubicado en la parte frontal de la puerta del tablero de control del tribómetro. Ver figura 3, punto 6.

Tabulación de Datos.

Tabla para el pin.

Material del pin es:						
Revoluciones						
Carga aplicada						
Temperatura						
Lubricante						
Tiempo	Masa Inicial	Masa Final	Masa perdida	M perdida acumulada	Masa Perdida	Desgaste
min	lb	lb	lb	lb	gr	gr/cm3

Tabla para el pin.

Material de la probeta es:						
Revoluciones						
Carga aplicada						
Temperatura						
Lubricante						
Tiempo	Masa Inicial	Masa Final	Masa perdida	M perdida acumulada	Masa Perdida	Desgaste
min	lb	lb	lb	lb	gr	gr/cm3

Tabla para las diferentes cargas con o sin lubricante.

Material	Carga	Lubricante	Temperatura	\bar{X}	σ	V

Desviación estándar para cualquier tamaño de muestra:

$$s = \left[\frac{\sum(x - \bar{X})^2}{(n - 1)} \right]^{1/2}$$

El coeficiente de variación (v) se expresa en porcentaje y está dado por

$$v = (s/\bar{x}) \cdot 100$$

La norma ASTM G99-04 señala, que el coeficiente de variación (Cv) dentro del laboratorio, para que la prueba sea válida no debe exceder el 15%.

Gráficas

Diagramas de dispersión referenciales de las pruebas pin - disco con lubricación y sin lubricación a diferentes cargas se encuentran en las figuras de la 5 a la 8.

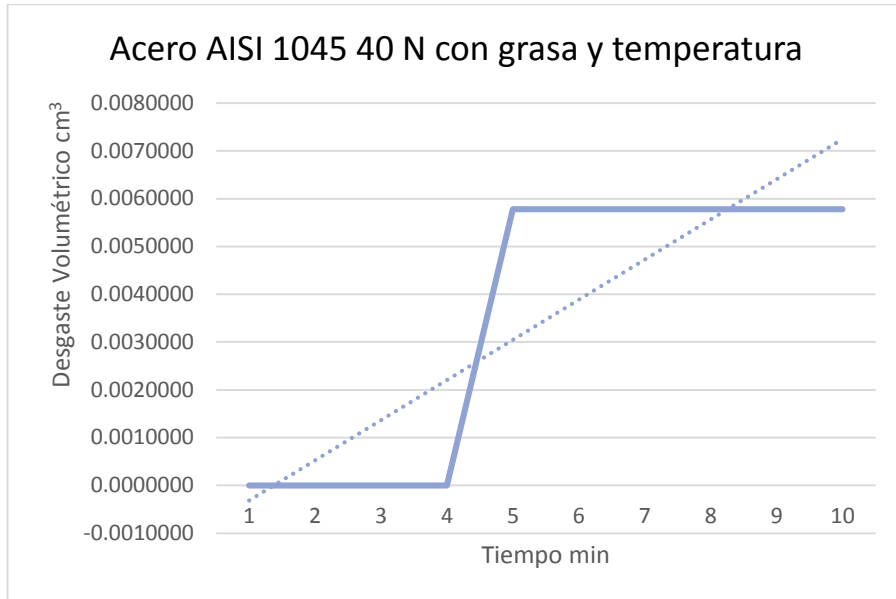


Figura 5. Gráfica Desgaste vs Tiempo AISI 1045 a 40N con grasa y temperatura.



Figura 6. Gráfica Desgaste vs Tiempo AISI 1045 a 20N con grasa y temperatura.

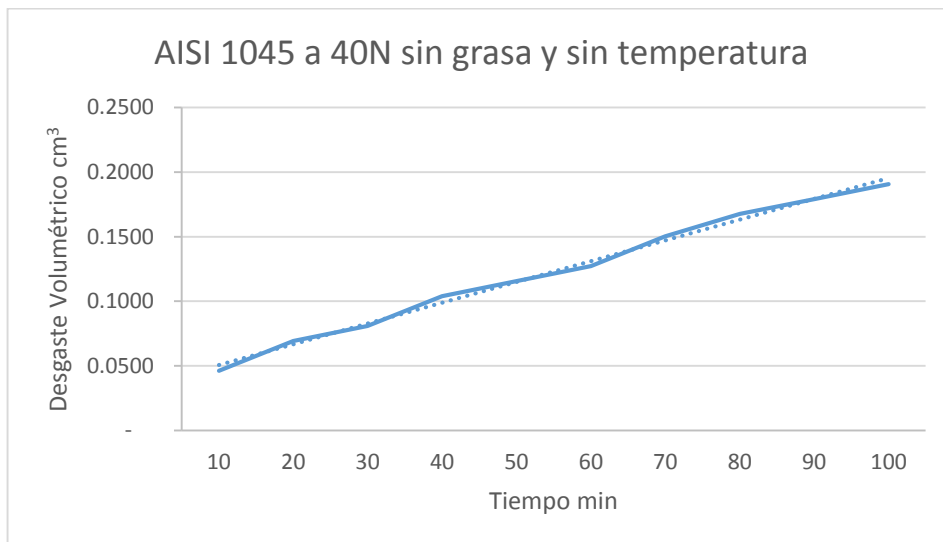


Figura 7. Gráfica Desgaste vs Tiempo AISI 1045 a 40N sin grasa y sin temperatura.

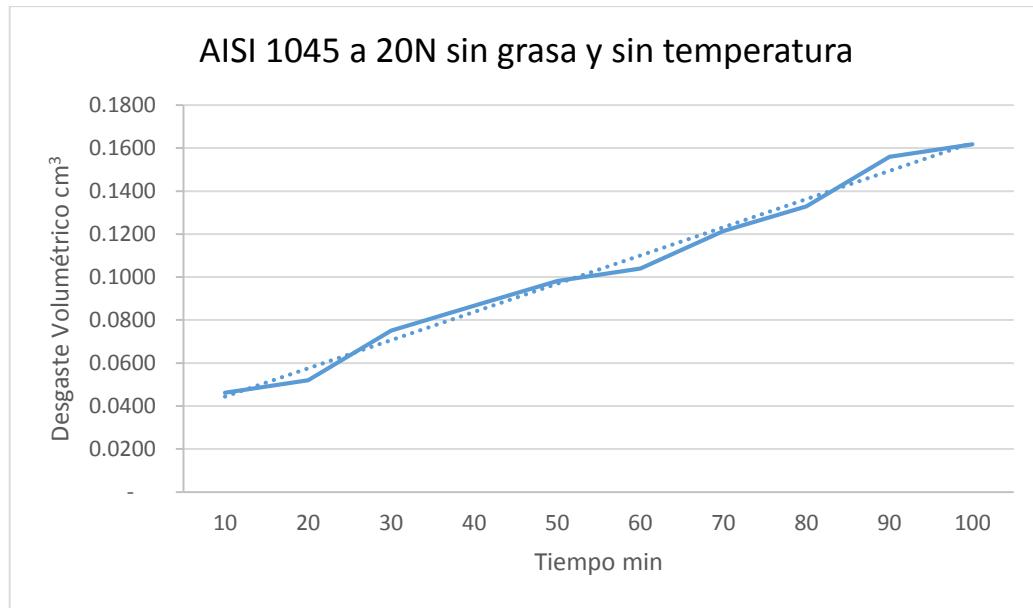


Figura 8. Gráfica Desgaste vs Tiempo AISI 1045 a 20N sin grasa y sin temperatura.

Cuestionario.

1. De los resultados obtenidos en las pruebas anteriores, calcule la pérdida de volumen que sufren las probetas.

$$\text{Pérdida de volumen} = \frac{\text{Masa perdida (g)}}{\text{Densidad } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)} * 1000 \quad [\text{mm}^3]$$

2. Calcule la pérdida de volumen del pin con la siguiente formula:

$$\text{Pérdida de volumen pin} = \left(\frac{\pi h}{6}\right) * \left(\frac{3d^3}{4} + h^2\right)$$

Dónde:

$$h = r - \left(\frac{r^2 - d^2}{4}\right)^{\frac{1}{2}}$$

d = Desgaste diámetro de la marca.

r = Radio del pin.

3. Calcule la pérdida de volumen del disco con la siguiente formula:

$$\text{Pérdida de volumen disco} = 2\pi R * \left[r^2 \sin^{-1}\left(\frac{d}{2r}\right) - \left(\frac{d}{4}\right) * (4r^2 - d^2)^{\frac{1}{2}} \right]$$

Dónde:

R = Radio de la marca de desgaste.

d = Ancho de marca de desgaste.

4. Realice el grafico media vs desviación estándar e interprete los resultados.
5. Realice el grafico varianza vs coeficiente de variación e interprete los resultados.

Conclusiones y Recomendaciones de la Práctica

ANEXO 15.

Grasa tribology red gold

GRASA RED GOLD. (TRIBOLOGY INC. TECH LUBE). Alta temperatura.

Alta viscosidad fluidos de base sintética con un espesante inorgánico sin cenizas. Alta temperatura. Excepcional en el marco del horno y tendedor teniendo el uso donde las temperaturas superan constantemente 350 ° F / 177 ° C.

- Color Rojo para una fácil identificación
- Lenta a velocidades medias
- Alta temperatura
- Baja volatilidad

Tabla 1. Propiedades típicas

PRODUCT	RED GOLD
NLGI	2
Worked Penetration @77°F/25°C	◀270 - 290▶
Base Oil Viscosity cSt @ 40°C	604
cSt @ 100°C	48
SUS @ 100°F	2800
SUS @ 210°F	216
Color	Red
Solids	-
Thickener	Inorganic
Drop Point °F/°C	None
Timken Load Wear Test OK Load, kg/lbs.	23/50
Operating Range °F	-20/500
°C	-29/260

ANEXO 16.

Motor ABB Motors

Datos técnicos para motores trifásicos del tipo jaula de ardilla totalmente cerrados y autoventilados

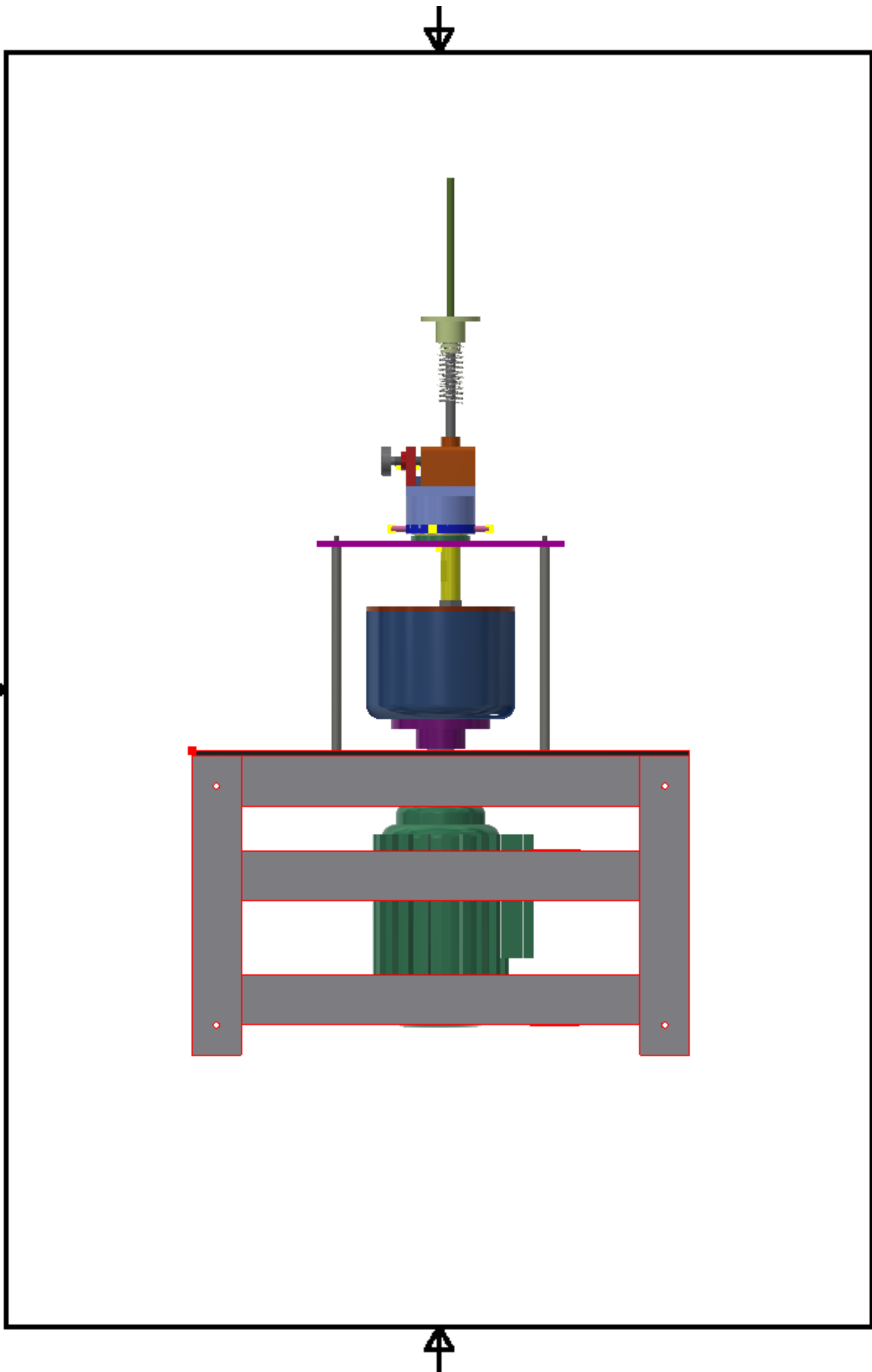
- Motores de aplicación general en hierro fundido - 60 Hz
- Marca: ABB MOTORS
- IP55 - IC 411 - AISLAMIENTO CLASE F / $\Delta T B$ - 220-230/380/440-460 V.

