



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

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

Tema:

**“Repotenciación de la máquina pulidora utilizada para ensayos metalográficos del
laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato”**

Autor: Fiallos López, Fernando Andrés

Tutor: Ing. Espín Lagos, Segundo Manuel Mg.

Ambato – Ecuador

2019

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del proyecto técnico sobre el tema: **“Repotenciación de la máquina pulidora utilizada para ensayos metalográficos del laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato”**, desarrollado por el señor Fernando Andrés Fiallos López, de la Carrera de Ingeniería Mecánica , modalidad presencial, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos, tanto técnicos como científicos y corresponde a las normas establecidas en el Reglamento de Graduación de Pregrado, de la Universidad Técnica de Ambato y en el normativo para presentación de Trabajos de Graduación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Por lo tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente, para que sea sometido a evaluación por los profesores calificadores designados por el H. Consejo Directivo de la Facultad.

Ambato, 5 de Agosto del 2019.

TUTOR



.....
Ing. Segundo Manuel Espín Lagos

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Fernando Andrés Fiallos López con cédula de identidad No. 180482168-2, tengo a bien indicar que los criterios emitidos en el proyecto técnico, bajo el tema: **“REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA PULIDORA UTILIZADA PARA ENSAYOS METALOGRAFÍCOS DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”**, así como también los contenidos presentados, ideas, análisis, síntesis de datos, conclusiones, son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor de este Proyecto Técnico.

Ambato, 5 de Agosto del 2019.

AUTOR



Fernando Andrés Fiallos López

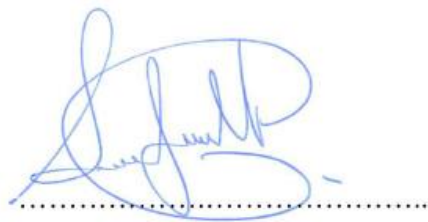
C.I. 180482168-2

DERECHOS DE AUTOR

Yo Fernando Andrés Fiallos López con cédula de identidad No. 180482168-2 apruebo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Técnico una fuente aprovechable para la lectura, consulta e investigación, según dicten las normas de la Universidad. Concedo los derechos de mi Trabajo Técnico con fines de difusión pública, y autorizo la reproducción de este Trabajo Técnico, dentro de las regulaciones de la institución, de tal manera que esta reproducción sea sin fines de lucro y se lo realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 5 de Agosto del 2019.

AUTOR



Fernando Andrés Fiallos López

C.I. 180482168-2

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

El Tribunal de Grado, aprueba el proyecto técnico, sobre el tema: **“REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA PULIDORA UTILIZADA PARA ENSAYOS METALOGRAFÍCOS DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”**, elaborado por Fernando Andrés Fiallos López, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, 5 de Agosto del 2019.



Ing. Mg. Christian Castro



Ing. Mg. María Belén Paredes

DEDICATORIA

A mis padres Reemberto Fiallos y María López quienes han fomentado en mi vida valores y moral, ellos que cuidaron siempre de mí bienestar y educación, porque depositaron su entera confianza en mí sin dudar ni un solo momento de mi capacidad y saber que lo podía lograr. Una mención especial a mi madre que cada día supo brindarme el apoyo necesario durante todo este tiempo, quien alentó mis triunfos y me consoló en mis fracasos. A mis hermanos que han estado ahí cuando todo parecía perdido y que siempre los encontrare cuando lo necesite.

A mi novia Dayana que cada día me brindó el aliento y las fuerzas para continuar, gracias por estar siempre a mi lado.

Este logro alcanzado es gracias a ustedes.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios y a Jesús a quienes siempre he puesto mi fe, por darme las fuerzas y paciencia necesaria para hacer realidad este logro de mi vida, y por todas las pruebas que me ha puesto para ayudarme a crecer y ser más fuerte.

Agradezco enormemente a mi Padres que me enseñaron a no vender mi paz por un puño de moneda, que no hay pretextos en la vida para lograr lo que te propones a mis hermanos quienes han estado para darme su soporte y su comprensión. Sin duda alguna no podía faltar una persona increíblemente maravillosa quien me apoyo en el momento más difícil de mi carrera mi querida Tía Elvia Reiss.

Al Ing. Segundo Manuel Espín Lagos por su acertada dirección, generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a sus conocimientos y así poder culminar el proyecto técnico.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	x
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	x
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Fundamentación teórica.....	4
1.3.1 Análisis macroscópico	6
1.3.2 Preparación de probetas metalográficas.....	8
1.3.3 Pulido	11
1.3.4 Pulidoras metalográficas	13

CAPITULO II	15
METODOLOGÍA	15
2.1. Materiales.....	15
2.2. Métodos.....	18
2.2.1 Nivel o tipo de investigación.....	18
2.2.2 Norma.....	19
2.2.3 Organigrama de procesos.....	20
CAPÍTULO III.....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
3.1 Análisis y discusión de resultado	21
3.1.1 Parámetros de operación	21
3.1.2 Diseño del sistema de sujeción	25
3.1.3 Mejoramiento del sistema de desagüe.....	49
3.1.4 Optimización del sistema refrigeración	50
3.1.5 Mejoras implementadas	51
3.1.6 Pruebas de funcionamiento	52
3.1.7 Análisis de los elementos mecánicos mediante un software.....	52
CAPITULO IV	59
4.1 Conclusiones	59
4.2 Recomendaciones.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS A.....	63
MANUAL DE FUNCIONAMIENTO.....	63
ANEXOS B.....	66

DOCUMENTACIONES DE SOPORTE.....	66
ANEXOS C.....	76

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Índice de tablas

Tabla 1.1: Diferentes rangos de tamaños para estructuras típicas en materiales.	6
Tabla 1.2: Descripción de los componentes utilizados.	15
Tabla 2.3: Especificaciones de la norma ASTM E 3-1	25
Tabla 2.4: Especificaciones generales de un perfil estructural (viga en G), del catálogo de DIPAC].	28
Tabla 3.5: Metales utilizados con su tiempo de pulido.....	52

Índice de figuras

Figura 1.1: Sección a través de una arco de soldadura a tope	7
Figura 1.2: Macroestructura, muestra de un lingote de aluminio aleado.....	7
Figura 1.3: Formación de granos por solidificación	9
Figura 1.4: Desbaste final.....	11
Figura 1.5: Pulido final de una probeta	12
Figura 1.6: Rayaduras puntuales	12
Figura 1.7: Rayaduras concéntricas.....	13
Figura 1.8: Pulidora automática de ensayos metalográficos.....	13

Figura 1.9: Pulidora metalográfica presi mecapol p 400 pere b	14
Figura 2.10: Distribución de carga.	22
Figura 2.11: Diagrama de cuerpo libre.	22
Figura 2.12: Diagrama de fuerzas de fricción entre el paño y las probetas.	23
Figura 2.13: Diagramas de cargas aplicadas.	26
Figura 2.14: Diagrama de fuerza cortante.	26
Figura 2.15: Diagrama de momento flector.	27
Figura 2.16: Diagramas de cargas aplicadas.	29
Figura 2.17: Diagrama de fuerza cortante.	29
Figura 2.18: Diagrama de momento flector.	30
Figura 2.19: Fuerzas que actúan en el eje.	31
Figura 2.20: Diagrama de cuerpo libre.	33
Figura 2.21: Diagrama de fuerza cortante.	33
Figura 2.22: Diagrama de momento flector.	34
Figura 2.23: Diagrama del resorte del porta probeta.	42
Figura 2.24: Cargas que soporta el rodamiento.	45
Figura 2.25: Diagrama para el drenaje del agua.	49
Figura 3.26: Sistema de refrigeración existente [4].	50
Figura 3.27: Sistema de refrigeración.	51
Figura 3.28: Mejoras implementadas.	51
Figura 3.29: Cargas a las que esta sometida el eje.	52
Figura 3.30: Esfuerzo de Von Mises.	53
Figura 3.31: Factor de seguridad del eje.	54
Figura 3.32: Carga que soporta la viga.	55

Figura 3.33: Factor de seguridad de la viga.....	55
Figura 3.34: Tensiones normales en la viga.	56
Figura 3.35: Estructura interna de la máquina.	57
Figura 3.36: Cargas que soporta la estructura.....	57
Figura 3.37: Esfuerzo de von mises.....	58
Figura 3.38: Factor de seguridad.	58

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA: “REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA PULIDORA UTILIZADA PARA ENSAYOS METALOGRAFÍCOS DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”

AUTOR: Fernando Andrés Fiallos López

TUTOR: Ing. Segundo Manuel Espín Lagos

RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo técnico desarrollado surge por la necesidad de optimizar tiempo en el pulido final de probetas metalográficas del laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica. Puesto que el proceso se lo realiza manualmente lo que conlleva tiempo a la hora de hacer el análisis metalográfico. Es por esta razón que se repotenció la máquina pulidora, para la elaboración de este trabajo se utilizó la norma ASTM E 3-11 guía estándar para la preparación de muestras metalográficas, luego se diseñaron los componentes mecánicos del cabezal giratorio, disco de sujeción de muestras, del sistema de refrigeración y desagüe. Complementando con simulaciones en un software especializado.

Una vez realizado el diseño los componentes mecánicos se procedió a la construcción y al montaje de este mecanismo que se desarrolló de acuerdo a los parámetros antes mencionados. Una vez construida la máquina se obtuvo una reducción de tiempo representativa en el pulido de la muestra, aportando al desarrollo de prácticas del laboratorio de materiales.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS
MECHANICAL ENGINEERING CAREERS

TOPIC: REPOTENCIATION OF THE POLISHING MACHINE USED FOR METALLOGRAPHIC TESTS OF THE MECHANICAL ENGINEERING LABORATORY OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO "

AUTHOR: Fernando Andrés Fiallos López

TUTOR: Ing. Segundo Manuel Espín Lagos

ABSTRACT

The technical work developed arises from the need to optimize time in the final polishing of metallographic specimens from the materials laboratory of the Mechanical Engineering career. Since the process is done manually which takes time when making metallographic analysis. It is for this reason that the polishing machine was repotended, for the elaboration of this work the standard ASTM E 3-01 standard guide for the preparation of metallographic samples was used, then the mechanical components of the rotating head, of the clamping disk of samples, cooling and drainage system. Complementing simulations in specialized software.

Once the design of the mechanical components was carried out, the construction and assembly of this mechanism was developed according to the aforementioned parameters. Once the machine was built, a representative time reduction was obtained in the polishing of the sample, contributing to the development of laboratory practices of material.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

Para la realización de este tema se han analizado diferentes investigaciones similares al tema presentado para así obtener una información útil que ayude al desarrollo del mismo. En la Escuela Politécnica del Ejército, en el año 2006, se tiene que los Srs. Marcos Sebastián Paredes Proaño y David Vladimir Vivanco Salazar, plantearon el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE PULIDO DE PROBETAS METÁLICAS (CAPACIDAD DE 4 PROBETAS POR HORA) PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA FIM-E”. La elaboración de este proyecto surge por la necesidad de optimizar tiempo en el laboratorio de metalurgia, además de ser un proyecto practico y tecnológico que ofrece servicios sobre el pulido de varias probetas al mismo tiempo, por ello la utilización de la misma hasta la actualidad, la práctica se realiza en un tiempo de 20 minutos [1].

En el estudio de DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA EL PULIDO AUTOMÁTICO DE SUPERFICIES PLANAS DE ACERO INOXIDABLE, este proyecto fue elaborado por los egresados Mercedes Silvana Valle Lalama, Edgar Benjamín Aquietta Tibán para la obtención del grado ingeniero en electromecánica en la carrera de ingeniería electromecánica en la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE-L. Este trabajo tiene como objetivo inicial reducir el tiempo de producción de accesorios elaborados en la empresa Servitorno. Los sistemas de esmerilado y pulido tienen un mecanismo de elevación para cuando exista superficies planas con espesores mayores o menores [2].

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE DESBASTE PARA PROBETAS METALGRÁFICAS”, el proyecto mencionado es realizado por los estudiantes Andrés Naranjo Mendoza y Enrique Racines Mendoza previo a la obtención del título de ingeniero mecánico en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional. El proyecto tiene como objetivo diseñar y construir una máquina desbastadora de probetas metalográficas para el laboratorio de metalografía de la escuela politécnica nacional, la maquina ayudara al operario a reducir tiempos y esfuerzos de desbaste debido a que el proceso es de tipo manual [3].

En el desarrollo del proyecto de titulación “ESTUDIO DE SISTEMAS DE PULIDO DE PROBETAS METALGRÁFICAS Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE PULIDO EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” que fue desarrollado como proyecto técnico por el egresado Crhistian Renato Merino Freire, previo a la obtención del título de ingeniero mecánico de la facultad de Ingeniería Civil Y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato obteniendo como conclusión: la realización de dos tipos mecanismos de pulido, relacionadas con el tema que ha sido objeto de tesis para este trabajo investigativo. Una vez ensayados los métodos se logró datos reales de un inconveniente presente en las practicas metalográficas, proporcionando información verídica, lo que ayudo a constituir una respuesta a la problemática existente siendo algo recurrente la construcción de un máquina pulidora que ayude al proceso de pulido en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato [4].

Nelson Santos, Elmer López, Juan López, desarrollaron un proyecto técnico bajo el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA EL LIJADO DE MUESTRAS METALGRÁFICAS PLANAS”, donde para el diseño de dicha máquina utilizan fundamentalmente el libro de Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley, se refiere a la importancia de la metalografía para la industria, ya sea para

corroborar propiedades de materiales metálicos o para determinar posibles causas de falla en elementos mecánicos y así poder reducir accidentes de trabajo y fallas prematuras [5].

En el artículo técnico de Cuauhtémoc Héctor Castañeda Roldán bajo el tema, “ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO DE UNA HERRAMIENTA DE PULIDO”, se obtuvo conocimiento del movimiento de una herramienta de pulido, esta máquina tiene un brazo recto horizontal capaz de moverse armónicamente, del cual se sujetan las herramientas de pulido que entran en contacto con la superficie del vidrio. El vidrio gira sobre un soporte que se encuentra por debajo del brazo. La herramienta está compuesta por herramientas rectangulares independientes, sujetas a una misma barra rectangular por medio de una aguja de movimiento vertical libre [6].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General.

Repotenciar la máquina pulidora del laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros de operación para la máquina pulidora.

Para desarrollar la repotenciación de la máquina se conocen los parámetros principales los mismo que contempla la norma ASTM E3-11 guía para la preparación de muestras metalográficas donde indica la presión, la velocidad y que tipo de refrigerante se utiliza en las muestras.

- Diseñar un sistema sujeción que permita el correcto pulido de las probetas metalográficas.

Se procede a realizar el sistema de acuerdo a la mayoría máquinas ya existentes en el mercado, por tanto, se realiza el diseño de los ejes, de la viga, del resorte que presiona las probetas, seleccionar un motor de acuerdo a la potencia que se requiere y se selecciona el tipo de rodamiento utilizando el catalogo FAG. Para el diseño de los componentes mecánicos se utilizan libros de diseño de maquinaria como son: Norton, Shigley y Singer, además se comprueba si los elementos resisten mediante un factor de seguridad.

- Optimizar el sistema de refrigeración durante el pulido de la probeta.

Anteriormente la máquina tenía una manguera flexible de ½” y una válvula de bola por tanto no ofrecía las condiciones óptimas de refrigeración por lo que se coloca una tubería de ¼ pulg, un regulador de flujo de media vuelta con una manguera LOC-LINE – ¼ pulg. que satisface los parámetros estipulados para la refrigeración. Además de conocer la cantidad de agua que se necesita para el pulido.

- Implementar las mejoras planteadas.

Se procede hacer el acople y construcción de los elementos mecánicos diseñados para generar un pulido final de probetas de una manera adecuada y de acuerdo a recomendaciones dadas por la norma.

- Realizar pruebas de funcionamiento en la máquina repotenciada.

Se realiza con diferentes tipos de materiales tomando el tiempo estimado en que demora su pulido final se utiliza como refrigerante alúmina y agua.

1.3 Fundamentación teórica.

En el año de 1863 Henry Clifton Sorby al que se lo conoce como el pionero en el área de la metalografía, fue el primero en realizar una observación microscópica de la estructura metalográfica de un metal. La observación de metales por medio de microscopios es

aproximadamente dos siglos más tardía que la de muestras biológicas, esto se debe a la costosa preparación que requieren las misma [7].

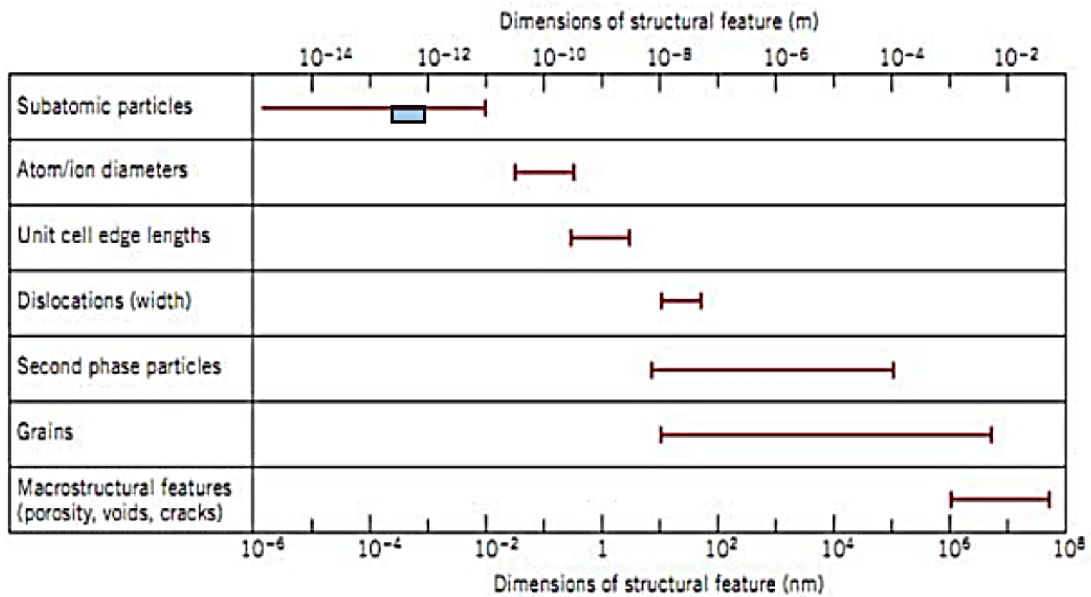
Del mismo modo se conoce como el proceso entre la preparación de una muestra de metal y la evaluación de su microestructura [8], es decir, conocer las propiedades físicas, mecánicas y químicas de las mismas. La relevancia del ensayo metalográfico radica que a pesar de sus restricciones es capaz de mostrar el tratamiento mecánico y térmico que ha sido sometido el metal con anterioridad. Mediante el desarrollo de este estudio se logra establecer las propiedades como la aleación, el tamaño de grano, grietas, porosidades las mismas que cambian las características del metal. Un examen metalográfico correctamente realizado permite conseguir un diagnóstico y/o un pronóstico del metal estudiado.

Es así que se puede realizar el ensayo de una pieza de metal antes de que esta sea sometida a trabajos o destinada a un fin con el propósito de prevenir fallas en su funcionamiento, o bien se realiza sobre componentes que fallaron en horas de trabajo es decir sufrieron alguna fisura, grieta o deformación. El objetivo del ensayo es pronosticar dichas fallas que podría sufrir el material. En el desarrollo del proyecto se ha obtenido conocimiento del pulido que se debe hacer a la probeta antes de su práctica el mismo que se realiza con lijas de diferente tipo de granos es decir que se utiliza lijas número 80,120,220,400,600 y en algunos casos la numero 1000. Para pulir con lijas se realiza un movimiento en una sola dirección, la lija es puesta sobre una superficie plana, se humedece con agua y la superficie de la probeta se frota contra la misma, una vez el rayado de la superficie se encuentre en la dirección del pulido, se rota la probeta 90°, se reemplaza la lija por una de mayor calibre y se repite el proceso. “Adicionalmente lijas de calibres mayores a 320 pueden ser acopladas en la pulidora, para un mejor acabado” [9]. Se realiza un pulido final con paños de alúmina la misma que está ubicada en un disco porta paños que gira a una gran velocidad.

1.3.1 Análisis macroscópico

Es una observación a simple vista de las estructuras de las aleaciones y los metales, es decir sin la necesidad de utilizar un microscópico. La tabla 1.1 muestra el rango de tamaño del que se puede visualizar en adelante que inicia desde 10^{-3} . Este análisis macroestructural se puede usar en: líneas de flujo en materiales forjados, capas en herramientas endurecidas por medio de tratamiento térmico, zonas resultado del proceso de soldadura, granos en algunos materiales con tamaño de grano visible, marcas de maquinado, grietas y ralladuras, orientación de la fractura en fallas.

Tabla 1.1: Diferentes rangos de tamaños para estructuras típicas en materiales [10].



En las siguientes figuras se muestra las macro estructuras que se observa en un lingote de aluminio aleado.

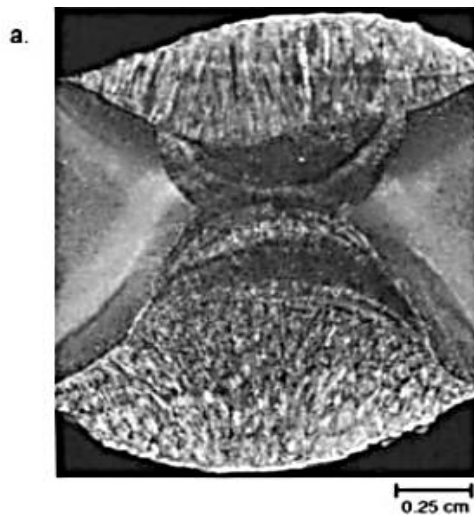


Figura 1.1: Sección a través de una arco de soldadura a tope [10].

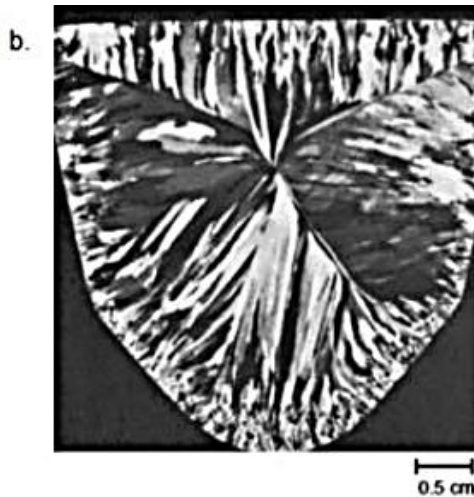


Figura 1.2: Macroestructura, muestra de un lingote de aluminio aleado [10].

1.3.1.1 Análisis microscópico

Este se trata de un análisis micro estructural de los metales que no se puede realizar a simple vista, es decir se observa con la ayuda de un microscopio a elevados aumentos esto nos ayuda a saber los comportamientos de los mismos, la distribución mutua de las fases, sus dimensiones y su forma. Este tipo de análisis se puede utilizar en: tamaño de grano,

límites de grano y dislocaciones, análisis microestructura, distribución de fases en aleaciones.

1.3.2 Preparación de probetas metalográficas

Sin duda alguna, uno de los factores más influyentes en un análisis metalográfico es el examen microscópico de una probeta adecuadamente preparada. Tales estudios realizados con aumentos de entre 100 y 2000 los mismo que proporcionan un microscopio, este suministra una abundante información del tipo de aleación del que se ha constituido el metal investigado. Llegando a determinar las características estructurales, es decir, el tipo de grano, su dimensión, como esta compuesta y distribuida las diferentes etapas a las que se sometió la aleación además ayuda a encontrar tipos de inclusiones no metálicas.

El descubrimiento de estas y otras particularidades que constituyen al material se lo observa mediante la inspección visual por medio de un microscopio, por tanto, se logra pronosticar con un rango alto de confiabilidad el proceder del metal cuando este sea utilizado con un fin determinado. Conociendo que la microestructura puede revelar el procedimiento o de cómo está compuesto un metal, de los tratamientos térmicos y mecánicos a los que fue sometió. Por ello la importancia de la preparación de una muestra puesto que una muestra mal preparada no revela la composición del material ante un examen microscópica, para conseguir un área satisfactoria se debe hacer bajo normas de preparación de probetas. Una mala preparación puede remover todas las inclusiones importantes para el análisis, arruinar la forma de grano y, en resumen, ocasionar una distribución, por lo menos en la superficie, de una microestructura lejana a la que verdaderamente este compuesta el metal [10].

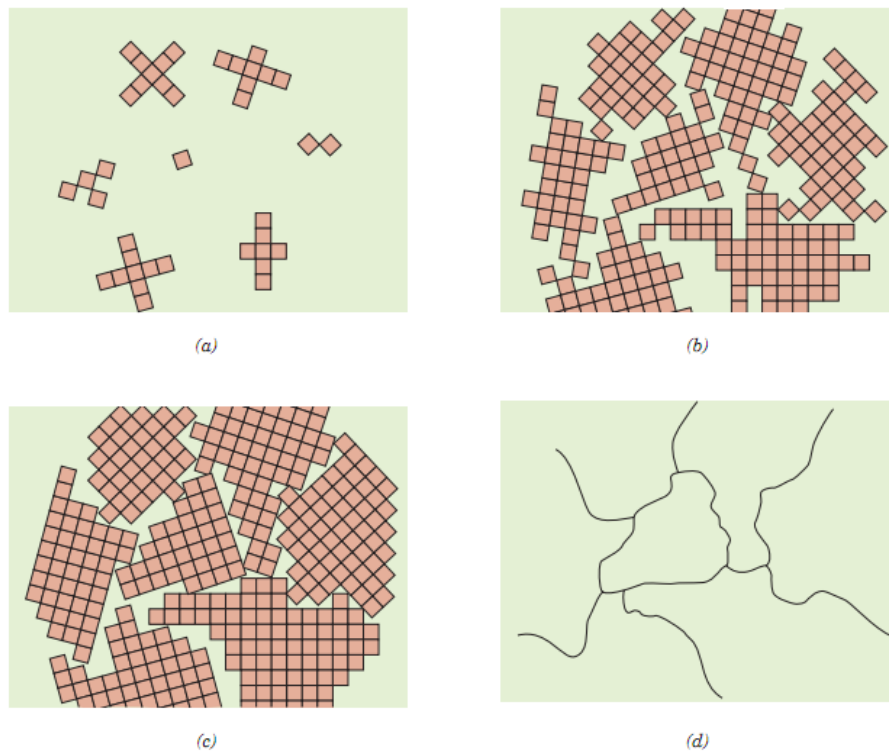


Figura 1.3: Formación de granos por solidificación [10].

