



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN FLUJÓMETRO DE HALL BAJO LA NORMA ISO 4490 PARA LA DETERMINACIÓN DE FLUIDEZ DE POLVOS METÁLICOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”

AUTOR: Alex Omar Guamán Cajamarca

TUTOR: Ing. Gonzalo López. Mg.

AMBATO – ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del proyecto técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN FLUJÓMETRO DE HALL BAJO LA NORMA ISO 4490 PARA LA DETERMINACIÓN DE FLUIDEZ DE POLVOS METÁLICOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”, Elaborado por la señor Alex Omar Guamán Cajamarca, egresado carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

CERTIFICO:

El presente trabajo de investigación fue elaborado en su totalidad por el autor.

He revisado cada uno de los capítulos.

Ha sido concluida en su totalidad y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, 11 enero del 2019

.....

Ing. Mg. Gonzalo López.

TUTOR

AUTORÍA DE TRABAJO

Los criterios expresados en el proyecto técnico denominado: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN FLUJÓMETRO DE HALL BAJO LA NORMA ISO 4490 PARA LA DETERMINACIÓN DE FLUIDEZ DE POLVOS METÁLICOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”, como también las ideas, análisis y conclusiones son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor.

Ambato, 11 enero del 2019

.....

Alex Omar Guamán Cajamarca

CI: 180440360-6

AUTOR

DERECHOS DEL AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este proyecto técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Con los Derechos en línea patrimoniales de mi proyecto técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 11 enero del 2019

.....

Alex Omar Guamán Cajamarca

CI: 180440360-6

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el proyecto técnico realizado por el estudiante Alex Omar Guamán Cajamarca de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN FLUJÓMETRO DE HALL BAJO LA NORMA ISO 4490 PARA LA DETERMINACIÓN DE FLUIDEZ DE POLVOS METÁLICOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”

Para su constancia firman:

.....
.....

Ambato, agosto del 2018

DEDICATORIA

El presente proyecto técnico le dedico a mi padre Marcelo, por todo el esfuerzo, el cariño y cada uno de sus consejos.

A mis amigos por formar parte de esta etapa y ser apoyo en mi carrera.

A mis Abuelos Olga y Juan, mis tías, mis padrinos, mis primos, que sería de mi vida sin ustedes.

(11/04/2014) Gracias por estar conmigo y apoyarme en todas las cosas que me propuse en la vida.

Finalmente, a ti Mamá, sé que desde el cielo estarás orgullosa de mi, llevo en mi sangre tu alegría, tu paciencia y sobretodo tu corazón, algún día estaremos nuevamente juntos.

Alex Guamán

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento muy especial a quienes forman parte de esta noble institución que es la Universidad Técnica de Ambato, la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por recibirme y formarme integralmente como persona y profesional.

A Calza matriz como taller donde desarrolle mis proyectos, trabajos y mi proyecto de titulación, gracias por su ayuda y disposición.

Al Ing. Gonzalo López, por ser guía para el desarrollo de mi proyecto gracias por su paciencia, sus conocimientos y su entrega en las aulas.

A mi padre por ser parte fundamental en mi vida, a usted mil gracias por ser hoy quien soy.

Alex Guamán

TABLA GENERAL DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA DE TRABAJO	III
DERECHOS DEL AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
Capítulo 1	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1. TEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	1
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. Objetivo General:.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos:	2
Capítulo 2.....	3
2.1. INVESTIGACIONES PREVIAS.....	3
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.2.1. La pulvimetalurgia.....	5
2.2.2. Ventajas de la pulvimetalurgia.....	5
2.2.3. Desventajas de la pulvimetalurgia	5
2.2.4. Polvos metálicos.	6
2.2.5. Producción de polvos metálicos.....	6

2.2.6.	Características de los polvos a considerar	6
2.2.7.	Fluidez.....	7
2.2.8.	Aparatos necesarios según la norma ISO 4490.....	8
2.2.9.	Propiedades magnéticas de los metales.	9
2.2.10.	Propiedades del bronce.	10
2.2.11.	Coefficiente de fricción.....	12
2.2.12.	Desgaste.....	13
2.2.13.	Control de vibraciones.	13
2.2.14.	Pies niveladores antivibraciones.	15
2.2.15.	Criterios de selección de balanzas.	16
2.2.16.	Sistemas de control y automatización.....	17
2.2.17.	Autómatas programables.	18
2.2.18.	Sistemas de adquisición y procesamiento de datos.....	18
2.2.19.	Arduino UNO.....	18
2.2.20.	Sensores fotoeléctricos.....	19
2.2.21.	Sistemas de actuación	20
2.2.22.	Periféricos de salida.	22
2.2.23.	Software de Arduino.....	23
2.2.24.	Superficies, tolerancias y procesos de manufactura	23
Capítulo 3	25
3.1.	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.	25
3.1.1.	Presentación de alternativas de la configuración de la máquina para cumplir con el procedimiento descrito en la norma ISO 4490.....	25
3.2.	Cálculos o Modelo Operativo.....	29

3.2.1.	Partes que conforman flujómetro de Hall en función a la alternativa de diseño 2.	29
3.2.2.	Estructura metálica o caja base.	30
3.2.3.	Selección del material del embudo.	31
3.2.4.	Modelado del embudo de Hall.	39
3.2.5.	Diseño de la placa soporte del embudo.	39
3.2.6.	Diseño del anillo sujetador del embudo.	41
3.2.7.	Diseño del capuchón para sensores y actuadores.	45
3.2.8.	Diseño de la compuerta de apertura de la salida del embudo.	46
3.2.9.	Cabina cubre flujos.	47
3.2.10.	Parámetros de automatización del flujómetro de Hall.	50
3.2.11.	Materiales para la automatización.	51
3.2.12.	Selección del autómeta programable.	51
3.2.13.	Flujograma de procesos para automatización del flujómetro de Hall.	52
3.2.14.	Diagrama esquemático de circuito de control.	53
3.2.15.	Codificación del proceso de control.	55
3.3.	Lista de componentes.	55
3.4.	Presupuesto.	58
3.5.	Especificaciones técnicas.	60
3.6.	Construcción del flujómetro de Hall.	62
3.6.1.	Diagrama de proceso.	62
3.7.	Funcionamiento.	65
3.7.1.	Pruebas de funcionamiento y calibración.	65
3.7.2.	Calibración de las compuertas de apertura y cierre de paso del polvo metálico.	65

3.7.3.	Calibración de la lectura de tiempo.	67
3.7.4.	Comprobación de medidas y acabados superficiales de los embudos.....	68
3.7.5.	Calibración de los embudos.....	69
3.7.6.	Pruebas de funcionamiento.	70
3.7.7.	Mantenimiento	70
3.7.8.	Instrucciones de uso.....	71
Capítulo 4.....		72
4.1	Conclusiones.....	72
4.2	Recomendaciones	73
Bibliografía		74
PLANOS		77
ANEXOS		78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1	ISO 4490 Metallic powders flow rate Hall flow meter.	3
Figura 2-2	ASTM B213 metal powders flow rate apparatus.....	3
Figura 2-3	ASTM B964 Metal Powders Carney Funnel Flowrate Meter.....	4
Figura 2-4	ISO13517 Metallic powder Gustavsson flow meter product.	4
Figura 2-5	Embudo normalizado de Hall.....	7
Figura 2-6	Disposición de los elementos del aparato de Hall.....	8
Figura 2-7	Suspensiones caucho metal, soportes antivibratorios.....	14
Figura 2-8	Soportes antivibratorios – soportes pequeños - 000NM	16
Figura 2-9	Control lazo cerrado vs. Control lazo abierto.....	17
Figura 2-10	Placa Arduino	18
Figura 2-11	Principio de funcionamiento del sensor tipo barrera.....	20
Figura 2-12	Actuadores.....	20

Figura 3-1 Alternativa de construcción 1, flujómetro de Hall con recipientes intercambiables.	26
Figura 3-2 Alternativa de construcción 2, flujómetro de Hall con tres embudos	27
Figura 3-3 Estructura metálica o caja base.	30
Figura 3-4 Análisis de la caja base a un factor de seguridad de 3.	31
Figura 3-5 Vista de sección del embudo de Hall (CAD) según la norma ISO 4490 apartado 3.1.....	39
Figura 3-6 Placa soporte del embudo (CAD).....	40
Figura 3-7 Variables de diseño del anillo sujetador del embudo.....	42
Figura 3-8 Esquema del tornillo de rosca métrica ISO DIN 13.....	43
Figura 3-9 Análisis del anillo sujetador de embudo para un factor de seguridad de 3. ...	45
Figura 3-10 Capuchón de alojamiento de sensores y actuadores.....	45
Figura 3-11 Variables de diseño para el capuchón para de sensores y actuadores.	46
Figura 3-12 Determinación de ángulo de desplazamiento para la compuerta a la salida del embudo.....	47
Figura 3-13 Determinación de la teoría de falla en el software CAE.	48
Figura 3-14 Factor de seguridad de 3 para el criterio de falla coulomb Mohr.....	49
Figura 3-15 Análisis por elementos finitos de la cabina cubreflujos	49
Figura 3-16 Diagrama de flujo de proceso para el flujómetro de Hall.	53
Figura 3-17 Circuito de control del flujómetro de Hall	54
Figura 3-18 Diagrama de procesos para la construcción del flujómetro de Hall.....	62
Figura 3-19 Construcción de la caja base.	63
Figura 3-20 Fabricación de la cabina cubreflujos.	63
Figura 3-21 Construcción de la caja para LCD.....	64
Figura 3-22 Fabricación de embudos de Hall.	64
Figura 3-23 Selección de velocidades en función del material.....	64
Figura 3-24 Impresión 3D de los capuchones.....	65
Figura 3-25 Determinación del espacio entre salida del embudo posición media de los sensores..	68
Figura 3-26 Medidas de referencia del embudo de Hall.	68
Figura 4-1 Mediciones de diámetros exteriores.	90

Figura 4-2 Mediciones de diámetros interiores.....	90
Figura 4-3 Medición de longitudes..	91
Figura 4-4 Medición de profundidad.	91
Figura 4-5 Comprobación del ángulo interno mediante el volumen.	92
Figura 4-6 Proceso de pulido del embudo de Hall.....	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Susceptibilidades magnéticas ($\chi_m = \mu_r - 1$) de algunos materiales a 20 °C. Los valores negativos delatan materiales diamagnéticos y los valores positivos, materiales paramagnéticos.....	10
Tabla 2-2 Parámetros característicos de una selección de materiales ferromagnéticos, medidos a 300K	10
Tabla 2-3 Propiedades y aplicaciones típicas de aleaciones forjables de cobre y latones seleccionadas.....	11
Tabla 2-4 Propiedades y aplicaciones típicas de bronce forjables seleccionadas	12
Tabla 2-5 Denominación y usos del cobre.....	12
Tabla 2-6 Características básicas de Arduino UNO	19
Tabla 2-7 Límites comunes de la tolerancia, con base en la capacidad de varios de estos procesos de manufactura.....	24
Tabla 2-8 Valores de rugosidad superficial producidos por distintos procesos de manufactura.....	24
Tabla 3-1 Componentes necesarios para la alternativa de construcción 1.....	26
Tabla 3-2 Componentes necesarios para la alternativa de construcción 2.....	27
Tabla 3-3 Criterios de ponderación para la selección de las alternativas de construcción.	28
Tabla 3-4 Evaluación de alternativas de construcción en el parámetro “costo”	28
Tabla 3-5 Evaluación de alternativas de construcción. en el parámetro “precisión”	29
Tabla 3-6 Conclusión de la evaluación de las alternativas en los parámetros costo y precisión.	29
Tabla 3-7 Listado de materiales para la construcción de la caja base.....	30

Tabla 3-8 Pesos estimados de componentes del flujómetro de Hall.....	30
Tabla 3-9 Matriz de criterios a evaluar para la selección del material del embudo.....	32
Tabla 3-10 Evaluación de las alternativas en el parámetro material diamagnético.....	33
Tabla 3-11 Evaluación de las alternativas en el parámetro resistencia a la corrosión....	33
Tabla 3-12 Evaluación de las alternativas en el parámetro resistencia al desgaste..	33
Tabla 3-13 Evaluación de las alternativas en el parámetro de dureza..	33
Tabla 3-14 Evaluación de las alternativas en el parámetro Resistencia a la deformación..	34
Tabla 3-15 Evaluación de las alternativas en el parámetro maquinabilidad.....	34
Tabla 3-16 Selección del material del embudo "Ponderación final"..	34
Tabla 3-17 Propiedades del bronce SAE 40	35
Tabla 3-18 Propiedades del Bronce SAE 64.....	36
Tabla 3-19 Propiedades del Bronce SAE 65.....	36
Tabla 3-20 Criterios de selección del bronce adecuado para el embudo de Hall	37
Tabla 3-21 Selección del bronce para el embudo parámetro "costo"	37
Tabla 3-22 Selección del bronce para el embudo parámetro "maquinabilidad"	38
Tabla 3-23 Selección del bronce para el embudo parámetro "disponibilidad"	38
Tabla 3-24 Interpretación final de selección del bronce adecuado para la construcción del embudo de Hall	38
Tabla 3-25 Datos técnicos del acrílico	40
Tabla 3-26 Tabla de componentes de la cabina cubreflujos.....	47
Tabla 3-27 Tabla de pesos estimados que actúan en la cabina cubre flujos.	48
Tabla 3-28 Operalización de variables para la automatización del Flujómetro de Hall. .	50
Tabla 3-29 Parámetros de selección del dispositivo programable.....	51
Tabla 3-30 Evaluación de las alternativas en el parámetro fiabilidad.	51
Tabla 3-31Evaluación de las alternativas en el parámetro compatibilidad.....	52
Tabla 3-32 Evaluación de las alternativas en el parámetro costo.	52
Tabla 3-33 Selección del dispositivo programable "ponderación final".....	52
Tabla 3-34 Lista de componentes del flujómetro de Hall.....	55
Tabla 3-35 Lista de materiales utilizados en la construcción y automatización del flujómetro.....	58

Tabla 3-36 Costos de mano de obra indirecta.....	59
Tabla 3-37 Costos indirectos.....	60
Tabla 3-38 Costo total del Fluviómetro de Hall..	60
Tabla 3-39 Ficha técnica del fluviómetro de Hall.....	61
Tabla 3-40 Apertura de compuertas con 85° de detección..	65
Tabla 3-41 Apertura de compuertas con 83° de detección..	66
Tabla 3-42 Apertura de compuertas con 81° de detección..	66
Tabla 3-43 Apertura de compuertas con 80° de detección..	67
Tabla 3-44 Comprobación de dimensiones de los embudos.....	69
Tabla 3-45 Prueba de funcionamiento 1 con 50gr de Arena granalla 150.....	70
Tabla 3-46 Prueba de funcionamiento 1 con 50gr de Polvo de cobre 200.	70

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

TEMA: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN FLUJÓMETRO DE HALL BAJO LA NORMA ISO 4490 PARA LA DETERMINACIÓN DE FLUIDEZ DE POLVOS METÁLICOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”

Autor: Alex Omar Guamán Cajamarca

Tutor: Ing. Mg. Gonzalo López

RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo desarrollado como proyecto técnico se enfoca en el diseño, construcción y automatización de un flujometro de Hall además de pruebas de funcionamiento y calibración para lograr la determinación de la fluidez en polvos metálicos bajo la norma ISO 4490. Primero se partió desde la selección del material para la construcción de los embudos de Hall considerando aspectos como propiedades mecánicas, dimensionales y acabados superficiales que especifica la norma siendo el bronce SAE 40 el más adecuado de acuerdo a sus propiedades.

Una vez seleccionado los materiales y prototipos de diseño para la construcción de la máquina se proceden a realizar el análisis de cargas estáticas en elementos como la bancada y cabina cubre flujos diseñados con materiales como el acero ASTM A36 y acrílico.