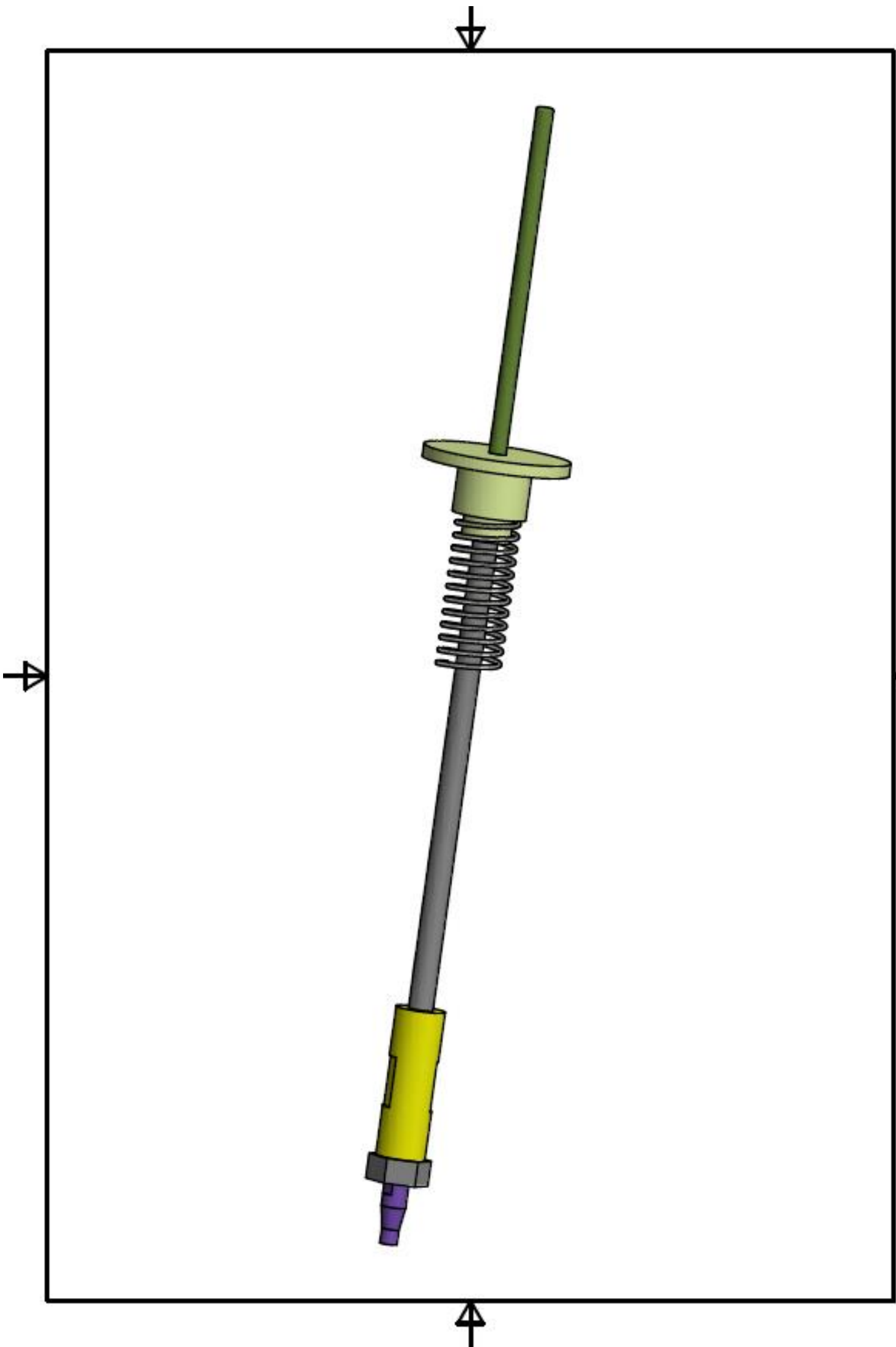
Potencia		Tipo	r/min	Eficiencia [%]			Factor de potencia			FS	Corriente			Torque			Momento de inercia		
[kW]	[HP]			% de la potencia nominal			%				I _n	I _s	I _{vacio}	T _n	T _s	T _{max}	J=1/4GD ²	Peso	Ruido
				50	75	100	50	75	100		[A]	[A]	[A]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[kgm ²]	[kg]	[dBA]
4 polos = 1800 r/min			440 V 60 Hz																
1,5	2	M2QA 90 S4A	1644	76,8	77,8	75,0	0,65	0,77	0,83	1,15	3,1	5,5	1,4	8,7	1,7	1,7	0,00254	21	66

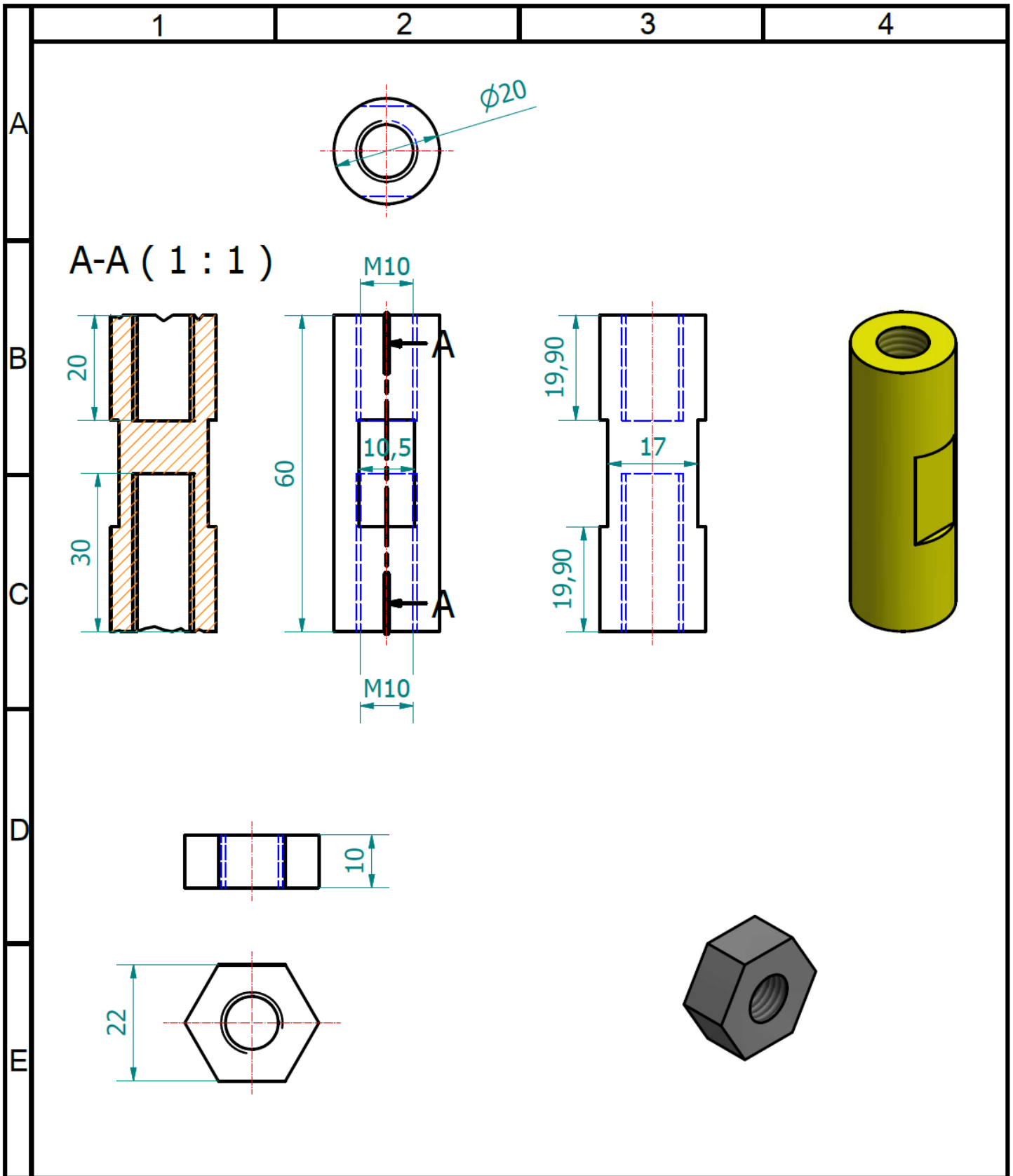
- Incremento de temperatura clase F
- Corriente nominal a 440 V.
- Para obtener la corriente en 220 V multiplicar por 2. En 230 V multiplicar por 1,91.

ANEXO 17.

Planos del tribómetro “abrasivo pin disco”







Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz

Cantidad:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
Proyec:	Israel Romero			
Dibuj:	Israel Romero			Procesos:
Rev:				
Aprob:				Material:
				Peso:

Título:
Tribometro Pin - Disk

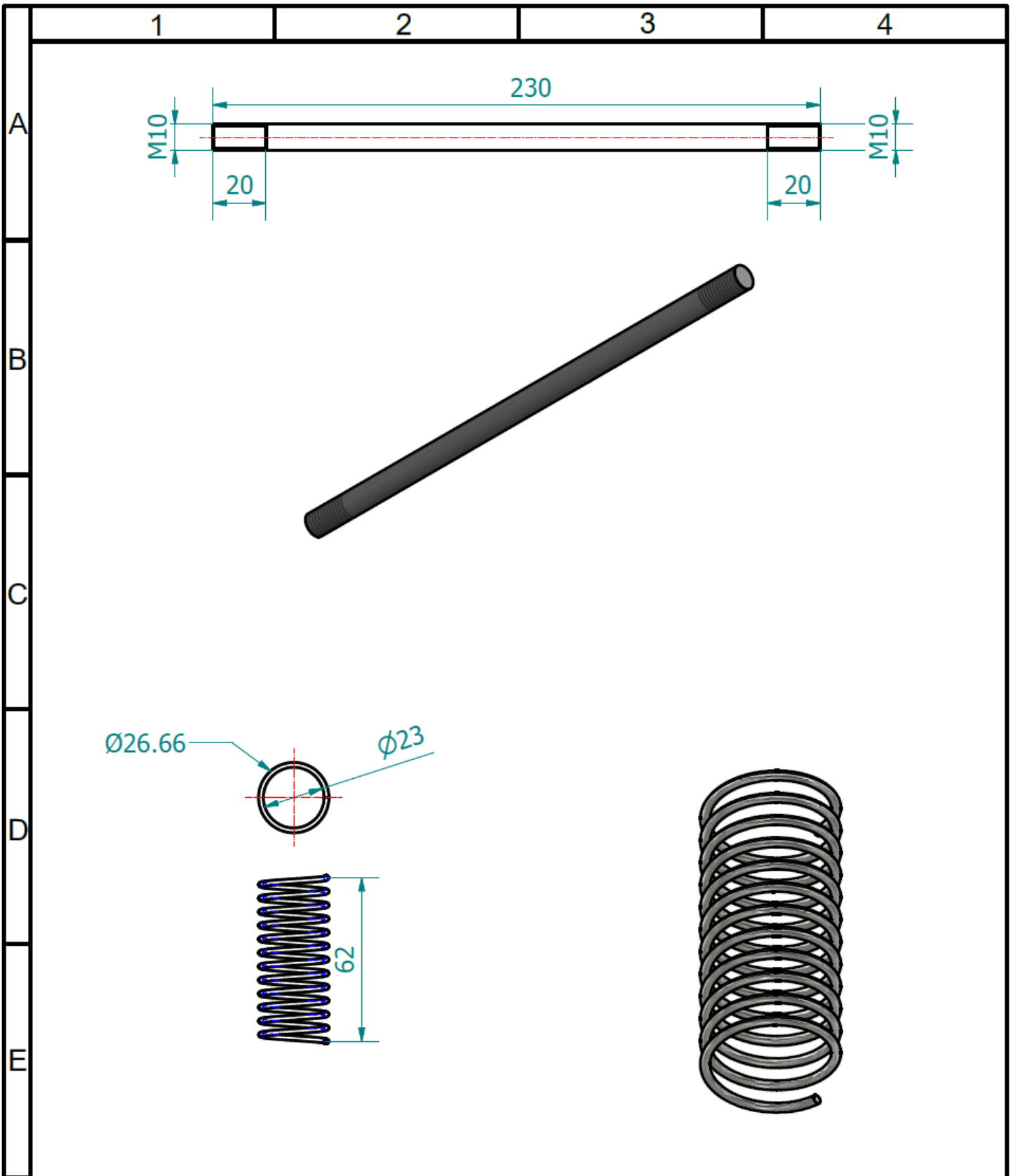
Elemento:
Eje porta identador, Tuerca.
Sist. Pin