La figura 1.3 muestra la formación de granos. (a) Se muestran los pequeños cristales iniciales dentro de la formación. (b) Los pequeños cristales crecen y se agrupan con otros cercanos. (c) Formación de granos completos. (d) Representación de los granos vistos en el microscopio[10].

De la misma forma es sustancial preparar la probeta en un área de trabajo limpia, porque una partícula cual es quiera puede ocasionar rayaduras en la probeta. Es así, la probeta y las manos del practicante deben estar lavadas con agua y jabón.

1.3.2.1 Montaje de probetas

Consiste en proporcionar una base que sostenga a la muestra, cuando éstas son pequeñas o de una forma extraña puesto que la manipulación se dificulta como es el caso de virutas,

secciones pequeñas, tubos pequeños etc. “Con reiteración, la probeta a preparar, por sus longitudes o por su forma, no accede a ser pulida directamente, sino que es idóneo montarla o embutirla en una pastilla de bakelita” [11].

1.3.2.2 Desbaste mecánico

Hace referencia a una secuencia de operaciones que se puede obtener una probeta metálica absolutamente apta para su análisis metalográfico.

1.3.2.2.1 Desbaste grosero

Es un proceso que tiene como objetivo principal reducir las anomalías de la probeta extraída durante el proceso de corte de la misma, hasta dejar la superficie lo más plana posible. La operación se la puede hacer con una cinta de refinamiento en el caso de materiales que no son rígidos, además las fundiciones también se las puede hacer con lijas de granos gruesos, aunque exista un poco de distorsión en la superficie.

1.3.2.2.2 Desbaste final

Esta operación se la puede hacer a mano con papel abrasivo el mismo que se coloca en una mesa plana con lijas de diferente numeración, donde se realiza un movimiento longitudinal de la muestra de arriba hacia abajo ejerciendo una presión suave; por tanto, es importante seguir la misma dirección para lograr un trabajo uniforme. Mientras dura el proceso es importante dejar fluir una cierta cantidad de agua para evitar la acumulación de partículas, y de esta manera lograr la desaparición de rayas producidas durante el proceso anterior.

Se debe tener en cuenta el girar la probeta 90° en cada cambio de lija y aplicar una presión suave para no generar rayas profundas en la muestra. Además, la fuerza que se aplica a la probeta debe ir reduciendo en cada etapa del proceso.



Figura 1.4: Desbaste final [11].

1.3.2.2.3 Resinas Termoendurecibles

Las resinas termoendurecibles más utilizadas y accesibles para el montaje de muestras son la bakelita, los formaldehidos y los compuestos de anilina. La bakelita se puede encontrar en varias presentaciones por lo que ayuda a la identificación de las probetas. Los plásticos termoendurecibles a diferencia de las resinas estos suelen endurecer el moldeo a la temperatura y presión adecuada por lo que sufren un cambio químico. Cuando este llega a su estado máximo no se altera por la temperatura, a pesar que esta se acerque a la que pueda causar la carbonización de la resina. La temperatura máxima requerida para el moldeo de la bakelita es de 135 a 150 °C, aplicando una presión de 2500 a 3500 libras por pulgada cuadrada [12].

1.3.3 Pulido

Para la obtención de un buen pulido es necesario desarrollar el desbaste final con cuidado. En caso de que en la última etapa de desbaste la muestra presente rayas profundas y gruesas, se deberá realizar el pulido final de acuerdo a la desigualdad que presente la misma; tratando de realizar dicho trabajo sobre una superficie plana y limpia de polvo.



Figura 1.5: Pulido final de una probeta [13].

1.3.3.1 Movimiento del pulido

Para que el pulido de las probetas no sea puntual depende de la forma en la que rota el año caso contrario causara rayaduras en las misma como se muestra en la figura 1.6 y 1.7.



Figura 1.6: Rayaduras puntuales [14].



Figura 1.7: Rayaduras concéntricas [14].

Este sistema permitirá que tanto el paño como la probeta tengan un movimiento armónico dejando la superficie plana y altamente reflectante.

1.3.4 Pulidoras metalográficas

Son máquinas automáticas esenciales para el desbaste y pulido, por ello la importancia de que estas se encuentren en un laboratorio de metalografía ya que se logra pulir en un tiempo corto, además de facilitar al practicante el desbaste de la muestra. A pesar de dicha ayuda, numerosos metalógrafos consideran que la mayoría de equipos automáticos, a diferencia del proceso manual que normalmente se desarrolla, la visualización del progreso de pulido se dificulta, por tanto, no se tiene el control del pulido definitivo y así lograr un análisis de alta calidad, como se muestra en la figura 1.8.



Figura 1.8: Pulidora automática de ensayos metalográficos.

1.3.4.1 Pulidora metalográfica presi mecapol p 400 pere b

Es importante mencionar que este tipo de pulidoras son necesarias en la preparación final de una probeta dichas máquinas son de uno o doble platos lo que permite la ubicación de cuatro hasta ocho muestras, generan una homogeneidad en el pulido. “Posee un sistema de sujeción de probetas muy fácil de cambiar, sistema de control electrónico de la velocidad ultra preciso, pantalla digital” [15].



Figura 1.9: Pulidora metalográfica presi mecapol p 400 pere b [15].

CAPITULO II
METODOLOGÍA

2.1. Materiales

A continuación, se detalla los materiales utilizados en la repotenciación de la máquina pulidora.

Tabla 1.2: Descripción de los componentes utilizados.

N.º de pieza	Denominación	Material	N.º del Modelo / semiproducto	Observaciones
1	Selector encendido	Varios	Camsco 230vac 15 ^a	Adquirido
2	Foco piloto	Varios	Camsco 230vac 10 ^a	Adquirido
1	Paro de emergencia	Varios	Camsco 230vac 20 ^a	Adquirido
1	Chapa bandeja	1023 Chapa de acero al carbono		Construido
1	Chapa superior	1023 Chapa de acero al carbono		Construido
1	Correa	Nylon	Mitsuba 12.5x1170	Adquirido
1	Subensamble plato	Varios		Construido

3	Soporte bandeja	ASTM A36 acero		Construido
1	Bandeja de recolección	Hdpe		Adquirido
1	Subensamble brazo	Varios		Construido
1	Tapa brazo	1023 Chapa de acero al carbono		Construido
1	Manguera refrigerante	Pvc	Loc-line 1/4" n°4013	Adquirido
1	Bisagra	AISI 1020	N 1/2"x12cm	Adquirido
1	Variador frecuencia	Varios	Siemens sinamics g110	Existente
1	Manguera desfogue	Varios	ANGHELO 8mm-5/16	Adquirido
1	Motor ac	Varios	WEG 1Hp, 1700rpm	Existente
1	Polea menor	356.0-T6 Moldeo permanente (SS)		Existente
1	Estructura	ASTM A36 acero		Modificado
1	Tuerca m16 – n			Adquirido

2	Rodamiento 6003	Varios	Radial de bolas 6003	Adquirido
1	Eje secundario	AISI 1020		Construido
4	Propulsor	AISI 1020		Construido
4	ISO 4027 - M5 x 10-N			Adquirido
1	Porta probetas	356.0-T6 Moldeo permanente (SS)		Construido
1	Disco porta probetas	356.0-T6 Moldeo permanente (SS)		Construido
4	Tuerca m6 – n			Adquirido
1	Soporte eje secundario	ASTM A36 acero		Construido
3	Tornillo m6 x 16-n			Adquirido
4	Resorte	AISI 1065	n1.3mm; 8 vueltas	Adquirido
1	Motor dc	Varios	DC 12V, 40W	Adquirido
1	Brazo	ASTM A36 acero		Construido
1	Tuerca m18-n			Existente
1	Base disco	AISI 1020		Existente

2	Rodamiento 6205	Varios		Adquirido
1	Polea mayor	356.0-T6 Moldeo permanente (SS)		Existente
1	Porta paño	Acrílico (Impacto medio-alto)		Construido
1	Disco porta paño	356.0-T6 Moldeo permanente (SS)		Existente
1	Eje principal	AISI 1020		Modificado
1	Soporte eje principal	ASTM A36 acero		Modificado

Fuente: El Autor

2.2. Métodos

2.2.1 Nivel o tipo de investigación

De acuerdo al presente proyecto técnico se requiere la necesidad de utilizar los siguientes niveles de investigación.

2.2.1.1 Investigación exploratoria

Este tipo de investigación se basa en la recopilación de investigaciones previas semejantes al tema de investigación, el cual permite considerar las variables de investigación como los parámetros de presión, de velocidad de giro utilizados en el pulido de probetas

metalográficas, con los cuales se obtuvieron buenos resultados en el estudio con el fin dar solución a tema de investigación.

2.2.1.2 Investigación descriptiva

Con este método se puede determinar datos en términos cuantitativos y cualitativos como son el número de probetas que se puede colocar en el porta probetas, dimensionamiento de muestras, propiedades mecánicas necesarias para el desarrollo del proyecto técnico.

2.2.1.3 Investigación bibliográfica

Permite una amplia recaudación de información por lo cual está dirigido a la investigación fuentes confiables como: artículos técnicos, libros páginas web, trabajos de titulación, etc., los mismos que se encuentren afines con el diseño y construcción de máquinas de pulido y desbaste de probetas, donde se resaltara sobre los parámetros de diseño de los elementos mecánicos.

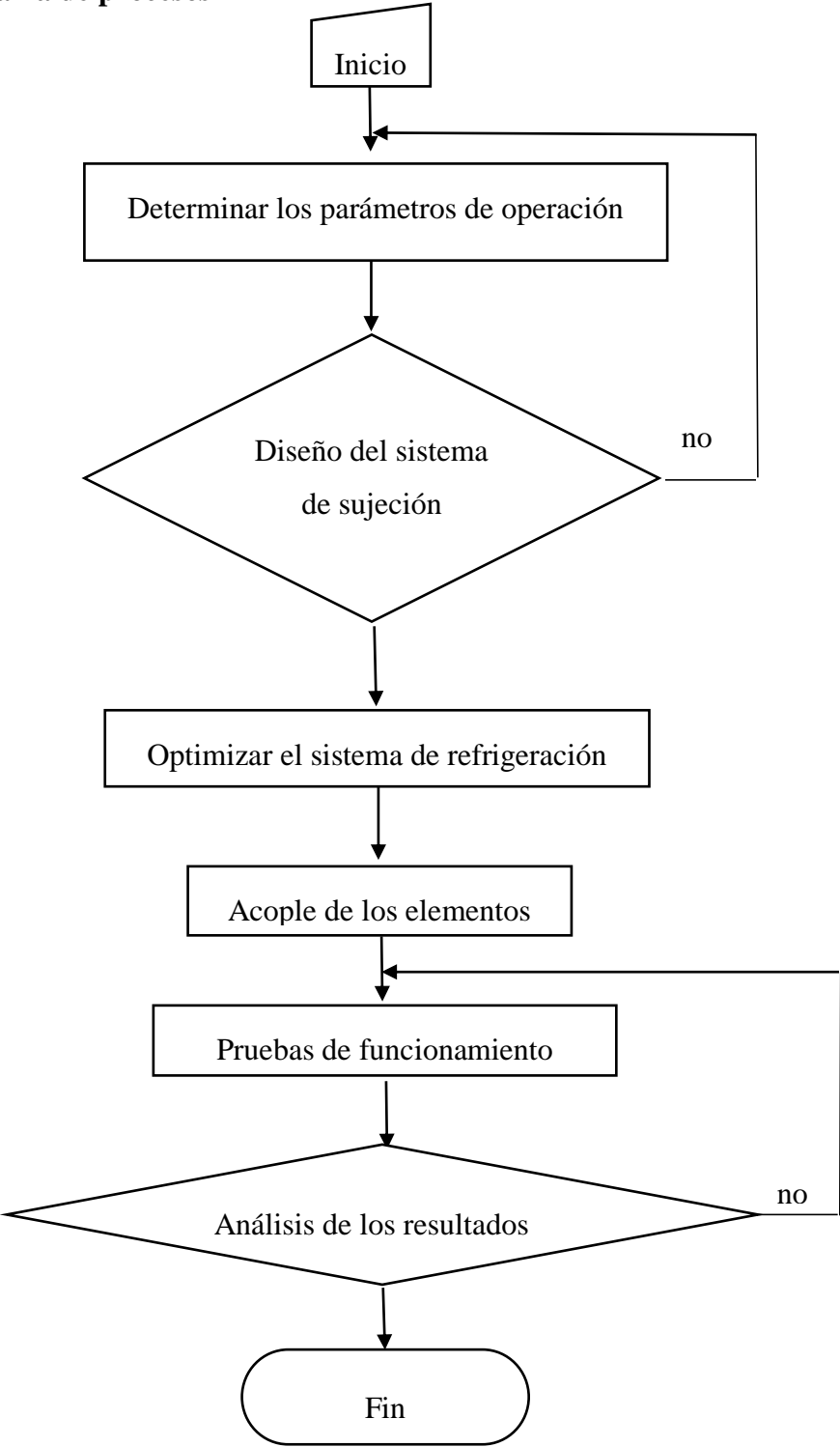
2.2.1.4 Investigación experimental

Este tipo de investigación analiza el efecto producido por la acción o manipulación de uno o más variables, sean estas dependiente o independientes con el fin de observar las consecuencias causadas por los efectos de prueba como es el caso del pulido de diferentes materiales en función del tiempo y del refrigerante aplicado.

2.2.2 Norma

Para desarrollar la repotenciación se considera la norma ASTM E3-11 guía estándar para la preparación de muestras metalográficas. Se considera como necesario el apoyo del libro de Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley el mismo que se basa en el diseño de ejes. En esta parte se informa detalladamente el diseño de los elementos mecánicos y eléctricos que conforma la repotenciación de la máquina utilizada para el pulido de probetas metalográficas. Es de vital importancia recalcar, que se asume un factor de seguridad para el diseño de cada elemento, según su funcionamiento y el tipo de cargas al que estará sometido.

2.2.3 Organigrama de procesos



CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultado

3.1.1 Parámetros de operación

Para desarrollar un buen proyecto se debe considerar varios elementos que van a estar presentes en la repotenciación de la máquina pulidora es así que se tendrá en cuenta algunas características que son relevantes en el diseño de un sistema: espacio ocupado, funcionabilidad, costo, mantenimiento, vida útil y algo muy importante su factor de seguridad.

3.1.1.1 Dimensionamiento de las muestras

Las medidas de las probetas que serán sometidas al proceso de pulido, son parte principal en el diseño de la máquina a repotenciar. Es así que las características primordiales a tener en cuenta son la forma geométrica, altura y diámetro; las cuales se detallan a continuación:

- La muestra montada deberá tener una forma cilíndrica.
- El diámetro de la probeta será de 32 mm introducida en la máquina para montaje de probetas en caliente
- La probeta debe tener una altura mínima de 15 mm por lo que facilita la manipulación de la misma en los diferentes procesos de desbaste y pulido.

3.1.1.2 Determinación de la carga

Sabiendo que 20 N (5 lbf) es la carga máxima que se puede aplicar al pulido de una probeta metalográfica según la norma ASTM E 3-11, es necesario aplicar una carga de 80N (20

lbf), por lo que tendrá cuatro probetas en el pulido. Con el fin de llevar a cabo un buen proceso de pulido las muestras son separadas en un mismo radio de forma equidistante.

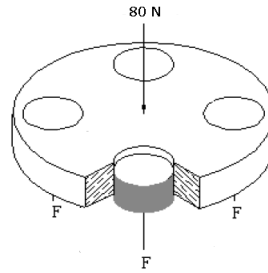


Figura 2.10: Distribución de carga.

Fuente: El autor

La probeta tendrá una fuerza de rozamiento al ponerse en contacto con el paño

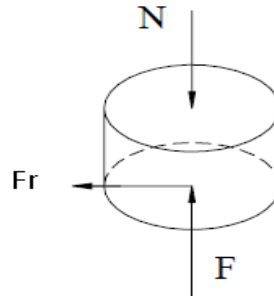


Figura 2.11: Diagrama de cuerpo libre.

Fuente: El autor

Para calcular la fuerza de rozamiento existente entre el paño y la probeta se toma las siguientes consideraciones: el tiempo va a ser constante, la fuerza es igual para cada muestra y no existe imperfecciones en la superficie.

Usando la ecuación (3.1) se establece la fuerza de rozamiento según el libro de Diseño de máquinas de Norton.

$$Fr = Ur * N \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

Fr = Fuerza de rozamiento cinética.

Ur = coeficiente de rozamiento.

N = Fuerza normal requerida.

“El coeficiente de rozamiento cinético será de 0.6” [17]. Es decir, el más alto para mayor seguridad, el mismo que se produce entre latón y bronce. Por lo tanto, la fuerza de rozamiento de acuerdo a la ecuación 3.1 es:

$$Fr = Ur * N$$

$$Fr = 0.6 * 20$$

$$Fr = 12 \text{ N (5 lbf)}$$

3.1.1.3 Determinación de la carga resultante de fricción

La fuerza de fricción resultante se calcula para un instante de tiempo en el proceso de pulido, por lo que ambos discos se encuentran girando. Considerando que las fuerzas de fricción van a ser iguales.

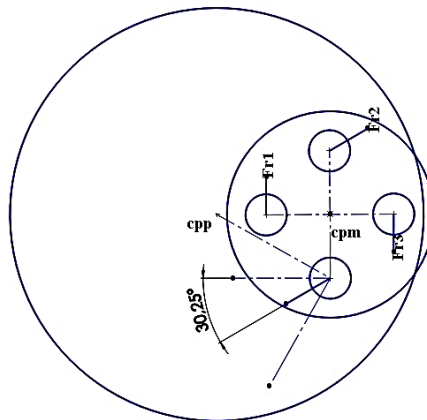


Figura 2.12: Diagrama de fuerzas de fricción entre el paño y las probetas.

Fuente: El autor.

$$\sum_{\vec{+}} F_x = R_x$$

$$R_x = Fr_1 - Fr_2(\text{sen}82) - Fr_3 + Fr_4(\text{sen}82)$$

$$R_x = 0 \text{ N}$$

$$\sum_{\vec{+}} F_y = R_y$$

$$R_y = Fr_1 + Fr_2(\text{sen} 30.25) - Fr_3 + Fr_4(\text{sen} 30.25)$$

$$R_y = 12.04 \text{ N}$$

La fuerza resultante es igual a $F_{Tr} = 12.04 \text{ N}$

3.1.1.4 Cálculo del torque en la porta probetas

Para el cálculo del torque se utiliza la ecuación 3.2 según el libro de Diseño de máquinas de Norton.

$$T_{pp} = Fr * r \quad \text{(Ec. 3-2)}$$

Donde:

T_{pp} = Torque que generan las fuerzas de fricción en el centro del porta probetas

Fr = Fuerza de fricción cinética.

r = distancia entre la fuerza de fricción y el centro de la porta probeta.

$$T_{pp} = 12 * 0.037$$

$$T_{pp} = 0.44 \text{ N m}$$

3.1.1.5 Selección del motor

Para la selección de motor se toman en cuenta varios factores tales como el torque necesario para mover las probetas, las revoluciones a las que debe girar el cabezal según la norma ASTM E3-11(25 a 150 rpm) como se muestra en la tabla 2.3, además que su construcción sea ligera y compacta para que se pueda adaptar en el brazo mecánico.

Tabla 2.3: Especificaciones de la norma ASTM E 3-1 [16].

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15–45	20–30 (5–8)	200–300 ^C	CO ^D
Fine Grinding rigid disc	compatible lubricant	6–15µm diamond	180–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3–6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.

^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

^E Optional step.

^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

Activar

Con todos los parámetros antes mencionados en la tabla 2.3 se selecciona un motor DC a 12V de 36 W, sus especificaciones técnicas están el en anexo 5.2 de las cuales se puede resaltar el torque de 15 Nm, su peso es de 1.5 Kg y su rango de giro esta entre (54 a 76 rpm), por lo que el motor cumple con las necesidades requeridas.

3.1.2 Diseño del sistema de sujeción

3.1.2.1 Diseño de la viga para el brazo mecánico

Se considera una viga en G por lo que es idóneo para contener el motor antes seleccionado. En la figura 2.13, se detalla la fuerza puntual $P = 49.05$ N, la longitud es de 210 mm. El

material de la viga es un acero A36, sus propiedades mecánicas se encuentran en el anexo 5.3. Este tiene una resistencia de $S_y = 250 \text{ MPa}$ y $S_{ut} = 550 \text{ MPa}$.



Figura 2.13: Diagramas de cargas aplicadas.

Fuente: El autor

$$P = 49.05 \text{ N},$$

$$L = 0.21 \text{ m}$$

$$\overline{\mp} \sum F_x = 0$$

$$\overline{\mp} Ax = 0$$

$$\overline{\uparrow} \sum F_y = 0$$

$$Ay - P = 0$$

$$Ay = P$$

$$Ay = 49.05 \text{ N}$$

$$\overline{\mp} \sum M_A = 0$$

$$M_A - (49.05 \text{ N} * 0.21\text{m}) = 0$$

$$M_A = 10.3 \text{ Nm}$$

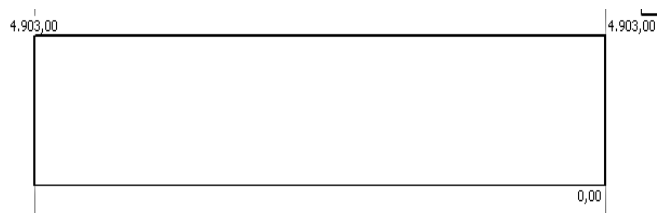


Figura 2.14: Diagrama de fuerza cortante.

Fuente: El autor

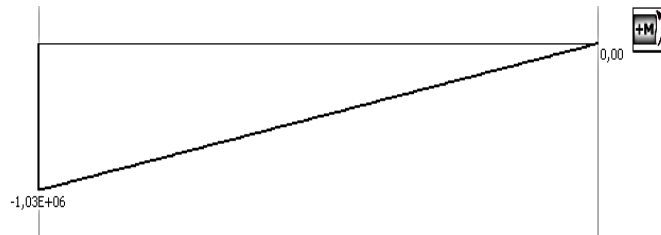


Figura 2.15: Diagrama de momento flector.

Fuente: El autor

Para el diseño se utiliza la Ec. 3-3 tomada del libro de diseño de ingeniería mecánica de Shigley, en donde se toma un factor de seguridad $n = 5$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \quad \text{Ec. (3-3)}$$

Despejando σ_{max} se tenemos:

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. (3-4)}$$

$$\sigma_{max} = \frac{250 \text{ MPa}}{5}$$

$$\sigma_{max} = 50 \text{ MPa}$$

Para la viga que se muestra en la figura 2.13, se calcula el módulo de resistencia de sección requerida, sabiendo su esfuerzo máximo permisible, luego seleccionamos la viga en G requerida, se recalcula el módulo de resistencia considerando el peso propio de la viga, utilizándola ecuación 3.5 del libro de Resistencia de materiales de Singer.

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S} \quad \text{Ec. (3-5)}$$

Despejando S tenemos:

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma} \quad \text{Ec. (3-6)}$$

$$S = \frac{10.3 Nm}{50 * 10^6 Pa}$$

$$S = 2.06 * 10^{-7} m^3 \approx 0.206 cm^3$$

La viga a utilizar es una C 100*50*15*2 que además de que se encuentra en el rango del módulo de resistencia es la más adecuada para el acople del motor, cuya masa según la tabla 2.4 es de 4.34 Kg/m

Tabla 2.4: Especificaciones generales de un perfil estructural (viga en G), del catálogo de DIPAC [18].

PERFILES ESTRUCTURALES

CORREAS "G"



Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 1623
Calidad:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Espesores:	Desde 2mm - 12mm
Acabado:	Acero negro y galvanizado



Designación	Dimensiones				Masa Kg/m	A cm ²	d1 cm	Momento de inercia		Módulo resistente		Radio de giro	
	h	b	c	e				ix	iy	Wx	Wy	ix	iy
	mm	mm	mm	mm				cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm	cm
G 60x30x10x2	60	30	10	2	1,96	2,54	1,44	14,88	5,28	4,9	2,74	2,42	1,44
G 80x40x15x2	80	40	15	2	2,75	3,54	1,46	35,25	8,07	8,81	3,18	3,16	1,51
G 80x40x15x3	80	40	15	3	3,95	5,11	1,46	49,04	10,85	12,26	4,27	3,1	1,46
G 80x50x15x2	80	50	15	2	3,06	3,88	1,46	41,11	13,55	10,28	4,34	3,23	1,88
G100x50x15x2	100	50	15	2	3,38	4,34	1,73	69,24	14,98	13,85	4,57	4,00	1,86
G100x50x15x3	100	50	15	3	4,89	6,31	1,72	97,78	20,51	19,56	6,26	3,94	1,8
G100x50x15x4	100	50	15	4	6,29	8,15	1,71	122,5	24,85	24,49	7,55	3,88	1,75
G100x50x20x4	100	50	20	4	6,60	8,55	1,85	126,7	28,5	25,34	9,05	3,85	1,83
G100x50x25x5	100	50	25	5	8,35	10,86	1,98	152,51	36,52	30,5	12,09	3,75	1,83
G125x50x15x2	125	50	15	2	3,77	4,84	1,56	116,4	16,16	18,63	4,69	4,91	1,83
G125x50x15x3	125	50	15	3	5,48	7,06	1,55	165,5	22,16	26,48	6,43	4,84	1,77
G125x50x15x4	125	50	15	4	7,07	9,15	1,54	208,7	26,88	33,39	7,78	4,78	1,71
G125x50x15x5	125	50	15	5	8,55	11,11	1,54	246,2	30,41	39,39	8,78	4,71	1,65
G125x50x50x4	125	50	20	4	7,39	9,55	1,68	217	30,9	34,7	9,32	4,77	1,8
G125x50x25x5	125	50	25	5	9,33	12,11	1,8	264,3	39,88	42,29	12,46	4,67	1,82
G125x50x30x6	125	50	30	6	11,32	14,73	1,92	307,1	48,69	49,14	15,81	4,56	1,81
G150x50x15x2	150	50	15	2	4,16	5,34	1,42	178,7	17,13	23,83	4,78	5,79	1,79
G150x50x15x3	150	50	15	3	6,07	7,81	1,42	255,2	23,49	34,03	6,56	5,72	1,73

Recalculo:

El peso de la viga es de $w = 33.15 N/m$

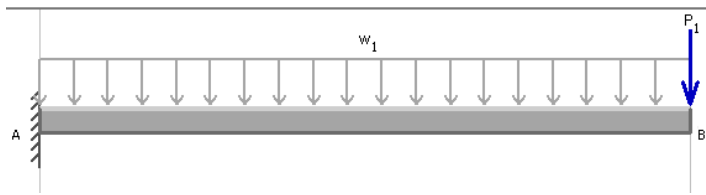


Figura 2.16: Diagramas de cargas aplicadas.