Finalmente, se mecanizó las partes constitutivas y elementos que albergaran a los sensores y actuadores para los embudos para después automatizar y calibrar el proceso de medición del polvo metálico en función a la norma ISO 4490.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING CAREER

THEME: "DESIGN, CONSTRUCTION AND AUTOMATION OF A HALL FLUJOMETER UNDER ISO 4490 FOR THE DETERMINATION OF METAL POWDER FLUID FOR THE LABORATORY OF MATERIALS OF THE MECHANICAL ENGINEERING CAREER OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO"

Author: Alex Omar Guamán Cajamarca

Tutor: Ing. Mg. Gonzalo López

ABSTRACT

The work developed as a technical project focuses on the design, construction and automation of a Hall flowmeter in addition to performance and calibration tests to achieve the determination of the fluidity in metal powders under the ISO 4490 standard. First it was started from the selection of the material for the construction of the Hall funnels considering aspects such as mechanical properties, dimensional and surface finishes specified by the standard, with the SAE 40 bronze being the most suitable according to its properties.

Once selected the materials and prototypes of design for the construction of the machine proceeds to perform the analysis of static loads in elements such as the bench and cabin covers flows designed with materials such as steel ASTM A36 and acrylic.

Finally, the constituent parts and elements that housed the sensors and actuators for the funnels were machined to then automate and calibrate the metal powder measurement process according to the ISO 4490 standard.

Capítulo 1

ANTECEDENTES

1.1. TEMA

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN FLUJÓMETRO DE HALL BAJO LA NORMA ISO 4490 PARA LA DETERMINACIÓN DE FLUIDEZ DE POLVOS METÁLICOS PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”

1.2. JUSTIFICACIÓN.

El continuo avance tecnológico y el aumento significativo de la productividad en el sector metalmecánico, automotriz, aéreo y todos los campos donde impliquen la fabricación de partes y piezas metálicas han permitido el desarrollo de nuevas formas de manufactura como es la pulvimetalurgia pues posee habilidad de fabricar piezas de formas complejas con excelentes tolerancias y de alta calidad con relativamente bajo costo. De esta manera el laboratorio de materiales de la carrera de ingeniería mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, pretende desarrollar e incentivar la investigación de estas nuevas formas de manufactura.

Actualmente el desarrollo investigativo de la pulvimetalurgia se ve detenido debido a que en los laboratorios de materiales de la carrera de ingeniería mecánica no cuenta con maquinaria o dispositivos que permitan la medición de la fluidez de los polvos metálicos obtenidos en el molino de bolas que se encuentra en el laboratorio de materiales.

Al determinar dicha limitación presente en el laboratorio de materiales de la carrera de ingeniería mecánica se propone diseñar, construir y automatizar un flujómetro de HALL bajo la norma ISO 4490, el cual tendrá la capacidad de medir la fluidez de los polvos metálicos gruesos, dichas propiedades son de gran importancia pues el procesamiento del polvo a un compacto y las propiedades resultantes del producto se ve influenciado por estas propiedades.

Con el diseño, construcción y automatización del flujómetro de HALL pretende dar solución y contribuirá con el desarrollo de la investigación y estudio de la pulvimetalurgia

como método de manufactura y diseño, de esta manera se aporta y beneficia a docentes y estudiantes en el área de materiales de la facultad de mecánica, por lo que el presente proyecto de titulación se considera viable.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General:

- Diseñar, construir y automatizar un flujómetro de Hall y bajo la norma ISO 4490 para la determinación de propiedades de polvos metálicos.

1.3.2. Objetivos Específicos:

- Establecer parámetros de diseño del flujómetro de Hall.
- Seleccionar el sistema de control aplicable para la automatización del flujómetro de Hall que cumpla con los requerimientos de diseño establecidos en la norma ISO 4490
- Realizar la prueba para análisis de fluidez establecido en la norma ISO 4490.

Capítulo 2

FUNDAMENTACIÓN

2.1. INVESTIGACIONES PREVIAS

La norma ISO 4490 “Determinación de la velocidad de flujo mediante un conducto calibrado” presenta una de las formas, métodos o técnicas experimentales más utilizadas para la caracterización de la velocidad de flujo de los polvos metálicos incluyendo los polvos para metal duro el cual consiste realizar la medición del tiempo que necesita el polvo para que fluyan 50 gr a través de un embudo con medidas normalizadas, llamado comúnmente como flujómetro Hall mostrado en la figura 2.1. [1]



Figura 2-1 ISO 4490 Metallic powders flow rate Hall flow meter. Fuente: [1]

La norma o método de prueba ASTM B213,” Métodos de prueba estándar para la velocidad de flujo de los polvos metálicos utilizando el embudo Hall Flowmeter” presenta nuevamente la utilización el embudo de Hall, es el método preferido para determinar la fluidez de los polvos metálicos y mezclas de polvos el cual se muestra en la figura 2.2. [2]



Figura 2-2 astm-b213-metal-powders-flow-rateapparatu. Fuente: [2]

La norma o método de prueba ASTM B964, “Métodos de prueba estándar para la velocidad de flujo de los polvos metálicos utilizando el embudo de Carney” (figura 2.3) el cual proporciona un embudo con un orificio más grande denominado embudo de Carney por el cual pueden fluir menudo polvos finos y mezclas de polvos lubricados que no pueden fluir libremente a través del embudo Hall. [3]



Figura 2-3 ASTM B964 Metal Powders Carney Funnel Flowrate Meter. Fuente: [3]

La norma ISO 13517, “Polvos metálicos - Determinación del caudal por medio de un embudo calibrado (caudalímetro Gustavsson)” en dicha normativa describe el método para poder determinar el índice de flujo de polvos metálicos, incluidos polvos para metales duros y mezclas de polvos metálicos y aditivos orgánicos como lubricantes, por medio de un embudo calibrado “Gustavsson” dispuesto en la figura 2.4. [4]



Figura 2-4 ISO13517 Metallic powder Gustavsson flow meter product. Fuente: [4]

2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1. La pulvimetalurgia

La Pulvimetalurgia es una tecnología donde se fabrica piezas a partir del procesamiento de polvos como metálicos, cerámicos o compuestos, iniciando desde producción del polvo, pasando estudio o caracterización con el fin de poder llegar a conformar un producto macizo con una forma y propiedades específicas. [5]

2.2.2. Ventajas de la pulvimetalurgia

Las consideraciones que hacen de la Pulvimetalurgia un proceso importante desde el punto de vista comercial y tecnológico son:

- La fabricación de partes en masa hace que reduzcan los desechos, recortes y se ahorra energía.
- Los procesos de la Pulvimetalurgia implican muy poco desperdicio de material, cerca del 97% de los polvos iniciales se convierten en producto.
- Se pueden hacer partes con un nivel específico de porosidad ideal para fabricación de bujes, rodamientos y engranes impregnables con aceite, así como filtros.
- Ciertas combinaciones de aleaciones metálicas y cermets que no se pueden producir por otros métodos se pueden hacer por Pulvimetalurgia.
- Las tolerancias rutinarias que se pueden lograr son de $\pm 0,005$ " ($\pm 0,13$ mm).
- Los métodos de producción de la Pulvimetalurgia se pueden automatizar para hacer más económica la operación. [6]

2.2.3. Desventajas de la pulvimetalurgia

- Alto costo del equipo y de las herramientas
- Alto costo de los polvos metálicos.
- Dificultades en el almacenamiento y manejo de polvos metálicos (tales como degradación del metal a través del tiempo y riesgos de incendio del metal en polvo fino).
- Limitaciones en la forma de las piezas, debido a que los polvos metálicos no fluyen fácilmente en dirección lateral dentro del troquel durante el prensado, y las tolerancias deben permitir que la pieza pueda expulsarse del troquel después del prensado.

- Las variaciones de la densidad del material a través de la pieza pueden ser un problema, especialmente para piezas de forma compleja. [6]

2.2.4. Polvos metálicos.

Los polvos metálicos tienen un rol importante en la industria pues comúnmente se lo utiliza como materia prima que se emplea en la fabricación de partes metálicas conformadas por la pulvimetalurgia, Además, los polvos metálicos operan con altos puntos de fusión constituyendo un método único en la producción de objetos porosos, tales como filtros de ruidos y cojines auto lubricantes. [7]

2.2.5. Producción de polvos metálicos

Los polvos metálicos pueden producirse por medio de 4 tecnologías como:

- La trituración de metales sólidos
- La desintegración mecánica de metales fundidos
- Por procedimientos químicos
- Por electrodeposición. [7]

2.2.6. Características de los polvos a considerar

- **Forma.** - La forma del polvo depende de la manera en la que se produjo el polvo, esta puede ser esférica, quebrada, dendrítica, plana o angular.
- **Distribución de los tamaños de partículas.** - Se refiere a las cantidades de los tamaños de las partículas que participan en la composición de una pieza de polvo, esta distribución de tamaños tiene gran influencia en la fluidez y densidad de las partículas y en la porosidad final del producto.
- **Fluidez.** - Es la propiedad que le permite fluir fácilmente de una parte a otra o a la cavidad del molde. Se mide por una tasa de flujo a través de un orificio normalizado.
- **Propiedades químicas.** - Son características de reacción ante diferentes elementos. También se relacionan con la pureza del polvo utilizado.
- **Compresibilidad.** - Es la relación que existe entre el volumen inicial del polvo utilizado y el volumen final de la pieza comprimida. Esta propiedad varía considerablemente en función del tamaño de las partículas de polvo y afecta directamente a resistencia de las piezas.

- **Densidad.** - Se expresa en kilogramos por metro cúbico. Esta debe ser constante siempre, para que la pieza tenga en todas sus partes la misma cantidad de polvo. [8]

2.2.7. Fluides

La fluides se mide como el tiempo que tarda en caer una cantidad de polvo determinado, debido al efecto de la gravedad, a través de un pequeño orificio. Cuando un polvo fluye se determina la velocidad de fluides, que es la relación entre la masa que fluye y el tiempo empleado, de toda ella, en atravesar el orificio. Esta característica sirve para determinar el tiempo de llenado de los moldes en los cuales se prensarán los polvos. Es conveniente que el valor de dicha velocidad sea lo mayor posible, sobre todo en aquellos casos de alta producción. [9]

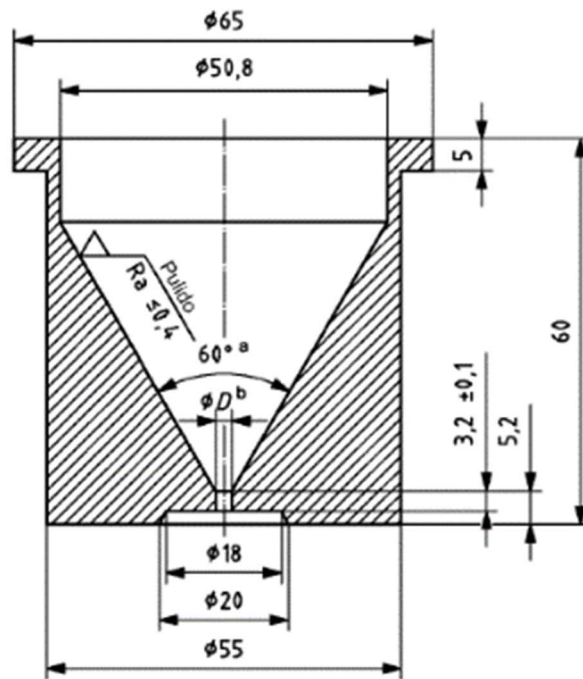


Figura 2-5 Embudo normalizado de Hall. Fuente: Norma ISO 4490

Esta técnica o proceso para medir la velocidad de fluides, está determinado en la normativa ISO 4490 “Determinación de la velocidad de flujo mediante un conducto calibrado (aparato de Hall).” [1], y consiste en hacer fluir 50 gr de polvo de esmeril de origen chino, libre de humedad, el mismo se deposita en el embudo de Hall (Figura 2.5). Una vez lleno se abre el orificio de descarga y empieza el conteo de tiempo midiendo el tiempo que tarda en vaciarse el embudo de Hall, con el cual se puede calcular la velocidad

de fluidez del polvo metálico. En la Figura 2.6 se muestra la disposición de los elementos que confirman el aparato de Hall. [9]

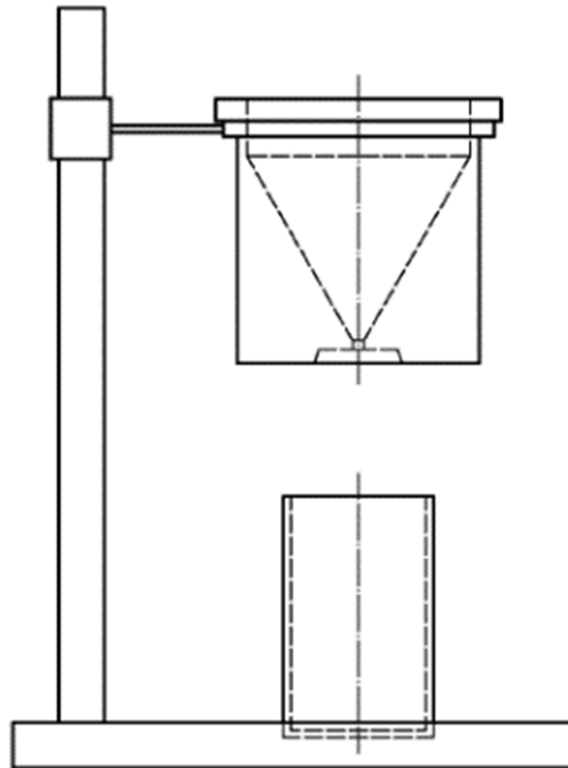


Figura 2-6 Disposición de los elementos del aparato de Hall. Fuente: Norma ISO 4490

2.2.8. Aparatos necesarios según la norma ISO 4490

2.2.8.1. Embudo calibrado, con las medidas indicadas en la figura 2.5, El embudo calibrado debe fabricarse con materiales metálicos no magnéticos, resistentes a la corrosión y con el suficiente espesor de pared y dureza para evitar su deformación y un excesivo desgaste.

2.2.8.2. Soporte y base horizontal antivibraciones para soportar rígidamente el embudo calibrado, como se indica por ejemplo en la figura 2.6).

2.2.8.3. Balanza con la suficiente capacidad para pesar la muestra de laboratorio con una precisión de $\pm 0,05$ gr.

2.2.8.4. Cronómetro, con la suficiente capacidad para medir el tiempo transcurrido con una precisión de $\pm 0,1$ s.

2.2.8.5. Polvo de esmeril de origen chino, material de referencia en polvo para la calibración del embudo. [1]

2.2.9. Propiedades magnéticas de los metales.

El magnetismo es la propiedad que tiene un metal para ejercer fuerzas de atracción o repulsión sobre otros metales. Los metales con mayores propiedades magnéticas son aquellos que contengan níquel, hierro, cobalto y sus aleaciones, estos son denominados como imanes. [10]

- Tipos de magnetismo:

La permeabilidad relativa μ_r permite cuantificar el comportamiento magnético del metal donde para materiales como:

La susceptibilidad magnética χ_m de un material permite medir razón entre la magnetización inducida a un material o la facilidad con que un material es magnetizado por un campo magnético H dado. [20]

- **Diamagnéticos:** μ_r es un número ligeramente menor a 1.

- **Paramagnéticos:** μ_r es un número ligeramente mayor a 1.