A4

Escala: 1:1

Hoja: 4



Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz

Cantidad: 1, 1

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
Proyec:	Israel Romero				
Dibuj:	Israel Romero			Procesos:	
Rev:					
Aprob:				Material:	
				Peso:	

Título:

Tribometro Pin - Disk

Elemento:

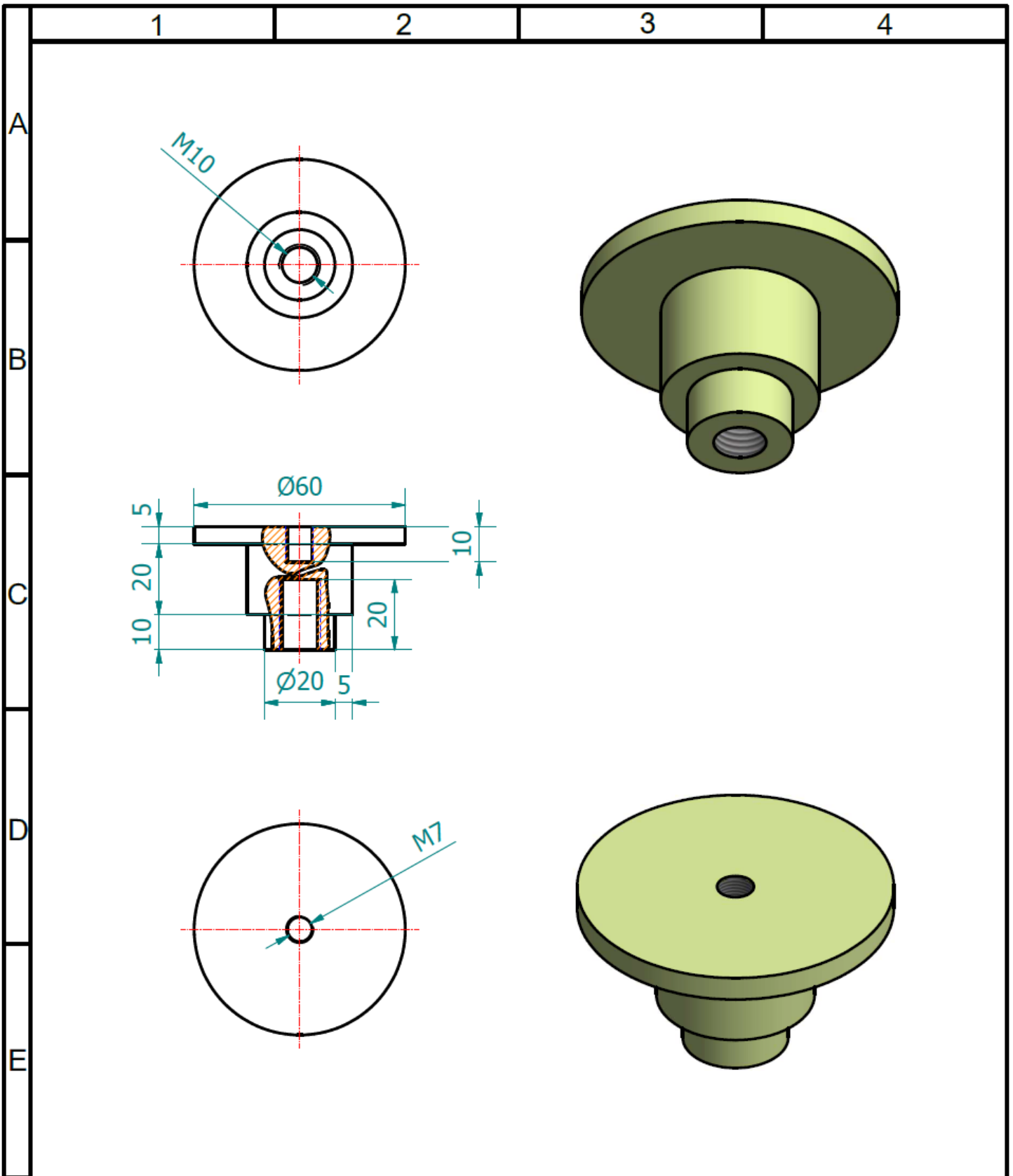
Eje de acople, resorte Sist Pin



Escala: 1:2

Hoja: 3

A4



Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz

Cantidad: 1

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
Proyec:	Israel Romero			
Dibuj:	Israel Romero			Procesos:
Rev:				
Aprob:				Material: Acero
				Peso:

Título:

Tribometro Pin - Disk

Elemento:

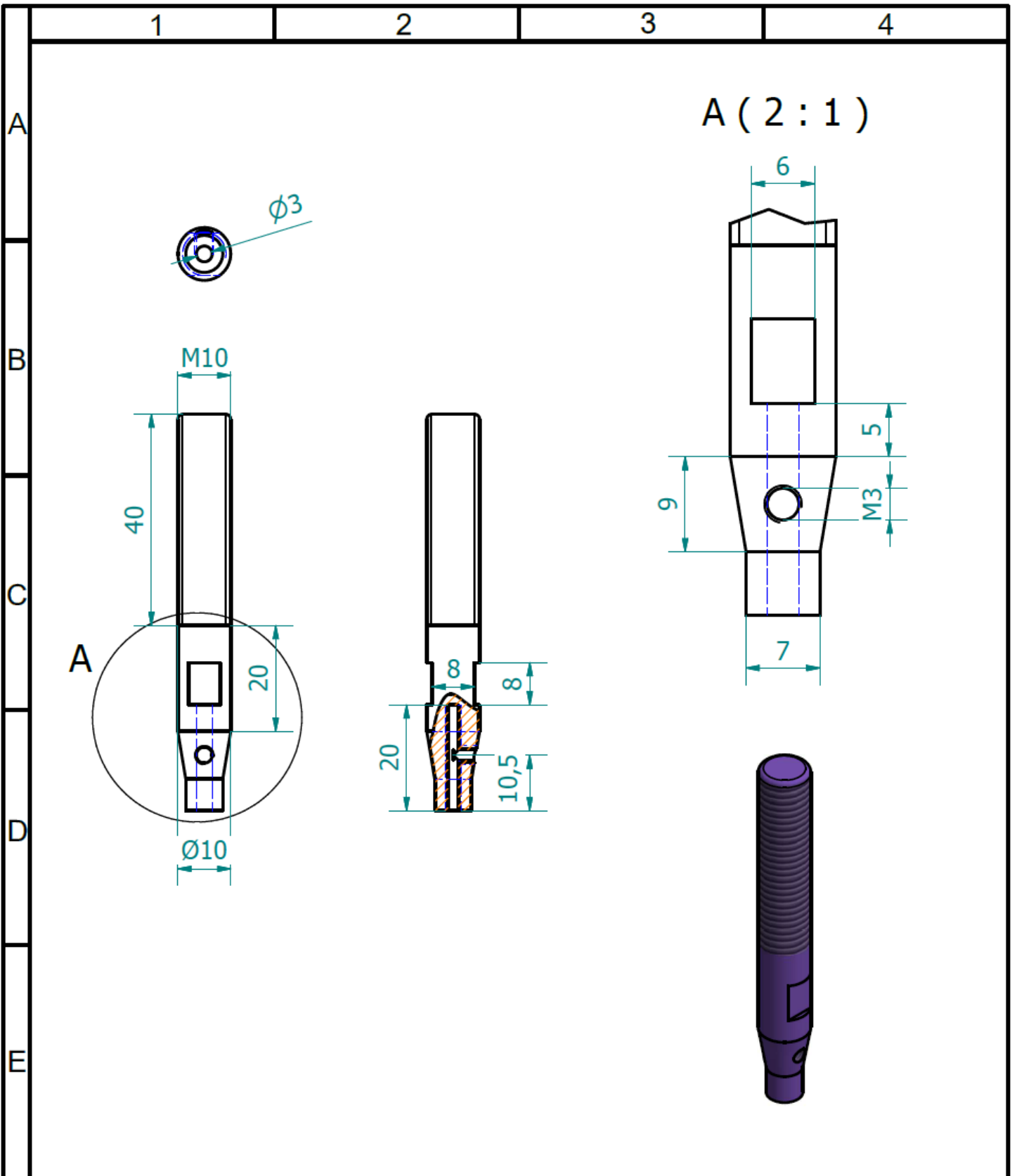
Soporte de probeta



Escala: 1:1

Hoja: 1

A4



Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz

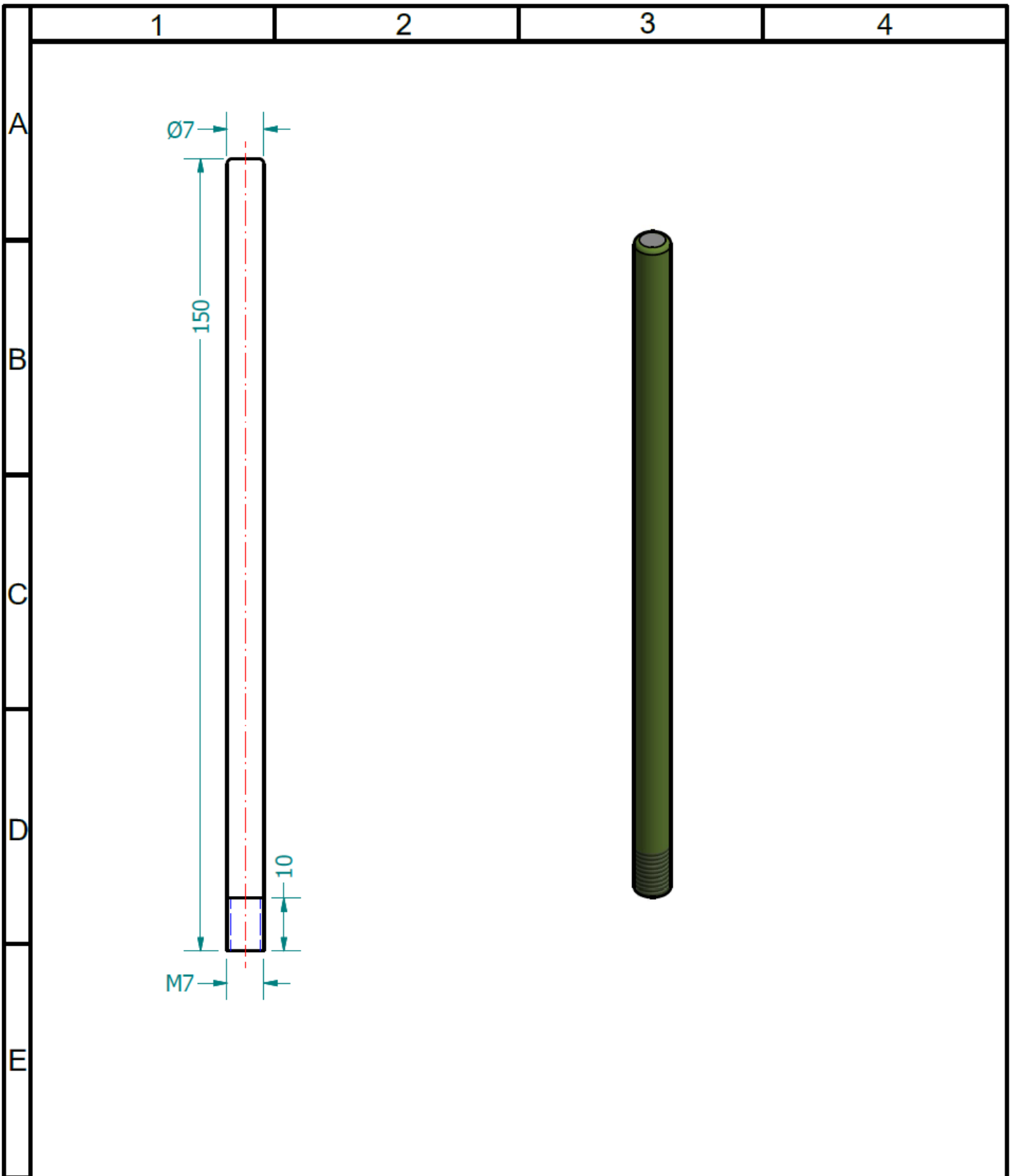
Cantidad: 1
Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
Proyec:	Israel Romero			
Dibuj:	Israel Romero			Procesos:
Rev:				
Aprob:				Material:
				Peso:

Título: Tribometro Pin - Disk	
Elemento: Identador Sist. Pin	
Escala: 1:1	Hoja: 5



A4



Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: ± 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz

Cantidad: 1

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
Proyec:	Israel Romero				
Dibuj:	Israel Romero			Procesos:	
Rev:					
Aprob:					
				Material:	
				Peso:	

Título:

Tribometro Pin - Disk

Elemento:

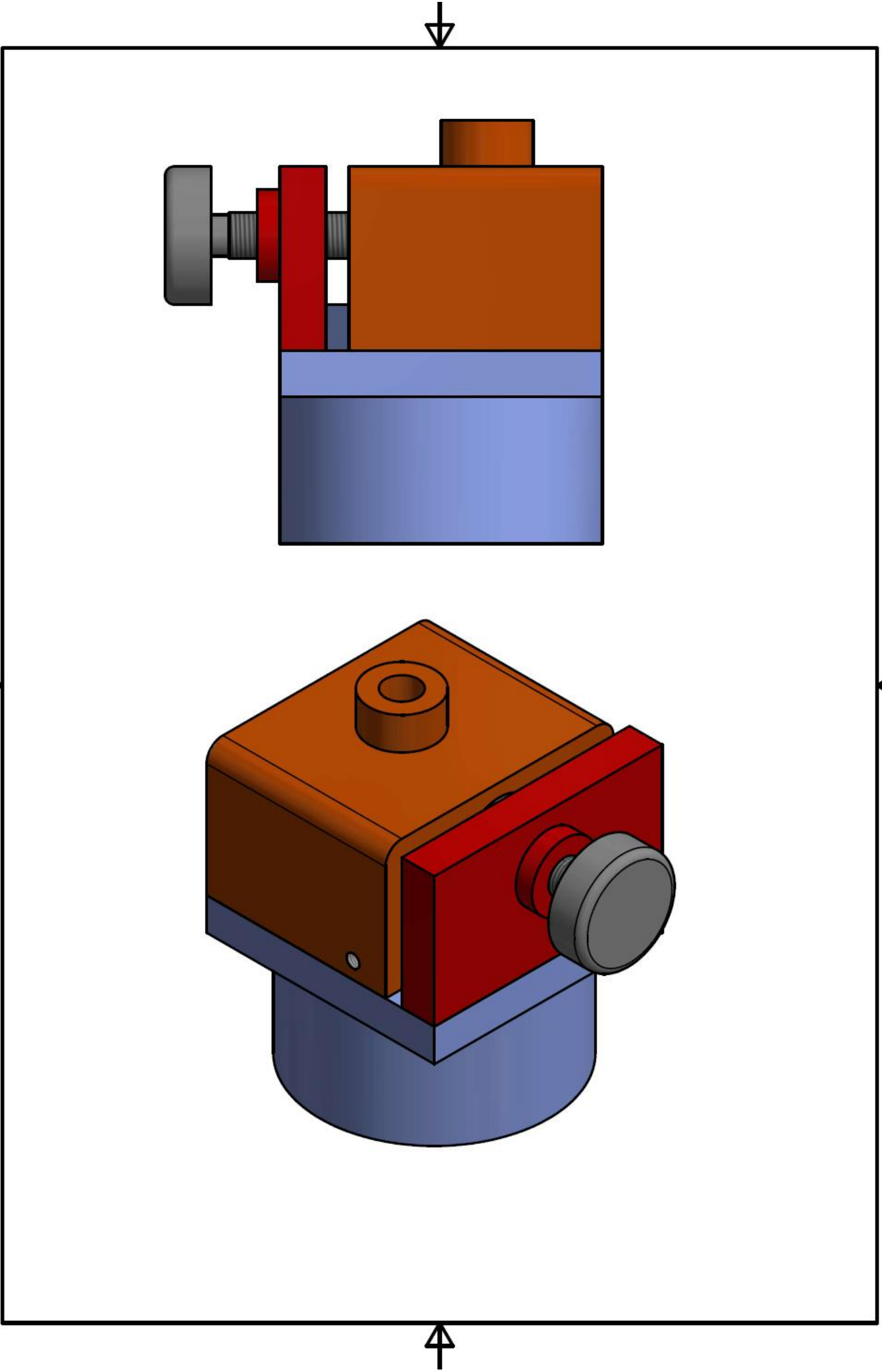
Pin alojador de peso Sist. Pin

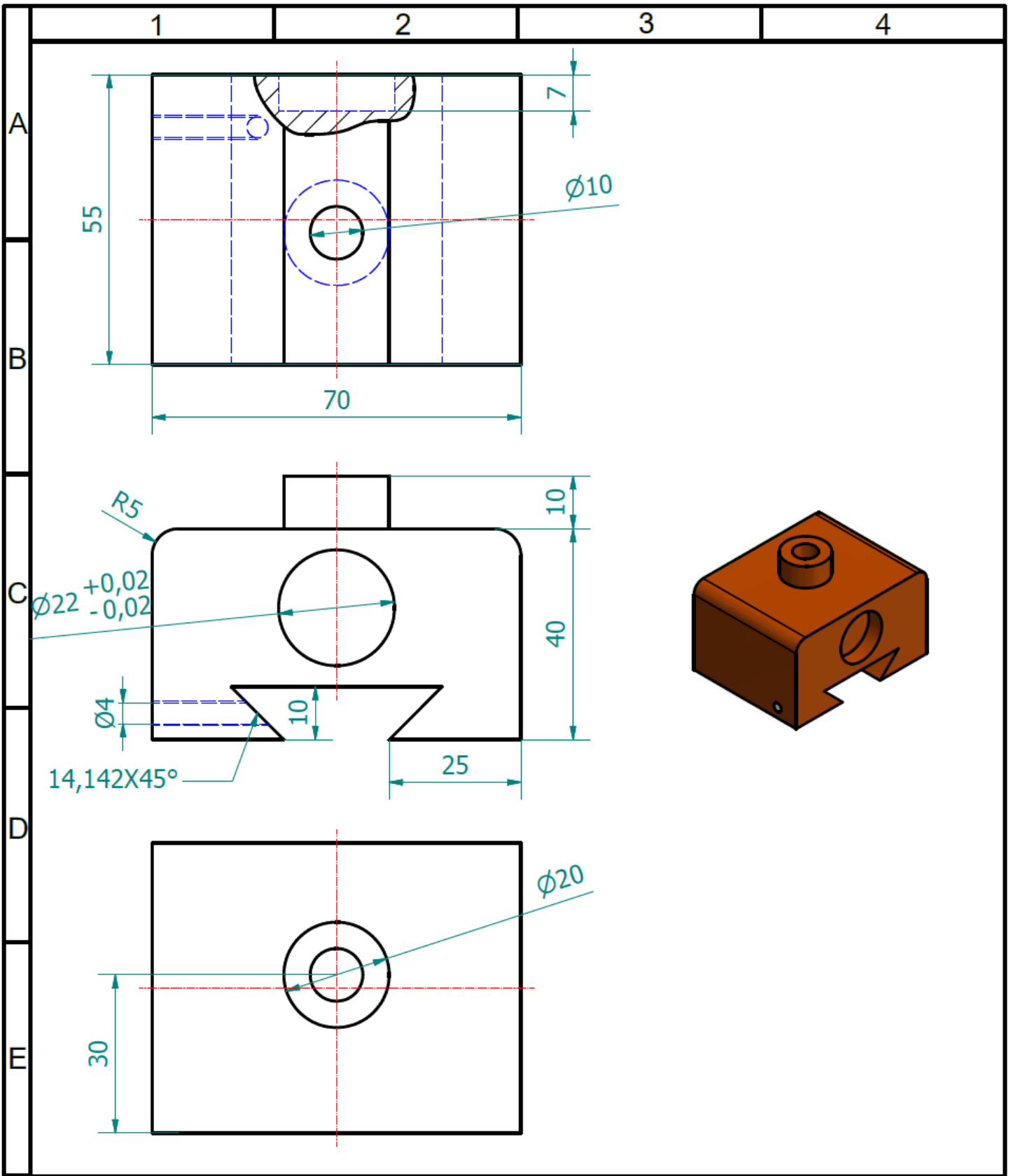


Escala: 2:1

Hoja: 6

A4





Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz

Cantidad: 1

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
Proyec:	Israel Romero			
Dibuj:	Israel Romero			Procesos:
Rev:				
Aprob:				Material:
				Peso:

Título:

Tribometro Pin - Disk

Elemento:

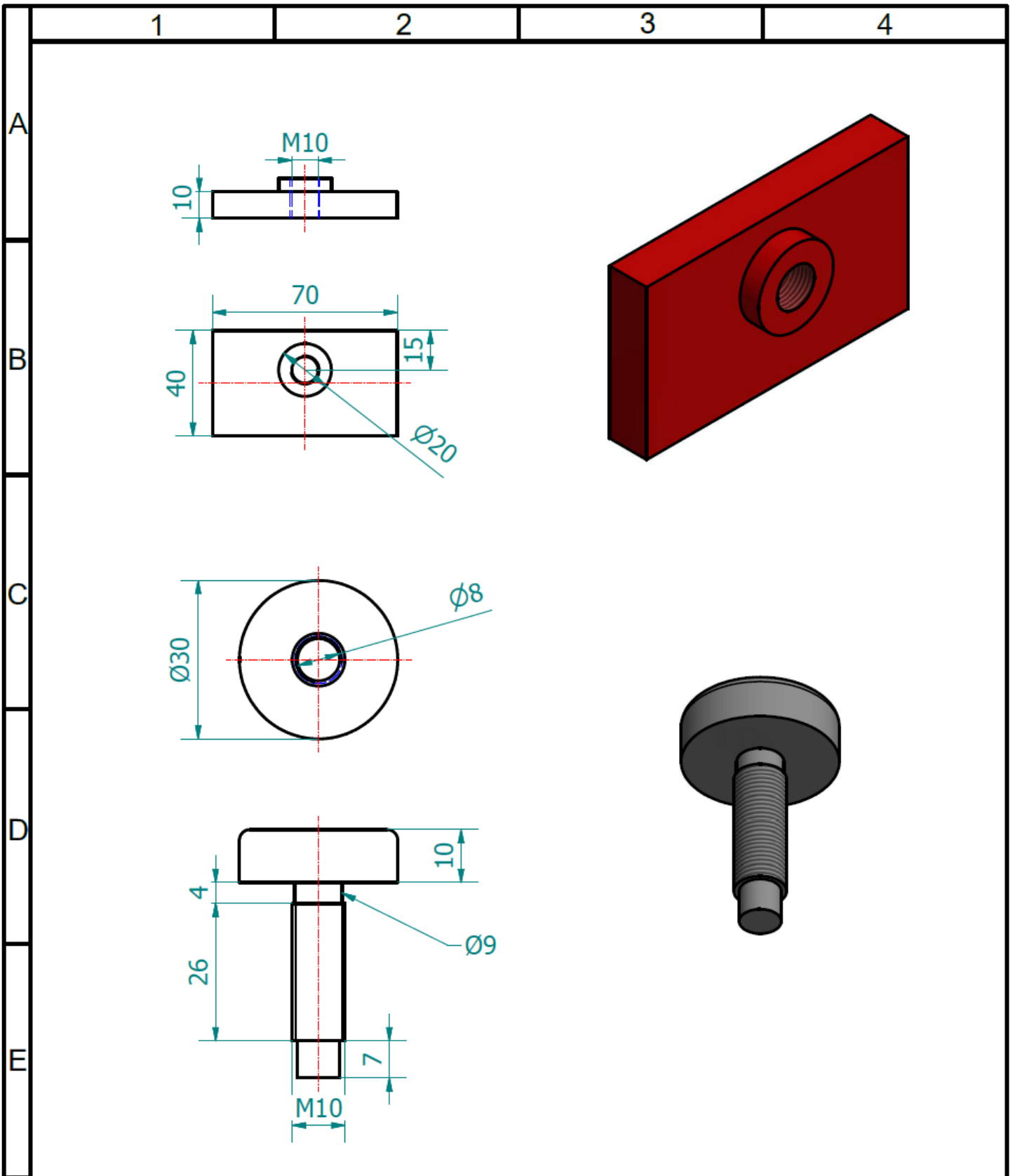
Corredera Sist. Pin



Escala: 1:1

Hoja: 10

A4



Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz

Cantidad: 1 C/U

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
Proyec:	Israel Romero		
Dibuj:	Israel Romero		
Rev:			
Aprob:			