Fuente: El autor

$$\overline{\mp} \sum Fx = 0$$

$$\overline{\mp} Ax = 0$$

$$\overline{\uparrow} \sum Fy = 0$$

$$Ay - P - W = 0$$

$$Ay = P - w$$

$$Ay = 52.03 \text{ N}$$

$$\overline{\mp} \sum M_A = 0$$

$$M_A - (49.05 \text{ N} * 0.21\text{m}) - \frac{33.158 * 0.21^2}{2} = 0$$

$$M_A = 11.03 \text{ Nm}$$

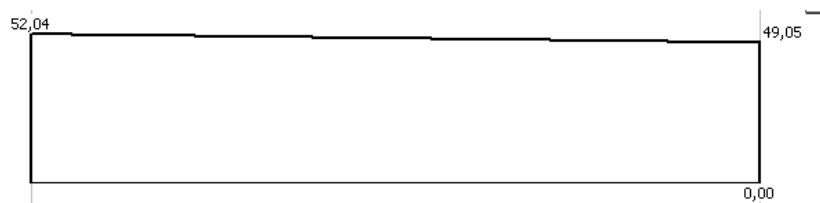


Figura 2.17: Diagrama de fuerza cortante.

Fuente: El autor

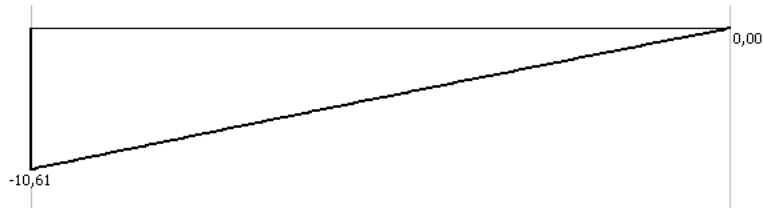


Figura 2.18: Diagrama de momento flector.

Fuente: El autor

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma}$$

$$S = \frac{11.03 \text{ Nm}}{50 * 10^6 \text{ Pa}}$$

$$S = 2.206 * 10^{-7} m^3 \approx 0.221 cm^3$$

Se determina que la viga seleccionada resiste.

Tensión normal máxima en x, ayuda para la comparación con la simulación.

$$\sigma_x = \frac{M * y}{I_x}$$

$$\sigma_x = \frac{11.03 * 0.0173}{6.924 * 10^{-7}}$$

$$\sigma_x = 0.2755 \text{ MPa}$$

3.1.2.2 Diseño del eje guía porta probetas

El material que se utiliza para realizar este eje es de una aleación de aluminio condición T6 de acuerdo al anexo 5.4. Que corresponde a la tabla A-22 del libro de Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley [19], la resistencia $S_y = 169 \text{ MPa}$ y el $S_{ut} = 324 \text{ MPa}$. de acuerdo a la figura 2.19 en donde se muestra las fuerzas que actúan sobre este eje.

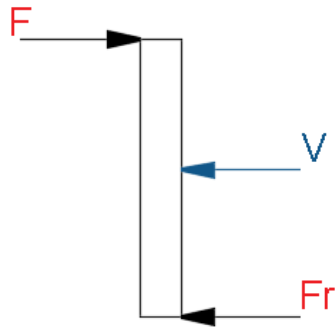


Figura 2.19: Fuerzas que actúan en el eje.

Fuente: El autor

$$F_1 = T/r$$

Ec. (3-7)

Donde

T = Torque que genera el motor

R = radio de eje.

$$F_1 = \frac{15 \text{ Nm}}{0.005 \text{ m}}$$

$$F_1 = 3000 \text{ N} / 4$$

$$F_1 = 750 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_1 - F_2 - Fr = 0$$

$$F_2 = F_1 - Fr$$

$$F_2 = 750 \text{ N} - 12 \text{ N}$$

$$F_2 = 738 \text{ N}$$

Donde:

F_1 = fuerza que genera el motor [N]

F_2 = fuerza cortante resultante [N]

Fr = fuerza de rozamiento

Para el diseño se utiliza la ecuación 3.8 y 3.9 del libro de resistencia de materiales de Singer [20], con un factor de seguridad $n=3$

$$n = \frac{S_y}{\tau_{max}} \quad \text{Ec. (3-8)}$$

$$\tau_{max} = \frac{V}{A} = \frac{4(F_2)}{\pi d^2} \quad \text{Ec. (3-9)}$$

$$n = \frac{S_y}{\frac{4(F_2)}{\pi d^2}}$$

$$d = \sqrt[2]{\frac{4(F_2) \times n}{S_y \times \pi}}$$

$$d = \sqrt[2]{\frac{4(750 \text{ N}) \times 3}{(169 \times 10^6 \text{ N/m}^2) \times \pi}}$$

$$d = 0.004117 \text{ m} \approx 4.1 \text{ mm}$$

El diámetro del eje que se utiliza es 6 milímetros de duraluminio puesto que el mercado local no se pueden encontrar diámetros menores al seleccionado.

3.1.2.3 Diseño del eje de acople (disco porta probetas)

El eje servirá de acople entre el motor y el disco porta probetas y estará sometido a torsión por el torque que se genera en el centro, al mismo tiempo actuará una fuerza de flexión que tiene un valor de 12.05 N y otra que origina esfuerzos de compresión la cual tiene un valor de 80 N.

El material seleccionado es un AISI 1018 por la disponibilidad en el mercado local, su costo es bajo comparado con otros aceros, de acuerdo al libro de Diseño de Ingeniería

Mecánica de Shigley [19], tiene una resistencia $S_y = 220 \text{ MPa}$; $S_{ut} = 341 \text{ MPa}$. Las propiedades mecánicas se encuentran en el anexo 5.4.

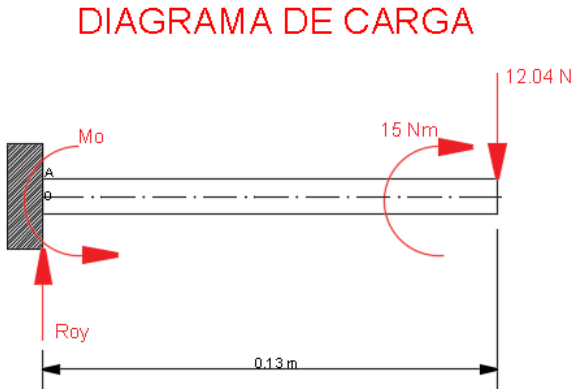


Figura 2.20: Diagrama de cuerpo libre.

Fuente: El autor

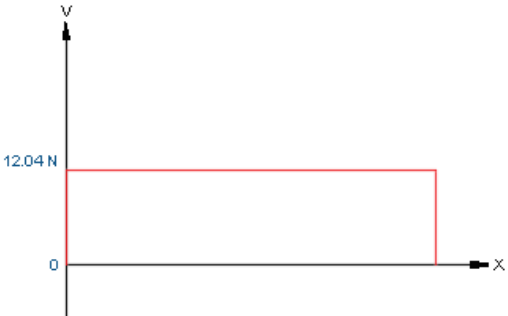


Figura 2.21: Diagrama de fuerza cortante.

Fuente: El autor

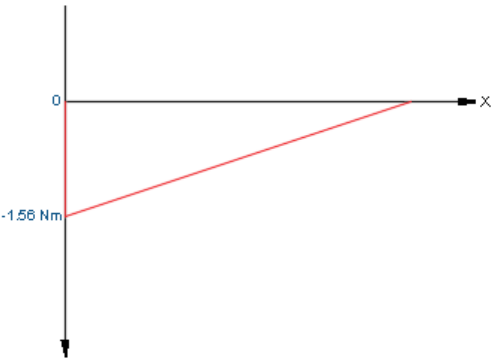


Figura 2.22: Diagrama de momento flector.

Fuente: El autor

La figura 2.20 Representa las cargas que actúan en el eje.

$$\overline{\mp} \sum F_x = 0$$

$$R_{ox} = 0$$

$$\overline{\uparrow} \sum F_y = 0$$

$$R_{oy} - F = 0$$

$$R_{oy} = 3.34 \text{ N}$$

$$\overline{\uparrow} \sum M_o = 0$$

$$M_o - F (0.13 \text{ m}) = 0$$

$$M_o = 3.34 \text{ N} (0.13 \text{ m})$$

$$M_o = 0.4342 \text{ Nm}$$

Se estima el límite de resistencia, a partir de la ecuación 3.10 son tomadas del libro de Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley [19].

$$S_e' = 0,5S_{ut} \quad \text{Ec(3-10)}$$

$$S_e' = 0,5(341 \text{ MPa})$$

$$S_e' = 170.5 \text{ MPa}$$

Método para no iterar

$$S_e = 0,3 * S_e' \quad \text{Ec(3-11)}$$

$$S_e = 51.15 \text{ MPa}$$

Cálculo del esfuerzo axial

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{4P}{\pi d^2} \quad \text{Ec(3-12)}$$

$$n = \frac{S_e}{\sigma} \quad \text{Ec(3-13)}$$

Con un factor de seguridad de 1,6 (Recomendación)

$$n = \frac{S_e}{\frac{4(P)}{\pi d^2}}$$

$$d = \sqrt[2]{\frac{4(P) \times n}{S_e \times \pi}}$$

$$d = \sqrt[2]{\frac{4(80 \text{ N}) \times 1,6 \text{ m}^2}{(51.15 \times 10^6 \text{ N/m}^2) \times \pi}}$$

$$d = 0.001785 \text{ m} = 1.785 \text{ mm} \approx d = 2 \text{ mm}$$

Consideran el esfuerzo por flexión.

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad \text{Ec(3-14)}$$

$$n = \frac{S_e}{\sigma}$$

$$n = \frac{S_e}{\frac{32(M)}{\pi d^3}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32(M) \times n}{S_e \times \pi}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32(1,6 \text{ Nm}) \times 1,6 \text{ m}^2}{(51.15 \times 10^6 \text{ N/m}^2) \times \pi}}$$

$$d = 0.005172 \text{ m} = 5.172 \text{ mm} \approx d = 6 \text{ mm}$$

Considerando un $d = 6$ mm realizamos los cálculos.

K_a = Factor de superficie Eje Fresado (maquinado)

$$K_a = a * S_{ut}^b \quad (\text{Ec. 3-15})$$

$$a = 4.1 \text{ y } b = -0.265 \quad (\text{Anexo 5.4})$$

$$K_a = 4.51 * (341)^{-0.265}$$

$$K_a = 0.9616$$

K_b = Factor de tamaño; tenemos cargas a flexión, torsión y axial. Por lo que K_b será:

$$K_b = 1.24 * d^{-0.107} \quad (\text{Ec. 3-16})$$

cuando $2.79 < d < 51$ mm

$$K_b = 1.24 * (6)^{-0.107}$$

$$K_b = 1.02 \approx K_b = 1$$

K_c = Factor de Carga (al tener los tres tipos de carga consideramos la combinación de los tres.).

$$\left. \begin{array}{l} K_c = 1 \quad \text{flexión} \\ K_c = 0.85 \quad \text{axial} \\ K_c = 0.59 \quad \text{torsión} \end{array} \right\} \quad (\text{Anexo 5-7})$$

$$K_c = 1 * 0.85 * 0.59$$

$$K_c = 0.5015$$

K_d = Factor de temperatura.

(Puesto que el eje no estará expuesto a temperaturas altas $K_d = 1$). (Anexo 5-8)

K_e = Factor de confiabilidad. (Anexo 5-9)

(para garantizar el diseño tomamos en consideración una confiabilidad del 99 % por tanto $K_e = 0.814$).

K_f = Factor de efectos varios.

$K_f = 1$ puesto que el eje no está afectado por este factor

K_F = Factor de concentración de esfuerzos (Figura A-15-8) de acuerdo al libro de diseño de ingeniería mecánica de Shigley [19]. Anexo 5.6.

$$\frac{D}{d} = \frac{6}{5} = 1.2$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0.5}{5} = 0.1$$

De acuerdo a la figura se tiene que $K_t = 1.35$

$$K_F = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad (\text{Ec. 3-17})$$

Donde:

$$\sqrt{a} = 0.6409 \sqrt{mm}$$

$$K_F = 1 + \frac{1.35 - 1}{1 + \frac{0.6409\sqrt{mm}}{\sqrt{0.5} * \sqrt{mm}}}$$

$$K_F = 1.1836$$

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * \frac{1}{K_F} * S_e' \quad (\text{Ec. 3-18})$$

$$S_e = 0.9616 * 1 * 0.5015 * 1 * 0.814 * 1 * \frac{1}{1.1836} * 170.5 \text{ Mpa}$$

$$S_e = 56.5469 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_e}{\sigma}$$

Cálculo del esfuerzo

Considerando los dos esfuerzos aplicando la teoría de la energía de la distorsión en el elemento diferencial A en el eje. Se aplica la ecuación 3-19.

$$\sigma_x = \sigma_{axial} + \sigma_{flexión} \quad \text{(Ec. 3-19)}$$

$$\sigma_x = \frac{4P}{\pi d^2} + \frac{32 M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_x = \frac{4(80N)}{\pi 0.006m^2} + \frac{32(0.4342 Nm)}{\pi 0.006m^3}$$

$$\sigma_x = 23.305 MPa$$

$$\tau_{xz} = \tau_{torsión} + \tau_{flexión} \quad \text{(Ec. 3-20)}$$

$$\tau_{xz} = \frac{16 T}{\pi d^3}$$

$$\tau_{xz} = \frac{16 (15 Nm)}{\pi (0.006m)^3}$$

$$\tau_{xz} = 353.6776 MPa$$

Esfuerzo equivalente

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} \quad \text{(Ec. 3-21)}$$

$$\sigma_{1,3} = \frac{23.305 + 0}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{23.305 - 0}{2}\right)^2 + 353.677^2}$$

$$\sigma_{1,3} = 11.6525 \pm 353.8695$$

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

$$\sigma_1 = 365.522 MPa$$

$$\sigma_1 = 0$$

$$\sigma_3 = -342.217 \text{ Mpa}$$

Aplicando la teoría de la energía de la distorsión

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad \text{(Ec. 3-22)}$$

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(365.522 - 0)^2 + (0 + 342.217)^2 + (-342.217 - 365.522)^2}{2}}$$

$$\sigma' = 613.0308 \text{ MPa}$$

Considerando el elemento diferencial B en el eje

$$\sigma_x = \sigma_{axial} + \sigma_{flexión} \quad \text{(Ec. 3-19)}$$

$$\sigma_x = \frac{4P}{\pi d^2}$$

$$\sigma_x = \frac{4(80N)}{\pi 0.006m^2}$$

$$\sigma_x = 2.829 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xz} = \tau_{torsión} + \tau_{flexion}$$

$$\tau_{xz} = \frac{16T}{\pi d^3} + \frac{4V}{3A}$$

$$\tau_{xz} = \frac{16(15 \text{ Nm})}{\pi(0.006m)^3} + \frac{4(3.34)}{3 * \pi * 0.006^2}$$

$$\tau_{xz} = 353.801 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2}$$

$$\sigma_{1,3} = \frac{2.829 + 0}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{2.829 - 0}{2}\right)^2 + 353.801^2}$$

$$\sigma_{1,3} = 1.4147 \pm 353.804$$

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

$$\sigma_1 = 355.218 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_2 = 0$$

$$\sigma_3 = -352.389 \text{ Mpa}$$

Aplicando la teoría de la energía de la distorsión

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(355.218 - 0)^2 + (0 + 352.389)^2 + (-352.389 - 355.218)^2}{2}}$$

$$\sigma' = 612.808 \text{ MPa}$$

Por tanto, se toma el esfuerzo equivalente más alto, de 613.0308 MPa.

$$n = \frac{S_e}{\sigma} \quad \text{(Ec. 3-13)}$$

Reemplazando:

$$n = \frac{56.547 \text{ MPa}}{613.031 \text{ MPa}} = 0.1$$

De termina que un diámetro de 6 mm no satisface

Para la segunda iteración tentativamente se selecciona un eje de diámetro de 5/8 pulg. ≈ 17 mm.

$$K_a = 0.9616$$

$$K_b = 1.24 \cdot d^{-0.107} \quad \text{cuando } 2.79 < d < 51 \text{ mm}$$

$$K_b = 1.24 \cdot (17)^{-0.107}$$

$$K_b = 0.9157$$

$$K_c = 0.5015$$

$$K_d = 1$$

$$K_e = 0.814$$

$$K_f = 1$$

KT con un

KF = Factor de concentración de esfuerzos

(Anexo 5.9)

$$\frac{D}{d} = \frac{17}{16} = 1.06$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0.5}{16} = 0.03$$

De acuerdo a la figura se tiene que $K_t = 1.4$

$$KF = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}}$$

Donde:

$$\sqrt{a} = 0.6409 \sqrt{mm}$$

$$KF = 1 + \frac{1.4 - 1}{1 + \frac{0.6409\sqrt{mm}}{\sqrt{0.5 * mm}}}$$

$$KF = 1.209$$

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * \frac{1}{KF} * S_e'$$

$$S_e = 0.9616 * 0.9157 * 0.5015 * 1 * 0.814 * 1 * \frac{1}{1.209} * 170.5 \text{ Mpa}$$

$$S_e = 50.659 \text{ MPa}$$

A continuación, se calcula el σ' con el diámetro considerado teniendo así un esfuerzo promedio en el diferencial A

$$\sigma' = 26.9615 \text{ MPa}$$

Para el análisis en el diferencial B

$$\sigma' = 26.943 \text{ MPa}$$

Con el esfuerzo equivalente más alto se determina si el diámetro seleccionado resiste.

$$n = \frac{S_e}{\sigma'}$$

$$n = \frac{50.6598 \text{ MPa}}{26.9614 \text{ MPa}}$$

$$n = 1.9$$

Al tener un factor de seguridad de 1.98 se concluye que el diámetro seleccionado de forma tentativa es el correcto.

3.1.2.4 Diseño de resorte

Extremos a escuadra y esmerilados. En la figura 2.25 se muestra el esquema del resorte que ira en la porta probetas.

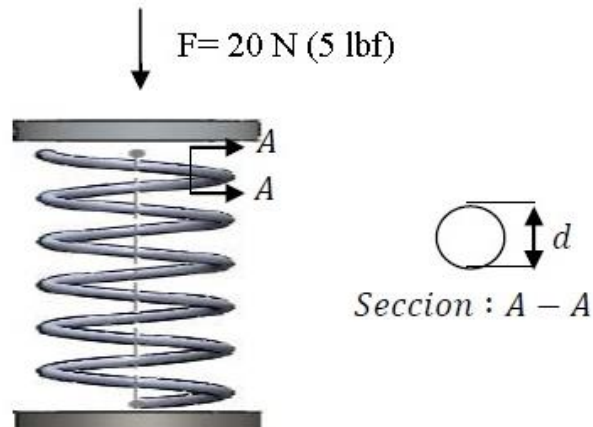


Figura 2.23: Diagrama del resorte del porta probeta.

Fuente: El autor.

$$F_{\max} = 20 \text{ N}(5 \text{ lbf})$$

Se toma las siguientes consideraciones:

Alambre de piano A228; de acuerdo a la tabla 10.3 del libro de diseño de ingeniería mecánica de Shigley, (anexo 5-11) puesto que es el alambre más utilizado para la

elaboración de resortes pequeños. Según la tabla 10.4 del libro de diseño de ingeniería mecánica de Shigley, (Anexo 5-12) se tiene el valor de las constantes: $A = 201000$ psi*pulg m = 0.145. Del libro de diseño de ingeniería mecánica de Shigley [19], (Anexo 5-13) se obtiene las propiedades mecánicas: $E = 28.5$ Mpsi $G = 11.75$ Mpsi

Se usa un factor de diseño para la longitud sólida de $N_s \geq 1.2$, Línea robusta $\epsilon = 0.15$

$$S_{sy} = 0.45 * S_{ut} \quad (\text{Anexo 5.14})$$

Variable de decisión $d = 0.041$ alambre de piano calibre numero18. (Anexo 5-15)

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \quad (\text{Ec. 3-20})$$

$$S_{ut} = \frac{201000}{0.041^{0.145}}$$

$$S_{ut} = 319.405 \text{ Kpsi}$$

$$S_{sy} = 0.45 * S_{ut}$$

$$S_{sy} = 0.45 * 319.405$$

$$S_{sy} = 143.732 \text{ Kpsi}$$

$$\alpha = \frac{S_{sy}}{n_s} \quad (\text{Ec. 3-21})$$

$$\alpha = \frac{143.732}{1.2}$$

$$\alpha = 119.772 \text{ Kpsi}$$

(Ec. 3-22)

$$\beta = \frac{8(1+\epsilon)F_{max}}{\pi d^2}$$

$$\beta = \frac{8(1+0.15)5}{\pi 0.041^2}$$

$$\beta = 8.71 \text{ Kps}$$

$$C = \frac{2\alpha - \beta}{4\beta} + \sqrt{\left(\frac{2\alpha - \beta}{4\beta}\right)^2 - \frac{3\alpha}{4\beta}} \quad (\text{Ec. 3-23})$$

$$C = \frac{2(119.772) - 8.71}{4(8.71)} + \sqrt{\left(\frac{2(119.772) - 8.71}{4(8.71)}\right)^2 - \frac{3(119.772)}{4(8.71)}}$$

$$C = 6.62 + \sqrt{(6.62)^2 - 10.24}$$

$$C = 12.41$$

$$D = C*d \quad (\text{Ec. 3-24})$$

$$D = 12.41*0.041$$

$$D = 0.51$$

$$K_B = \frac{4C+2}{4C-3} \quad (\text{Ec. 3-25})$$

$$KB = \frac{4(12.41) + 2}{4(12.41) - 3}$$

$$K_B = 1.11$$

$$T_s = \frac{K_B*8(1+\varepsilon)Fmax(D)}{\pi d^3} \quad (\text{Ec. 3-26})$$

$$T_s = \frac{1.11*8(1+0.15)5(0.51)}{\pi 0.041^3}$$

$$T_s = 110.51 \text{ Kpsi}$$

(Ec. 3-27)

$$N_s = \frac{S_{SY}}{T_s}$$

$$N_s = \frac{143.732}{110.51}$$

Ns = 1.3 Ok el resorte con ese diámetro resiste.

(Ec. 3-28)

$$DE = D+d$$

$$DE = 0.551 \text{ pulg.}$$

$$N_a = \frac{G*d^4*Ymax}{8D^3Fmax}$$

(Ec. 3-29)

$$N_a = \frac{(11.75*10^6)*0.041^4*1}{8(0.51)^3*5}$$

$N_a = 6.06$ Espiras activas.

$$N_t = N_a + 2 \quad (\text{Ec. 3-30})$$

$N_t = 8.06$ Vueltas totales

$$L_s = d(N_t) \quad (\text{Ec. 3-31})$$

$$L_s = 0.041(8.06)$$

$$L_s = 0.33 \text{ pulg.}$$

$$L_o = L_s + (1 + \epsilon)N_e \quad (\text{Ec. 3-32})$$

$$N_e = 1$$

$$L_o = 0.33 + (1 + 0.15)1$$

$$L_o = 1.48 \text{ pulg.}$$

3.1.2.5 Selección de rodamientos

Para reducir la fricción del eje que se encuentra rotando consta de un anillo superior e inferior, los mayores productores son la empresa FAG y SKF, mismas que ofrecen catálogos, el rodamiento se identifica mediante un número, dándonos la información completa de las dimensiones, además de las capacidades nominales de la carga, proporciona detalles asistidas al montaje, lubricación y operación.

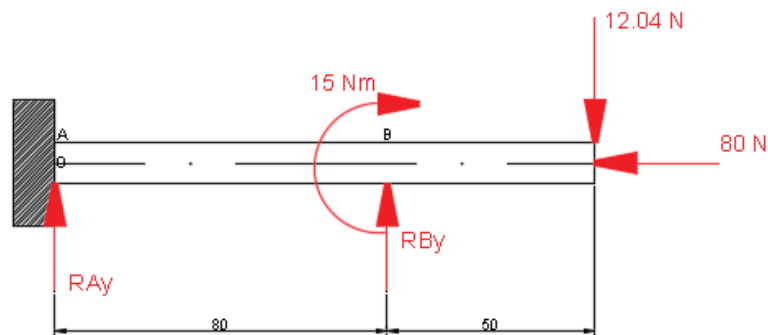


Figura 2.24: Cargas que soporta el rodamiento.

$$\sum_{\uparrow}^{\downarrow} Fy = 0$$

$$Ay + By - 12.04 = 0$$

$$By = 7.525 + 12.04 N$$

$$By = 19.565 N$$

$$\sum_{\uparrow}^{\downarrow} M_B = 0$$

$$-Ay(0.08m) - (12.04 N * 0.05m) = 0$$

$$Ay = -7.525 N$$

Para la selección de rodamientos tomaremos en consideración la rapidez del giro, por tanto, se distingue dos casos:

Solicitud dinámica cuando el rodamiento gira rápidamente.

Consideración: El diámetro del eje de 17mm, la capacidad de carga dinámica mayor, la disponibilidad en el mercado, duración 500000 horas. Se selecciona el rodamiento 6003 rodamiento rígido de bolas.