Diamagnetismo: Es aquella propiedad de los materiales donde son débilmente magnetizados en sentido opuesto a un campo magnético aplicado. Los materiales diamagnéticos son repelidos débilmente por los imanes, los materiales considerados como diamagnéticos se muestran en la tabla 2.1. El magnetismo inducido desaparece si lo hace el campo aplicado. Todos los materiales poseen diamagnetismo, pero el término diamagnético sólo se utiliza para aquéllos en los que esta propiedad no está enmascarada por otro tipo de efecto magnético. [10]

Paramagnetismo: Es aquella propiedad de los materiales por la que se magnetizan en la misma dirección que un campo magnético aplicado. Los materiales paramagnéticos son atraídos por los imanes. Si el campo magnético aplicado desaparece, también lo hace el magnetismo inducido. En la tabla 2.1 se muestran materiales considerados como paramagnéticos. [10]

Ferromagnetismo: Es aquella propiedad de algunos materiales que hace que resulten intensamente imantados cuando se sitúan en un campo magnético, y conserven parte de su imantación cuando desaparece dicho campo. [10]

Antiferromagnetismo: es el ordenamiento magnético de todos los momentos magnéticos de una muestra, en la misma dirección, pero en sentido inverso (por pares, por ejemplo, o

una subred frente a otra). Un antiferromagneto es el material que puede presentar antiferromagnetismo.

Tabla 2-1 Susceptibilidades magnéticas ($\chi_m = \mu_r - 1$) de algunos materiales a 20 °C. Los valores negativos delatan materiales diamagnéticos y los valores positivos, materiales paramagnéticos. [10]

Material	$\chi_m = \mu_r - 1$
Diamagnéticos	
Cinc	-1.56×10^{-5}
Cloruro de sodio	-1.41×10^{-5}
Cobre	-0.96×10^{-5}
Estaño (gris)	-1.93×10^{-6}
Mercurio	-2.85×10^{-5}
Oro	-3.44×10^{-5}
Óxido de aluminio	-1.81×10^{-5}
Plata	-2.38×10^{-5}
Plomo	-1.58×10^{-5}
Silicio	-0.41×10^{-5}
Paramagnéticos	
Aluminio	-2.07×10^{-5}
Cloruro de cromo	-1.51×10^{-5}
Cromo	-3.13×10^{-4}
Litio	-1.37×10^{-5}
Molibdeno	-1.19×10^{-5}
Sodio	-8.18×10^{-6}
Sulfato de magnesio	-3.70×10^{-5}
Titanio	-1.81×10^{-4}
Zirconio	-1.09×10^{-4}

Tabla 2-2 Parámetros característicos de una selección de materiales ferromagnéticos, medidos a 300K: Fuente:[10]

Material	M_{fs} ($J \cdot T^{-1} \cdot m^3$)	$\mu_0 m_p (T)$	T_c (K)
Cobalto	14×10^5	1.76	1388
Gadolinio	20.6×10^5	2.60	292
Hierro	17.1×10^5	2.15	1043
Níquel	4.85×10^5	0.61	627

2.2.10. Propiedades del bronce.

El bronce resulta de la aleación del cobre con estaño como elemento principal de aleación además de varios elementos adicionales como el aluminio, silicio y níquel.

Mediante la adición de estos elementos aleantes y tratamientos térmicos se puede obtener una amplia gama de propiedades y aleaciones como se muestra en las tablas 2.3 y 2.4, con el fin de mejorar sus características al momento de su manufactura.

Dentro de la gama de bronce existen comercialmente bronce como al aluminio que consiste en una aleación de cobre y aluminio, bronce al estaño, bronce al berilio, bronce al fósforo, además de otras aleaciones importantes como son el cuproníquel y las latas al cobre. [11]

Tabla 2-3 Propiedades y aplicaciones típicas de aleaciones forjables de cobre y latones seleccionadas [11]

Propiedades y aplicaciones típicas de aleaciones forjables de cobre y latones seleccionadas					
Tipo y número UNS	Composición nominal (%)	Resistencia máxima a la tensión (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Elongación en 50mm (%)	Aplicaciones típicas
Cobre electrolítico tenaz (C11000)	99.90 Cu, 0.04 O	220–450	70–365	55–4	Tubos de bajada, canales, techados, juntas, radiadores automotores, barras de autobuses, clavos, rodillos de impresión, remaches.
Latón rojo, 85% (C23000)	85.0 Cu, 15.0 Zn	270–725	70–435	55–3	Forro para medio ambiente, <i>conduits</i> , zócalos, sujetadores, extintores de incendio, tubería para condensadores e intercambiadores de calor.
Latón para cartuchos, 70% (C26000)	70.0 Cu, 30.0 Zn	300–900	75–450	66–3	Núcleos de radiadores y tanques, cubiertas para luces de destello, soportes para lámparas, sujetadores, candados, bisagras, componentes de municiones, accesorios de plomería.
Latón libre maquinado (C36000)	61.5 Cu, 3.0 Pb, 35.5 Zn	340–470	125–310	53–18	Engranajes, piñones, partes de máquinas roscadoras automáticas de alta velocidad.
Latón naval (C46400 a C46700)	60.0 Cu, 39.25 Zn, 0.75 Sn	380–610	170–455	50–17	Aeronaves; tambores tensores, bolas, pernos; accesorios marinos; flechas para impulsores, remaches, vástagos de válvulas, placas de condensadores.

Tabla 2-4 Propiedades y aplicaciones típicas de bronce forjables seleccionadas [11]

Propiedades y aplicaciones típicas de bronce forjables seleccionadas					
Tipo y número UNS	Composición nominal (%)	Resistencia máxima a la tensión (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Elongación en 50mm (%)	Aplicaciones típicas
Bronce arquitectónico (C38500)	57.0 Cu, 3.0 Pb, 40.0 Zn	415 (extruido)	140	30	Extrusiones arquitectónicas, marquesinas, remates, juntas, travesaños, bisagras.
Bronce al fósforo, 5% A (C51000)	95.0 Cu, 5.0 Sn, trazas de P	325–960	130–550	64–2	Fuelles, discos para embragues, pasadores de retención, diafragmas, sujetadores, brochas de alambre, equipo químico, maquinaria textil.
Bronce al fósforo libre maquinado (C54400)	88.0 Cu, 4.0 Pb, 4.0 Zn, 4.0 Sn	300–520	130–435	50–15	Rodamientos, bujes, engranes, piñones, flechas, rondanas de empuje, partes para válvulas.
Bronce de bajo silicio, B (C65100)	98.5 Cu, 1.5 Si	275–655	100–475	55–11	Líneas de presión hidráulica, pernos, accesorios marinos, conduits eléctricos, tubería para intercambiadores de calor.
Níquel plata, 65–10 (C74500)	65.0 Cu, 25.0 Zn, 10.0 Ni	340–900	125–525	50–1	Remaches, tornillos, sujetadores para diapositivas, artículos huecos, placas de equipo.

– Usos del bronce y correspondencias con normas internacionales

La aleación de cobre como es el bronce presenta varias denominaciones en función de las normativas internacionales aplicadas para su obtención y sus se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2-5 Denominación y usos del cobre Fuente: [11]

Correspondencia con Normas Internacionales	Denominación	Usos
C.D.A. 937 S.A.E. 64 A.S.T.M. B-145(3A)	0-1	Sus principales usos son en bujes y chumaceras, que trabajan a altas velocidades y grandes presiones.
C.D.A. 844 A.S.T.M. B-145(5A)	0-2	Bronce para uso general: Chumaceras, partes de bombas, agricultura, conexiones, etc.
C.D.A. 932 S.A.E. 660 A.S.T.M. B-144(3B)	0-3	Se usan principalmente en bujes y chumaceras que trabajan a velocidades y presiones medias
C.D.A. 905 S.A.E. 62 A.S.T.M. B-143(1A)	0-4	Bronce al estaño, de gran resistencia al desgaste. Especialmente indicado para usarse en engranes, coronas y elementos de máquinas.

2.2.11. Coeficiente de fricción

Su valor viene dado en función de los materiales y sus superficies además de la interface que ocurre entre los dos materiales como:

- Movimiento relativo.
- Humedad.
- Velocidad de desplazamiento.
- Temperatura.
- Presión de contacto.
- Acabado superficial.
- Geometría de la región en contacto. [12]

2.2.11.1. Formas de reducir la fricción. - Calidad del acabado superficie.

- Colocación de lubricantes.
- Cambiando a geometrías para un deslizamiento por rodamiento [12]

2.2.12. Desgaste.

Se denomina como desgaste a la pérdida de material ocasionada durante la interface de dos sólidos en movimiento relativo. [12]

2.2.12.1. Tipos de desgaste.

- Desgaste por adherencia.
- Desgaste por abrasión.
- Desgaste por ludimiento.
- Desgaste por fatiga.
- Desgaste por erosión.
- Desgaste corrosivo. [12]

2.2.13. Control de vibraciones.

Independientemente de la tipología de la máquina herramienta se debe tomar en cuenta que cualquier cuerpo experimenta algún tipo de vibración que puede o no alterar el funcionamiento o deteriorar las partes que la conforman. Por lo tanto, es de suma importancia proteger sus elementos de la fuente que genere vibración (motor, bomba, actuadores, compresor etc.) y de elementos o maquinaria que estén a su alrededor. [13]

En la figura 2.7 muestra varios pies antivibratorios utilizados comúnmente en maquinaria que necesita ser aislado de cualquier fuente generadora de vibración.



Figura 2-7 Suspensiones caucho metal, soportes antivibratorios Fuente: [13]

2.2.13.1. Factores determinantes en el aislamiento de vibraciones

Los factores que determinan qué elemento aislante debemos instalar son:

- Geometría de la máquina.
- Número de apoyos.
- Peso y centro de gravedad.
- Trabajo que realiza la máquina (esfuerzos radiales, axiales, cizalla y torsión).
- Entorno de trabajo; es decir, condiciones atmosféricas y espacio disponible. [13]

2.2.13.2. Materiales aislantes de vibraciones.

Al momento de seleccionar un material o dispositivo que pueda aislar de vibraciones a la máquina se debe tomar en cuenta las consideraciones tratadas en el ítem anterior. Una vez definido dichos parámetros, podremos seleccionar el tipo de soporte antivibratorio más adecuado a nuestras necesidades, entre los que se encuentran básicamente estos tres tipos: [13]

Elastómeros, son de procedencia natural y sintética.

- Ventajas:

- Estos cauchos por sus propiedades tienen la capacidad de tomar formas geométricas y tipos de rigidez muy diversas.
- Son capaces de soportar deformaciones y recuperar su forma original sin sufrir ningún tipo de alteración en sus propiedades.
- A diferencia del caucho sintético, el que mejores propiedades mecánicas aislantes de vibración ofrece es el caucho natural.
- El caucho natural posee una débil disipación de la energía y estable en el tiempo.

- **Desventajas**

- El caucho natural tiene como limitaciones su deterioro bajo la influencia de aceites y temperaturas ambientales elevadas.

Aislantes de plástico, los más utilizados son el polietileno y estireno.

- **Ventajas**

- Bajo coste y presentan una uniformidad excepcional.
- Facilidad de moldearse a formas diversas.

- **Desventajas.**

- Pobres propiedades mecánicas, es decir, tiene una capacidad inferior de resistir a las cargas o fuerzas, al igual que su gran fluencia y deformación permanente.

Muelles de metálicos.

- **Ventajas**

- Normalmente se emplean en aplicaciones que requieren grandes deflexiones estáticas.
- Estos aisladores se utilizan cuando se debe de llegar a frecuencias propias muy bajas y se requiere una estabilidad en la deflexión en el tiempo.

- **Desventajas**

- Su inconveniente es que, al tener propiedades de baja disipación energética, se deben de acoplar sistemas de amortiguación que encarecen de gran manera la solución. [13]

2.2.14. Pies niveladores antivibraciones.

Los pies regulables antivibratorios son de gran utilidad en maquinaria utilizada en la construcción especialmente cuando la máquina requiera de una colocación superficialmente nivelada. Con los pies regulables se compensan las irregularidades del suelo y las vibraciones asociadas con el funcionamiento de la máquina y medio ambiente donde se encuentre operando. Los pies niveladores deben cumplir con las siguientes características que garantizan una buena operación de la maquinaria.

- Rápida colocación y posible movilidad de la máquina.
- Amortiguación tanto de las vibraciones como de los golpes. Nivelación y adherencia al suelo.

- La nivelación es diferente según el soporte que se escoja.
- Incorporar rosca de paso fino. [14]



Figura 2-8 Soportes antivibratorios – soportes pequeños - 000NM Fuente: [14]

En la figura 2.8 se muestra el mecanismo dispuesto por un eje roscado acoplado a un soporte de caucho que absorbe vibraciones con el fin de lograr la correcta nivelación de la máquina o aparato sometido a vibración

2.2.15. Criterios de selección de balanzas.

Actualmente existen varios tipos de balanzas en diseños, aplicaciones, tamaños etc. Por lo cual es necesario contar con la información necesaria para determinar la balanza más adecuada para una determinada aplicación en función de los diferentes criterios de selección aplicables.

- 1 Papel del pesaje en el proceso de producción.
- 2 Rango de pesaje y tamaño de la balanza.
- 3 Precisión de pesaje requerida.
- 4 Entorno de la balanza.
 - a. Elección del material constructivo.
 - b. Factores perturbadores externos.
 - c. Requisitos del proceso.
- 5 Normas y reglamentos.
- 6 Colocación, instalación y puesta en funcionamiento.
- 7 Calibración y servicio técnico de la balanza.
- 8 Precio. [15]

2.2.16. Sistemas de control y automatización.

Son aquellos sistemas que pueden garantizar mediante la utilización de dispositivos controlar variables de valores particulares, secuencias de eventos y la capacidad de controlar si ocurre o no un evento.

Los dispositivos o elementos básicos que forman parte de un sistema de control son:

- Sensores. Estos permiten tomar valores medibles de las variables del sistema.
- Controlador. Utiliza los valores obtenidos por los sensores y el valor de referencia, decide la acción que debe ejecutarse.
- Actuador. Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control. [16]

2.2.16.1. Sistema de control de lazo abierto.

El sistema de control se ejecuta conociendo el funcionamiento del sistema, valores de entrada, valores de referencia y perturbaciones dentro y fuera del sistema pudiendo compensar los retrasos y anticiparse a las necesidades del usuario. [16]

2.2.16.2. Sistema de control de lazo cerrado.

Como se muestra en la figura 2.9 el sistema de control se ejecuta en función del error medido entre la variable controlada y la consigna de referencia. Las perturbaciones, aunque sean desconocidas son consideradas indirectamente mediante sus efectos sobre las variables de salida. En la actualidad este sistema de control se emplea en casi todos los sistemas automatizados puesto que pueden controlar cualquier tipo de variable a controlar. [16]

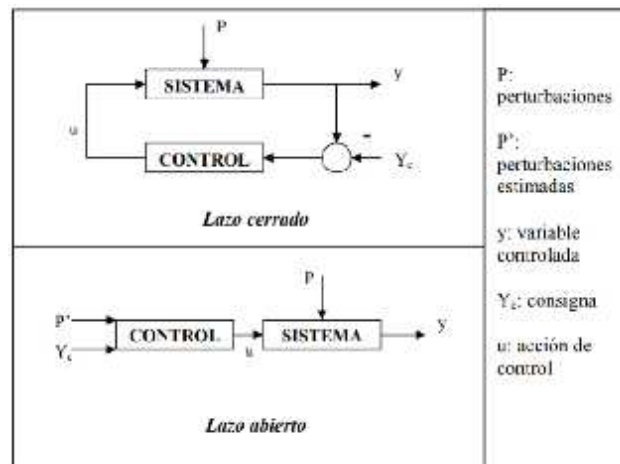


Figura 2-9 Control lazo cerrado vs. Control lazo abierto Fuente: [16]

2.2.17. Autómatas programables.

Según IEC 61131 Un autómata programable (AP) es un sistema electrónico programable diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar unas soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencia, temporización, recuento y funciones aritméticas con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas diversos tipos de máquinas o procesos. [17]

2.2.18. Sistemas de adquisición y procesamiento de datos.

Los sistemas de adquisición de datos son aquellos dispositivos y/o procesos que reúnen y almacenan información con el fin de documentar o analizar un proceso o escenas que se desarrolle en el sistema. Estos sistemas son más simples, precisos, versátiles y fiables.