Título:
Tribometro Pin - Disk



Procesos:

Material:

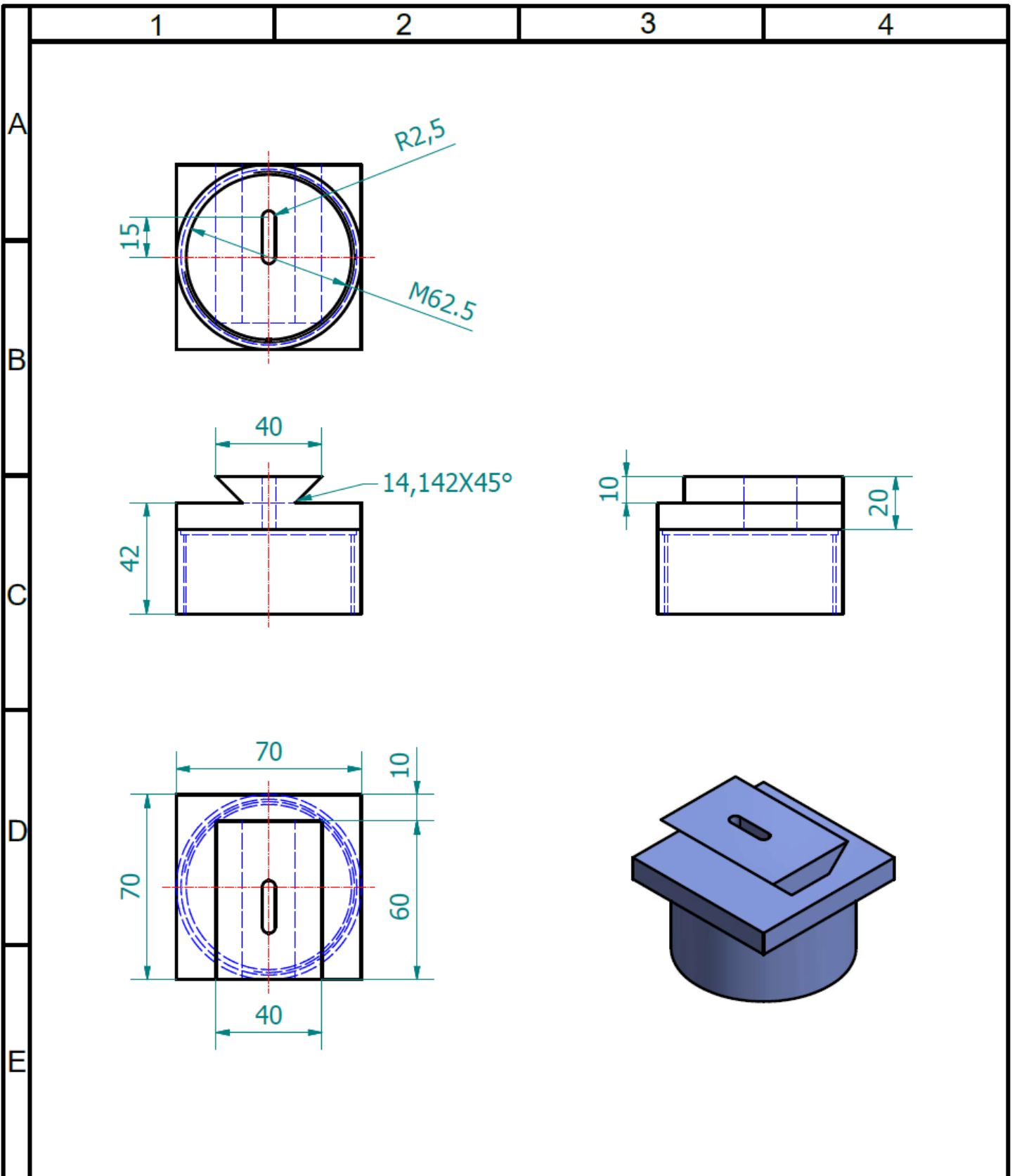
Elemento:
Tornillo, Placa lateral de corredera Sist. Pin



A4

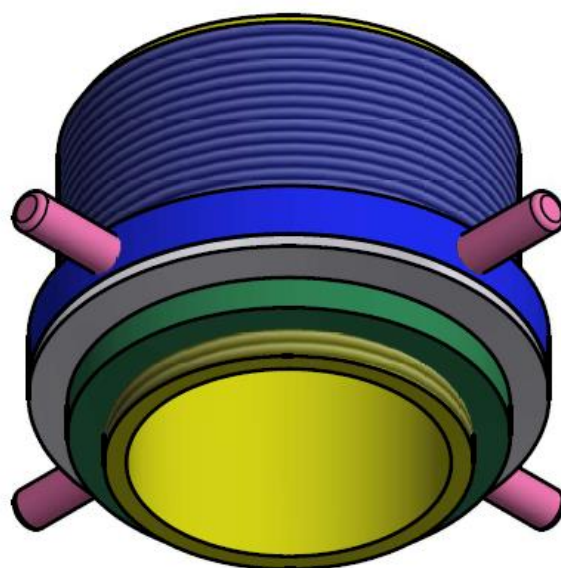
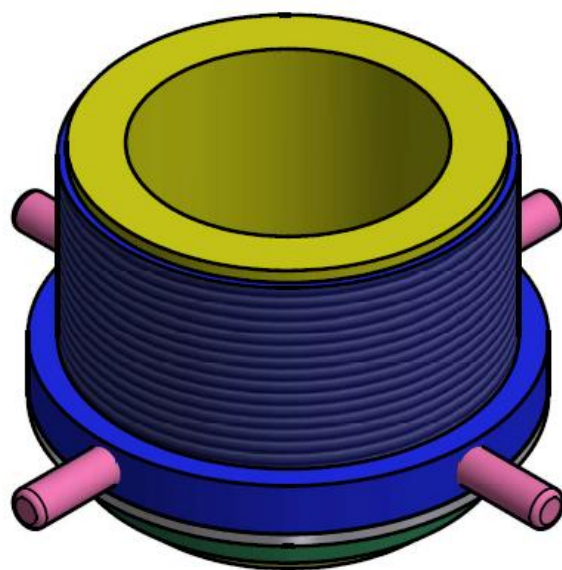
Peso:

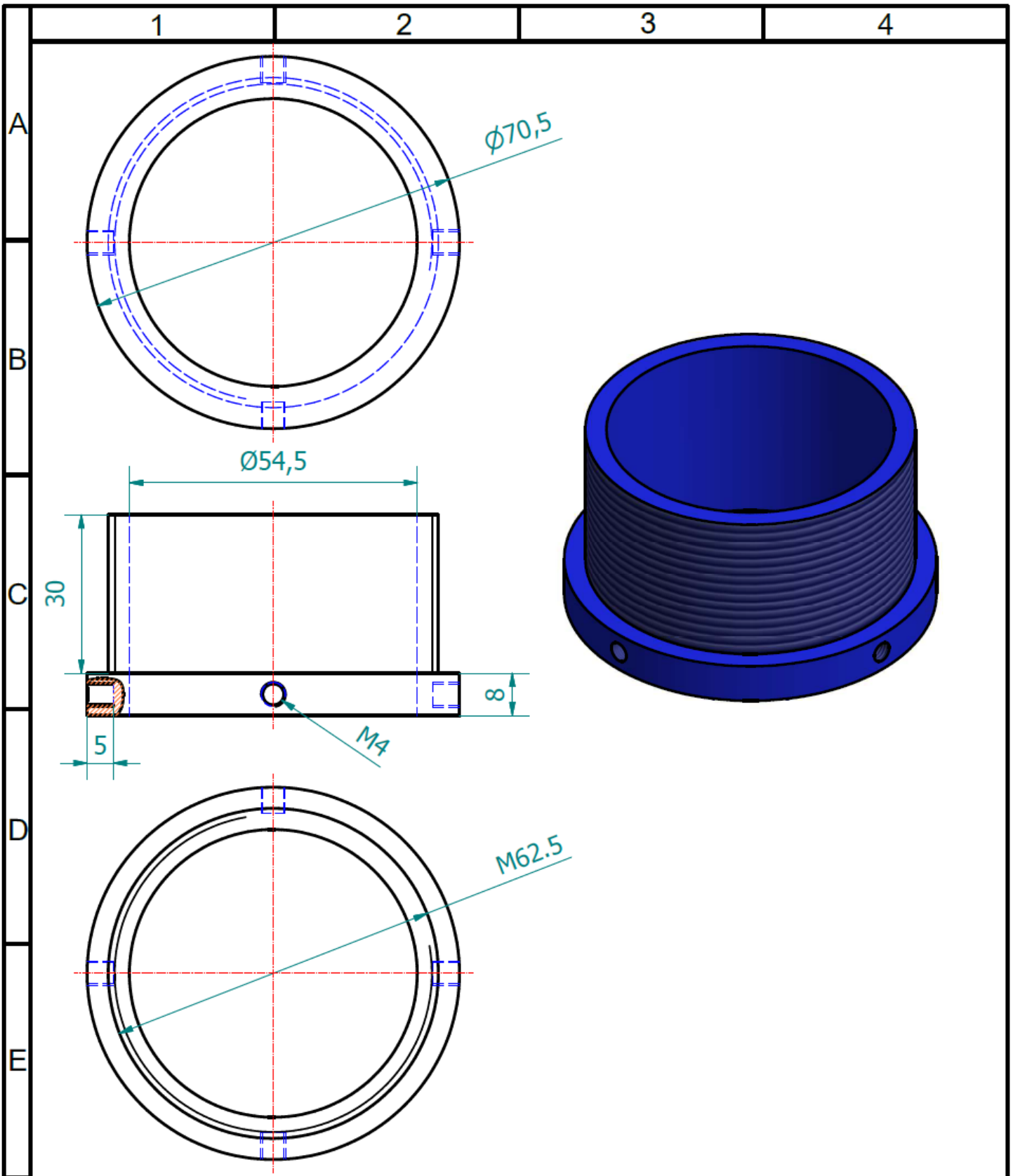
Escala: Varias

Hoja: 8



	Acabado:			Acabado superficial: Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm Lineal: Angular:		Ingeniería Automotriz		Cantidad: 1	
	NOMBRE		FIRMA	FECHA	Procesos:		Facultad de Ciencias de la Ingeniería		
Proyec:	Israel Romero				Material:		Título: Tribometro Pin - Disk		
Dibuj:	Israel Romero				Elemento:		Soporte Corredera		
Rev:					Peso:		Escala: 1:2		
Aprob:					Hoja: 9		A4		





Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz

Cantidad: 1

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
Proyec:	Israel Romero				
Dibuj:	Israel Romero			Procesos:	
Rev:					
Aprob:				Material:	
				Peso:	

Título:

Tribometro Pin - Disk

Elemento:

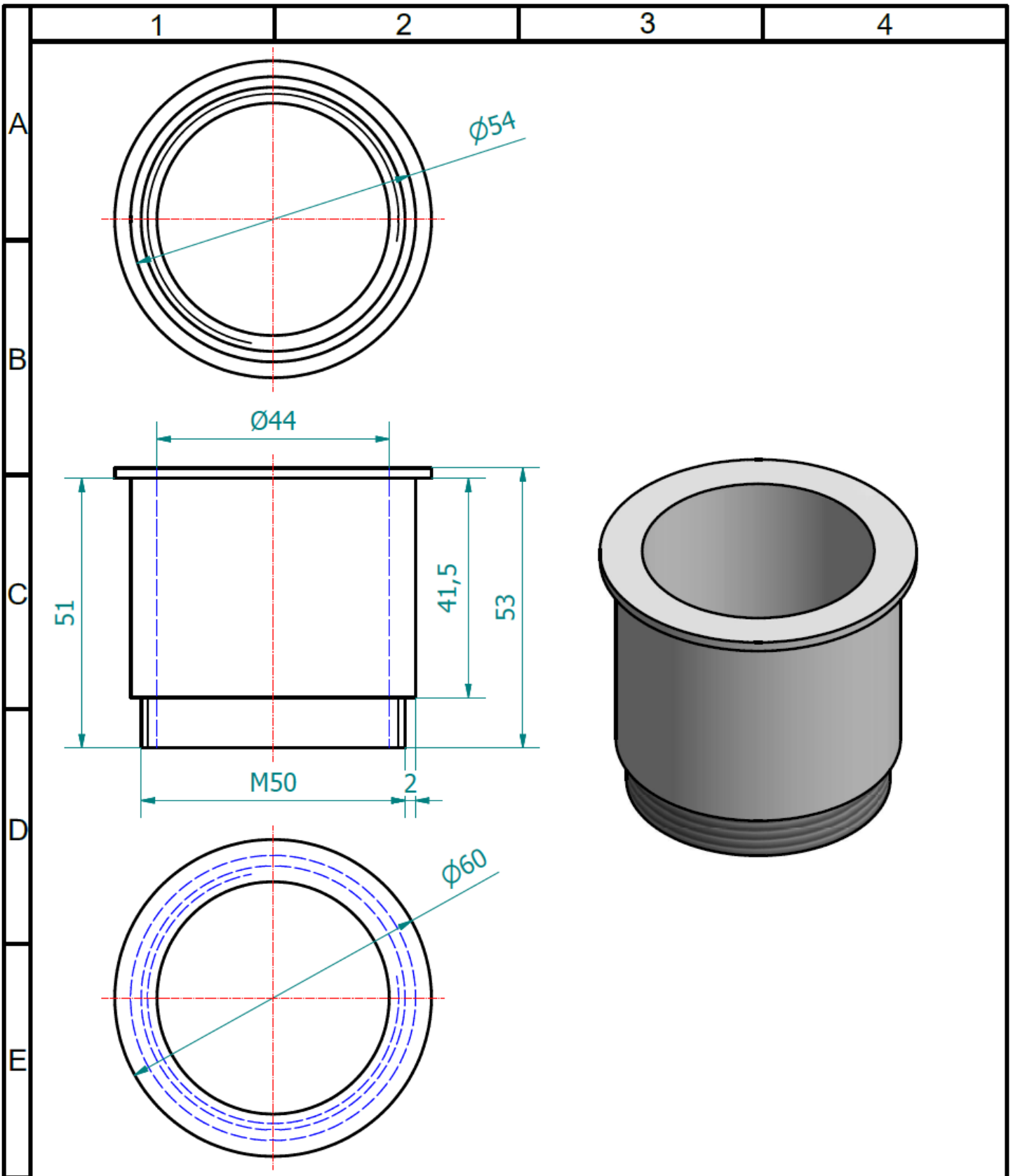
Tuerca de altura Sist. Pin



Escala: 1:1

Hoja: 11

A4



Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz

Cantidad: 1

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
Proyec:	Israel				
Dibuj:	Israel			Procesos:	
Rev:					
Aprob:					
				Material:	
				Peso:	

Título:

Tribometro Pin - Disk

Elemento:

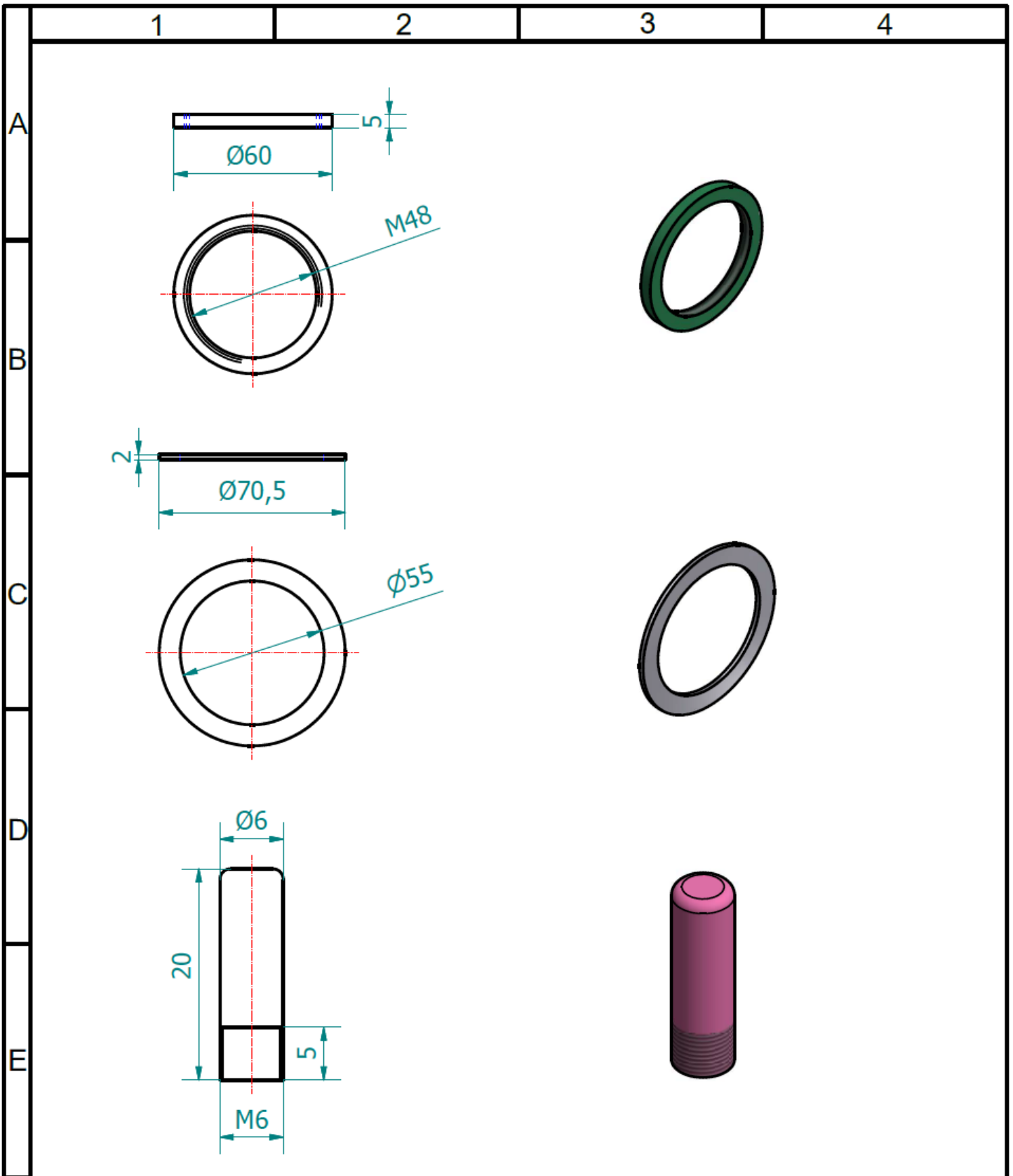
Buje fijo Sist. Pin



Escala: 1:1

Hoja: 12

A4



Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz

Cantidad: 1, 1, 4

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
Proyec:	Israel Romero			
Dibuj:	Israel Romero			Procesos:
Rev:			Varias	
Aprob:				Material: Varios
				Peso:

Título:

Tribometro Pin - Disk

Elemento:

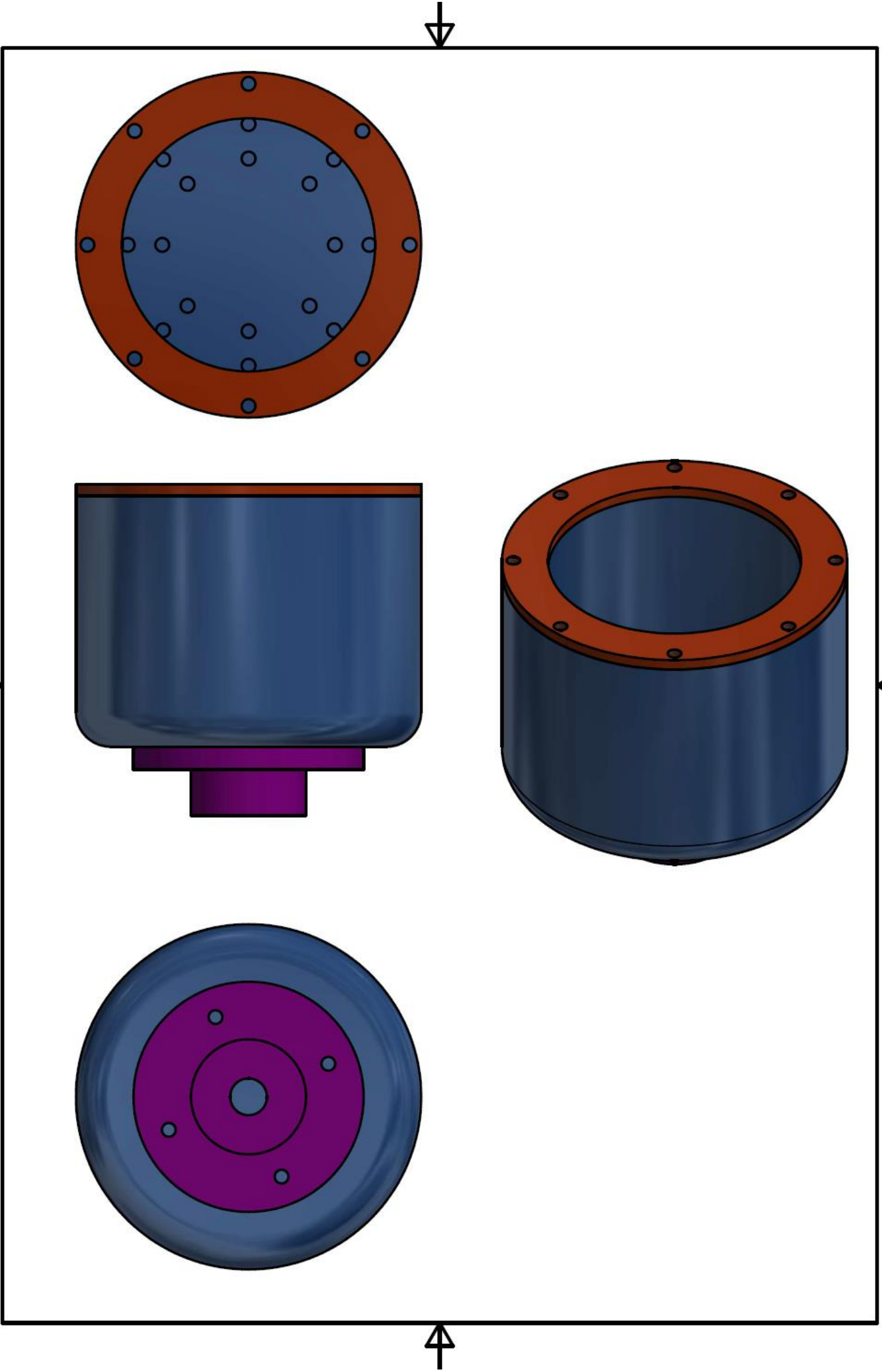
Tuerca de apriete, Arandela de presión, Buje fijo Sist. Pin