Datos:

$$Fr = 19.565 N$$

$$Fa = 0 N$$

$$Lh \text{ requerida} = 500000 \text{ horas}$$

$$C = 6 \text{ KN}$$

$$Co = 3.25 \text{ KN}$$

Se utiliza la ecuación 3.33 tomada del catálogo FAG para establecer la carga dinámica equivalente.

$$P = xFr + yFa \quad (\text{Ec. 3-33})$$

Donde:

P=Carga dinámica equivalente [kN]

Fr = Carga radial [kN]

Fa = Carga axial [kN]

X = Factor radial

Y = Factor axial

$$P = 1 Fr$$

$$P = 0.01956 KN$$

Para obtener la capacidad de carga dinámica se utiliza la ecuación 3.34 tomada del catálogo FAG.

$$C = P \sqrt[3]{\frac{Lh * n * 60}{10^6}} \quad (\text{Ec. 3-34})$$

Donde:

C = capacidad de carga dinámica [kN]

P = carga dinámica equivalente [kN]

p = exponente de vida

Lh = es la vida nominal en millones de revoluciones alcanzada.

n = velocidad (revoluciones por minuto)

$$C = 0.01956 \sqrt[3]{\frac{500000 * 76 * 60}{10^6}}$$

$$C = 0.2575 KN$$

C calculado < C rodamiento

$$0.2575 KN < 6 KN$$

Es decir que el rodamiento seleccionado es correcto.

Verificamos la vida nominal

$$Lh = \left(\frac{C}{P}\right)^p \times \frac{10^6}{n * 60}$$

$$Lh = \left(\frac{0.2575}{0.01956}\right)^3 \times \frac{10^6}{76 * 60}$$

$$Lh = 0.51 * 10^6 \text{ horas} > Lh \text{ requerido } \mathbf{Ok}$$

Solicitud estática utilizamos la ecuación 3.35 tomada del catálogo FAG.

$$P_o = x_o Fr + y_o Fa \quad (\text{Ec. 3-35})$$

$$P_o = 0.019565 \text{ KN}$$

Se calcula el factor de esfuerzos estáticos mediante la ecuación 3.36 tomada del catálogo FAG.

$$C_o = f_s \times P_o \quad (\text{Ec. 3-36})$$

Donde:

f_s = factor de esfuerzos estáticos

C_0 = capacidad de carga estática [kN]

P_0 = carga estática equivalente [kN]

$f_s = 1,0 \dots 1,5$ para exigencias normales [21].

$$C_o = 1.5 \times 0.019565 \text{ KN}$$

$$C_o = 0.0293 \text{ KN}$$

C_o calculado < C_o rodamiento

$$0.0293 \text{ KN} < 3.25 \text{ KN}$$

Se concluye que el rodamiento resiste a la capacidad de carga estática.

3.1.3 Mejoramiento del sistema de desagüe

Como objetivo principal del sistema es recolectar y evacuar el agua con partículas proveniente del pulido que ocurre entre las probetas y el paño. La recolección del agua se realizará mediante un recipiente cilíndrico y la evacuación por medio de una manguera de 8mm (5/16") de poliuretano, la misma que se dirige a la parte exterior de la máquina conectada con acoples de bronce a la bandeja de recolección.

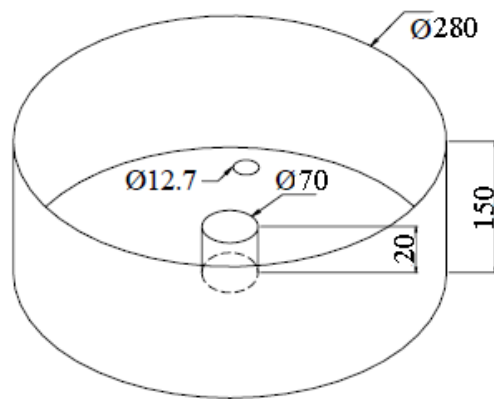


Figura 2.25: Diagrama para el drenaje del agua.

Fuente: El autor

El diámetro mayor del recipiente está en función del diámetro de la porta paño, el cual tiene un diámetro de 240 mm, por tanto, el diámetro mayor es de 280 mm. Es decir, se tiene una separación de 20 mm. Mientras que la altura es de 150 mm se tomó como referencia la altura de la porta paño y consideración de altura extra para que no rocíe el agua cuando la máquina esté en funcionamiento.

El diámetro del agujero interior es de 70 mm y actúa como un acople con el eje porta paño. Por último, se concluye que el diámetro del agujero de desagüe será de 12.7 mm, por el acople ya seleccionado además que ayudará a impedir cualquier obstrucción del drenaje.

3.1.4 Optimización del sistema refrigeración

Anteriormente el sistema de refrigeración está formado de cuatro accesorios como son: Manguera de $\frac{1}{2}$ x 1 m, 1 nepló de $\frac{1}{2}$, 1 llave de media vuelta de $\frac{1}{2}$ y 16" de manguera flexible, esto para el ingreso de agua, mientras que para el desfogue de agua tenemos 1 manguera de $\frac{1}{2}$ x 1 m acoplada al desfogue de $\frac{1}{2}$ del recolector. Por lo que la refrigeración se realizaba sin tener un control de flujo.

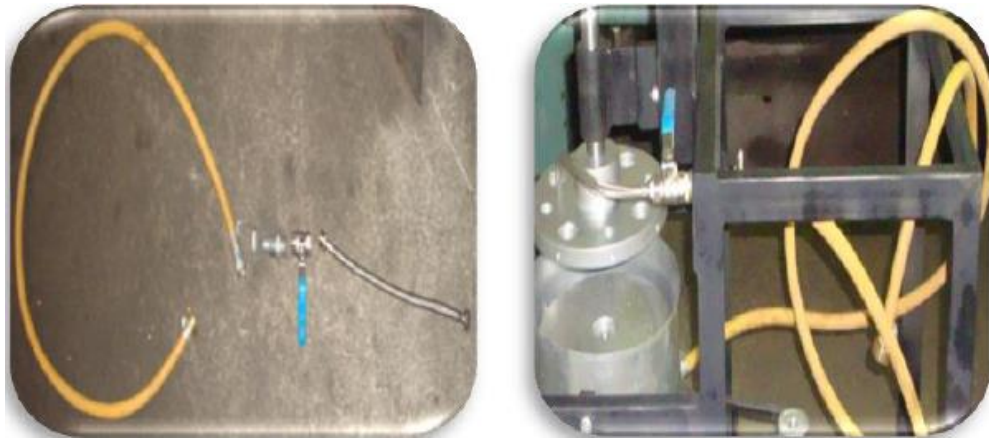


Figura 3.26: Sistema de refrigeración existente [4].

El propósito de la optimización del sistema es disminuir la fricción existente, quitar las partículas residuales del pulido que ocasiona el proceso de pulido. Los parámetros a considerar para el diseño del sistema son:

Por ello se utiliza una tubería de $\frac{1}{4}$ pulg, un regulador de flujo de media vuelta con una manguera LOC-LINE – $\frac{1}{4}$ pulg. que satisface los parámetros estipulados para la refrigeración. Logrado el flujo de refrigerante (agua) sea variable, para tener control de la evacuación de calor y la limpieza de partículas, además permita la alimentación de refrigerante sin ningún problema.



Figura 3.27: Sistema de refrigeración.

Fuente: El autor

3.1.5 Mejoras implementadas

Acople de componentes diseñados y adquiridos.

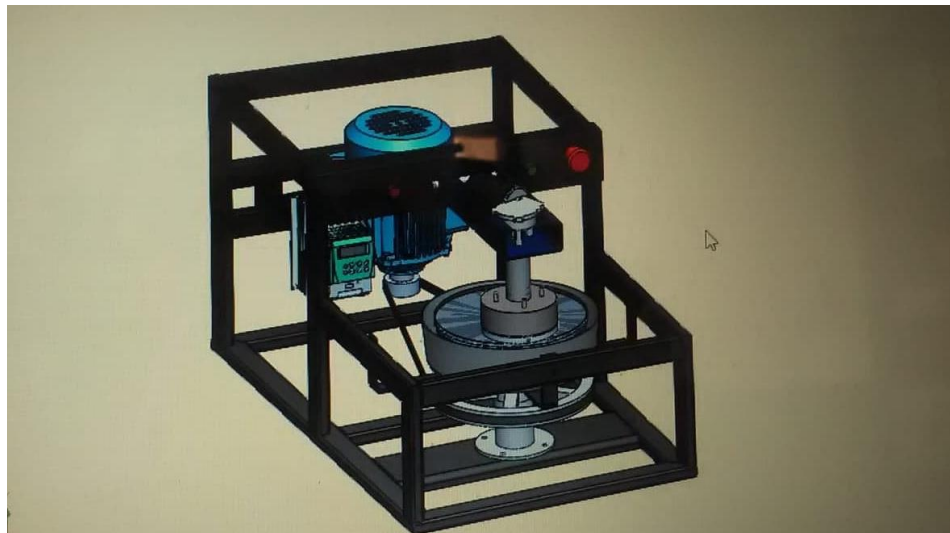


Figura 3.28: Mejoras implementadas

Fuente: El autor

3.1.6 Pruebas de funcionamiento

Cuando obte por la repotenciación de la máquina pulidora la misma no se encontraba en funcionamiento por lo que no se pudo obtener tiempos de pulido final.

La máquina repotenciada tiene un porta probetas que puede hacer un trabajo simultáneo en cuatro probetas por lo que se ahorra mucho tiempo que hacerlo de una forma manual.

A continuación, se detalla los materiales con lo que se realizó las pruebas de funcionamiento.

Tabla 3.5: Metales utilizados con su tiempo de pulido.

Material	Tiempo (minutos)	Refrigerante	Número de probetas
Acero AISI 1045	70	Agua, Alúmina	4
Acero AISI 1020	40	Agua, Alúmina	4
Acero ASTM A36	50	Agua, Alúmina	4

Fuente: El Autor

3.1.7 Análisis de los elementos mecánicos mediante un software

Análisis del eje

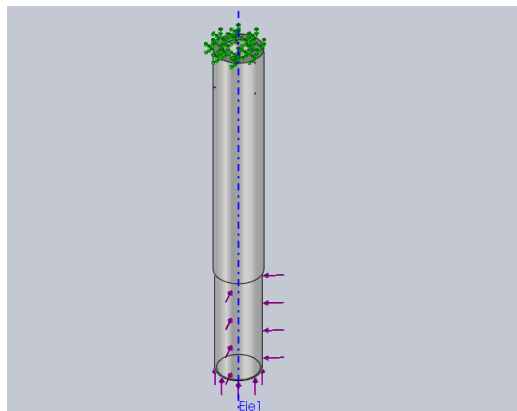


Figura 3.29: Cargas a las que esta sometida el eje.

Fuente: El autor.

Esfuerzo de von mises

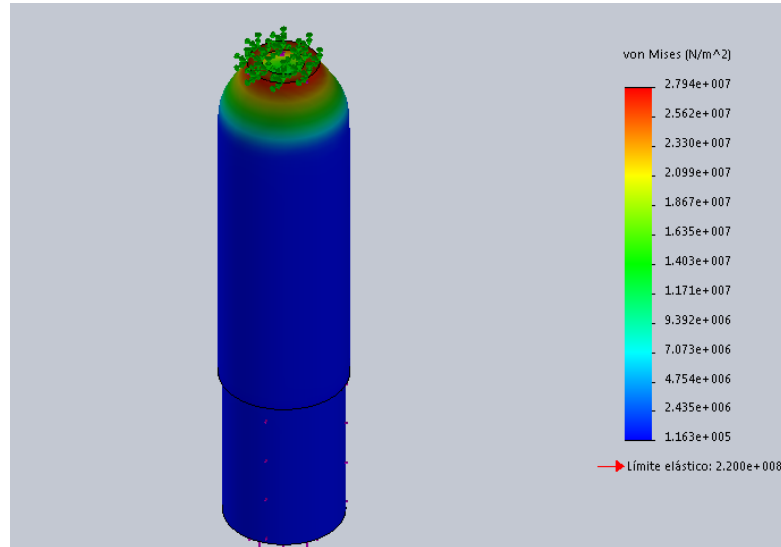


Figura 3.30: Esfuerzo de Von Mises.

Fuente: El autor

Tal como se muestra en la figura los esfuerzos de Von Mises y tomando el más crítico 27.49 MPa, lo procedemos a comparar con el esfuerzo de Von Mises obtenido al aplicar la energía de la distorsión mediante fórmulas considerando a este último como el valor exacto y con ello determinaremos un porcentaje de error.

Porcentaje de error

$$\frac{\text{valor aproximado} - \text{valor exacto}}{\text{valor exacto}} \times 100\%$$
$$\frac{27.94 - 26.96}{26.96} \times 100\%$$

Porcentaje de error = 3.64%

El cual es un porcentaje aceptable.

Factor de seguridad

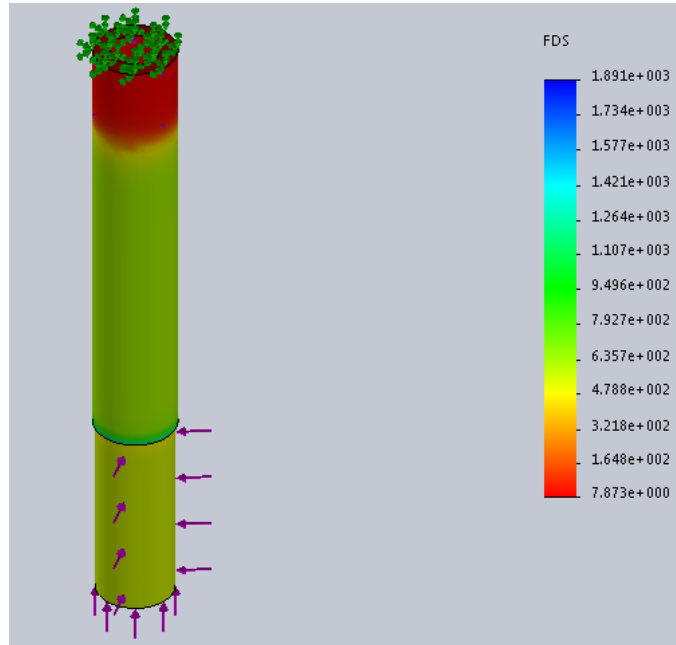


Figura 3.31: Factor de seguridad del eje.

Fuente: El autor

Tal como se muestra en la figura los factores de seguridad y tomando el más crítico 7.873, lo procedemos a comparar con el factor de seguridad obtenido mediante fórmulas considerando a este último como el valor exacto y con ello determinaremos un porcentaje de error.

Porcentaje de error

$$\frac{\text{valor aproximado} - \text{valor exacto}}{\text{valor exacto}} \times 100\%$$
$$\frac{7.873 - 8.17}{8.17} \times 100\%$$

Porcentaje de error = 3.64%

El cual es un porcentaje aceptable garantizando con ello el diseño del eje.

Análisis viga

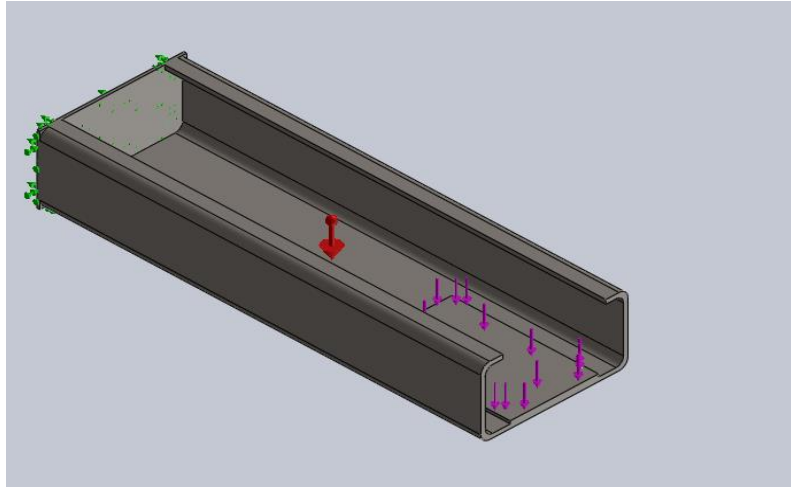


Figura 3.32: Carga que soporta la viga.

Fuente: El autor.

Factor de seguridad

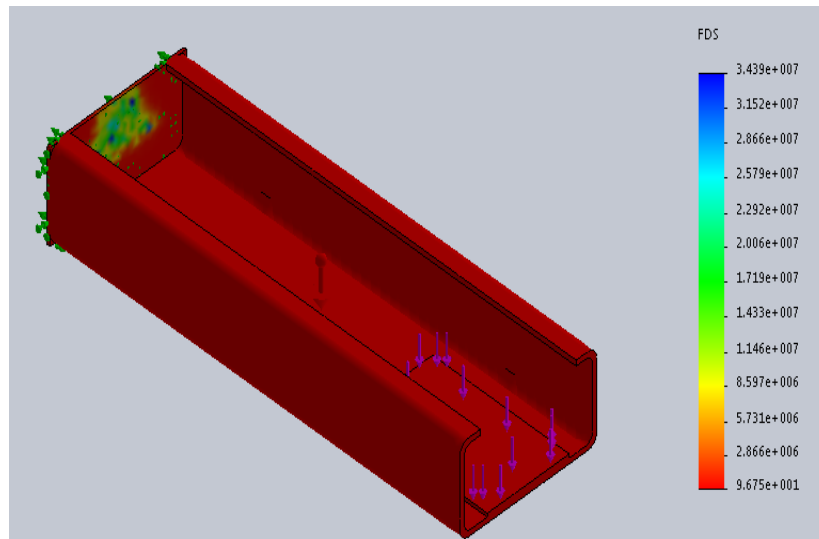


Figura 3.33: Factor de seguridad de la viga.

Fuente: El autor.

Tensiones normales máximas

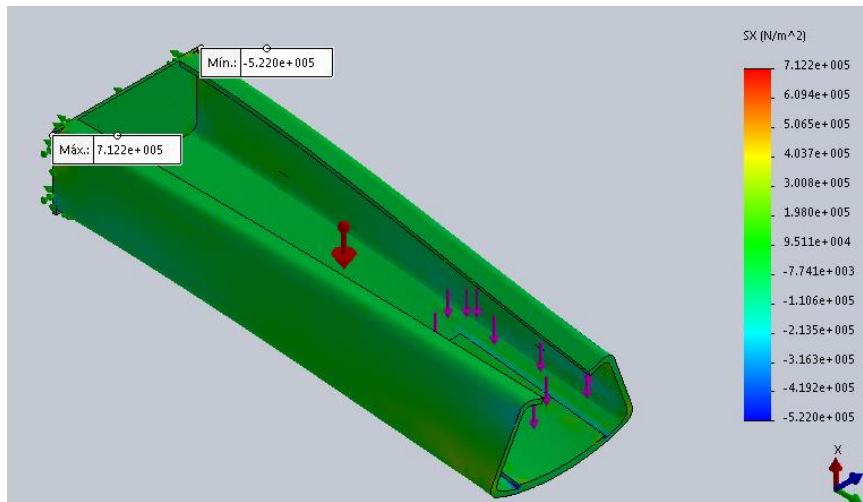


Figura 3.34: Tensiones normales en la viga.

Fuente: El autor.

Porcentaje de error

$$\frac{\text{valor aproximado} - \text{valor exacto}}{\text{valor exacto}} \times 100\%$$

$$\frac{0.7122\text{MPa} - 0.27559\text{MPa}}{0.27559\text{MPa}} \times 100\%$$

Porcentaje de error = 1.584 %

El cual es un porcentaje aceptable.

Análisis de la estructura

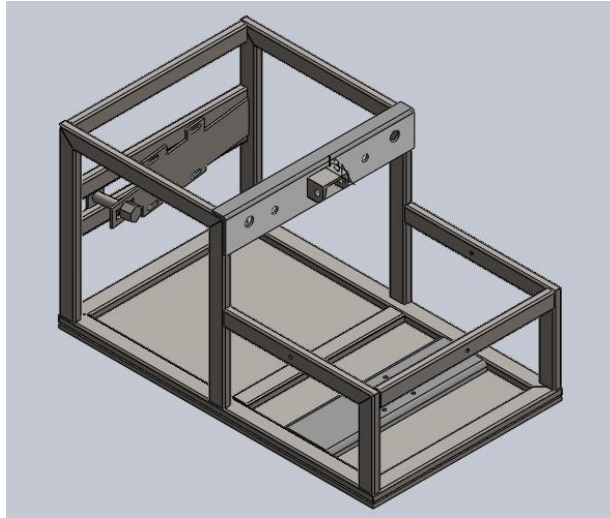


Figura 3.35: Estructura interna de la máquina.

Fuente: El autor.

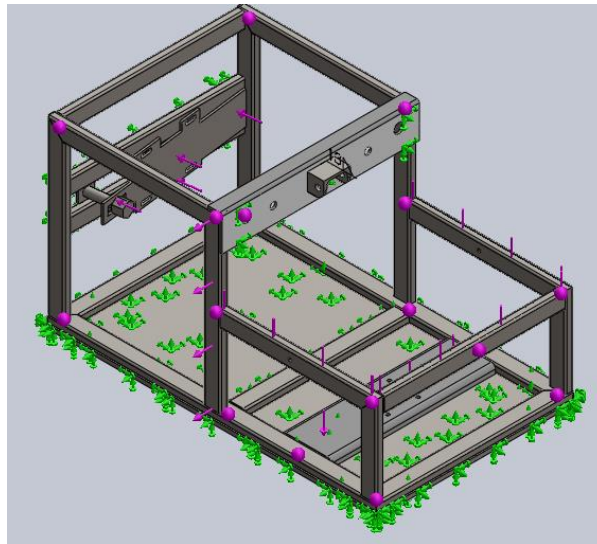


Figura 3.36: Cargas que soporta la estructura.

Fuente: El autor.

Esfuerzo von mises

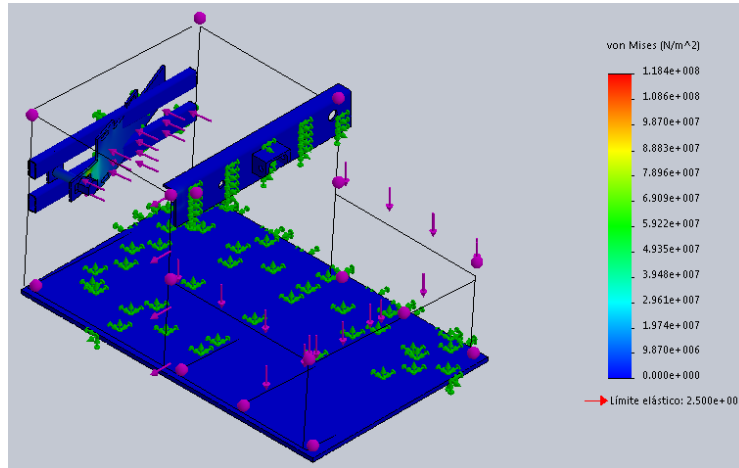


Figura 3.37: Esfuerzo de von mises.

Fuente: El autor.

Factor de seguridad

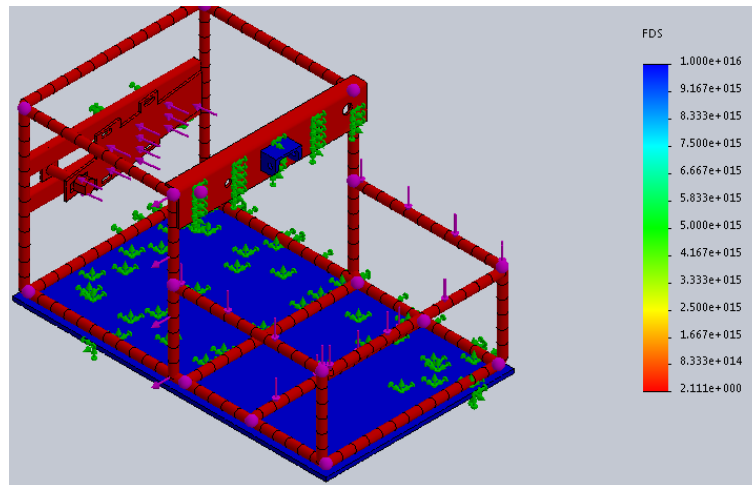


Figura 3.38: Factor de seguridad.

Fuente: El autor.

Como se observa en la figura 3.35 el factor de seguridad mínimo tiene un valor de 2.1, lo cual garantiza que la estructura soporta favorablemente las cargas.

CAPITULO IV

4.1 Conclusiones

- ❖ Los parámetros de funcionamiento para un adecuado pulido de probetas comprenden una velocidad de 150 rpm en la porta paño, el cabezal debe girar a una velocidad constante de 60 rpm en el mismo sentido del porta probetas, además de ejercer los resortes una presión de 20 N.
- ❖ La sollicitación de la máquina pulidora requiere del acople de un eje entre el porta probetas y la viga por lo que se diseñó el mismo considerando las cargas a las que está sometida llegando a determinar por medio de un software y cálculos que los esfuerzos no exceden el límite de fluencia, el valor calculado es de 26.96 MPa y el obtenido en la simulación es de 27.94 MPa, garantizando el funcionamiento del eje.
- ❖ Mediante los componentes adecuados se logró implementar un sistema de refrigeración óptimo el mismo que permite el control del flujo de agua de acuerdo a lo que el operario considere, regula un flujo de agua de 23 cm³/min adicionalmente se debe poner cada 15 minutos alúmina para que el pulido sea idóneo.
- ❖ Se logró implementar un brazo mecánico semiautomático para el pulido de probetas, llevando acabo con los objetivos antes planteados, por ello se puede pulir una cantidad de cuatro probetas al mismo instante.
- ❖ Se realizaron pruebas con cuatro muestras de distinto material el tiempo promedio de pulido fue de 40 minutos lo que ayuda de forma considerable en la práctica de metalográfica, ya que por lo general realizar el pulido de la muestra a mano lleva un tiempo mayor a una hora.