Existen diferentes productos de adquisición de datos sirven como un punto principal en un sistema, uniendo varios productos, tales como sensores que indican la temperatura, caudal, nivel o presión. [18]

2.2.19. Arduino UNO.



Figura 2-10 Placa Arduino Fuente: [19]

La placa como es el Arduino (Figura 2.10) es mayormente utilizada en sistemas de control como la robótica por su microcontrolador ATmega328. Dentro de las características mostradas en la tabla 2.6 tenemos:

Tabla 2-6 Características básicas de Arduino UNO Fuente:

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE ARDUINO UNO	
Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pernos digitales de E / S	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
PWM Digital I / O Pins	6
Clavijas de entrada analógica	6
Corriente DC por Pin de E / S	20 mA
Corriente DC para 3.3V Pin	50 mA
Memoria flash	32 KB (ATmega328P) de los cuales 0.5 KB utilizados por el cargador de arranque
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	68.6 mm
Anchura	53.4 mm
Peso	25 g

2.2.20. Sensores fotoeléctricos.

Estos sensores son dispositivos que pueden detectar el paso o presencia de objetos además de características particulares de dicho objeto mediante el uso de la luz pudiendo detectar objetos cercanos, tamaño de objetos, color y brillo de objetos.

- **Sensor fotoeléctrico barrera (emisor-receptor):** Detecta el objeto cuando un este corta el paso del rayo luminoso entre emisor y receptor, lo cual indica una conmutación o detección de dicho objeto mostrado en la figura 2.11.

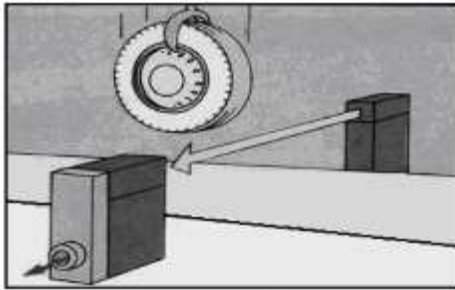


Figura 2-11 Principio de funcionamiento del sensor tipo barrera Fuente:[20]

Ventajas:

- Capacidad para sensar a grandes distancias
- Capacidad de detectarse a través de suciedad y humedad
- Confiabilidad para sistemas que requieran conteo de objetos.

Desventajas:

- Puede sensar ocasionalmente a través objetos sin requerirlo.
- Mayor costo de adquisición e instalación.
- Dificultad de alineamiento entre emisor y receptor a largas distancias. [20]

2.2.21. Sistemas de actuación

Son dispositivos de los elementos de control que transforman la señal de salida del microprocesador en alguna acción con la capacidad de transformar la energía hidráulica, neumática o eléctrica con el fin de generar efecto sobre elementos externo, como se muestra en la figura 2.12. [16]

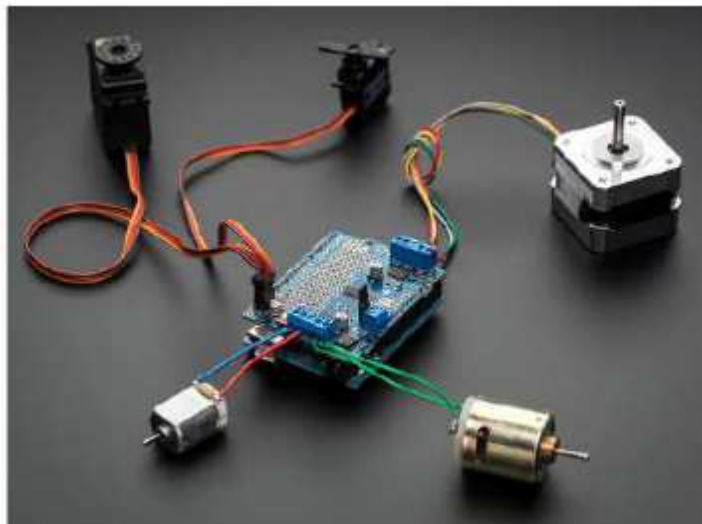


Figura 2-12 Actuadores. Fuente: [16]

2.2.21.1. Clasificación de los actuadores.

- Sistemas de actuación hidráulicos.

Son aquellos dispositivos de potencia de fluidos donde la energía hidráulica se transforma en energía mecánica por lo general se suministra aceite presurizado, para transmisión de fuerzas de un punto a otro o aplicación deseada mediante una bomba de motor eléctrico. [20]

Ventajas:

- Alta eficiencia y alta relación potencia – tamaño.
- Es posible el control completo y preciso de velocidad, posición y dirección de los actuadores.
- Tienen una mayor capacidad de carga que los actuadores eléctricos y neumáticos.
- Tienen bajo desgaste y no corrosivos.

Desventajas:

- Pueden darse fugas que causan pérdidas de potencia y rendimiento.
- La fuente de alimentación puede ser ruidosa alrededor de los 70 dBA.
- Los cambios de temperatura alteran la viscosidad del fluido hidráulico.
- Para robots pequeños, la energía hidráulica usualmente no es económicamente factible puesto que el costo de los componentes no es proporcional al tamaño.

- Sistemas de actuación neumáticos.

En esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos puesto que en este caso utilizan la energía del aire presurizado es transformada en energía mecánica por lo general se suministra mediante un compresor de aire, sin embargo, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad.

En esta clasificación aparecen los fuelles, diafragma y músculos artificiales, que utilizan aire comprimido. [20]

Ventajas:

- Es la forma más económica de todos los actuadores.
- El aire comprimido puede almacenarse y transportarse fácilmente.

- Tienen pocas partes móviles, por lo que son muy confiables y ayudan a reducir costos de mantenimiento.
- Tienen una acción y un tiempo de respuesta muy rápida.
- Normalmente no requiere ninguna transmisión mecánica.
- El control es sencillo, se usan con frecuencia topes mecánicos.

Desventajas

- El control de la precisión en la velocidad y la posición no es fácil de lograr, a menos que se incorpore dispositivos electromecánicos,
- No son convenientes para movilizar cargas pesadas bajo control preciso.
- Si penetra humedad a los dispositivos con material ferroso puede darse daños por corrosión.

- **Sistemas de actuación eléctrica.** Son aquellos donde se transforma la energía eléctrica en energía mecánica estos pueden ser motores eléctricos, estos pueden ser: [20]

- Motores a pasos.
- Motores de CD.
- Motores CA.
- Servomotores.

Ventajas:

- Amplia disponibilidad en el suministro de energía.
- Los dispositivos de accionamiento eléctrico son más ligeros que hidráulicos.
- Alta eficiencia en la conversión de la energía.
- Son de fácil mantenimiento y reparación.

Desventajas:

- Requieren la incorporación de algún tipo de sistema de transmisión mecánica.

2.2.22. Periféricos de salida.

Periférico es la denominación genérica para designar al aparato o dispositivo auxiliar e independiente conectado a la unidad central de procesamiento o en este caso a Arduino.

Se consideran periféricos a las unidades o dispositivos de hardware a través de los cuales Arduino se comunica con el exterior, y también a los sistemas que almacenan o archivan la información, sirviendo de memoria auxiliar de la memoria principal. [16]

Ejemplos de periféricos:

- Pantallas LCD
- Teclados
- Memorias externas
- Cámaras
- Micrófonos
- Impresoras
- Pantalla táctil
- Displays numéricos
- Zumbadores
- Indicadores luminosos, etc...

2.2.23. Software de Arduino

El código abierto del Software Arduino (IDE) es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación de código abierto de fácil escritura compatible con Windows, Mac OS X y Linux.

El software desarrollado para Arduino es compatible con los productos de Arduino y otras placas con compatibilidad de código abierto IDE. Además, la incorporación de la gestión de librerías y la gestión de placas han hecho que Arduino sea una herramienta completa y eficaz.

2.2.24. Superficies, tolerancias y procesos de manufactura

Parte fundamental de los procesos de manufactura es la calidad de la superficie y tolerancia a la que se pretenda alcanzar y la integridad de la misma.

Como se muestra en las tablas 2.7 y 2.8 existen varios procesos que son más capaces que otros de producir superficies y tolerancias mejores dado que el costo es proporcional a la calidad de la superficie. Esto se debe a que para obtener superficies cada vez mejores por lo general se requieren operaciones adicionales y más tiempo. Los procesos específicos para proveer [8]

Tabla 2-7 Límites comunes de la tolerancia, con base en la capacidad de varios de estos procesos de manufactura
Fuente: [8]

Proceso	Límites comunes de la tolerancia		Proceso	Límites comunes de la tolerancia	
	mm	pulgadas		mm	pulgadas
Fundición con arena			Procesos abrasivos:		
Hierro colado	± 1.3	± 0.050	Esmerilado	± 0.008	± 0.0003
Acero	± 1.5	± 0.060	Rectificado	± 0.005	± 0.0002
Aluminio	± 0.5	± 0.020	Bruñido	± 0.005	± 0.0002
Fundición con molde	± 0.12	± 0.005	Procesos no tradicionales:		
Moldeo de plásticos			Maquinado químico	± 0.08	± 0.003
Poliétileno	± 0.3	± 0.010	Descarga eléctrica	± 0.025	± 0.001
Poliestireno	± 0.15	± 0.006	Rectificado electroquímico	± 0.025	± 0.001
Maquinado:			Maquinado electroquímico	± 0.05	± 0.002
Barrenado, diámetro:			Corte con haz de electrones	± 0.08	± 0.003
6 mm (0.250 in)	+ 0.08, -0.03	+ 0.003, -0.001	Corte con haz de láser	± 0.08	± 0.003
25 mm (1.000 in)	+ 0.13, -0.05	+ 0.006, -0.002	Corte con arco de plasma	± 1.3	± 0.050
Fresado	± 0.08	± 0.003			
Torneado	± 0.05	± 0.002			

Tabla 2-8 Valores de rugosidad superficial producidos por distintos procesos de manufactura. Fuente: [8]

Proceso	Acabado de superficie común	Rango de rugosidad ^b	Proceso	Acabado de superficie común	Rango de rugosidad ^b
Fundición:			Abrasivos:		
Fundición con molde	Bueno	1-2 (30-65)	Esmerilado	Muy bueno	0.1-2 (5-75)
Fundición con revestimiento	Bueno	1.5-3 (50-100)	Rectificado	Muy bueno	0.1-1 (4-30)
Fundición con arena	Malo	12-25 (500-1000)	Bruñido	Excelente	0.05-0.5 (2-15)
Formado de metales:			Pulido	Excelente	0.1-0.5 (5-15)
Laminado en frío	Bueno	1-3 (25-125)	Superacabado	Excelente	0.02-0.3 (1-10)
Corte de lámina metálica	Bueno	1-3 (25-125)	No tradicionales:		
Extrusión en frío	Bueno	1-4 (30-150)	Fresado químico	Medio	1.5-5 (50-200)
Laminado en caliente	Malo	12-25 (500-1000)	Electroquímico	Bueno	0.2-2 (10-100)
Maquinado:			Descarga eléctrica	Medio	1.5-15 (50-500)
Perforado	Bueno	0.5-6 (15-250)	Haz de electrones	Medio	1.5-15 (50-500)
Barrenar	Medio	1.5-6 (60-250)	Haz de láser	Medio	1.5-15 (50-500)
Fresar	Bueno	1-6 (30-250)	Térmico:		
Planeado	Medio	1.5-12 (60-500)	Soldadura por arco	Malo	5-25 (250-1000)
Escariar	Bueno	1-3 (30-125)	Corte con llama	Malo	12-25 (500-1000)
Perfilar	Medio	1.5-12 (60-500)	Corte con arco de plasma	Malo	12-25 (500-1000)
Aserrar	Malo	3-25 (100-1000)			
Tornear	Bueno	0.5-6 (15-250)			

Capítulo 3

DISEÑO DEL PROYECTO

3.1. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.

Antes de empezar se debe tomar en cuenta el procedimiento para determinar la velocidad de flujo de los polvos metálicos por medio de un embudo calibrado o aparato de Hall establecido en la norma ISO 4490.

- Procedimiento:

1. La muestra de polvo metálico para laboratorio debe de ser al menos de 200 gr.
2. En general el polvo debe ensayarse en la condición en la que se recibe. En ciertos casos, y después de acuerdo entre el suministrador y el usuario, el polvo puede secarse. Sin embargo, si el polvo es susceptible de oxidación, el secado debe tener lugar en vacío o con un gas inerte. Si el polvo contiene sustancias volátiles, no debe secarse.
3. Inmediatamente antes del ensayo, se pesa una fracción para ensayo de $50 \text{ gr} \pm 0,1 \text{ gr}$.
4. Se transfiere la fracción para ensayo al embudo calibrado, manteniendo cerrado el orificio de descarga presionando con un dedo seco. Se tiene cuidado de que el orificio este lleno de polvo. Se arranca el cronómetro cuando el orificio está abierto y se para en el instante en el que el polvo deja de salir por el orificio. Se registra el tiempo transcurrido con una precisión de 0,1 s.
5. Se repite el procedimiento con los mismos 50 gr de polvo hasta que se obtengan tres determinaciones dentro de un intervalo de 0,4 s.
6. Se calcula la media aritmética de los resultados de tres determinaciones y se informa del tiempo en segundos para 50 gr, con una precisión de 1 s.

3.1.1. Presentación de alternativas de la configuración de la máquina para cumplir con el procedimiento descrito en la norma ISO 4490

Alternativa 1: Flujómetro de Hall con recipientes intercambiables (Figura 3.1).

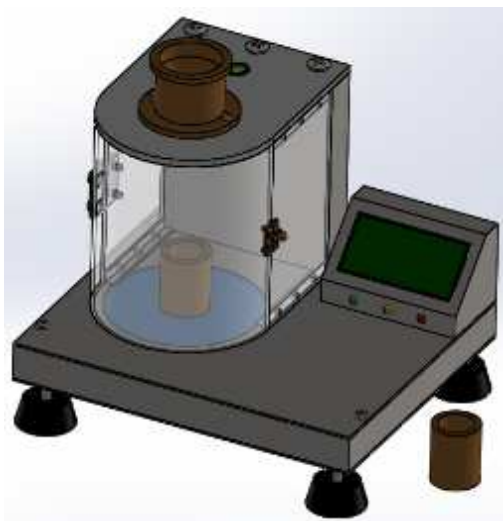


Figura 3-1 Alternativa de construcción 1, flujómetro de Hall con recipientes intercambiables. Fuente: Autor

Tabla 3-1 Componentes necesarios para la alternativa de construcción 1. Fuente: Autor

LISTA DE COMPONENTES ESTRUCTURALES		
"FLUJÓMETRO CON RECIPIENTES INTECAMBIABLES"		
N°	Descripción	Cantidad
1	Embudo de Hall	1
2	Caja soporte de la placa de placa del embudo	1
3	Pared lateral derecha	1
4	Pared lateral izquierda	1
5	Compuerta cubre flujos	1
6	Placa soporte de embudo superior	1
9	Caja para LCD	1
10	Pies niveladores antivibratorios	4
11	Bancada	1
12	Nivel de burbuja esférico	1
13	Recipiente porta polvos	2

Ventajas:

- Ocupa poco espacio 30 x 35 x 25 cm
- Funcionamiento semiautomático.
- Pantalla LCD para visualización de resultados.
- Apoyos tipo pies nivelador antivibratorios.

Desventajas:

- El intercambio de los porta polvos genera un extra de tiempo en la obtención de los resultados.
- Aumenta el nivel de error por manipulación del operario.