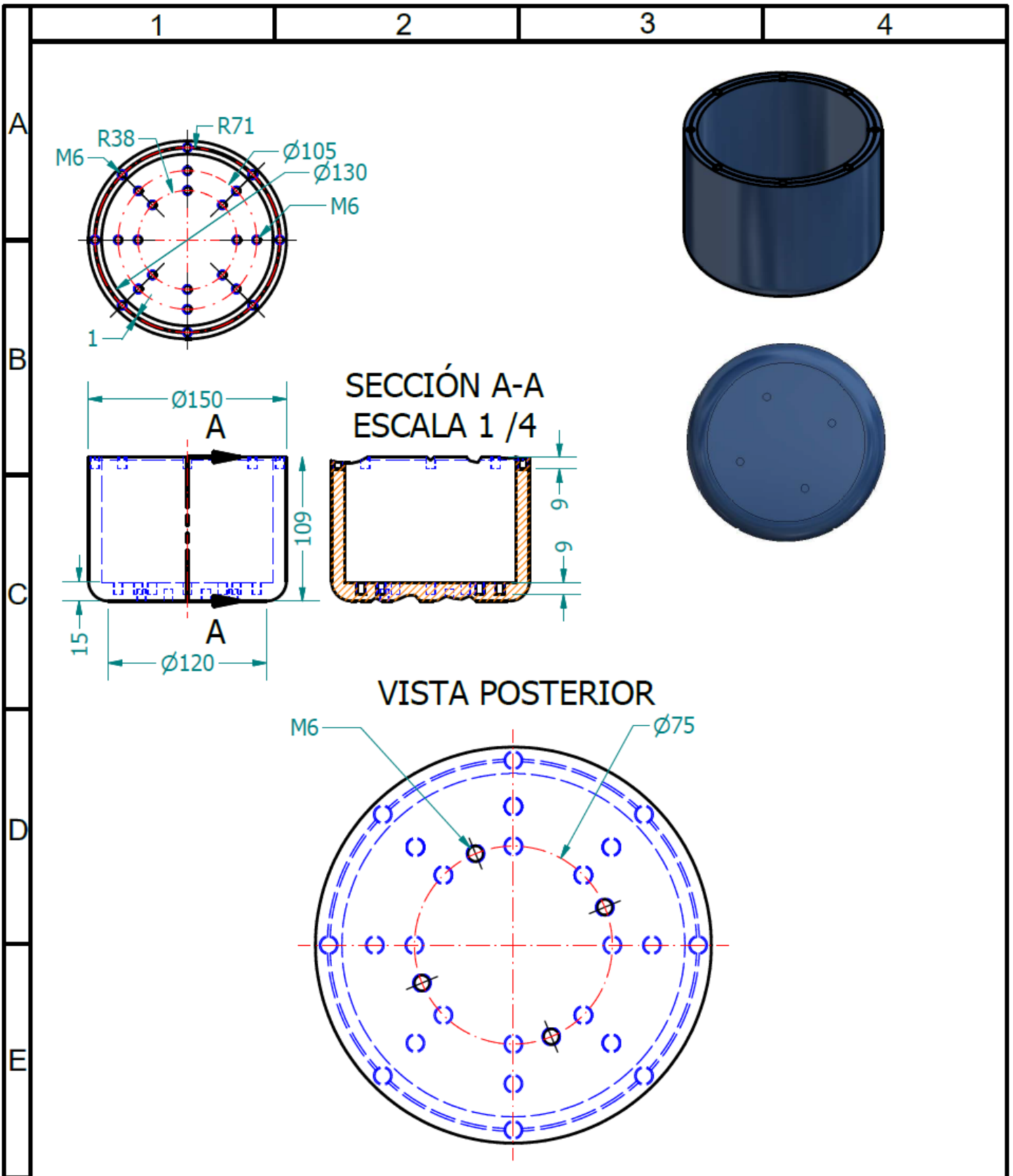


Escala: Varias

Hoja: 13

A4





Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz

Cantidad: 1
Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
Proyec:	Israel Romero		
Dibuj:	Israel Romero		
Rev:			
Aprob:			

Título:
Tribometro Pin - Disk

Procesos:

Material:

Peso:

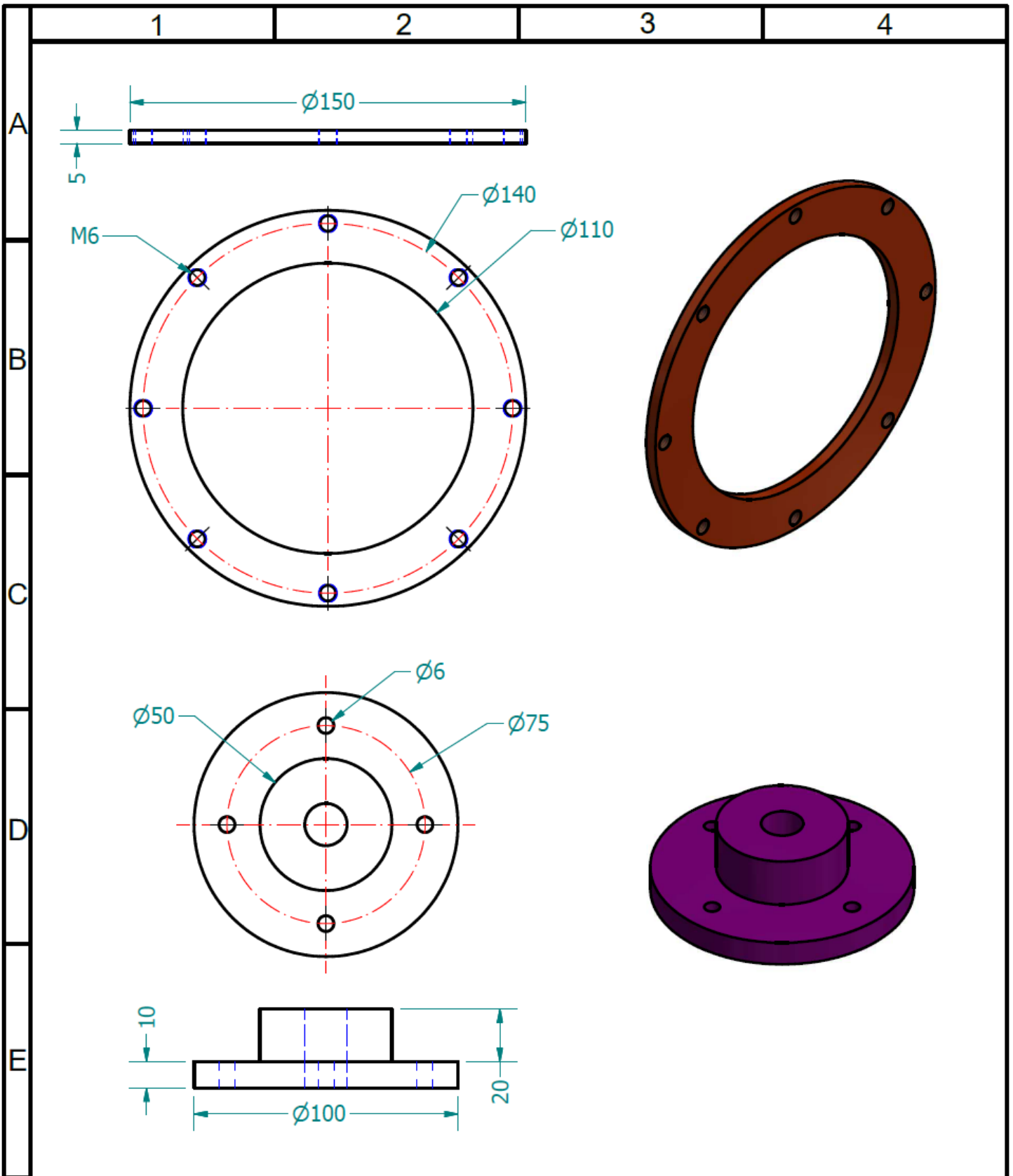
Elemento:
Recipiente Sist. Disk

Escala: 1:2

Hoja: 14



A4



Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz

Cantidad: 1

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
Proyec:	Israel Romero				
Dibuj:	Israel Romero			Procesos:	
Rev:					
Aprob:					Material:
				Peso:	

Título:

Tribometro Pin - Disk

Elemento:

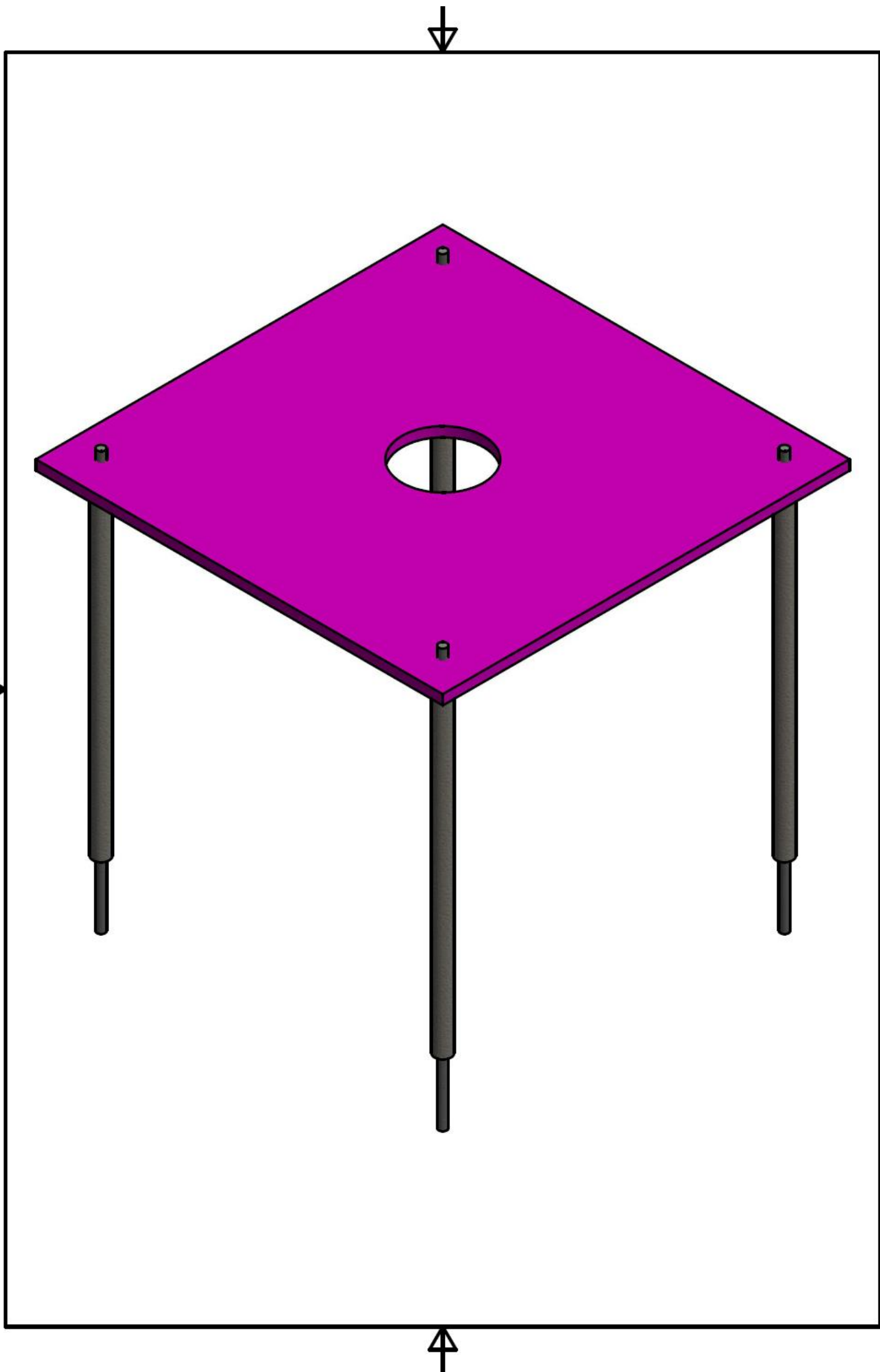
Tapa recipiente, Base
Recipiente Sist. Disk