4.2 Recomendaciones

- ❖ La colocación de probetas en el disco debe hacerse con una base reguladora, puesto que todas las probetas deben estar al mismo nivel logrando así un pulido homogéneo.
- ❖ Revisar el estado del paño, que este se encuentre libre de grumos y partículas extrañas para tener un área de trabajo limpia.
- ❖ La porción de baquelita introducida en la máquina para montaje de probetas en caliente debe ser la misma para todas las probetas.
- ❖ En caso de presentarse algún problema mecánico o de diferente índole presionar el paro de emergencia, ya que con esto se podría impedir perjuicios secundarios en la máquina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Paredes y D. Vivanco, Diseño y construcción de un sistema de pulido de probetas metálicas (capacidad de 4 probetas por hora) para el laboratorio de metalurgia de la fim-e, Sangolqui, 2006.
- [2] M. Valle y E. Aquieta, Diseño y construcción de una máquina para el pulido automático de superficies planas de acero inoxidable para la empresa Servitorno, Latacunga, 2015.
- [3] C. Naranjo y R. Racines, Diseño y construcción de una máquina de desbaste para probetas metalográficas, Quito, 2010.
- [4] C. Merino, Estudio de sistemas de pulido de probetas metalográficas y su incidencia en la calidad de pulido en el laboratorio de materiales de la carrera de ingeniería mecánica de la universidad técnica de ambato, Ambato, 2014.
- [5] N. Santos, E. López y J. López, Diseño y construcción de una máquina semiautomática para el lijado de muestras metalográficas planas, Ciudad Universitaria , 2003.
- [6] C. H. Castañeda, «Análisis del movimiento de una herramienta de pulido,» 06 Abril 2015. [En línea]. Available: ccoldan@mixteco.utm.mx.
- [7] A. International, ASM HANDBOOK VOLUME 9 Metallography and Microstructures, USA: ASM Handbook Committee, 2004.
- [8] D. R. A. P. P. Phulé, Ciencia e ingeniería de los materiales, Mexico : International Thompson editores, S.A., 2004.
- [9] J. Escuela colombiana de ingeniería Garavito, Metalografía, Colombia, 2011.

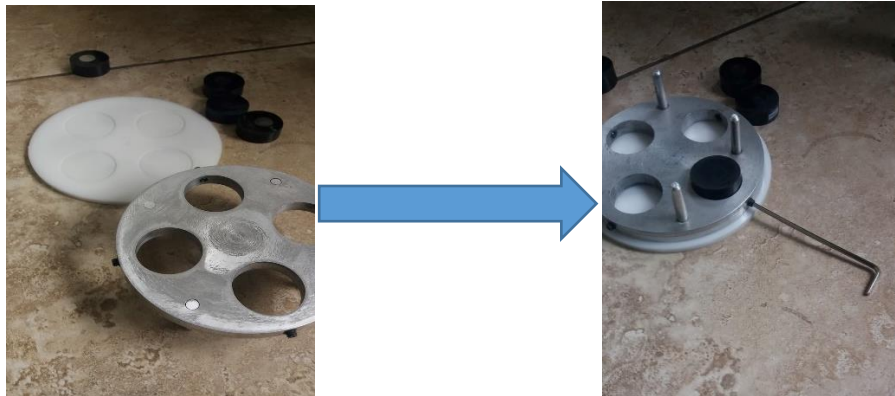
- [10] W. Callister, Materials science and engineering, USA: Jhon Wiley & Sons, Inc, 2007.
- [11] J. Mendoza, «Slideshare,» 07 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/MendozaVenturaJesus/informe-preparacin-de-probetas-metalograficas>. [Último acceso: 15 Marzo 2019].
- [12] J. Fernández, Montaje de probeta en caliente, Peru, 2012.
- [13] V. Ramos, «Cielo,» Octubre 2008. [En línea]. Available: <http://victordavidramos.blogspot.com/2008/10/informe-de-laboratorio-pulido-de.html>. [Último acceso: 26 Marzo 2019].
- [14] K. George, Fundamentos de la practica metalográfica., Madrid : Ed. Aguilar, 1954.
- [15] Tecnimetal, «Tecnimetal,» [En línea]. Available: <http://www.tecnimetsa.com/presi%20PULIDORAS.htm>. [Último acceso: 10 05 2019].
- [16] R. Norton, Diseño de máquinas, México: Pearson Educación , 2011.
- [17] ASTM, ASTM E3-11, USA: ASTM International, 2017.
- [18] Dipac, «Catalogo Dipac,» [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/canal-u>. [Último acceso: 10 Julio 2019].
- [19] K. N. Richard Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de shigley, México: McGraw-Hill, 2008.
- [20] F. Singer, Resistencia de materiales, USA: Oxford University , 1994.
- [21] FAG, Catálogo WL 41 520/3 SB, 2000 ed., Barcelona.

ANEXOS A

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

La máquina pulidora semiautomática permite elaborar un pulido de cuatro probetas metalográficas al mismo tiempo. La misma está compuesta de un motor reductor y componentes mecánicos acoplados entre sí, esta permite el cambio del paño fácilmente. Es necesario seguir los pasos mostrados a continuación para tener resultados idóneos.

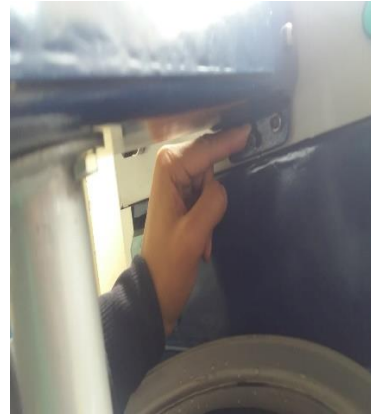
1. Se coloca las probetas a analizar con la ayuda de un molde para que estas queden a un mismo nivel, ajustar las probetas con los prisioneros con una llave hexagonal 3/32 mm, además, realizar este proceso cuando la máquina este desconectada.



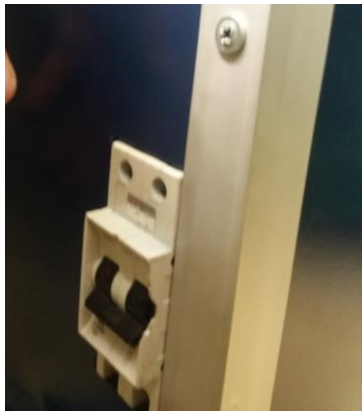
2. Se debe verificar que la maquina este energizada, es decir que este conecta a una fuente trifásica de 220 V.



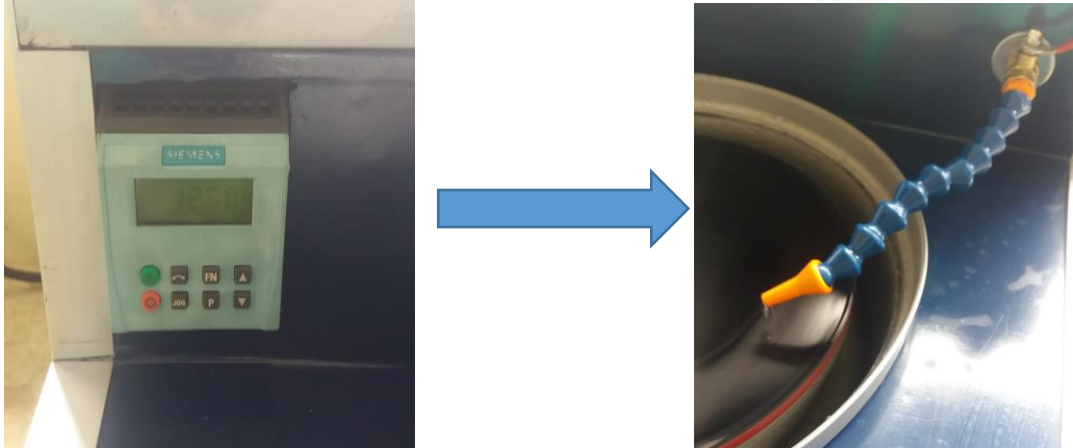
3. Una vez puesta las probetas a ser pulidas en la porta probetas ajustar haciendo coincidir con la señal o marca del porta probetas, se procede a descender y ajustar el brazo mecánico con una llave hexagonal de 4.5 mm.



4. Realizados los pasos anteriores se enciende la máquina alzando el breaker que se encuentra en la parte posterior de la máquina, el que permite el paso de energía, al realizar esto se enciende un foco verde en la parte frontal de la misma, lo que indica que esta energizada.



5. Se procede a encender el porta paños desde el variador de frecuencia el mismo que inicia en 12.5 Hz. Además, abrir la válvula de bola para reducir la fricción entre el paño y las muestras puesto en funcionamiento, regular el flujo de agua.



6. Se pone en marcha el cabezal girando la perilla, el foco rojo encendido es indicador que está en funcionamiento el cabezal.



7. Finalmente esperar el tiempo necesario hasta que se encuentren pulidas las probetas, aproximadamente 40 minutos.

ANEXOS B

DOCUMENTACIONES DE SOPORTE

Anexo 5.1 Norma ASTM E3-1 Guía de preparación de muestras metalográficas.

Norma ASTM E3-11

Preparación de muestra metalográfica.

Selección de la muestra metalográfica

La selección de la muestra es muy importante debido a que esta debe ser representativa del material a examinar.

Existen 3 tipos de estudio en metalografía

1. Generales
2. De investigación
3. De fallas

Según el tipo de estudio se determinará la localización de la muestra a examinar.

Tipo de sección que será examinada

Fundición: Corte perpendicular

Metales trabajados al calor o al frío: cortes transversales y longitudinales

Alambres y pequeños círculos: secciones a través de centro.

Tamaño de muestra metalográfica:

Por conveniencia, no son mayores de 12 a 25 mm cuadrados, o aproximadamente de 12 a 25 mm de diámetro si el material es cilíndrico. La altura del material no debe ser mayor para ser manejado convenientemente.

Corte de muestras

Al cortar la muestra del cuerpo principal del material, se debe tener cuidado de alterar la estructura del material.

Aserruchar de manera manual o automática, con un lubricante es fácil, rápido y relativamente frío. Esta técnica puede ser utilizada en materiales con dureza 350 HV.

Una cuchilla de corte abrasivo producirá una superficie suave siempre lista

2 Technical data

2.1 General

- Product Exalto windshield wiper
- Types 235 KK – 12 Volt and 24 Volt
- Catalogue numbers 12V 2154.00/05/10/15/20
- Catalogue numbers 24V 2155.00/05/10/15/20

2.2 Electrical data 12 Volt

- Torque (max.) 15 Nm
- Voltage 12 Volt
- Current 3 A
- Power consumption (max.) 36 W
- Recommended cable 5 wires, 1 $\frac{1}{4}$ (16 g) or 2 $\frac{1}{2}$ mm² (14 g)
..... up to 10 m long
- Recommended fuse 6 A slow blow
- Grounding Not insulated, negative earth

2.3 Electrical data 24 Volt

- Torque (max.) 15 Nm
- Voltage 24 Volt
- Current 1.5 A
- Power consumption (max.) 36 W
- Recommended cable 5 wires, 1 $\frac{1}{4}$ (16 g) or 2 $\frac{1}{2}$ mm² (14 g)
..... up to 10 m long
- Recommended fuse 4 A slow blow
- Grounding Insulated earth return

Anexo 5.3 Propiedades mecánicas del acero estructural A36

1. Descripción: Acero al carbono estructural conocido como hierro negro, de calidad estructural para el uso en puentes y edificaciones remachadas, atomilladas o soldadas.

2. Normas involucradas: ASTM A 36/A 36M - 04

3. Propiedades mecánicas: Esfuerzo a la fluencia mínimo: 250 MPa (36300 PSI)
Esfuerzo a la tensión: 400 – 550 MPa (58000 – 79800 PSI)
Elongación mínima en 50 mm (2"): 23%
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.85 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.25 – 0.29 % C
0.60 – 1.20 % Mn
0.15 – 0.40 % Si
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. Usos: Para componentes estructurales en general.

7. Tratamientos térmicos: Usualmente a este material no se le da tratamiento térmico debido a que son parte estructural. Puede ser cementado para aumentar la dureza superficial mientras mantiene su núcleo tenaz.

Anexo 5.4 Resultados de ensayos a tensión de algunos metales.

Tabla A-22

Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales.* Fuente: J. Datsko, "Solid Materials", capítulo 32, en Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke y Thomas H. Boresi, Jr. (editores en jefe), *Standard Handbook of Machine Design*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2004, pp. 32.49-32.52.

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)				Resistencia a la deformación, exponente n	Resistencia a la fractura σ_f
			Fluencia \bar{S}_y MPa (ksi)	Último \bar{S}_u MPa (ksi)	A la fractura, σ_p MPa (ksi)	Confidente σ_p MPa (ksi)		
1018	Acero	Recocido	230 (33.0)	341 (49.5)	638 (91.1) ^f	620 (90.0)	0.25	1.05
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) ^f	992 (144)	0.14	0.49
1212	Acero	Hf	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (104) ^f	758 (110)	0.24	0.85
1045	Acero	TyR 600F	1 520 (220)	1 580 (230)	2 380 (345)	1 880 (273) ^f	0.041	0.81
4142	Acero	TyR 600F	1 720 (250)	1 930 (280)	2 340 (340)	1 760 (255) ^f	0.048	0.43
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1 520 (221) ^f	1 410 (205)	0.51	1.16
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1 600 (233) ^f	1 270 (185)	0.45	1.67
2011	Alación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) ^f	620 (90)	0.28	0.10
2024	Alación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) ^f	689 (100)	0.15	0.18
7075	Alación de aluminio	T6	542 (78.4)	593 (86.0)	706 (102) ^f	682 (100)	0.13	0.18

* Los valores nominales de resistencia a la tracción y a la fluencia corresponden al tamaño nominal que el fabricante de acero, la deformación por fractura puede variar hasta un 10%.

^f Datos de fractura.

Anexo 5.5 Parámetros en la condición superficial de Marín.

Tabla 6-2

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín, ecuación (6-19)

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

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horgner (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Anexo 5.6 Factor de confiabilidad.

Tabla 6-5

Factores de confiabilidad k_e correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga

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

Anexo 5.7 Factores de carga cuando existe los tres tipos de carga.

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases} \quad (6-26)$$

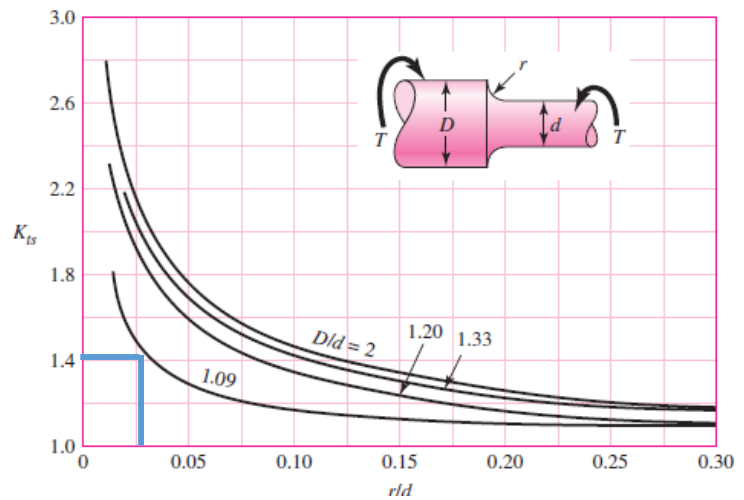
Anexo 5.8 Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero.

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

Anexo 5.9 Factor de concentración de esfuerzos.

Figura A-15-8

Eje redondo con filete en el hombro en torsión. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.



Anexo 5.10 Aceros al alto carbono y de aleación para resortes.

Tabla 10-3

Aceros al alto carbono y de aleación para resortes

Fuente: De Harold C. R. Carlson, "Selection and Application of Spring Materials", en *Mechanical Engineering*, vol. 78, 1956, pp. 331-334.

Nombre del material	Especificaciones similares	Descripción
Alambre de piano, 0.80-0.95C	UNS G10850 AISI 1085 ASTM A228-51	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.
Alambre templado en aceite, 0.60-0.70C	UNS G10650 AISI 1065 ASTM A229-41	Éste es un acero para resortes de uso general que se emplea para elaborar muchos tipos de resortes de espiras, cuando el costo del alambre de piano resulta prohibitivo y se necesitan tamaños mayores que el alambre de piano disponible. No adecuado para cargas de choque o impacto. Disponible en diámetros de 3 a 12 mm (0.125 a 0.500 pulg), pero se consigue con tamaños mayores y menores. No se emplee a más de 180°C (350°F), o a temperaturas bajo cero.
Alambre estirado duro, 0.60-0.70C	UNS G10660 AISI 1066 ASTM A227-47	Este acero se usa para fabricar resortes de uso general más barato y se debe utilizar sólo donde la duración, la exactitud y la deflexión no sean muy importantes. Disponible en diámetros de 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg). No se emplee a más de 120°C (250°F), o a temperaturas bajo cero.
Cromo vanadio	UNS G61500 AISI 6150 ASTM A231-41	Ésta es la aleación más popular de acero para construir resortes en condiciones que implican esfuerzos mayores que los que se pueden emplear con los aceros al alto carbono, y para usarla cuando son necesarias resistencia a la fatiga y alta durabilidad. También sirve para cargas de choque o impacto. Se utilizan ampliamente para fabricar resortes de válvulas de motores de aviones y para temperaturas hasta de 220°C (425°F). Disponible en recocido o prerevenido con tamaños de 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg) de diámetro.

Anexo 5.11 Se muestra las constantes A y m.

Tabla 10-4

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

Fuente: De *Design Handbook*, 1987, p. 19. Cortesía de Associated Spring.

Material	ASTM núm.	Exponente m	Diámetro, pulg	A, kpsi · pulg ^m	Diámetro, mm	A, MPa · mm ^m	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 acetil [†]	A229	0.187	0.020-0.500	147	0.5-12.7	1 855	1.3
Alambre estrado 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	

*La superficie es lisa, sin defectos y tiene un acabado brillante y lustroso.

[†]Tiene escamas ligeras debido al tratamiento térmico, que se deben remover antes del galvanizado.

[‡]La superficie es lisa y brillante sin marcas visibles.

[§]Alambre revenido de calidad aeronáutica; también se obtiene recocido.

^{||}Revenido a Rockwell C49, pero se puede obtener sin revenir.

*Acero inoxidable tipo 302.

**Temple CA510.

Anexo 5.12 Propiedades mecánicas de algunos alambres para resortes.

Tabla 10-5

Propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte

Material	Límite elástico, porcentaje de S_{ut}		Diámetro d , pulg	E		G	
	tensión, torsión	tensión, torsión		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 incoel X750	65-70	40-45		31	213.7	11.2	77.2

*También incluye 302, 304 y 316.

Nota: Vea la tabla 10-6, que contiene los valores de diseño del esfuerzo de torsión permisible.

Anexo 5.13 Esfuerzos de torsión máximos permisibles de resortes helicoidales de compresión en aplicaciones estáticas.

Tabla 10-6

Esfuerzos de torsión máximos permisibles de resortes helicoidales de compresión en aplicaciones estáticas

Fuente: Robert E. Joerres, "Springs", cap. 6, en Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke y Thomas H. Brown, Jr. (eds.), *Standard Handbook of Machine Design*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2004.

Material	Porcentaje máximo de la resistencia a la tensión	
	Antes de la remoción de la deformación (incluye K_W o K_d)	Después de la remoción de la deformación (incluye K_s)
Alambre de piano y acero al carbono estirado en frío	45	60-70
Acero al carbono templado y revenido y acero de baja aleación	50	65-75
Aceros inoxidables austeníticos	35	55-65
Aleaciones no ferrosas	35	55-65

Anexo 5.14 Equivalentes decimales de calibres de alambre y lámina de metal.

Tabla A-28

Equivalentes decimales de calibres de alambre y lámina de metal* (todos los tamaños se dan en pulgadas)
[continuación]

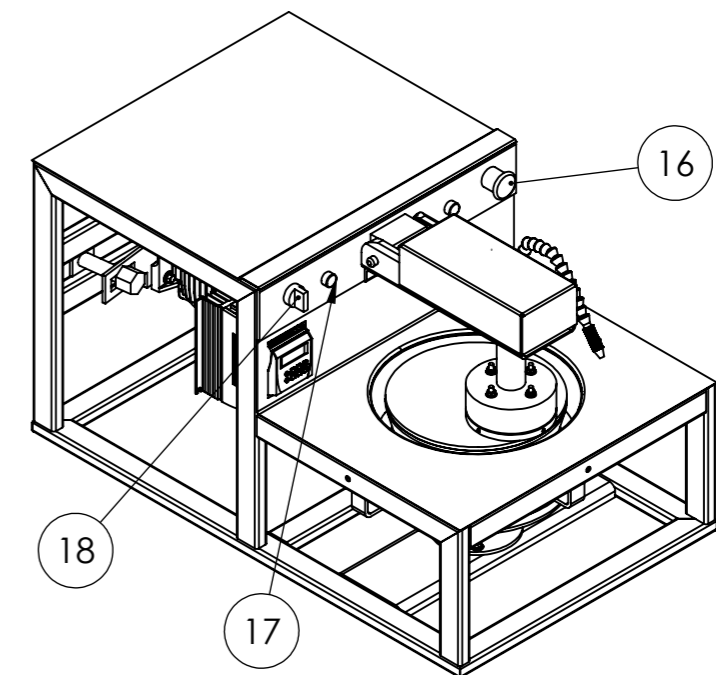
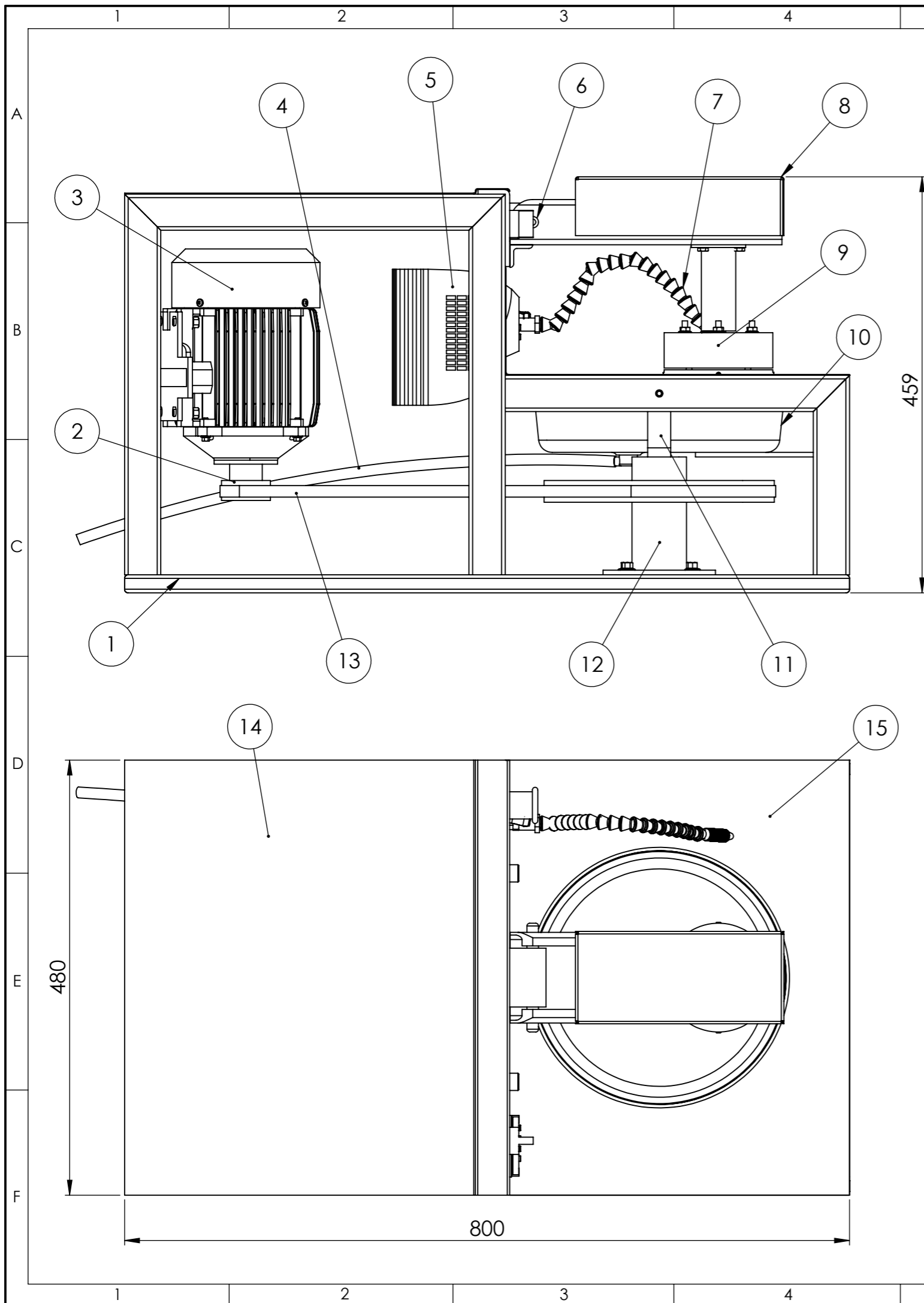
Nombre del calibre	American o Brown & Sharpe	Birmingham o Stubbs Iron Wire	Norma de Estados Unidos†	Norma de fabricantes	Alambre de acero o Washburn & Moen	Alambre de piano	Stubbs Steel Wire	Broca común
Uso principal	Lámina alambre y varilla no ferrosos	Tubos, tira y alambre plano ferrosos, y acero para resortes	Lámina y placa ferrosos, 480 lb/ft²	Lámina de acero	Alambre ferroso, excepto para alambre de piano	Alambre de piano	Barra de acero	Brocas comunes y acero para brocas
18	0.040 30	0.049	0.05	0.047 8	0.047 5	0.041	0.168	0.169 5
19	0.035 89	0.042	0.043 75	0.041 8	0.041 0	0.043	0.164	0.166 0
20	0.031 96	0.035	0.037 5	0.035 9	0.034 8	0.045	0.161	0.161 0
21	0.028 46	0.032	0.034 375	0.032 9	0.031 7	0.047	0.157	0.159 0
22	0.025 35	0.028	0.031 25	0.029 9	0.028 6	0.049	0.155	0.157 0
23	0.022 57	0.025	0.028 125	0.026 9	0.025 8	0.051	0.153	0.154 0
24	0.020 10	0.022	0.025	0.023 9	0.023 0	0.055	0.151	0.152 0
25	0.017 90	0.020	0.021 875	0.020 9	0.020 4	0.059	0.148	0.149 5
26	0.015 94	0.018	0.018 75	0.017 9	0.018 1	0.063	0.146	0.147 0
27	0.014 20	0.016	0.017 1875	0.016 4	0.017 3	0.067	0.143	0.144 0
28	0.012 64	0.014	0.015 625	0.014 9	0.016 2	0.071	0.139	0.140 5
29	0.011 26	0.013	0.014 0625	0.013 5	0.015 0	0.075	0.134	0.136 0
30	0.010 03	0.012	0.012 5	0.012 0	0.014 0	0.080	0.127	0.128 5
31	0.008 928	0.010	0.010 9375	0.010 5	0.013 2	0.085	0.120	0.120 0
32	0.007 950	0.009	0.010 156 25	0.009 7	0.012 8	0.090	0.115	0.116 0
33	0.007 080	0.008	0.009 375	0.009 0	0.011 8	0.095	0.112	0.113 0
34	0.006 305	0.007	0.008 593 75	0.008 2	0.010 4		0.110	0.111 0
35	0.005 615	0.005	0.007 812 5	0.007 5	0.009 5		0.108	0.110 0
36	0.005 000	0.004	0.007 031 25	0.006 7	0.009 0		0.106	0.106 5
37	0.004 453		0.006 640 625	0.006 4	0.008 5		0.103	0.104 0
38	0.003 965		0.006 25	0.006 0	0.008 0		0.101	0.101 5
39	0.003 531				0.007 5		0.099	0.099 5
40	0.003 145				0.007 0		0.097	0.098 0

*Se especifica tamaño, alambre y plano que indican el tamaño de calibre por equivalente decimal (en pulgadas).