Alternativa 2: Flujómetro de tres embudos (Figura 3.2)

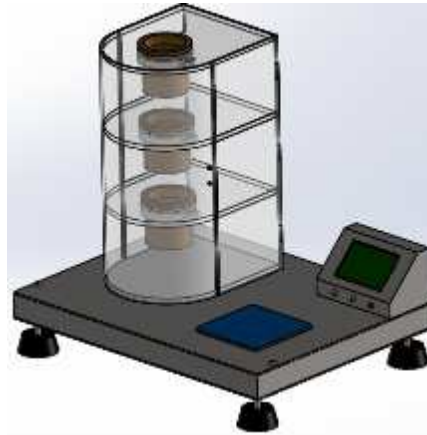


Figura 3-2 Alternativa de construcción 2, flujómetro de Hall con tres embudos. Fuente: Autor

Dentro de los elementos considerados como necesarios para cumplir con el diseño de la propuesta en la figura 3.2 son presentados en la tabla 3.2.

Tabla 3-2 Componentes necesarios para la alternativa de construcción 2. Fuente: Autor

LISTA DE COMPONENTES ESTRUCTURALES		
"FLUJÓMETRO CON TRES EMBUDOS"		
Nº	Descripción	Cantidad
1	Embudo de Hall	3
2	Pared lateral izquierda	1
3	Pared lateral derecha	1
4	Pared posterior de caja cubre flujos	1
5	Compuerta cubre flujos	1
6	Placa soporte de embudo superior	1
7	Placa soporte de embudos inferiores	2
8	Placa soporte de caja cubre flujos	1
9	Caja para LCD	1
11	Pies niveladores antivibratorios	4
12	Anillos sujetadores del embudo	3

LISTA DE COMPONENTES ESTRUCTURALES		
"FLUJÓMETRO CON TRES EMBUDOS"		
N°	Descripción	Cantidad
13	Nivel de burbuja esférico	1
14	Bancada	1
15	Recipiente porta polvos de vidrio	2

Ventajas:

- Mayor precisión de medición de la fluidez en el polvo metálico.
- Funcionamiento automático.
- Pantalla LCD para visualización de resultados.
- Apoyos tipo pies nivelador antivibratorios.

Desventajas:

- Alto costo de construcción.

Para la tabulación de los datos se tomará la siguiente escala de valores:

- 1= Bueno.
- 0.5 = Regular
- 0 = Malo

Tabla 3-3 Criterios de ponderación para la selección de las alternativas de construcción. Fuente: Autor

Criterio	Costo	Precisión	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0,5	1,5	0,429
Precisión	1		2	0,571
	Suma		3,5	1

• **Parámetro "costo"**

Tabla 3-4 Evaluación de alternativas de construcción en el parámetro "costo" Fuente: Autor

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,571
Alternativa 2	0,5		1,5	0,429
	Suma:		3,5	1,000

- **Parámetro “precisión”**

Tabla 3-5 Evaluación de alternativas de construcción. en el parámetro “precisión” Fuente: Autor

Precisión	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1,5	0,429
Alternativa 2	1		2	0,571
		Suma:	3,5	1,000

- **Conclusión**

Tabla 3-6 Conclusión de la evaluación de las alternativas en los parámetros costo y precisión. Fuente: Autor

Conclusión	Costo	Precisión	Σ	Ponderación
Alternativa 1	0,2449	0,2449	0,4898	2
Alternativa 2	0,1837	0,3265	0,5102	1

Interpretación: Según la evaluación presentada en las tablas 3.4 y 3.5 en función de los parámetros de selección (tabla 3.3) como es el costo y precisión de la medición ha tenido mejor resultado la alternativa 2 presentada en la tabla 3.6 que corresponde al flujómetro de Hall con tres embudos ya que se considera que es de suma importancia la precisión con la que se medirá la fluidez de los polvos metálicos.

3.2. Cálculos o Modelo Operativo

3.2.1. Partes que conforman flujómetro de Hall en función a la alternativa de diseño 2.

El prototipo presentado constará de 5 partes principales que hará que su funcionamiento sea el adecuado para los requerimientos de la norma ISO 4490.

1. Estructura metálica de base o caja base.
2. Cabina cubre flujos.
3. Caja para alojamiento del LCD.
4. Capuchón para sensores y actuadores.

3.2.2. Estructura metálica o caja base.

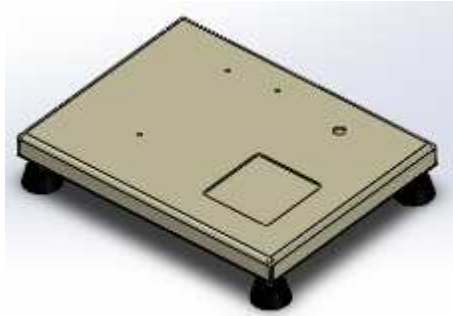


Figura 3-3 Estructura metálica o caja base. Fuente: Autor.

El diseño mostrado en la figura 3.3 de la estructura metálica debe considerar el alojamiento de los demás componentes que estarán dentro de la caja base como es:

1. Arduino.
2. Cables.
3. Diodos.
4. Resistencias.

Los materiales necesarios para la construcción se muestran en la tabla 3.7:

Tabla 3-7 Listado de materiales para la construcción de la caja base. Fuente: Autor.

Lista de materiales para la caja base	
Componente	
1/2 Plancha de acero ASTM A36 de 2 mm	
8 Tornillos M6	
4 Pies niveladores antivibraciones	

3.2.2.1. Análisis de la estructura metálica o caja base.

Además de poder soportar las cargas muertas aplicadas por el propio peso de los demás componentes y el propio peso estructural, así mismo como el peso de los componentes necesarios para la automatización mostrados en la tabla 3.8.

Tabla 3-8 Pesos estimados de componentes del flujómetro de Hall. Fuente: Autor.

Tabla de pesos estimados	
Componente	Peso (Kg)
Cabina cubreflujos	2,28
Embudos y capuchones	2,552
Caja del LCD	0,52
Caja base	5,53
Total=	11,432

Primero se procedió a modelar las partes mediante software CAD tomando cada medida de las chapas metálicas, tornillos y pies niveladores usados para el análisis por elementos finitos de la estructura (Figura 3.4).

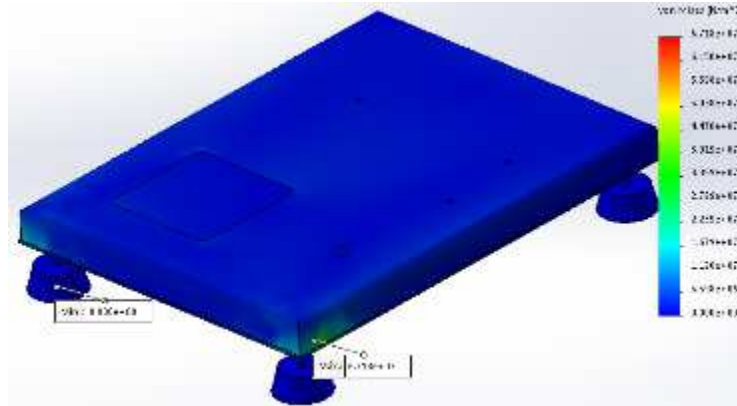


Figura 3-4 Análisis de la caja base a un factor de seguridad de 3. Fuente: Autor.

Después de comprobar la resistencia mediante el análisis por elementos finitos del ensamblaje de la caja base a un factor de seguridad de 3 el cual puede cumplir los requerimientos en peso de los demás elementos y no se someterá a ningún cambio de geometría.

3.2.3. Selección del material del embudo.

Para la selección del material del embudo se ajustará a las especificaciones requeridas por la norma ISO 4490 en el apartado 3.1 que dice: “El embudo calibrado debe fabricarse con materiales metálicos no magnéticos, resistentes a la corrosión y con el suficiente espesor de pared y dureza para evitar su deformación y un excesivo desgaste”.

Para la selección adecuada del material se realizará un análisis de forma cuantitativa con los parámetros dispuestos en la normativa ISO 4490 con el fin de que el material se ajuste a los requerimientos dispuestos que son:

Parámetros de selección:

- No magnético.
- Resistente a la corrosión.
- Resistente al desgaste.
- Dureza.
- Resistencia a la deformación.

Alternativas:

Se tomará la clasificación de los materiales no ferrosos del libro “Fundamentos de la manufactura moderna” ya que los metales no ferrosos incluyen elementos y aleaciones metálicas que no se basan en el hierro. Los metales más importantes de la ingeniería en el grupo de los no ferrosos son:

- Alternativa 1: Plata.
- Alternativa 2: Aleación de cobre (bronce).
- Alternativa 3: Titanio.

Para la tabulación de los datos se tomará la siguiente escala de valores:

- 1= Bueno.
- 0.5 = Regular
- 0 = Malo

La matriz con los criterios considerados y ponderaciones para la selección del material se muestran en la tabla 3.9.

Tabla 3-9 Matriz de criterios a evaluar para la selección del material del embudo. Fuente: Autor

Criterio	Diamagnético	Resistente a la corrosión	Resistente al desgaste	Dureza	Resistente a la deformación	Maquinabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Diamagnético		0,5	0,5	0,5	0,5	1	4	0,174
Resistente a la corrosión	0,5		0,5	1	0	0,5	3,5	0,152
Resistente al desgaste	1	1		1	0,5	1	5,5	0,239
Dureza	0,5	0,5	1		0,5	0,5	4	0,174
Resistente a la deformación	0	0	0,5	0,5		0,5	2,5	0,109
Maquinabilidad	1	0,5	0	0,5	0,5		3,5	0,152
						Suma	23	1

- **Parámetro material diamagnético:**

Tabla 3-10 Evaluación de las alternativas en el parámetro material diamagnético. Fuente: Autor

Diamagnético	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,167
Alternativa 2	1		1	3	0,500
Alternativa 3	1	0		2	0,333
			Suma	6	1,000

- **Parámetro resistencia a la corrosión:**

Tabla 3-11 Evaluación de las alternativas en el parámetro resistencia a la corrosión. Fuente: Autor

Resistente a la corrosión	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,308
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,385
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,308
			Suma	6,5	1,000

- **Parámetro resistencia al desgaste:**

Tabla 3-12 Evaluación de las alternativas en el parámetro resistencia al desgaste. Fuente: Autor.

Resistente al desgaste	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,462
Alternativa 2	0,5		1	2,5	0,385
Alternativa 3	0	0		1	0,154
			Suma	6,5	1,000

- **Parámetro dureza:**

Tabla 3-13 Evaluación de las alternativas en el parámetro de dureza. Fuente: Autor.

Dureza	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,357
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,357
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,286
			Suma	7	1,000

- **Parámetro resistencia a la deformación**

Tabla 3-14 Evaluación de las alternativas en el parámetro Resistencia a la deformación. Fuente: Autor.

Resistente a la deformación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,333
Alternativa 2	1		0	2	0,267
Alternativa 3	1	1		3	0,400
			Suma	7,5	1,000

- **Parámetro maquinabilidad:**

Tabla 3-15 Evaluación de las alternativas en el parámetro maquinabilidad. Fuente: Autor.

Máquinabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,333
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,417
Alternativa 3	0	0,5		1,5	0,250
			Suma	6	1,000

- **Conclusión:**

Tabla 3-16 Selección del material del embudo "Ponderación final". Fuente: Autor.

Conclusión	Diamagnético	Resistente a la corrosión	Resistente al desgaste	Dureza	Resistente a la deformación	Máquinabilidad	Σ	Ponderación
Alternativa 1	0,0290	0,0468	0,1104	0,0621	0,0580	0,0362	0,3425	2
Alternativa 2	0,0870	0,0585	0,0920	0,0621	0,0464	0,0453	0,3912	1
Alternativa 3	0,0580	0,0468	0,0368	0,0497	0,0696	0,0272	0,2880	3

Interpretación: El material más apto a cumplir con los parámetros de diseño establecidos en la normativa ISO 4490, es la alternativa 2 mostrada en la tabla 3.16 que corresponde a la aleación de cobre como el bronce con una ponderación de 0.39 sobresale a la alternativa 1 y 3.

Por lo tanto, para la construcción de los embudos se recomienda optar por la utilización del bronce fosfórico.

3.2.3.1. Selección del tipo de bronce en la fabricación del embudo y recipientes del polvo metálico.

Para la selección del tipo de bronce a emplearse se tomará del catálogo de bronce disponible en los productos ofrecidos por Aceros Bohler Ecuador que son:

- Bronce SAE 40.
- Bronce SAE 64.
- Bronce al estaño SAE 65.

Se pasa por alto el bronce al aluminio AB2 por su alto contenido en hierro de 4 - 5.5 % y el bronce dulce (latón) - UNS C 38500 ASTM B455 el cual es un material utilizado en pequeños accesorios y casos de muy poca precisión y desempeño.

Los parámetros a ser evaluados se tomarán en función de las propiedades mostradas de cada tipo de bronce mostradas en las tablas 3.17, 3.18 y 3.19 correspondientes a los bronce SAE 40, SAE 65 y SAE 65.

Propiedades del bronce SAE 40.

Tabla 3-17 Propiedades del bronce SAE 40 Fuente: Catálogo de Aceros Bohler Ecuador

BRONCE SAE 40	
PROPIEDADES MECÁNICAS a 20°C	
Resistencia a la tensión	37000 psi - 255 Mpa
Resistencia a la fatiga	11000psi (73 Mpa) a 108 ciclos
Elongación	30% en 50mm
Dureza Brinell	60 HB
Resistencia al corte	18000 Psi - 124Mpa
Resistencia la impacto	11 ft-lb
PROPIEDADES DE LA FABRICACIÓN	
Soldadura	Buena
Maquinado Calificación	84
PROPIEDADES FÍSICAS	
Punto de fusión - Sólido	762° C
Densidad	8.83 g/cm ³ a 20 C
Peso específico	8.86 kg/dm ³
Resistencia eléctrica	16.95 microhm-cm @ 20 C
Conductividad eléctrica	0.056 MegaSiemens/cm @ 20 C
Módulos de elasticidad de extensión	12*106 psi (83 GPa)
Permeabilidad magnética	1
Descripción: Aleación de cobre de buenas cualidades elásticas y de resistencia al desgaste. Alta pureza de material, con la eliminación total de porosidad interna. Buena conductividad térmica, resistencia a la corrosión y facilidad de maquinado	

Propiedades del bronce SAE 64.

Tabla 3-18 Propiedades del Bronce SAE 64 Fuente: Catálogo de Aceros Bohler Ecuador

BRONCE SAE 64	
PROPIEDADES MECÁNICAS a 20°C	
Resistencia a la tensión	35000 Psi - 241 Mpa
Resistencia a la fatiga	100 Ksi x 106 ciclos
Elongación	22% en 50 mm
Dureza Brinell	64 HB
Resistencia al corte	18000 Psi - 124Mpa
Resistencia la impacto	6 J
PROPIEDADES DE LA FABRICACIÓN	
Soldadura	Buena
Maquinado Calificación	80
PROPIEDADES FÍSICAS	
Punto de fusión - Sólido	762° C
Densidad	8.86 gm/cm ³ a 20 C
Peso especifico	8.86 kg/dm ³
Resistencia eléctrica	16.95 microhm-cm @ 20 C
Conductividad eléctrica	0.059 MegaSiemens/cm @ 20 C
Módulos de elasticidad de extensión	11000 ksi - 75800 Mpa
Permeabilidad magnética	1
Descripción: Un bronce con características físicas para el trabajo pesado con excelente antifricción por su alto contenido de plomo, (lubricante seco). Posee una resistencia a la tracción de 35,000 psi y una dureza de entre 60 y 70 Brinell.	

Propiedades del bronce SAE 65.