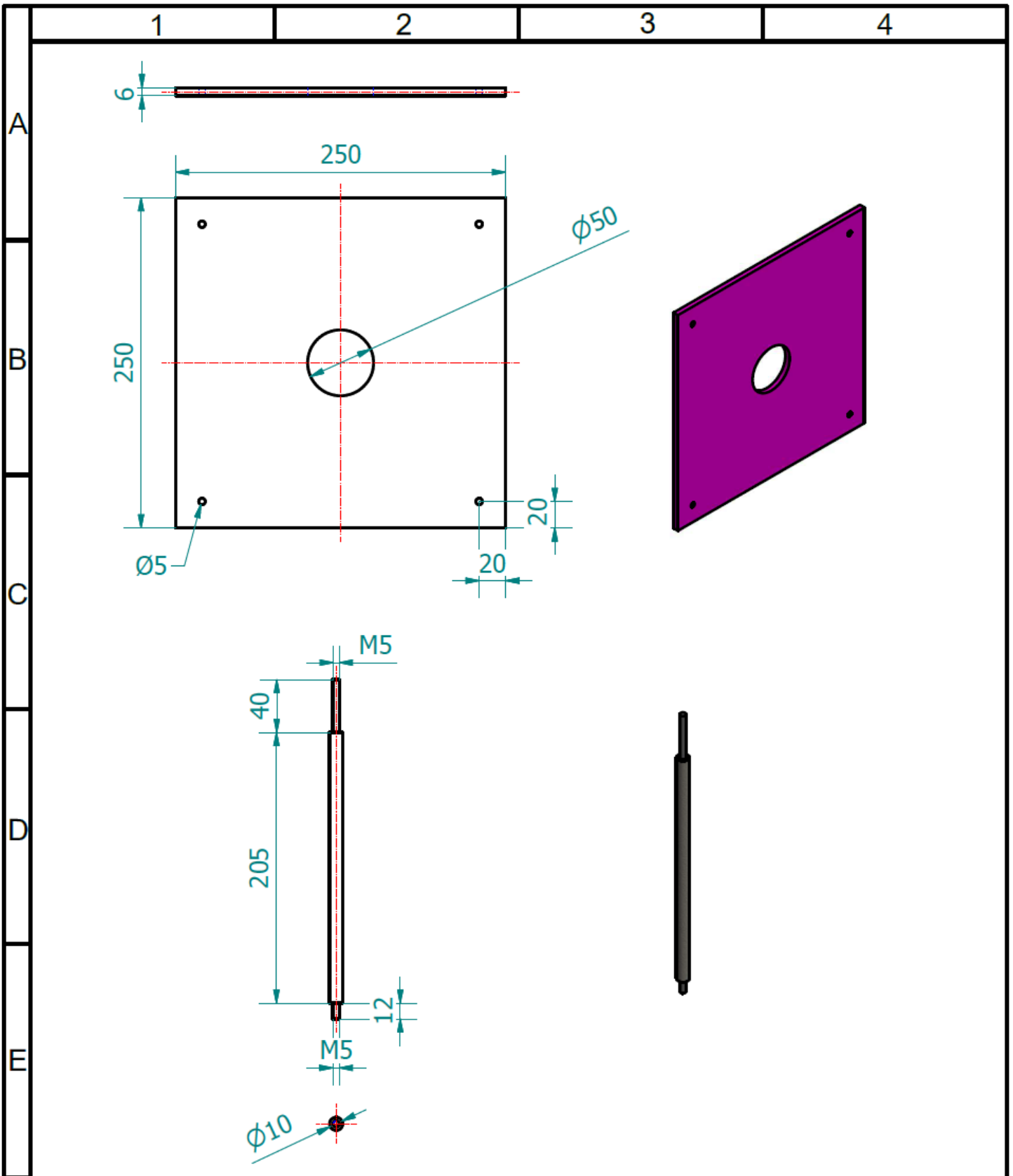


Escala: 1:2

Hoja: 15

A4





Acabado:

Acabado superficial:
Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm
Lineal:
Angular:

Ingeniería Automotriz Cantidad: 1, 4
Facultad de Ciencias de la Ingeniería

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
Proyec:	Israel Romero			
Dibuj:	Israel Romero			Procesos:
Rev:				
Aprob:				Material:
				Peso:

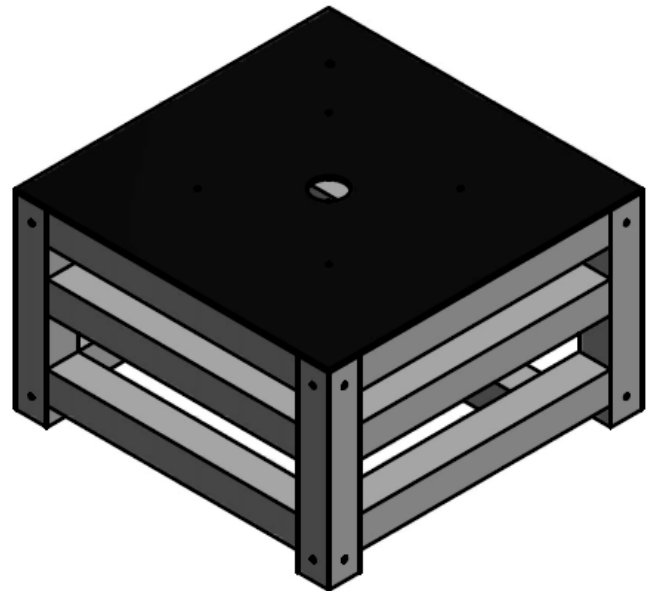
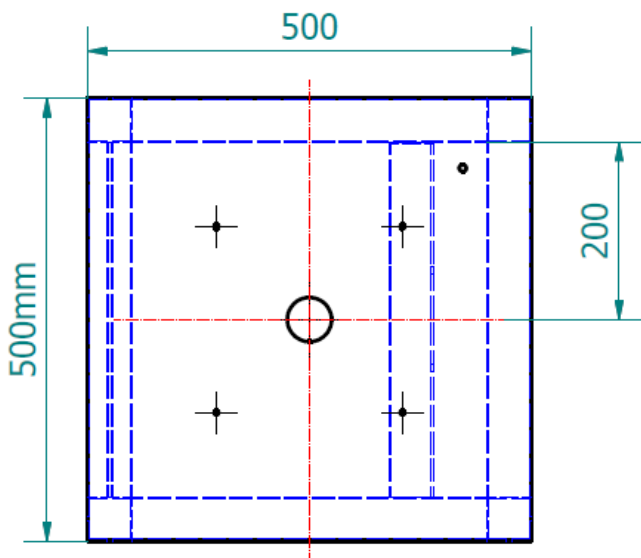
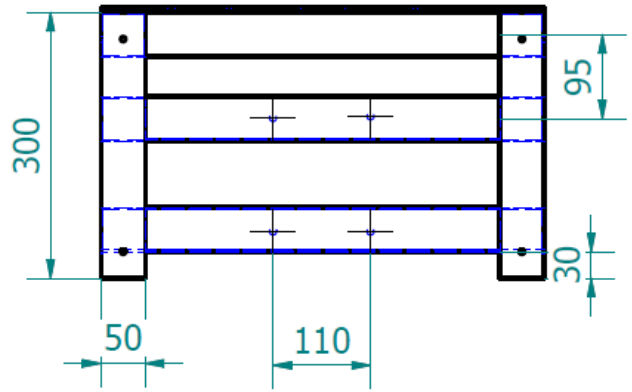
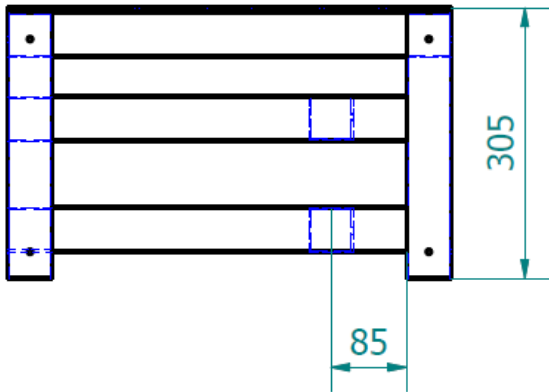
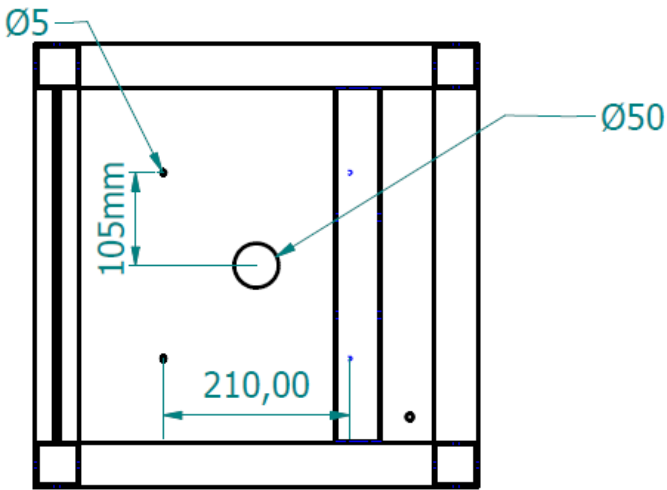
Título:
Tribometro Pin - Disk

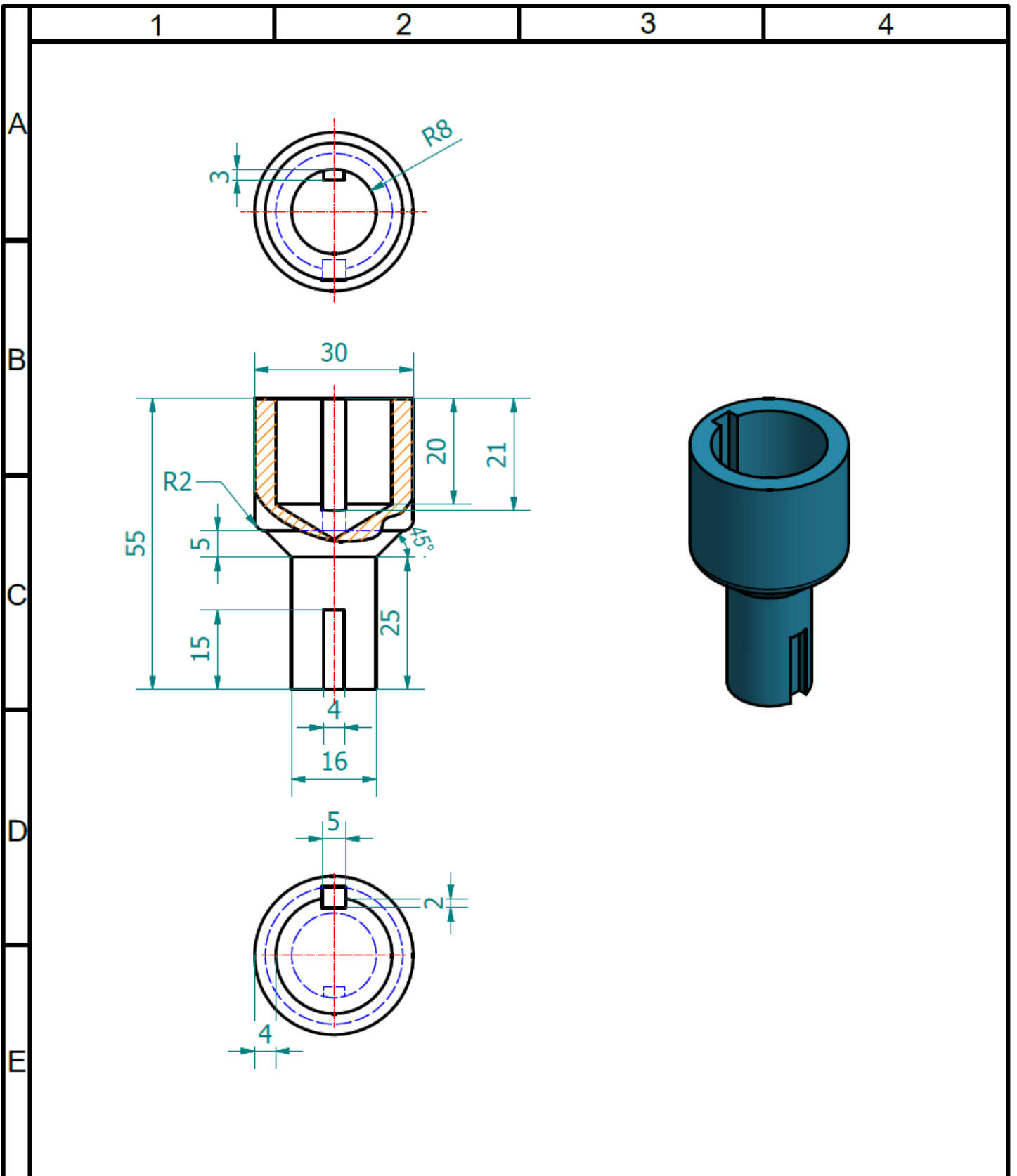
Elemento:
Placa , eje de acople Soporte
Sist. Pin


Escala: 1:4 Hoja: 7



A4





	Acabado:			Acabado superficial: Tolerancia: +/- 0.1 & 2 mm Lineal: Angular:		Ingeniería Automotriz		Cantidad: 1	
						Facultad de Ciencias de la Ingeniería			
Proyec:		Israel Romero		FECHA:		Título:		Tribometro Pin - Disk	
Dibuj:		Israel Romero		Procesos:		Elemento:		Acople motor - portaprobeta	
Rev:				Material:		Escala: 1:1		Hoja: 2	
Aprob:				Acero		Peso:		A4	