†Se fijó el peso por pie y las partes de la libra de acero.

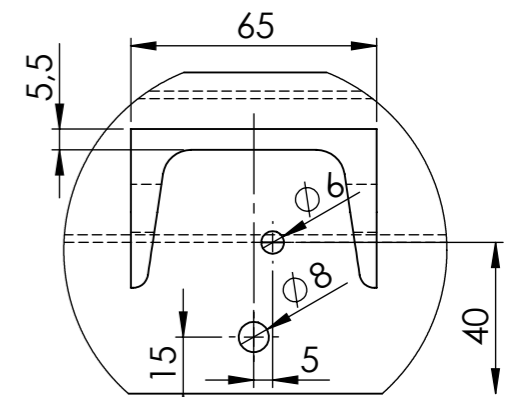
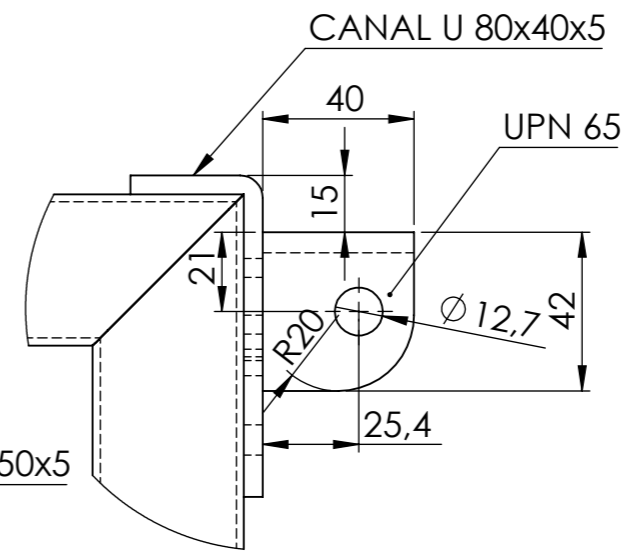
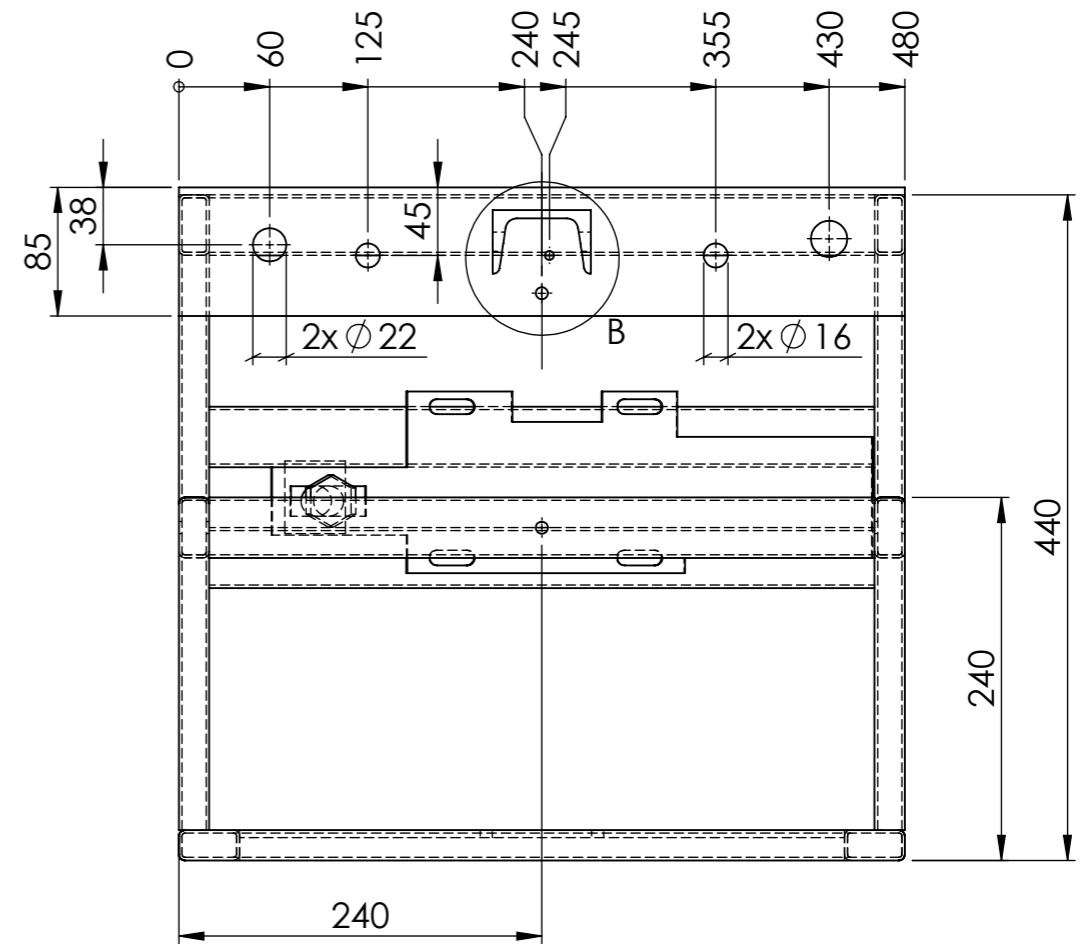
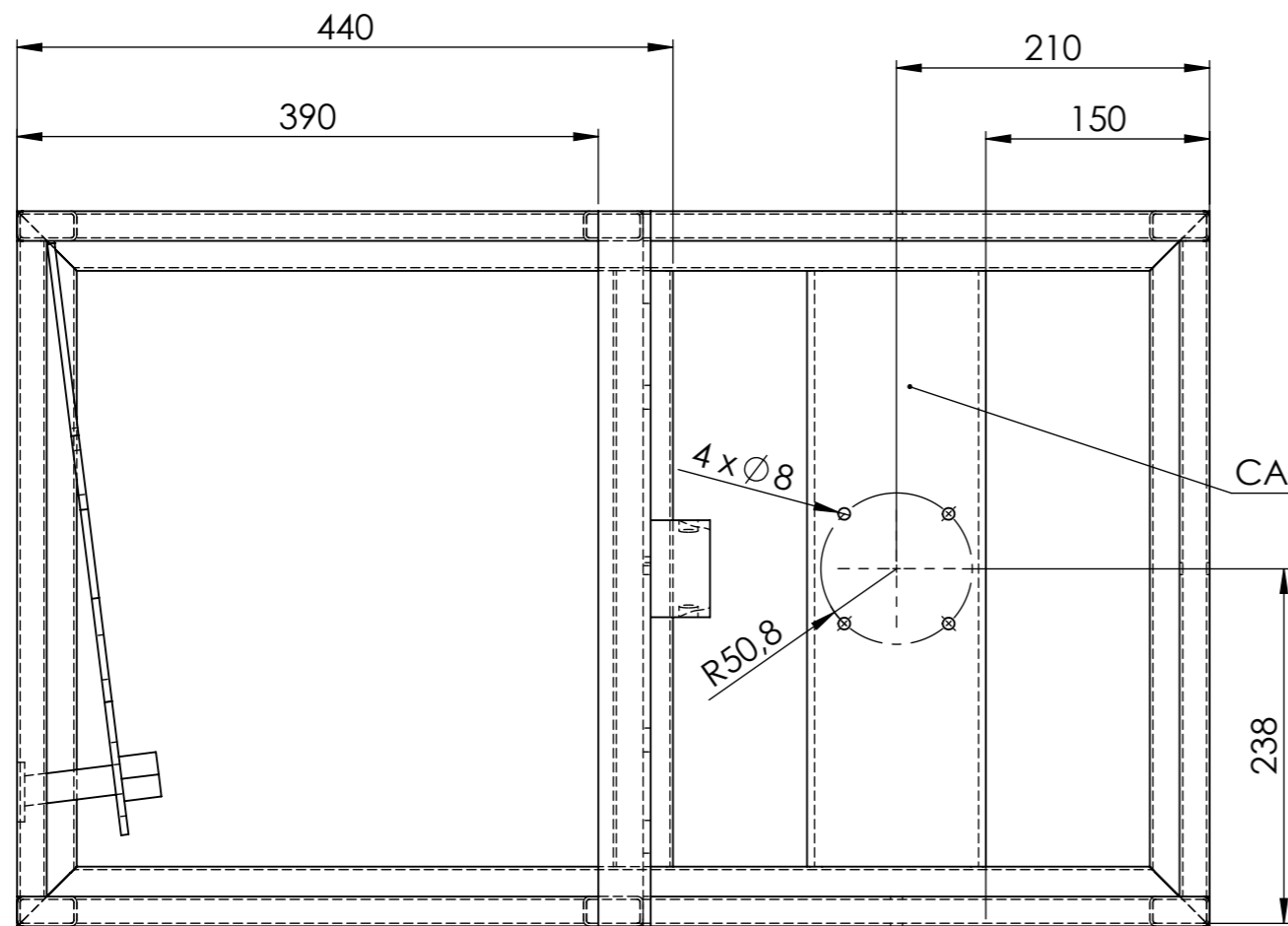
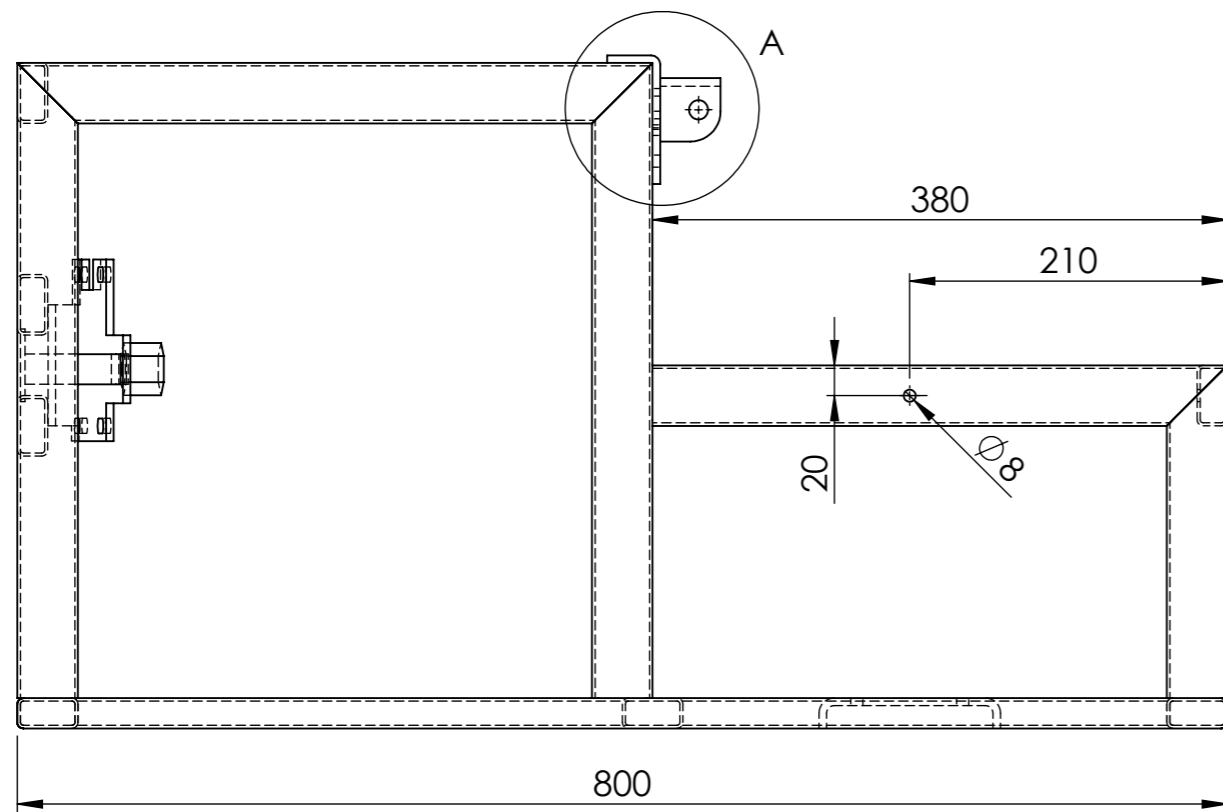
ANEXOS C

PLANOS



1	SELECTOR ENCENDIDO		Varios	18	CAMSCO 230VAC 15A	0.05	ADQUIRIDO
2	FOCO PILOTO		Varios	17	CAMSCO 230VAC 10A	0.03	ADQUIRIDO
1	PARO DE EMERGENCIA		Varios	16	CAMSCO 230VAC 20A	0.08	ADQUIRIDO
1	CHAPA BANDEJA	Hoja 19	1023 Chapa de acero al carbono	15		1.46	CONSTRUIDO
1	CHAPA SUPERIOR	Hoja 18	1023 Chapa de acero al carbono	14		0.95	CONSTRUIDO
1	CORREA		Nylon	13	MITSUBA 12.5X1170	0.38	ADQUIRIDO
1	SUBENSAMBLE PLATO	Hoja 3	Varios	12		8.40	CONSTRUIDO
3	SOPORTE BANDEJA	Hoja 17	ASTM A36 Acero	11		0.23	CONSTRUIDO
1	BANDEJA DE RECOLECCION		HDPE	10		0.07	ADQUIRIDO
1	SUBENSAMBLE BRAZO	Hoja 9	Varios	9		3.73	CONSTRUIDO
1	TAPA BRAZO	Hoja 16	1023 Chapa de acero al carbono	8		0.80	CONSTRUIDO
1	MANGUERA REFRIGERANTE		PVC	7	LOC-LINE 1/4" N°4013	0.26	ADQUIRIDO
1	BISAGRA		AISI 1020	6	Ø 1/2"x12cm	0.72	ADQUIRIDO
1	VARIADOR FRECUENCIA		Varios	5	SIEMENS SINAMICS G110	3.45	EXISTENTE
1	MANGUERA DESFOGUE		Varios	4	ANGHELO 8mm-5/16	1.12	ADQUIRIDO
1	MOTOR AC		Varios	3	WEG 1Hp, 1700rpm	14.50	EXISTENTE
1	POLEA MENOR		356.0-T6 Moldeo permanente (SS)	2		0.15	EXISTENTE
1	ESTRUCTURA	Hoja 2	ASTM A36 Acero	1		19.74	MODIFICADO
N.º de pieza	Denominación	N.º de Norma/ Dibujo	Material	N.º de orden	N.º del Modelo / semiproducto	Peso kg/ pieza	Observaciones

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:			
±1		45477.09 g		VARIOS			
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:			ESCALA:
DIBUJÓ: 29/05/2019		Fiallos Andrés		PULIDORA			1:5
REVISÓ: 06/08/2019		Ing. S. Espín					
APROBÓ: 06/08/2019		Ing. S. Espín					
U.T.A.				N.º DE LÁMINA		REGISTRO:	
INGENIERÍA MECÁNICA				HOJA 01 DE 19			
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:			



CANAL U 125x50x5

DETALLE A
ESCALA 1 : 2

DETALLE B
ESCALA 1 : 2

Toda la estructura está hecha con Tubo rectangular 40x20x2 y está soldada con E6011 a tope, excepto los perfiles en los que se indica el tipo.

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0.1	19735.12 g	ASTM A36 Acero	
				FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 29/05/2019	Fiallos Andrés	ESTRUCTURA	
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín	ESCALA:	
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín	1:5	
				U.T.A.		N.º DE LÁMINA:	REGISTRO:
				INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 02 DE 19	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:			

1

2

3

4

N6

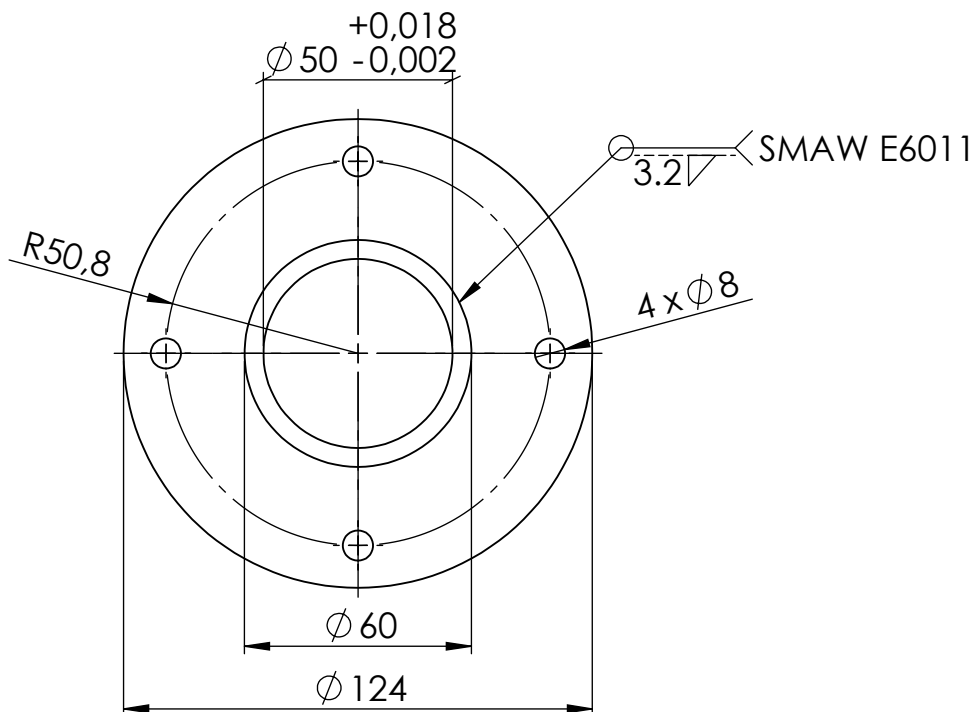
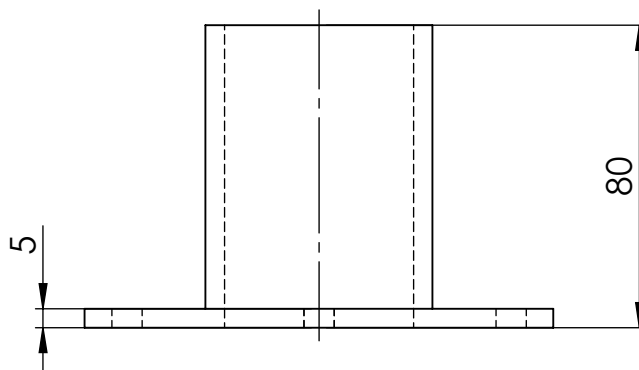
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 897.68 g	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: SOPORTE EJE PRINCIPAL	ESCALA: 1:2
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés		
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín	N.º DE LÁMINA HOJA 04 DE 19	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:	

1

2

3

4

A

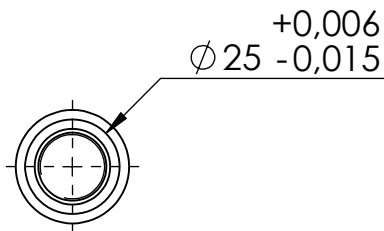
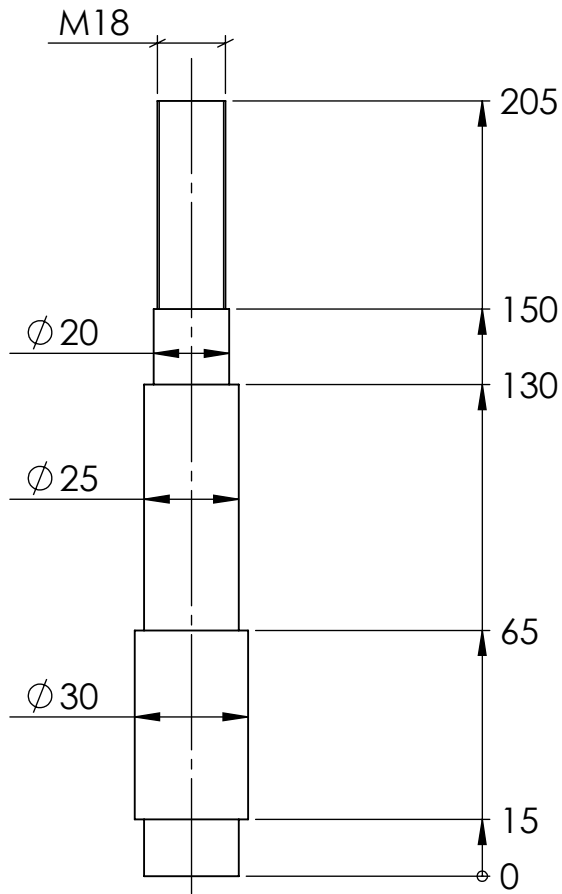
N6
▽

B

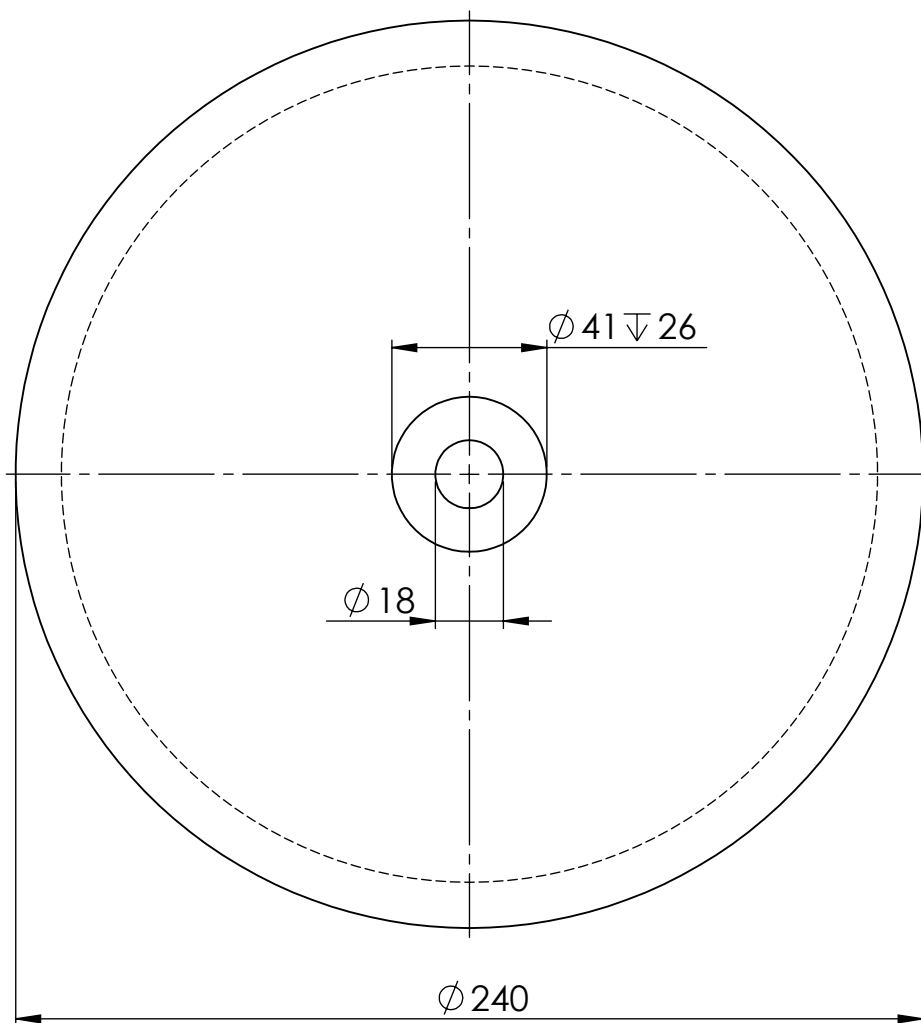
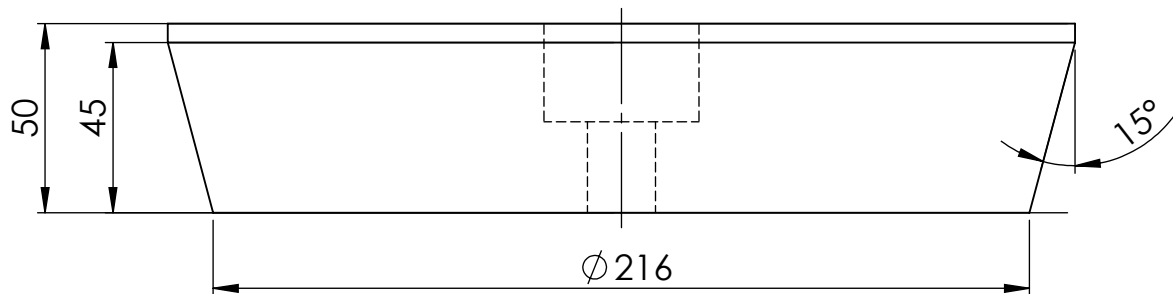
C

D

E



				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO: 749.65 g	MATERIAL: AISÍ 1020	
						TÍTULO: EJE PRINCIPAL	ESCALA: 1:2
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés		
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA HOJA 05 DE 19	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	



N7

A
B
C
D
E

				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO: 5423.81 g	MATERIAL: Fundición de Aluminio	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés	DISCO PORTA PAÑO	1:2
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA	REGISTRO:
						HOJA 06 DE 19	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:			