Tabla 3-19 Propiedades del Bronce SAE 65 Fuente: Catálogo de Aceros Bohler Ecuador

BRONCE SAE 65	
PROPIEDADES MECÁNICAS a 20°C	
Resistencia a la tensión	40000 Psi - 276 Mpa
Resistencia a la fatiga	25000 Psi 106 ciclos
Elongación	15% en 50mm
Dureza Brinell	95 HB.
Resistencia al corte	18000 Psi - 124Mpa
Resistencia la impacto	11 ft-lb
PROPIEDADES DE LA FABRICACIÓN	
Soldadura	Buena
Maquinado Calificación	80
PROPIEDADES FÍSICAS	
Punto de fusión - Sólido	762° C

BRONCE SAE 65	
Densidad	8.77 g/cm ³ a 20 C
Peso específico	8.86 kg/dm ³
Resistencia eléctrica	16.95 microhm-cm @ 20 C
Conductividad eléctrica	0.056 MegaSiemens / cm a 20 ° C
Módulos de elasticidad de extensión	12x10 ⁶ psi (83 GPa)
Permeabilidad magnética	1
Descripción: Bronce de estructura compleja, cuyo mayor porcentaje de estaño genera ventaja en resistencia mecánica y dureza. Empleado para cargar elevadas con velocidades medidas. Recomendable con eje bonificado (705-709).	

Selección del bronce para el Embudo de Hall

- Alternativa 1: Bronce SAE 40
- Alternativa 2: Bronce SAE 64
- Alternativa 3: Bronce SAE 65

Los parámetros más relevantes considerados para la selección del bronce adecuado se muestran en la tabla 3.20.

Tabla 3-20 Criterios de selección del bronce adecuado para el embudo de Hall Fuente: Autor

Criterio	Costo	Máquinabilidad	Disponibilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0,5	0,5	2	0,267
Máquinabilidad	0,5		1	2,5	0,333
Disponibilidad	1	1		3	0,400
			Suma	7,5	1

• Parámetro “costo”

Tabla 3-21 Selección del bronce para el embudo parámetro "costo" Fuente: Autor

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,500
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,333
Alternativa 3	0	0		1	0,167
			Suma	6	1,000

- **Parámetro máquinabilidad.**

Tabla 3-22 Selección del bronce para el embudo parámetro "máquinabilidad" Fuente: Autor

Máquinabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	2,5	0,385
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,308
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,308
			Suma	6,5	1,000

- **Parámetro disponibilidad**

Tabla 3-23 Selección del bronce para el embudo parámetro "disponibilidad" Fuente: Autor

Disponibilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,545
Alternativa 2	0,5		0	1,5	0,273
Alternativa 3	0	0		1	0,182
			Suma	5,5	1,000

Conclusión:

Tabla 3-24 Interpretación final de selección del bronce adecuado para la construcción del embudo de Hall fuente: Autor

Conclusión	Costo	Máquinabilidad	Disponibilidad	Σ	Ponderación
Alternativa 1	0,1333	0,1282	0,2182	0,4797	1
Alternativa 2	0,0889	0,1026	0,1091	0,3005	2
Alternativa 3	0,0444	0,1026	0,0727	0,2197	3

Interpretación: El bronce seleccionado en función de la disponibilidad en stock ecuatoriano, económico, fácil de mecanizar y maleable para dar el acabado superficial requerido y dureza aceptable es el bronce SAE 40 que es la alternativa 1 mostrada en la tabla 3.24.

Por lo tanto, para la construcción del embudo y los recipientes contenedores del polvo se recomienda optar por la utilización del bronce fosfórico

Para efectos de diseño de la máquina primero se modeló un prototipo creado en un programa CAD con el fin de facilitar el proceso de diseño, manipulación y alternativas de diseño que estarán en función a los métodos y cálculos que se aplicarán para el desarrollo del proyecto.

3.2.4. Modelado del embudo de Hall.

Para la construcción del embudo de Hall se considerará la aplicación de mecanizado CNC con el fin de garantizar las tolerancias dimensionales, geometría y acabados superficiales. Según la norma ISO 4490 en el apartado 3.1 muestra las especificaciones dimensionales, tolerancias y acabados superficiales requeridos para la correcta medición de fluidez del polvo metálico.

Mediante un software CAD se modeló la parte para posteriormente ser codificado mediante un software CAM.

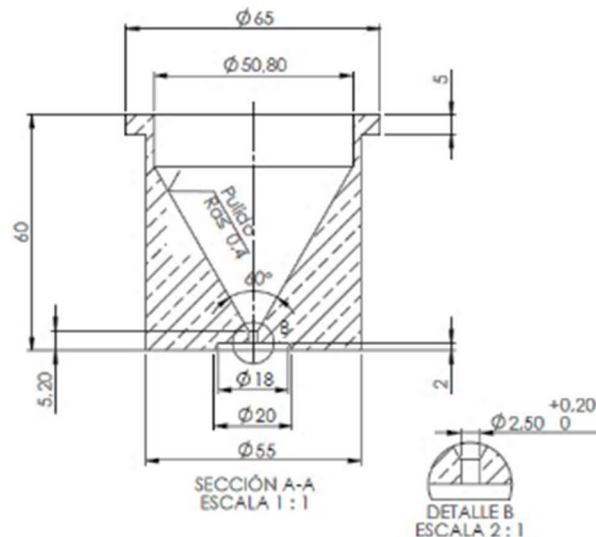


Figura 3-5 Vista de sección del embudo de Hall (CAD) según la norma ISO 4490 apartado 3.1. Fuente: Norma ISO4490

3.2.5. Diseño de la placa soporte del embudo.

Para efectos de diseño de la placa que soporte del embudo se lo realizará a partir del prototipo planteado en la alternativa 2 del punto 3.1.1.

El cual presenta 3 variables de diseño:

1: Orificio para alojamiento de un nivel de burbuja esférico: Se tomará en cuenta la colocación de este dispositivo con el fin de asegurar una adecuada colocación de la máquina logrando una correcta nivelación con el suelo donde vaya a operar la máquina.

2: Orificio para alojamiento el embudo: La placa soportará el peso y sostendrá de manera vertical al embudo de Hall.

3: Orificios para ensamblaje con el anillo sujetador del embudo: Se realizará la perforación de dos agujeros de 0.9mm de diámetro con el fin de asegurar un correcto ensamblaje entre la placa y el anillo sujetador del embudo, esto permitirá verificar que sus orificios para que pase el embudo sean concéntricos propuestos en la figura 3.6.

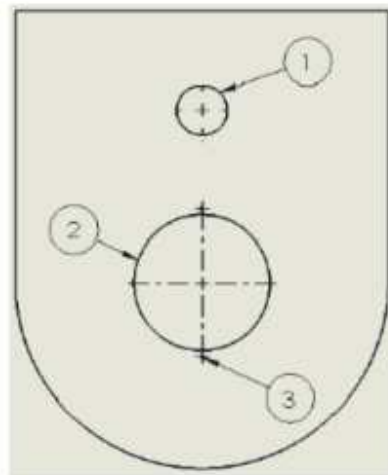


Figura 3-6 Placa soporte del embudo (CAD). Fuente: Autor

El material a utilizar será acrílico de 6 mm de espesor, el acrílico a utilizar es del fabricante METAL ACRILATO S.A. – MANOPLAS el cual proporciona el material con las siguientes especificaciones dadas en la tabla 3.25

Tabla 3-25 Datos técnicos del acrílico: Fuente: [21]

DATOS TÉCNICOS DEL ACRILICO		
Nombre Comercial	Lámina Acrílica de Poli(metil metacrilato).	
Descripción	Compuesto generado en forma de láminas como resultado de una reacción de polimerización por el método de vaciado (o en bloque) de una mezcla líquida, compuesta principalmente por monómero de metil metacrilato.	
Gravedad Específica	1,19	
Propiedades Ópticas		
Índice de refracción	1,49	Por exposición a la intemperie, no se evidencian efectos como cuarteo, decoloración o combadura sobre la apariencia o claridad del material.
Transmisión de luz paralela	91%	
Transmisión de luz total	92%	

Propiedades Mecánicas		
Resistencia a la tracción	10500 Psi	Efectos considerablemente mayores a los mostrados en la columna, producen una superficie brillante conocida como “Crazing” (cristalización). Para evitar el “Crazing”; los límites de diseño para cargas aplicadas en forma constante no deben exceder de 1.500 psi. Esfuerzos de gran magnitud pero de corta duración, podrían no ser causa de Crazing
Resistencia a la flexión	16000 Psi	
Resistencia a la compresión	18000 Psi	
Módulo de elasticidad	450000 Psi	
Resistencia a la cizalladura	9000 Psi	
Resistencia a la abrasión	Comparable al aluminio	
Resistencia al impacto	14 veces superior a la del vidrio en calibres entre 3-6mm, siendo 50% más liviano que el vidrio y 43% más liviano que el aluminio. Aumenta su resistencia al impacto con el aumento de calibre.	
Propiedades Térmicas		
Temperatura de moldeo	143 a 182 °C	
Máxima temperatura servicio continuo	82 a 93 °C, después de haber sido moldeado por calentamiento	
Propiedades Eléctricas	Baja conductividad eléctrica.	

3.2.6. Diseño del anillo sujetador del embudo.

El diseño del anillo sujetador se basó en una abrazadera metálica sin fin convencional el cual pretende sujetar el embudo de Hall con la placa soporte del embudo con el fin de que no exista movimiento del embudo que pueda interferir con el correcto funcionamiento del flujómetro de Hall propuesto en la figura 3.7.

Las variables de diseño que presenta el prototipo son:

1: Orificio para alojamiento el embudo: El anillo actuará como abrazadera del embudo con el fin de restringir su movimiento al momento de ser ajustado.

2: Pestañas para apriete del anillo: Estas pestañas recibirán el esfuerzo por el par de apriete que asegure el embudo.

3: Orificios para ensamblaje con la placa soporte del embudo: Estos orificios tendrán la función de asegurar que los agujeros que alojarán al embudo sean concéntricos.

4: Orificio para tornillo de apriete: Su función es servir de guía para que un tornillo M3 autoroscante pueda lograr apretar el embudo para evitar que se mueva.

El material a ser utilizado es ACRILICO de 9mm de espesor. Anexo 1

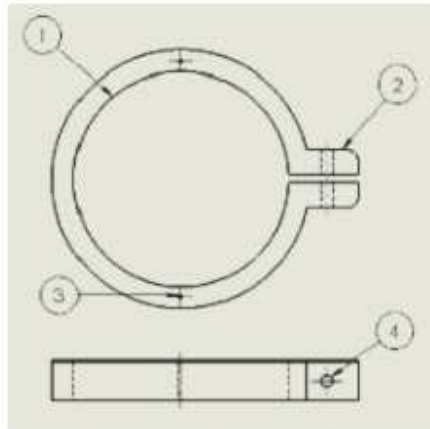


Figura 3-7 Variables de diseño del anillo sujetador del embudo. Fuente: Autor.

3.2.6.1. Determinación aproximada de fuerzas aplicadas en el anillo sujetador.

Las fuerzas a determinar son el par de apriete o torque del tornillo autoroscante que apretará al embudo con el fin de sujetarlo junto con la placa soporte del embudo.

La resistencia de una unión atornillada se determina normalmente en base a la resistencia de los medios de unión individuales y las partes que estarán unidas. Los elementos que intervienen en el análisis son:

- **Anillo sujetador:** Su función es brindar agarre alrededor del embudo para tenerlo con el fin de dar alojamiento y restringir su movimiento.
- **Tornillo roscante:** Su función es instalarse en un agujero. El tornillo se ajustará mediante un par de torsión aplicado en su cabeza.

Para la determinación del par de apriete se basará los cálculos en la norma española UNE 17-108-81 “Tornillos y tuercas de acero Momentos de apriete”. [22]

La fórmula utilizada para el cálculo de los momentos de apriete, de tornillos y tuercas normales es la siguiente: [22]

$$M = \frac{F_t}{1000} [0.161 P + 0.583 u_a d_2 + 0.25 u_f (D_e + D_i)] \quad \text{Ecuación 1}$$

$$F_t = \frac{V E A_s}{\sqrt{1 + 3 \left[\frac{4}{1 + \frac{d_3}{d_2}} \left(\frac{P}{\pi d_2} + 1.155 u_a \right) \right]^2}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

M = Momento de apriete en $daN.m$

P = Paso de la rosca en milímetros.

Ft = Carga a tracción sobre el tornillo debido al momento de apriete M, expresada en decanewtons.

d2 = Diámetro medio de la rosca del tornillo, expresado en milímetros.

d3 = Diámetro del núcleo de la rosca del tornillo, expresado en milímetros.

De = Diámetro máximo de la superficie de rozamiento de la tuerca (distancia entre caras) o cabeza del tornillo, expresada en milímetros.

Di = Diámetro mínimo de la superficie de rozamiento de la tuerca o cabeza de tornillo (diámetro nominal), expresado en milímetros.

As = Sección resistente, expresada en milímetros cuadrados.

E = Límite elástico, expresado en daN/mm^2

V = Relación entre la tensión aplicada al tornillo y el límite elástico.

μ_f = Coeficiente de rozamiento entre tuerca o cabeza de tornillo y apoyo.

μ_a = Coeficiente de rozamiento de la rosca.

El orificio que alojará al tornillo es de 3 mm de diámetro. Se asumirá que el recubrimiento será cadmiado con cadmiado.

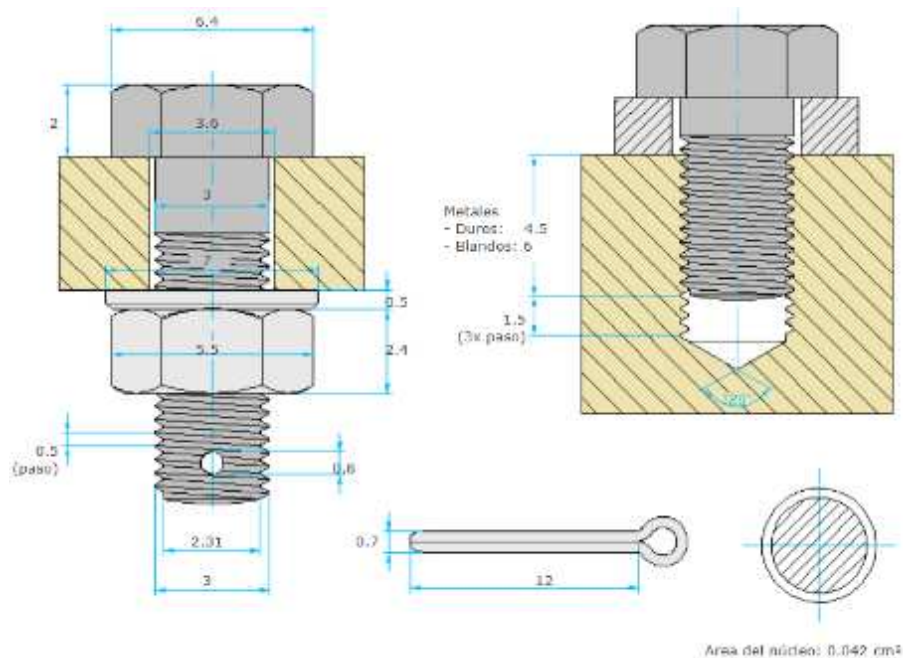


Figura 3-8 Esquema del tornillo de rosca métrica ISO DIN 13 Fuente: [23]

- Obtención de variables

$V =$ De 0.6 a 0.8 del límite elástico	→	$V = 0.6$	Anexo 3.1
$E = 34$ daN/mm ²	→	Para tornillos clase 4.8	Anexo 3.1
$d_2 = 2,677$	→	Tornillo M3	Anexo 4
$d_3 = 4,475$	→	Tornillo M3	Anexo 4
$A_s = 5,035$	→	Tornillo M3	Anexo 4
$P = 0.5$	→	Para rosca M3	Anexo 3.1
$\mu_a = 0.58$	→	PMMA	Anexo 5
$\mu_f = 0.1$	→	Asumido entre PMMA y Cadmiado	Anexo 3.2

$$De = D_2 = d_2 = d - 3/4 \cdot H = d - 0,649519 \cdot P = 2.68 \text{ mm}$$

$$Di = D_1 = d_2 - 2 \cdot (H/2 - H/4) = d - 2 \cdot H/4 = d - 1,082532 \cdot P = 2.46 \text{ mm}$$

- Cálculo de la carga a tracción del tornillo

$$F_t = \frac{V E A_s}{\sqrt{1 + 3 \left[\frac{4}{1 + \frac{d_3}{d_2}} \left(\frac{P}{\pi d_2^2} + 1.155 u_a \right) \right]^2}}$$

$$F_t = \frac{(0.7)(34)(5.035)}{\sqrt{1 + 3 \left[\frac{4}{1 + \frac{4.475}{2.677}} \left(\frac{0.5}{\pi(2.677)^2} + 1.155 (0.58) \right) \right]^2}}$$

$$F_t = 59.74 \text{ daN}$$

- Cálculo del Momento de apriete en da Nm

$$M = \frac{F_t}{1000} [0.161 P + 0.583 u_a d_2 + 0.25 u_f (De + Di)]$$

$$M = \frac{59.74}{1000} [0.161 (0.5) + 0.583 (0.58)(2.677) + 0.25 (0.1)(2.68 + 2.46)]$$

$$M = 0.066 \text{ daNm}$$

$$M = 0.66 \text{ Nm}$$

- Análisis del anillo sujetador del embudo

El criterio de falla a ser analizado es la teoría de Coulomb Mohr el cual es empleado en el análisis y diseño de partes mecánicas que estén bajo cargas estáticas en materiales considerados como frágiles. [24]

Primero se procedió a modelar las partes mediante software CAD tomando cada medida de las placas y tornillos usados para el análisis por elementos finitos de la estructura mostrado en la figura 3.9.

Para el correcto análisis en el software CAE se debe crear un nuevo material el cual debe poseer las propiedades mecánicas del acrílico para su análisis bajo la teoría de Coulomb Mohr.

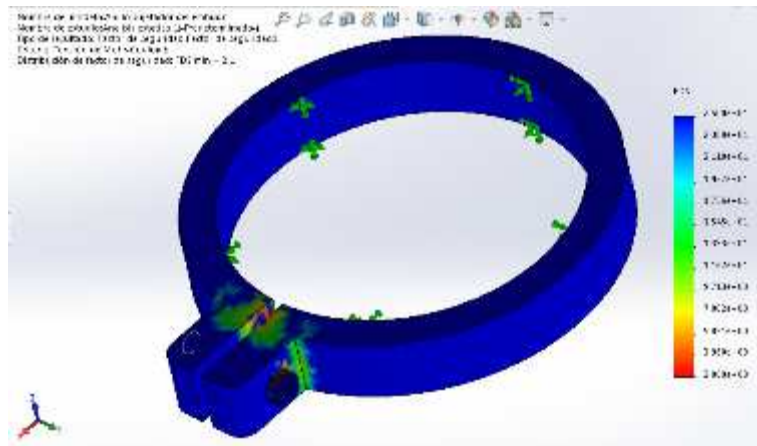


Figura 3-9 Análisis del anillo sujetador de embudo para un factor de seguridad de 3. Fuente: Autor

Después de comprobar la resistencia mediante el análisis por elementos finitos del anillo sujetador del embudo a un par de apriete de 0.66 N.m y a un factor de seguridad de 3 el cual puede cumplir los requerimientos en peso de los demás elementos y no se someterá a ningún cambio de geometría.

3.2.7. Diseño del capuchón para sensores y actuadores.

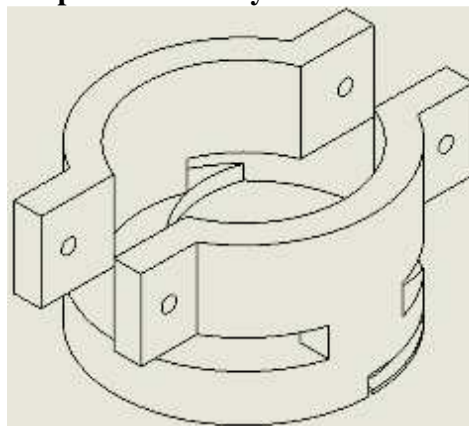


Figura 3-10 Capuchón de alojamiento de sensores y actuadores. Fuente: Autor

Para el diseño del capuchón se partirá de un prototipo dibujado en un software CAD (Figura 3.10) donde se toma en cuenta los siguientes requerimientos para su diseño.

1: Alojamiento para el embudo de Hall: El embudo debe calzar de tal forma que permita una correcta interacción entre los sensores y actuadores.

2: Alojamiento para el eje del servomotor: El alojamiento para el eje del servomotor debe estar ubicado de tal manera que permita controlar el paso del polvo mediante un tapón.

3: Orificio para el tornillo de apriete: Su función es servir de guía para que un perno M4 pueda lograr apretar el embudo para evitar que el capuchón con los demás dispositivos se desprenda del embudo.

4: Alojamiento para el cuerpo del servomotor: Su ubicación debe ser de tal manera que pueda acercarse el eje del servomotor mediante el tapón al orificio de salida del embudo.

5: Alojamiento para los sensores de cercanía: Los sensores deben estar ubicados de tal manera que se pueda mejorar la sensibilidad al paso del polvo y detecte el corte o fin del flujo del polvo a través del embudo.

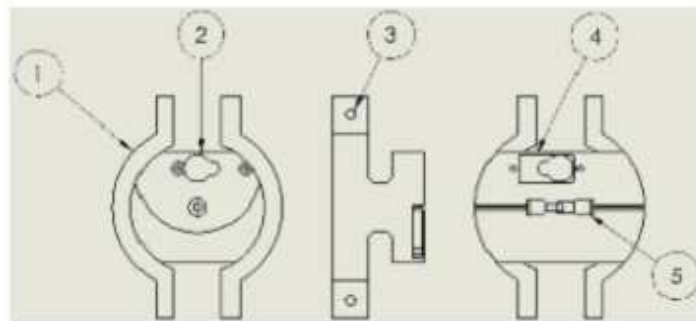


Figura 3-11 Variables de diseño para el capuchón para de sensores y actuadores. Fuente: Autor

Una vez obtenida la geometría (Figura 3.11) en base a los requerimientos de diseño se procede a pasar a un formato reconocible para impresión 3D como STL (Standard Triangle Language). [25]

El material para la impresión será un termoplástico comúnmente utilizado para la impresión de partes en 3D, como es el PLA (poliácido láctico). Anexo 2

3.2.8. Diseño de la compuerta de apertura de la salida del embudo.

Para el diseño de la compuerta es necesario conocer las dimensiones y espacio de apertura que se tiene en el orificio inferior del embudo.

1. Embudo de Hall.
2. Posición 2 de la compuerta de apertura para paso del polvo.
3. Posición 1 por defecto de la compuerta para retención del polvo.
4. Posición del eje del servomotor.

Realizando el análisis de trayectoria permisible mediante relaciones de posición en el orificio de salida del embudo y el tapón de la compuerta a la salida del embudo mostrado en la figura 3.12 se determinó que el ángulo de desplazamiento de la compuerta se desarrollará en un rango de 25° a 27° el cual garantiza que no existirá interferencia de choque entre el embudo y la compuerta e interferencia del paso del polvo y la compuerta.

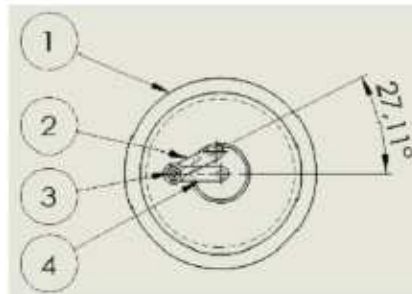


Figura 3-12 Determinación de ángulo de desplazamiento para la compuerta a la salida del embudo. Fuente: Autor

3.2.9. Cabina cubre flujos.

La cabina debe ser diseñada de tal manera que aloje de manera correcta a las placas soportes del embudo junto con el embudo y capuchones sensorizados.

Los materiales necesarios para el análisis de la cabina cubreflujos se muestran en la tabla 3.26

Tabla 3-26 Tabla de componentes de la cabina cubreflujos. Fuente: Autor

Lista de materiales para cabina	
Componente	Cant.
Placa soporte de embudo superior	1
Placa soporte de embudos inferiores	2
Compuerta de la cabina	1
Anillo sujetador del embudo	3
Placas para recipiente	3
Placa inferior de la cabina	4
Material: Acrílico de 3mm, 6mm y 9mm	

3.2.9.1. Análisis de la cabina cubreflujos.

Los pesos estimados para el análisis se muestran en la tabla 3.27:

Tabla 3-27 Tabla de pesos estimados que actúan en la cabina cubre flujos. Fuente: Autor.

Tabla de pesos estimados	
Componente	Peso (Kg)
Cabina cubreflujos	2,28
Embudos y capuchones	2,552
Total=	4,832

El criterio de falla a ser analizado es la teoría de Coulomb Mohr el cual es empleado en el análisis y diseño de partes mecánicas que estén bajo cargas estáticas en materiales considerados como frágiles. [24]

Primero se procedió a modelar las partes mediante software CAD tomando cada medida de las placas y tornillos usados para el análisis por elementos finitos de la estructura.

Para el correcto análisis en el software CAE se debe crear un nuevo material el cual debe poseer las propiedades mecánicas del acrílico para su análisis bajo la teoría de Coulomb Mohr como se muestra en la figura 3.13 y 3.14.

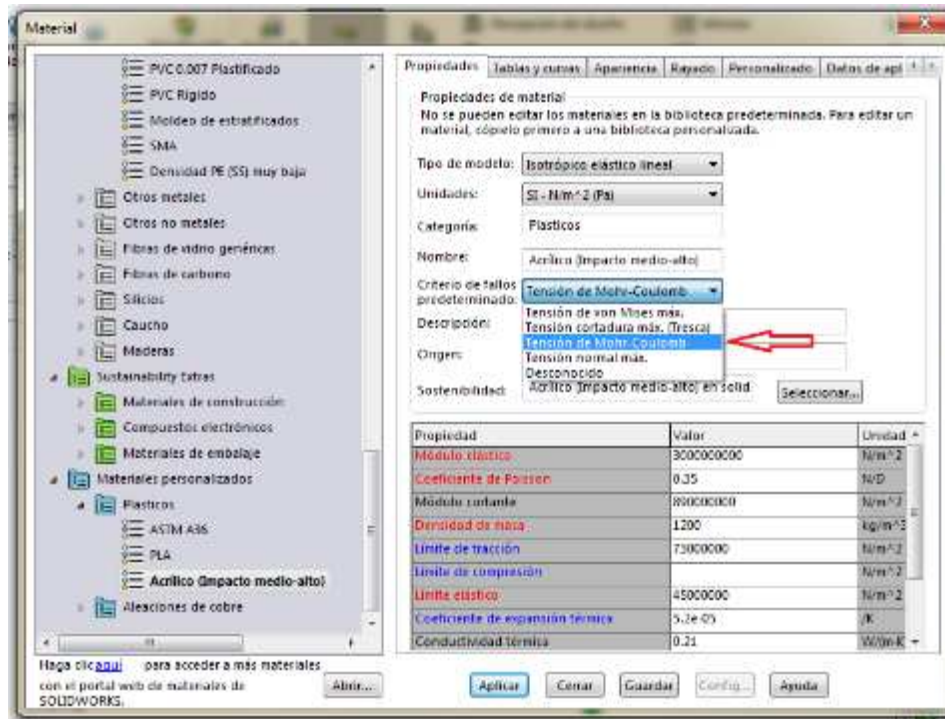


Figura 3-13 Determinación de la teoría de falla en el software CAE Fuente: Autor.



Figura 3-14 Factor de seguridad de 3 para el criterio de falla coulomb Mohr. Fuente: Autor

Una vez determinado en el criterio de falla dentro del material se analizará bajo las cargas previamente establecidas en la tabla 3-27 mediante la utilización de elementos finitos para su análisis mostrado en la figura 3.15.

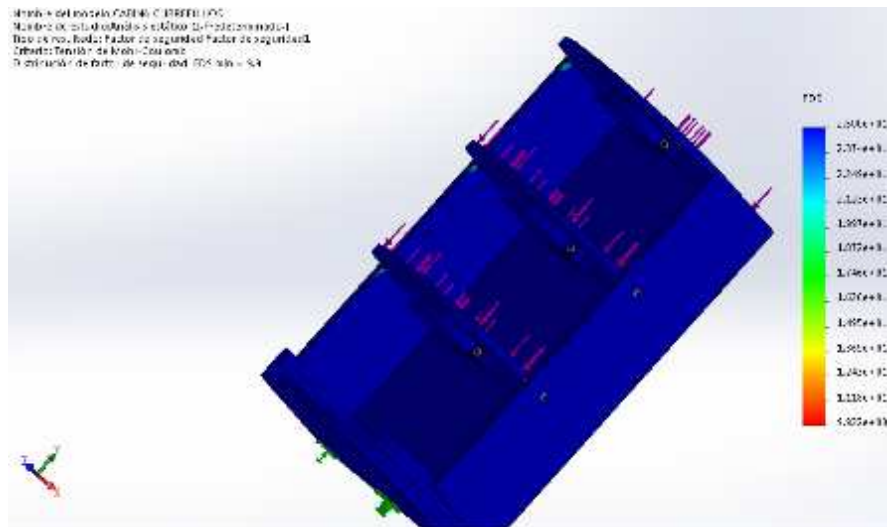


Figura 3-15 Análisis por elementos finitos de la cabina cubreflujos. Fuente: Autor

Después de comprobar la resistencia mediante el análisis por elementos finitos del ensamblaje de la cabina contra flujos a un factor de seguridad de 3 el cual puede cumplir los requerimientos en peso de los demás elementos y no se someterá a ningún cambio de geometría.

3.2.10. Parámetros de automatización del flujómetro de Hall.

3.2.10.1. Descripción del sistema de funcionamiento de la prueba de fluidez a través del embudo de Hall bajo la norma ISO 4490 de forma convencional.

La prueba se lo realiza de forma manual en el cual se sigue el siguiente proceso.

1. Pesar 50 gr de polvo metálico.
2. Colocar en el embudo de Hall y sellar la salida del embudo mediante la colocación del dedo índice limpio y seco.
3. Tomar el tiempo que tarda en fluir el polvo metálico a través del embudo mediante un cronómetro una vez que se de apertura al paso del polvo en la salida del embudo transcurrido con una precisión de 0,1 s.
4. Realizar 3 mediciones y anotar los tiempos, Se calcula la media aritmética de los resultados de tres determinaciones y se informa del tiempo en segundos para 50 gr, con una precisión de 1 s. Cuando se deba utilizar un factor de corrección

3.2.10.2. Operalización de variables de automatización.

La Operalización de variables obtenidas para la automatización del flujómetro de Hall se muestra en la tabla 3.28

Tabla 3-28 Operalización de variables para la automatización del Flujómetro de Hall. Fuente: Autor

Concepto	Categoría	Indicadores	Herramientas
Automatización del flujómetro de Hall mediante instrumentos de medición y control	Control - Máquina	Pc Funcionamiento	software Autómata programable
	Medición de tiempos de flujo del polvo metálico	Mediciones de tiempos, Resultados de la fluidez del polvo metálico	temporizador interfaz usuario máquina
	Posición de compuertas de apertura y cierre del orificio inferior del embudo de Hall	Existencia de interferencias u obstrucciones en el paso del polvo por el embudo	Actuadores Sensores

3.2.11. Materiales para la automatización.

Los componentes necesarios principales para lograr el correcto funcionamiento de la máquina e interfaz con el usuario son los siguientes:

- Autómata programable.
- Actuador tipo compuerta.
- Sensores de proximidad.
- Periférico de salida.

3.2.12. Selección del autómata programable.

Para la selección del dispositivo que se encargará de almacenar y ejecutar la programación deberá ajustarse a los siguientes parámetros de selección mostrados en la tabla 3.29.

Tabla 3-29 Parámetros de selección del dispositivo programable. Fuente: Autor.