1

2

3

4

N5

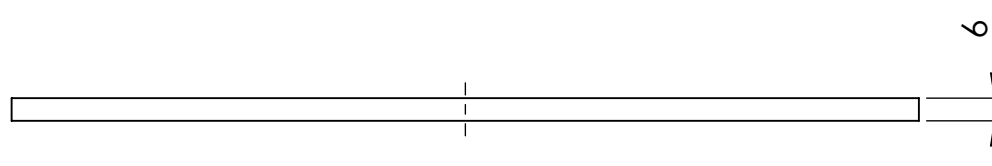
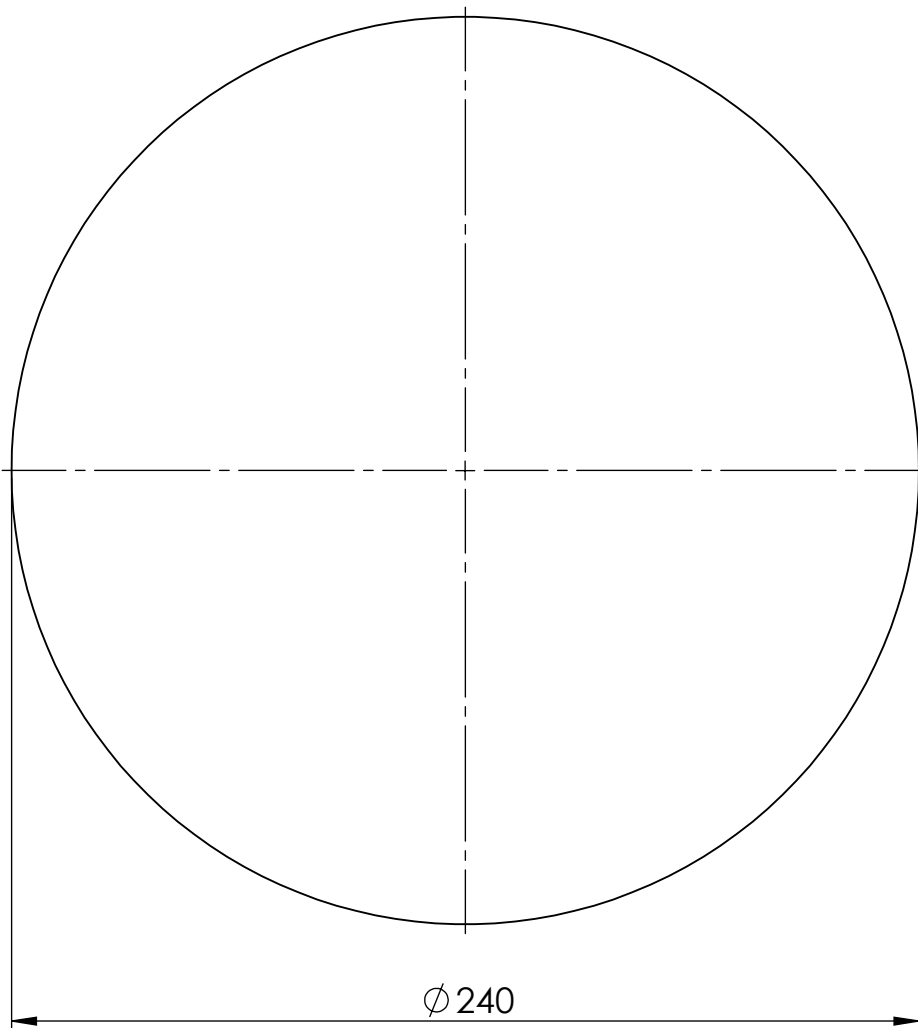
A

B

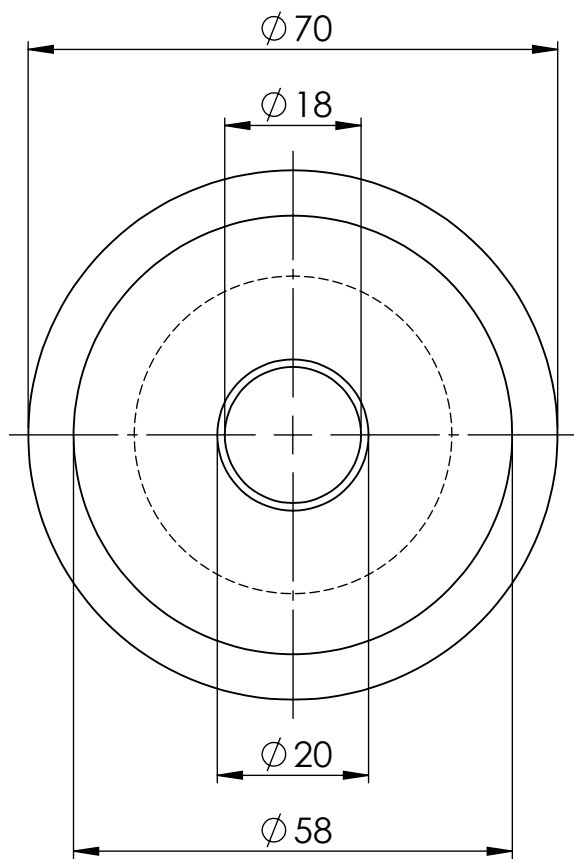
C

D

E

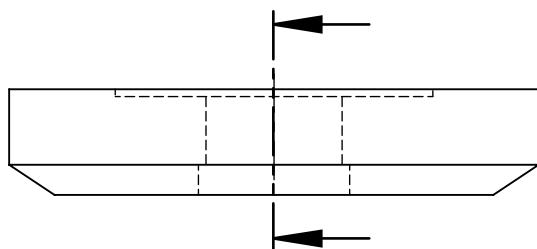


				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO: 325.72g	MATERIAL: Acrílico (Impacto medio-alto)	
						TÍTULO: PORTA PAÑO	ESCALA: 1:2
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés		
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA HOJA 07 DE 19	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	

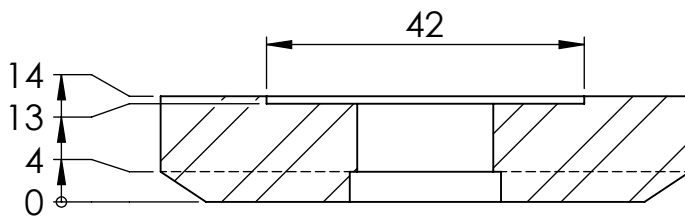


N6/

A

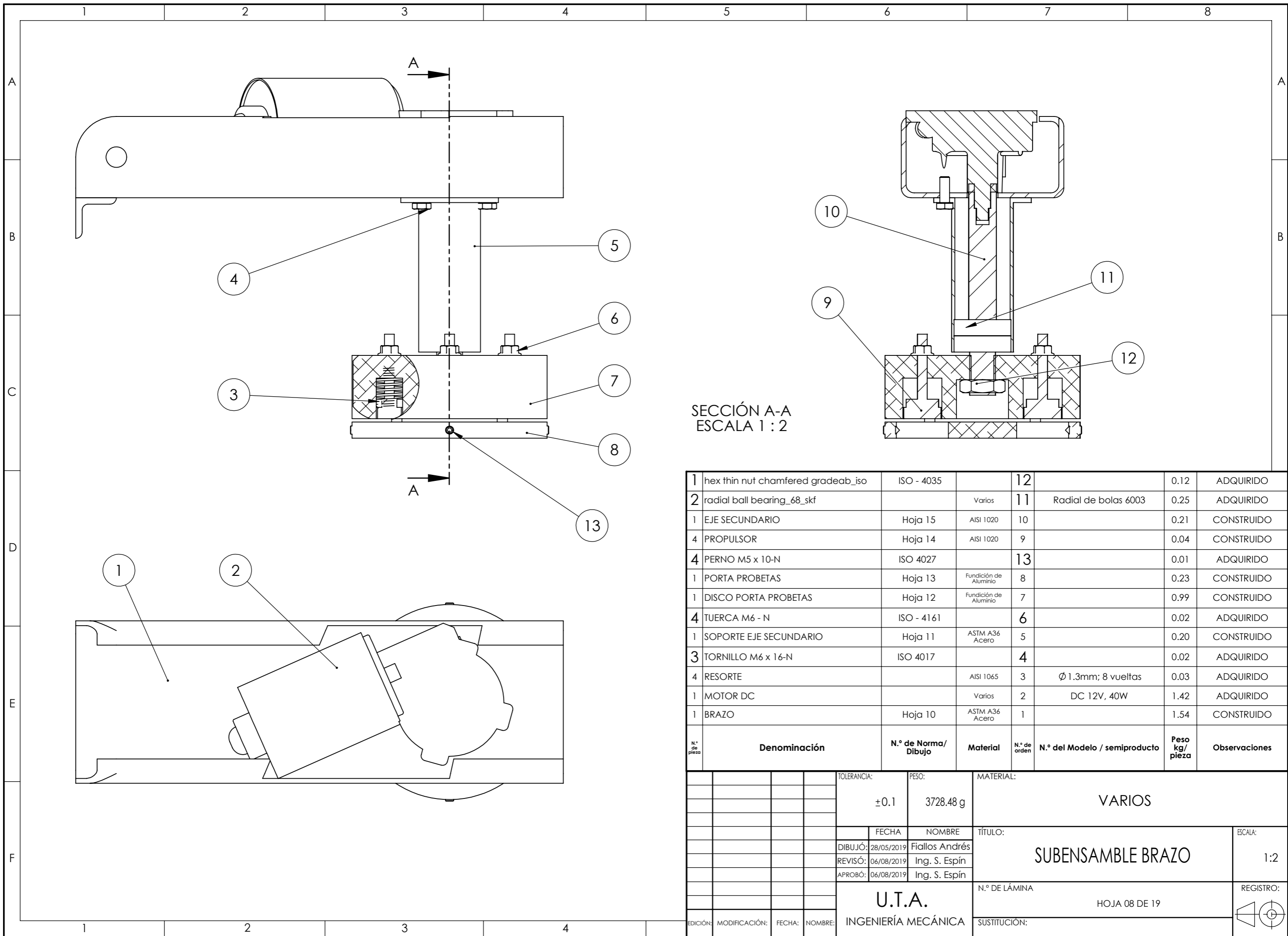


A



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 367.02 g	MATERIAL: AISI 1020	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: BASE DISCO	ESCALA: 1:1
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés		
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín	N.º DE LÁMINA HOJA 08 DE 19	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:	

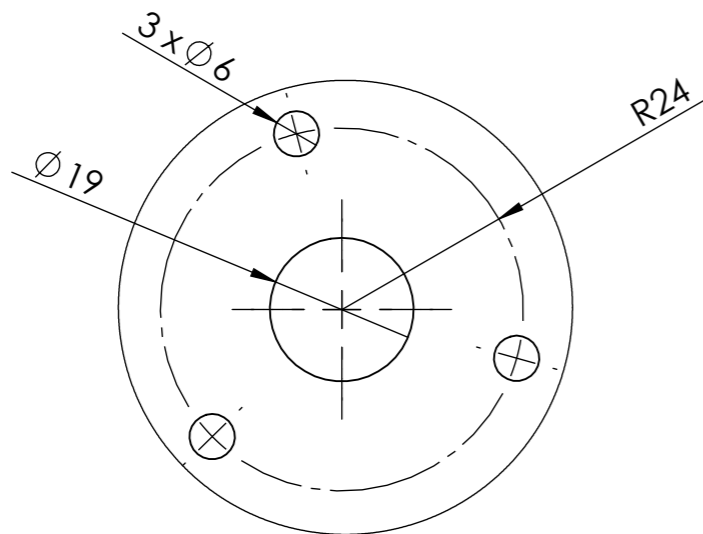
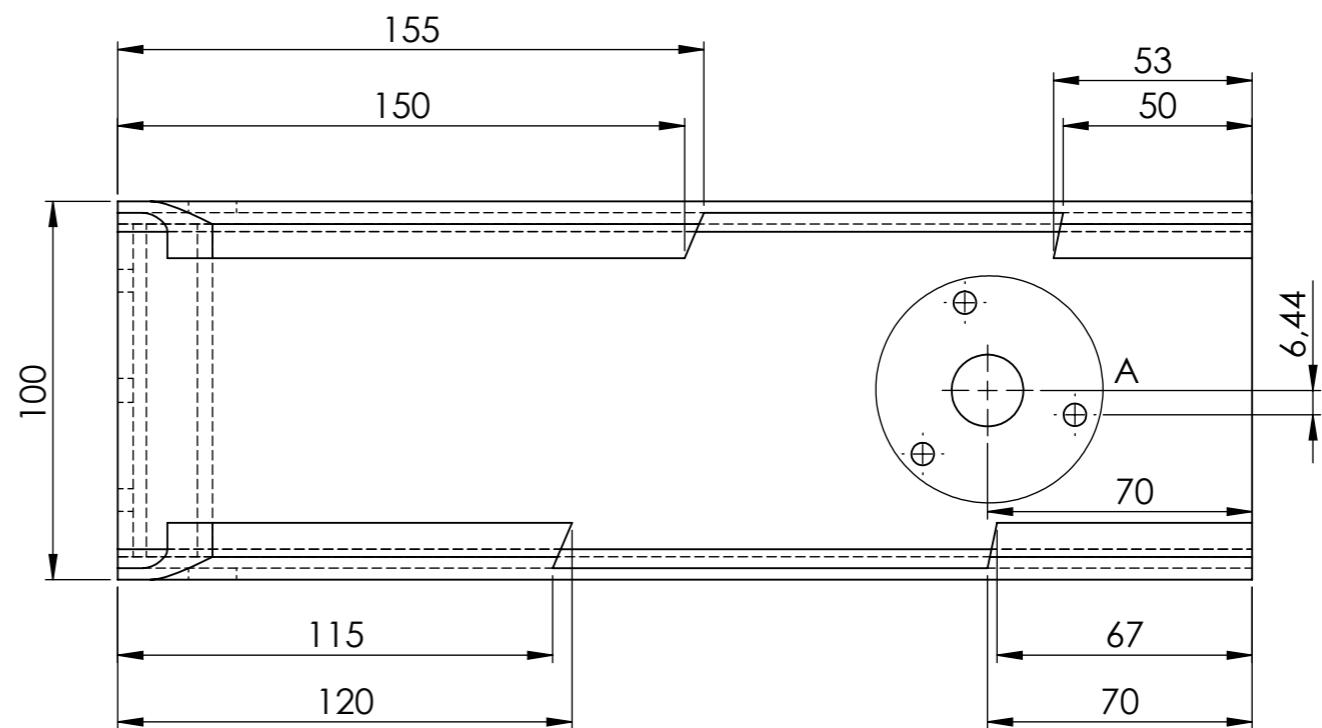
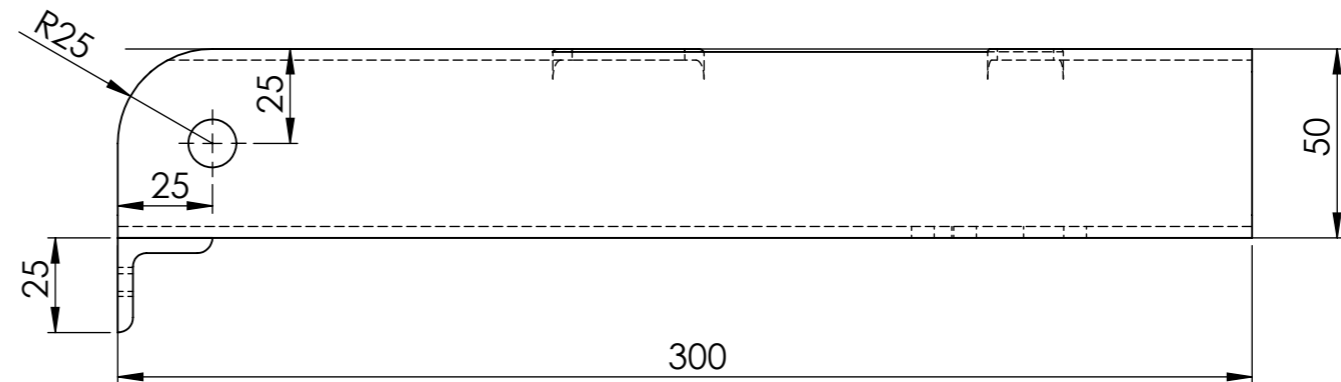
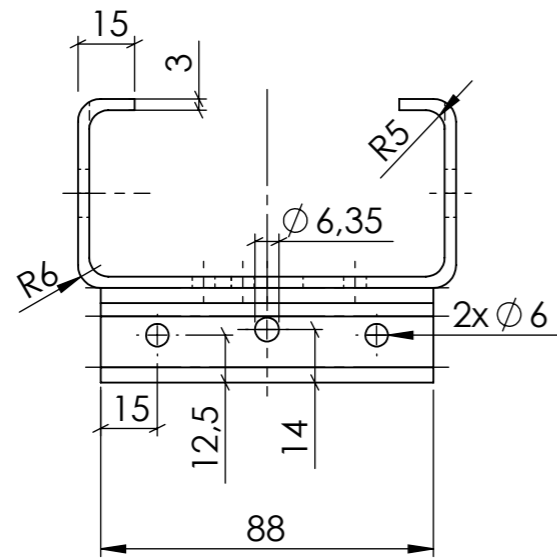


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

1	hex thin nut chamfered gradeab_iso	ISO - 4035		12		0.12	ADQUIRIDO
2	radial ball bearing_68 SKF		Varios	11	Radial de bolas 6003	0.25	ADQUIRIDO
1	EJE SECUNDARIO	Hoja 15	AISI 1020	10		0.21	CONSTRUIDO
4	PROPULSOR	Hoja 14	AISI 1020	9		0.04	CONSTRUIDO
4	PERNO M5 x 10-N	ISO 4027		13		0.01	ADQUIRIDO
1	PORTA PROBETAS	Hoja 13	Fundición de Aluminio	8		0.23	CONSTRUIDO
1	DISCO PORTA PROBETAS	Hoja 12	Fundición de Aluminio	7		0.99	CONSTRUIDO
4	TUERCA M6 - N	ISO - 4161		6		0.02	ADQUIRIDO
1	SOPORTE EJE SECUNDARIO	Hoja 11	ASTM A36 Acero	5		0.20	CONSTRUIDO
3	TORNILLO M6 x 16-N	ISO 4017		4		0.02	ADQUIRIDO
4	RESORTE		AISI 1065	3	Ø 1.3mm; 8 vueltas	0.03	ADQUIRIDO
1	MOTOR DC		Varios	2	DC 12V, 40W	1.42	ADQUIRIDO
1	BRAZO	Hoja 10	ASTM A36 Acero	1		1.54	CONSTRUIDO
N.º de pieza	Denominación	N.º de Norma / Dibujo	Material	N.º de orden	N.º del Modelo / semiproducto	Peso kg / pieza	Observaciones

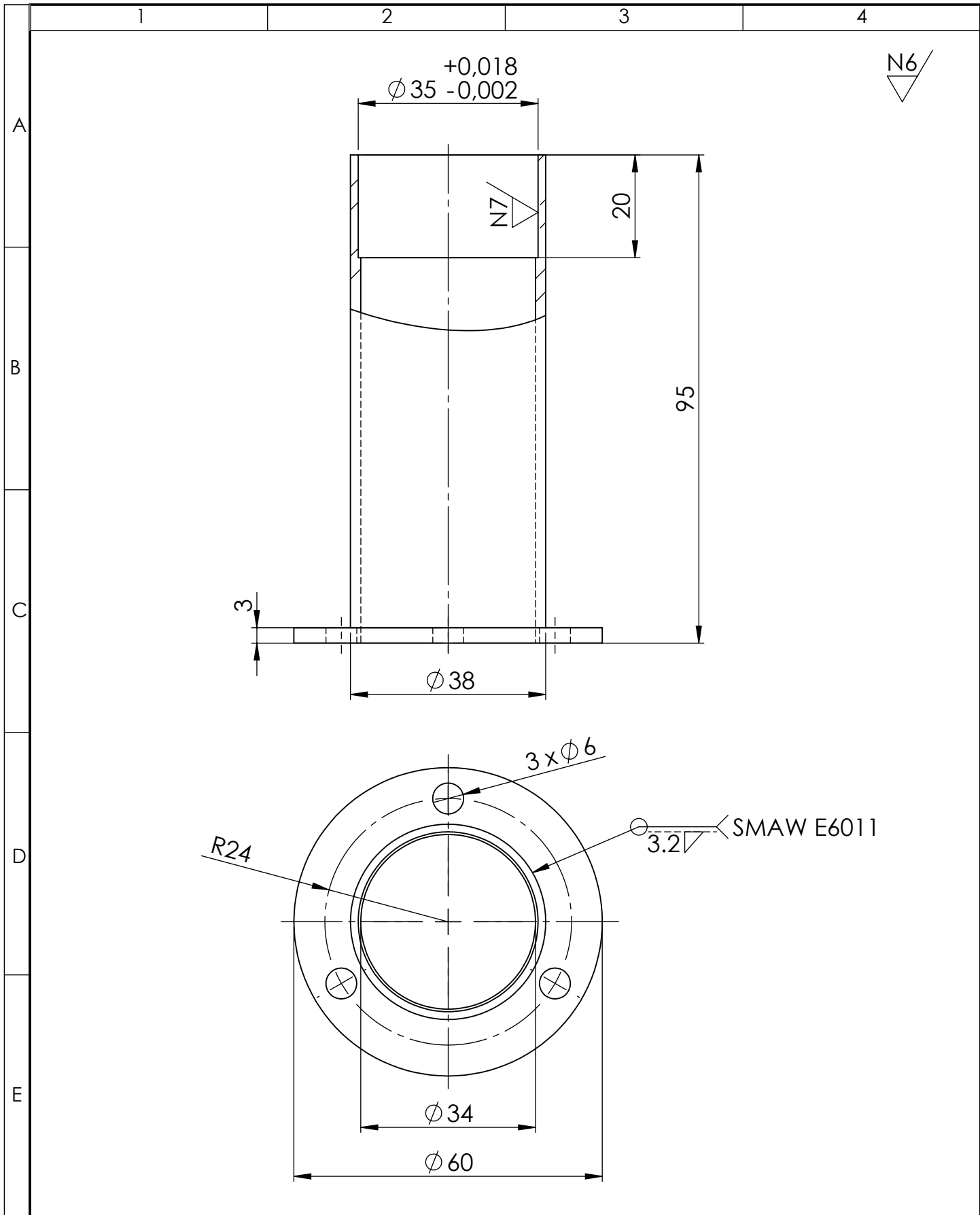
TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:			
±0.1		3728.48 g		VARIOS			
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:			ESCALA:
DIBUJÓ: 28/05/2019		Fiallos Andrés		SUBENSAMBLE BRAZO			1:2
REVISÓ: 06/08/2019		Ing. S. Espín					
APROBÓ: 06/08/2019		Ing. S. Espín					
U.T.A.				N.º DE LÁMINA		REGISTRO:	
INGENIERÍA MECÁNICA				HOJA 08 DE 19			
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:			

N7

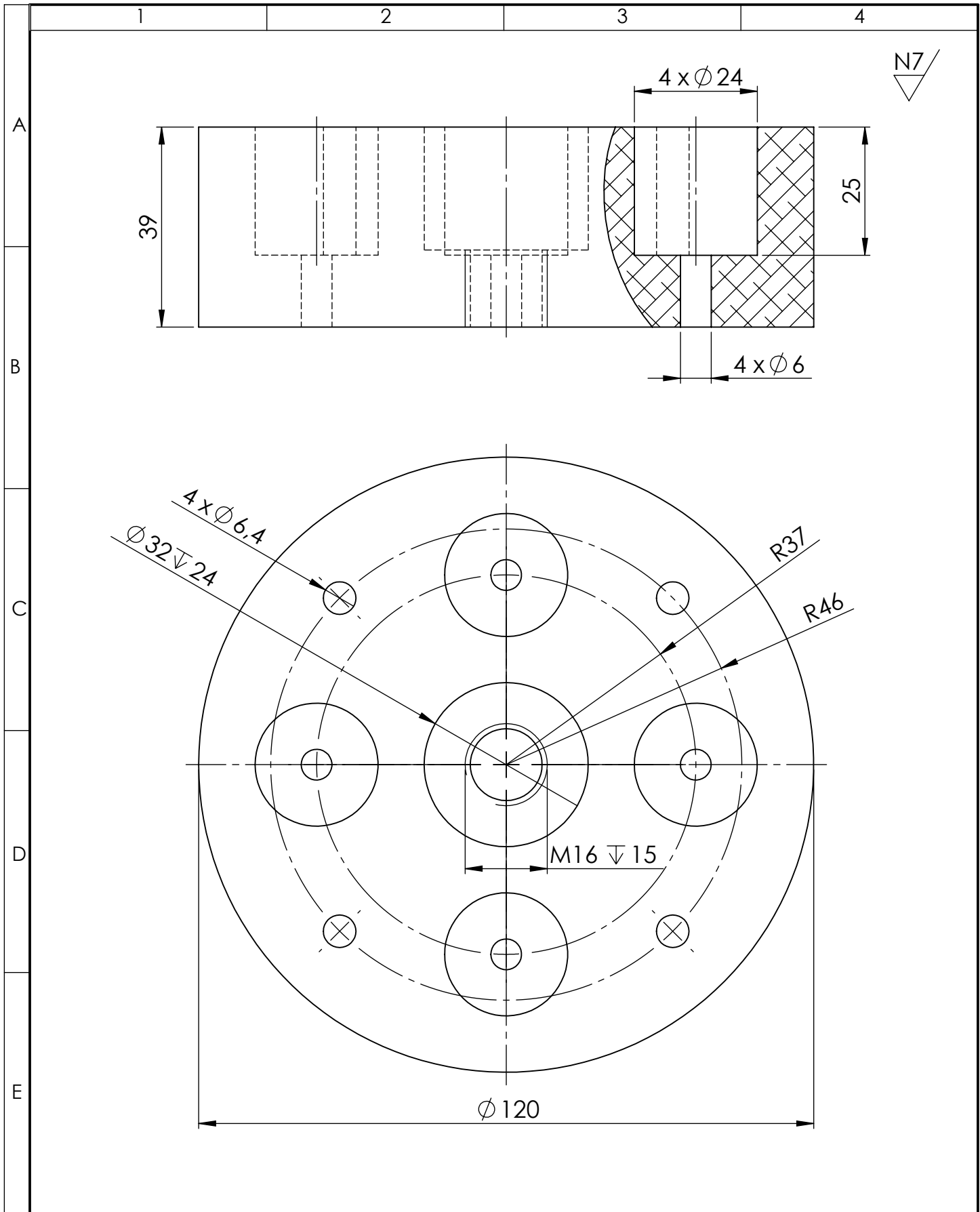


DETALLE A
ESCALA 1 : 1

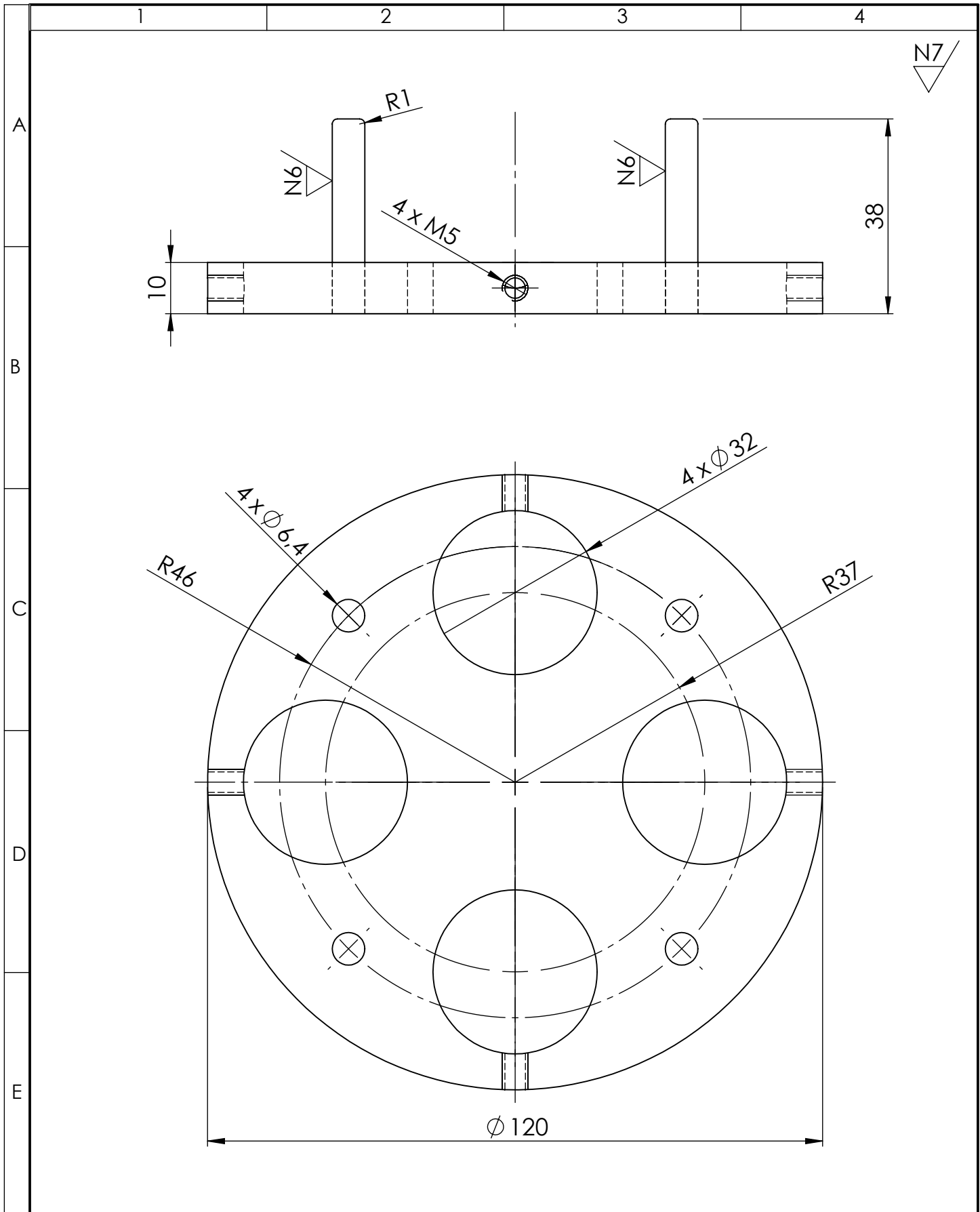
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0.1	1543.05 g	ASTM A36 Acero		
				FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés	BRAZO		1:2
				REVISÓ: 04/08/2019	Ing. S. Espín			
				APROBÓ: 04/08/2019	Ing. S. Espín			
				U.T.A.		N.º DE LÁMINA		REGISTRO:
				INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 10 DE 19		
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:		



				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 198.06 g	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: SOPORTE EJE SECUNDARIO	ESCALA: 1:1
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés		REGISTRO:
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín	N.º DE LÁMINA HOJA 11 DE 19	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0.1	990.20 g	Fundición de Aluminio		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:	
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés		DISCO PORTA PROBETAS	1:2
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín			REGISTRO:
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA	HOJA 12 DE 19	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:		



				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 225.40 g	MATERIAL: Fundición de Aluminio		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: PORTA PROBETAS	ESCALA: 1:1	
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés		N.º DE LÁMINA HOJA 13 DE 19	REGISTRO:
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín			
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA				
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:					

1

2

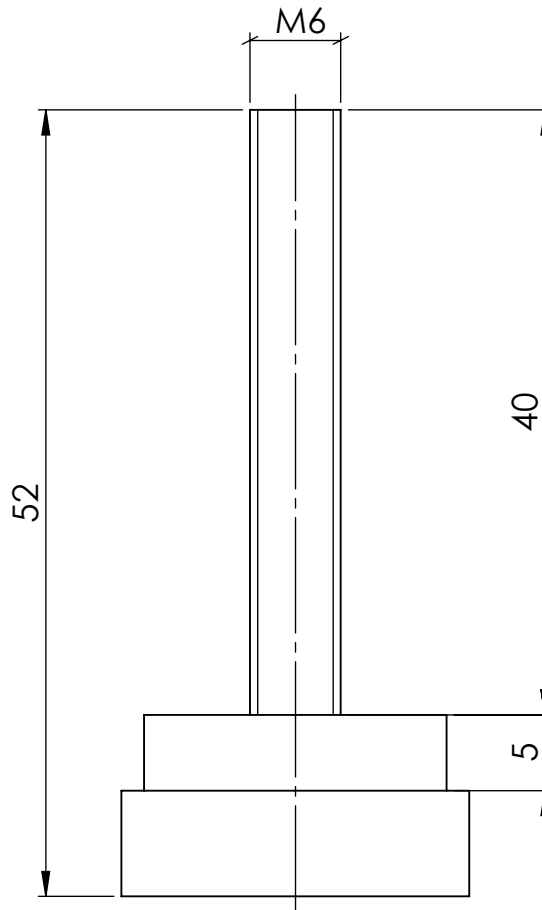
3

4

A

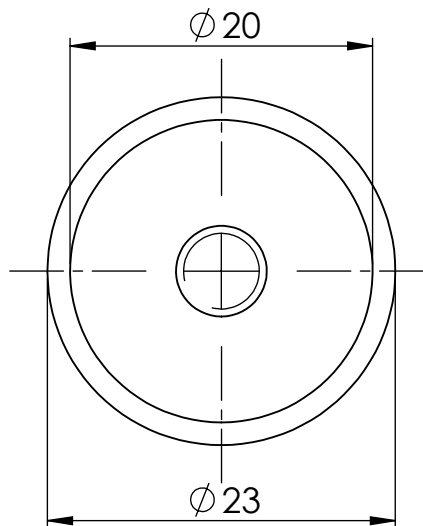
N7

B



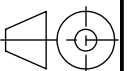
C

D



E

				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO: 44.32 g	MATERIAL: AISI 1020	
						TÍTULO: PROPULSOR	ESCALA: 2:1
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés		
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA HOJA 14 DE 19	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	



1

2

3

4

A

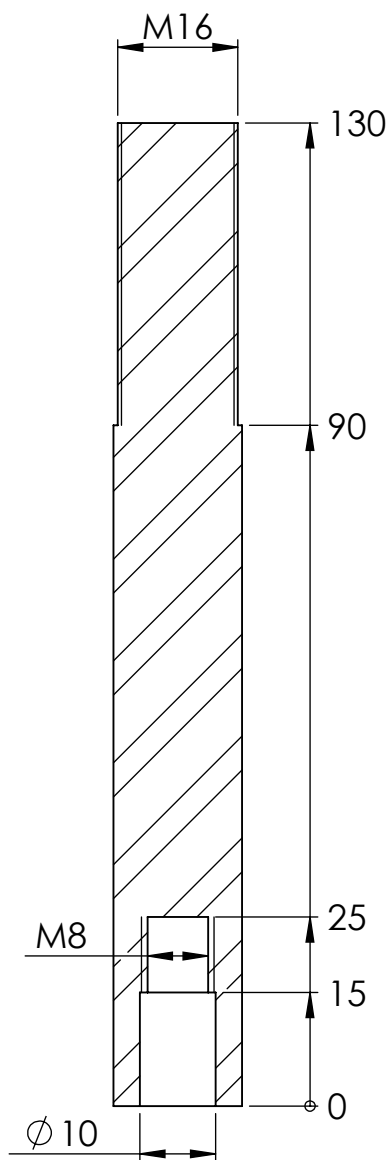
N6

B

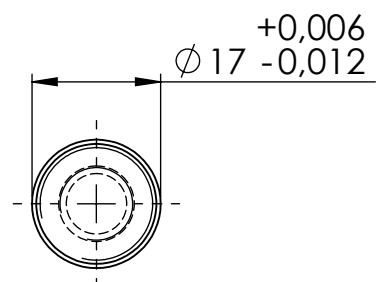
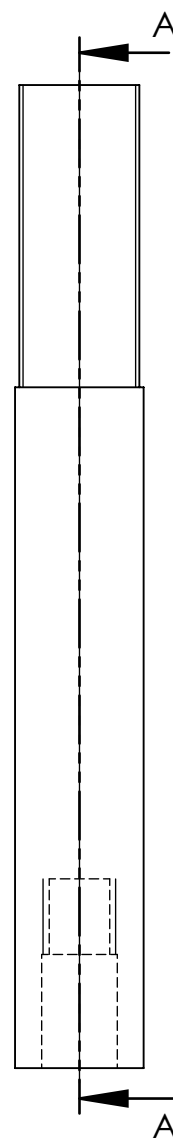
C

D

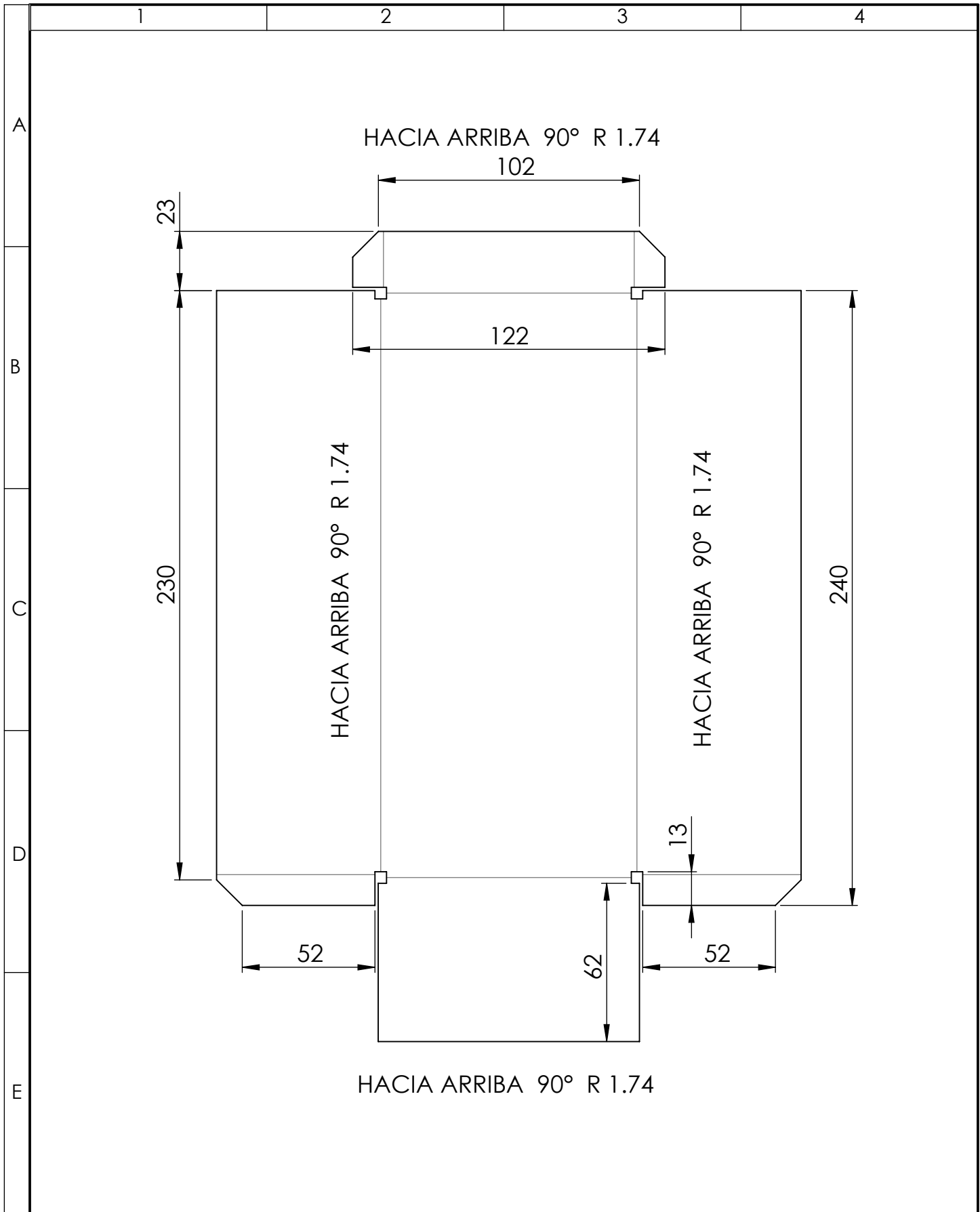
E



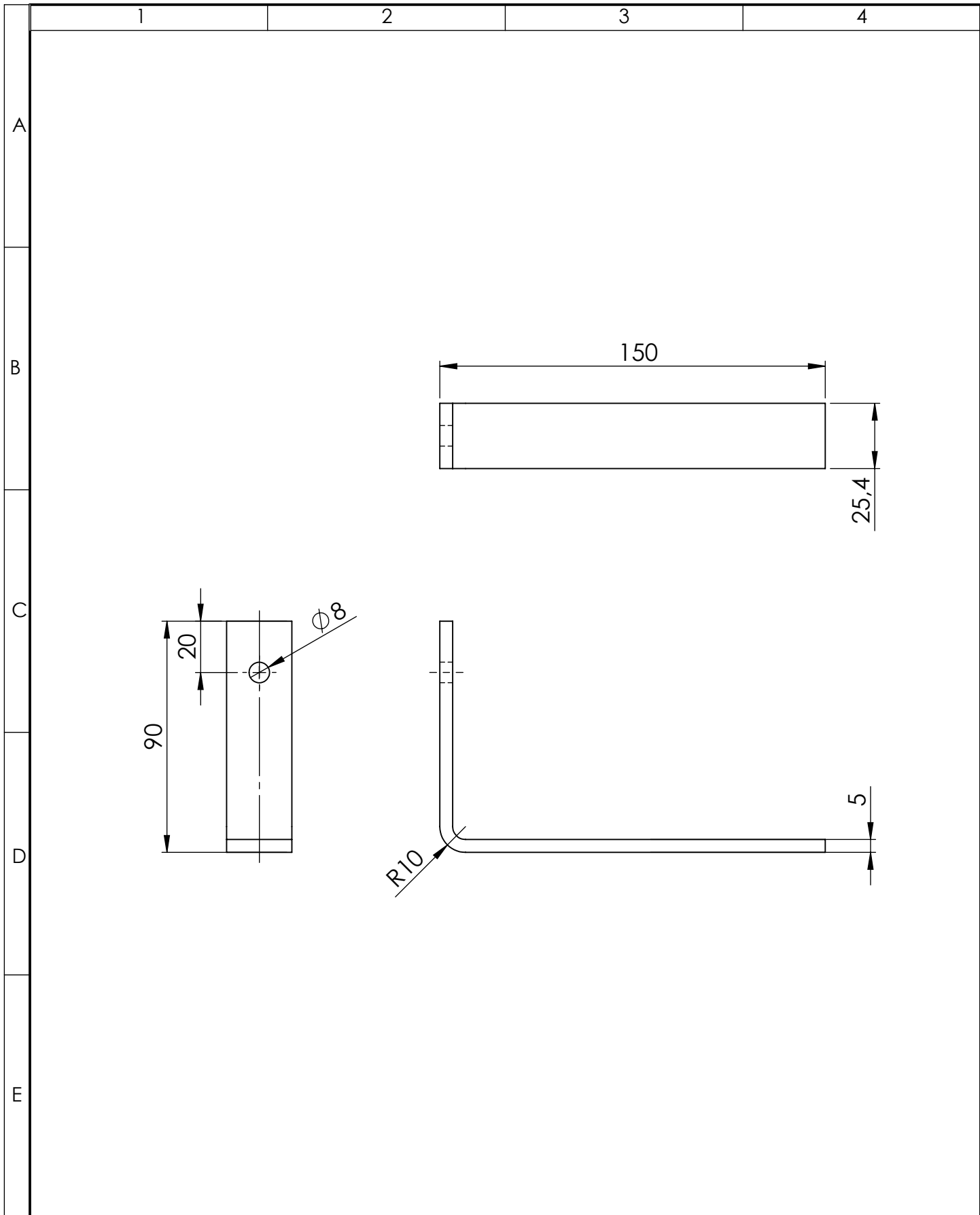
SECCIÓN A-A


 $\begin{matrix} +0,006 \\ \text{Ø } 17 \\ -0,012 \end{matrix}$

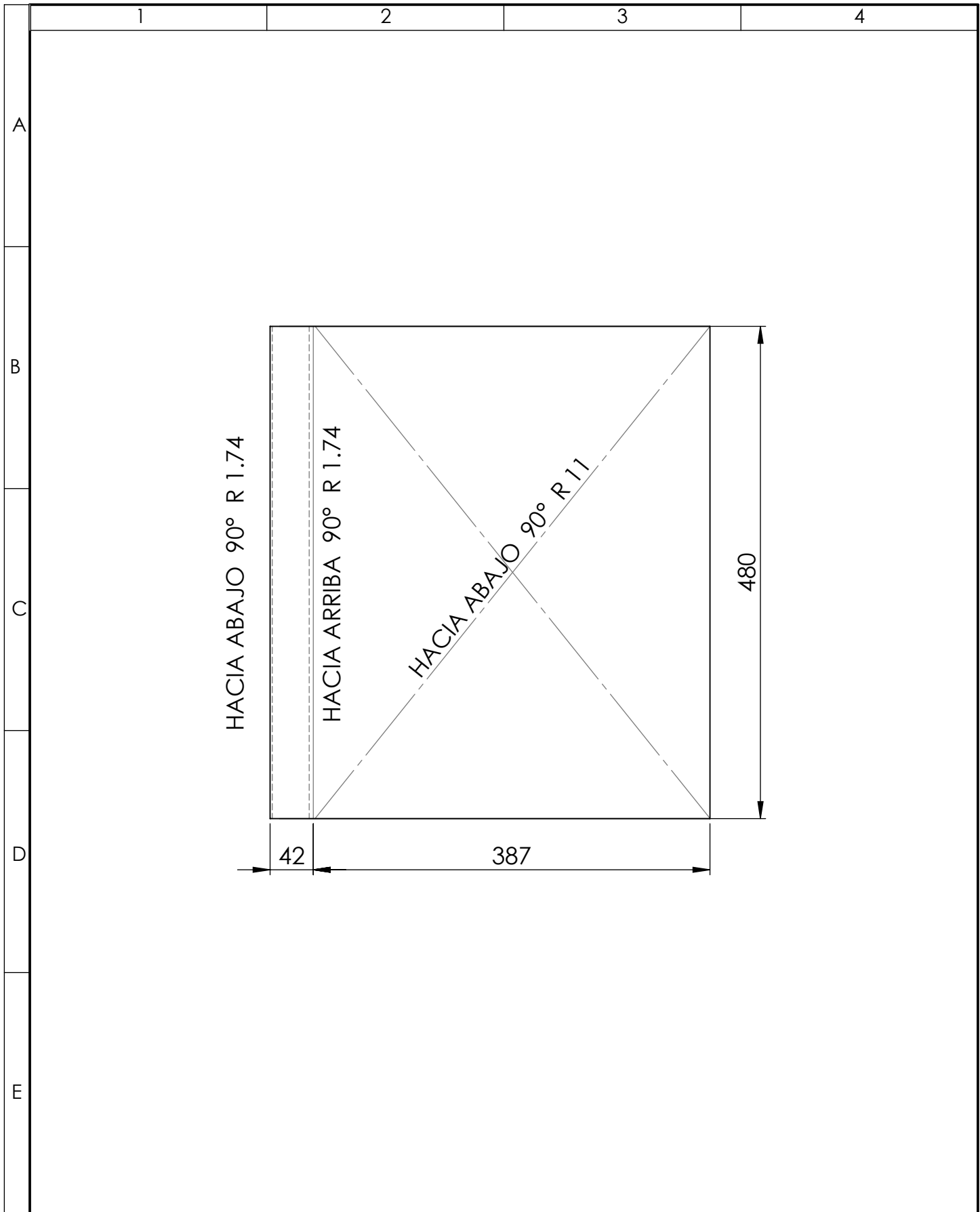
				TOLERANCIA: ± 0.1	PESO: 210.65 g	MATERIAL: AISÍ 1020	
						TÍTULO: EJE SECUNDARIO	
				FECHA: 28/05/2019	NOMBRE: Fiallos Andrés	ESCALA: 1:1	
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				U.T.A.		N.º DE LÁMINA: HOJA 15 DE 19	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:	



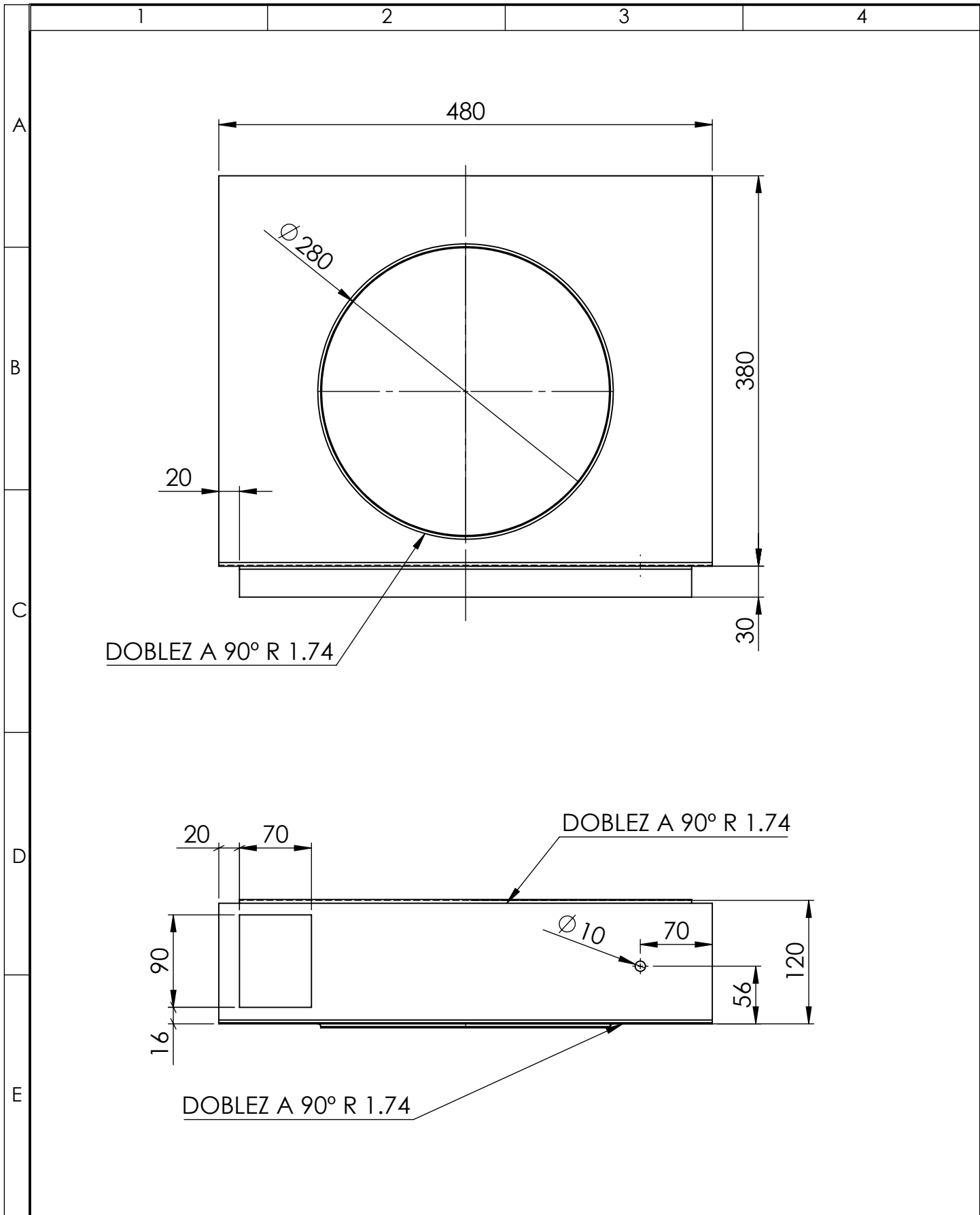
				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 492.10 g	MATERIAL: 1023 Chapa de acero al carbono (SS)	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: TAPA BRAZO	ESCALA: 1:2
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés		
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín	N.º DE LÁMINA HOJA 16 DE 19	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 229.10 g	MATERIAL: ASTM A36 Acero	
						TÍTULO: SOPORTE BANDEJA	ESCALA: 1:2
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés		
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA HOJA 17 DE 19	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 1618.57 g	MATERIAL: 1023 Chapa de acero al carbono (SS)	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: CHAPA SUPERIOR	ESCALA: 1:5
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés		
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA HOJA 18 DE 19	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0.1	1462.60 g	1023 Chapa de acero al carbono (SS)	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 28/05/2019	Fiallos Andrés	CHAPA BANDEJA	1:10
				REVISÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				APROBÓ: 06/08/2019	Ing. S. Espín		
				U.T.A.		N.º DE LÁMINA	REGISTRO:
						INGENIERÍA MECÁNICA	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	