Criterio	Fiabilidad	Compatibilidad	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Fiabilidad		1	1	3	0,375
Compatibilidad	0,5		1	2,5	0,313
Costo	1	0,5		2,5	0,313
			Suma	8	1

Las alternativas que se manejaran son las siguientes:

Alternativa 1. Tarjeta Arduino.

Alternativa 2. Tarjeta DAQ

Alternativa 3. Tarjeta Raspberry

- **Parámetro fiabilidad**

Tabla 3-30 Evaluación de las alternativas en el parámetro fiabilidad. Fuente: Autor

Fiabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,462
Alternativa 2	0		0,5	1,5	0,231
Alternativa 3	1	0		2	0,308
			Suma	6,5	1,000

- **Parámetro compatibilidad**

Tabla 3-31 Evaluación de las alternativas en el parámetro compatibilidad. Fuente: Autor

Compatibilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,400
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,333
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,267
			Suma	7,5	1,000

- **Parámetro costo**

Tabla 3-32 Evaluación de las alternativas en el parámetro costo. Fuente: Autor

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,455
Alternativa 2	0		0	1	0,182
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,364
			Suma	5,5	1,000

- **Conclusión.**

Tabla 3-33 Selección del dispositivo programable "ponderación final". Fuente: Autor.

Conclusión	Fiabilidad	Compatibilidad	Costo	Σ	Ponderación
Alternativa 1	0,1731	0,1250	0,1420	0,4401	1
Alternativa 2	0,0865	0,1042	0,0568	0,2475	3
Alternativa 3	0,1154	0,0833	0,1136	0,3124	2

Interpretación: El dispositivo programable más apto a cumplir con los parámetros de diseño establecidos, es la alternativa 1 mostrado en la tabla 3.33 que corresponde a la utilización de un Arduino para llevar a cabo la automatización de la máquina.

3.2.13. Flujograma de procesos para automatización del flujómetro de Hall

Con el fin de reducir el tiempo que tomaría en volver a colocar el polvo al embudo para las mediciones sucesivas con la ejecución del proceso convencional de la norma ISO 4490 y el embudo de Hall. Se propone el siguiente flujograma de procesos a realizar por parte

de la máquina “flujómetro de Hall”. A fin de reducir tiempos, reducir el error humano que se puede producir al momento de medir los tiempos. (figura 3.16)

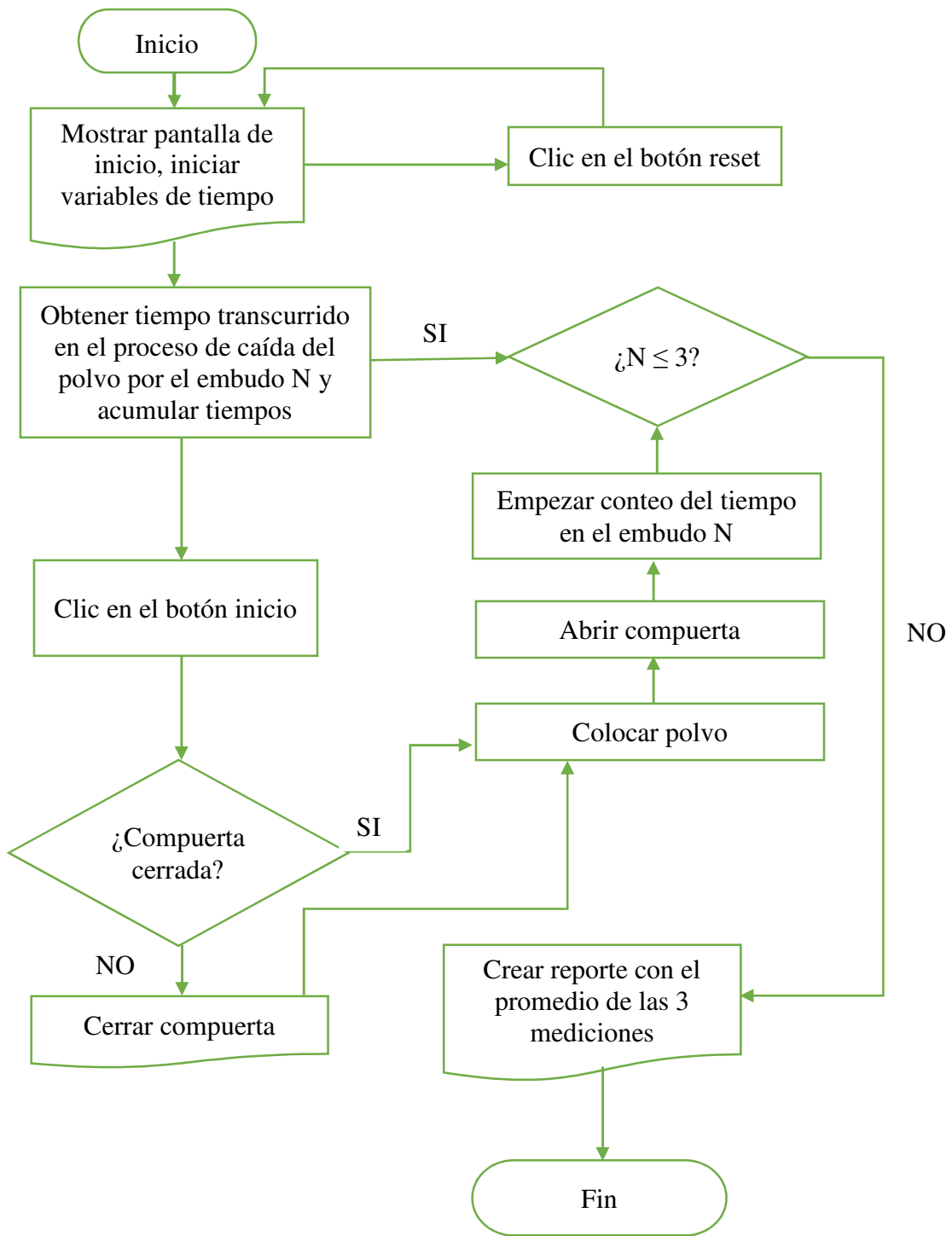


Figura 3-16 Diagrama de flujo de proceso para el flujómetro de Hall. Fuente: Autor.

3.2.14. Diagrama esquemático de circuito de control.

El circuito de control tal como se muestra en la Figura 3.17, es alimentado a 12v mediante una fuente externa.

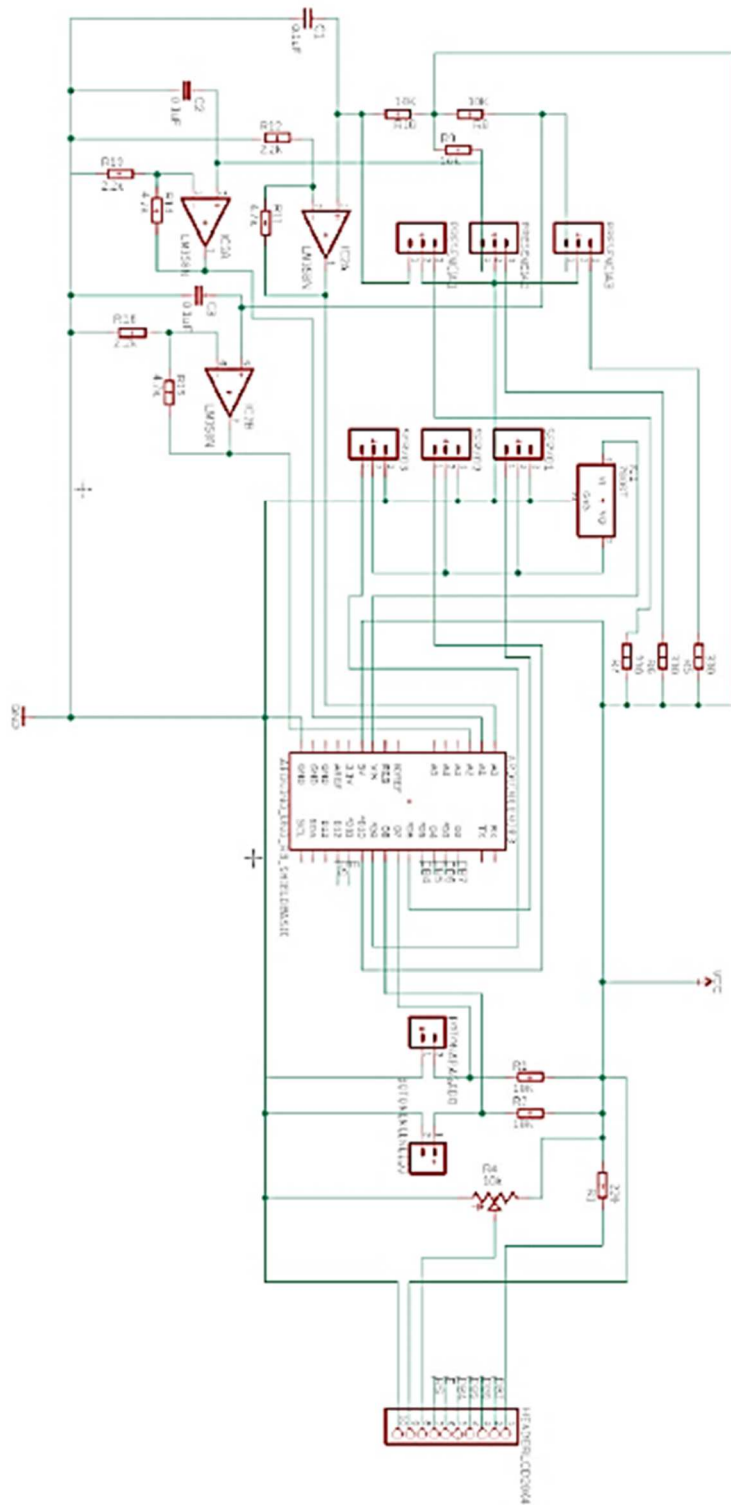


Figura 3-17 Circuito de control del flujómetro de Hall. Fuente: Autor



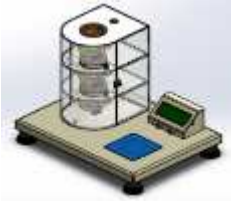




3.2.15. Codificación del proceso de control.









El dispositivo programable a utilizar será un ARDUINO UNO el cual utiliza un lenguaje de programación C++ con el fin de automatizar los procesos manuales que se realiza para lograr la medición de la fluidez del polvo metálico. Anexo 6

3.3. Lista de componentes.

Los componentes que conforman el flujómetro de Hall se muestran en la tabla 3.34.

Tabla 3-34 Lista de componentes del flujómetro de Hall. Fuente: Autor

		UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO					
		Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica					
		Carrera de Ingeniería Mecánica					
Fecha:	09/01/2019	Máquina	X	Equipo		Sistema	
				Universidad Técnica de Ambato			
							
				Código	1-LAB-HALL		
Características Técnicas							
SISTEMA	COMPONENTE			CÓDIGO	FIG.		
ESTRUCTURAL	Bancada			FH-ES-01			
	Caja LCD			FH-ES-02			
	Cabina cubreflujos			FH-ES-03			

	Placas soportes	FH-ES-04	
MEDICIÓN	Embudos	FH-ME-01	
NIVELACIÓN	Pies niveladores	FH-NI-01	
	Nivel de burbuja	FH-NI-02	
CONTROL	3 Servo motores SG90	FH-CN-01	
	2 Amplificador operacional Lm358	FH-CN-02	
	3 Led infrarrojos 5mm	FH-CN-03	
	2 Photo transistores 5mm	FH-CN-04	

	2 Pulsadores	FH-CN-05	
	LCD	FH-CN-06	
	Regulador 7805	FH-CN-07	
	Resistencias	FH-CN-08	
	Potenciómetro 10 k	FH-CN-09	
	3 Capacitores 0,1uf	FH-CN-10	
	ARDUINO UNO	FH-CN-11	

	Fuente 12 V	FH-CN-12	
ACCESORIOS	Brocha	FH-AC-01	
	Bandeja de vidrio	FH-AC-02	
	Desarmadores	FH-AC-03	

3.4. Presupuesto

En dicho apartado se especificará el costo total del proyecto tomando en cuenta todos los aspectos económicos que intervinieron en el proyecto directa e indirectamente los cuales se detallará a continuación:

3.4.1. Costos directos:

Como costos directos tenemos lo siguiente:

Materia prima: son todos los materiales sujetos a cambios mediante procesos de manufactura para la obtención de nuestro producto que se muestran en la tabla 3.35.

Tabla 3-35 Lista de materiales utilizados en la construcción y automatización del flujómetro. Fuente: Autor.

Listado de Materiales				
N ^a	CNT	Descripción	Val. Unit.	Val. T.
1	1/2	Plancha de 3 mm acero ASTM A 36	\$ 120,00	\$ 60,00
2	1/4	Plancha de acrílico transparente 3mm	\$ 110,00	\$ 27,50
3	1/4	Plancha de acrílico transparente 9mm	\$ 160,00	\$ 40,00
4	1/4	Plancha de acrílico transparente 6mm	\$ 131,00	\$ 32,75
5	1	Eje de bronce SAE 65 diámetro 3 1/4 pulgadas peso de 4Kg	\$ 175,00	\$ 175,00
6	1	Pegamento para acrílico 1 litro	\$ 25,00	\$ 25,00

Listado de Materiales				
N^a	CNT	Descripción	Val. Unit.	Val. T.
7	4	Pies niveladores anti vibración	\$ 1,00	\$ 4,00
8	1	Nivel de burbuja ojo de buey	\$ 15,00	\$ 15,00
9	3	Servos motores SG90	\$ 11,67	\$ 35,00
10	3	Photo Transistores 5mm	\$ 0,65	\$ 2,00
11	3	Diodos Infrarrojos 5mm	\$ 2,00	\$ 6,00
12	1	Arduino Uno	\$ 25,00	\$ 25,00
13	1	Pantalla LCD 100x40	\$ 15,00	\$ 15,00
14	2	Botones momentáneos	\$ 0,50	\$ 1,00
15	3	Resistencias 330 Ohm	\$ 0,667	\$ 2,00
16	1	Potenciómetro 10K	\$ 1,00	\$ 1,00
17	21	Tornillo M3	\$ 0,19	\$ 4,00
18	6	Tornillo M5	\$ 0,17	\$ 1,00
19	6	Tornillo M6	\$ 0,17	\$ 1,00
Total				\$ 472,25

Mano de obra directa: se detallará en la tabla 3.36 los costos que intervienen en el proyecto de forma directa como son costos de procesos de fabricación, insumos, horas hombre, etc.

Tabla 3-36 Costos de mano de obra indirecta. Fuente: Autor

Proceso	Tiempo (horas)	Costo (\$/hora)	Costo total (\$)
Corte Laser	8	11	88
Dobladora	5	2	10
Soldadura SMAW	3	10	30
Impresión 3D	30	2	60
Torneado	20	4	80
Fresado	5	5	25
Pulido	30	1	30
Ensamblaje	16	1	16
Total			\$339

3.4.2. Costos indirectos

Dichos costos son específicamente los que no intervienen directamente con la construcción del producto así mostrado en la tabla 3.37.

Tabla 3-37 Costos indirectos. Fuente: Autor.

Ítem	Tiempo (horas)	Costo (\$/hora)	Costo total
Diseño e ingeniería	150	4	600
Planos	10	4	40
Movilización	1	20	20
Alimentación	1	30	30
Impresiones	1	30	30
Internet	1	50	50
Total			\$770

3.4.3. Costo total del proyecto

El costo total del proyecto es la suma de los costos de materia prima, mano de obra y costos indirectos como se puede apreciar en la tabla 3.38.



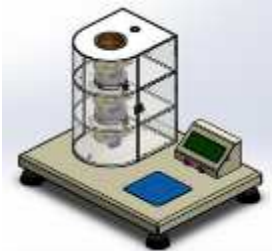

Tabla 3-38 Costo total del Flujómetro de Hall. Fuente: Autor.

Rubro	Costo (\$)
Costos de materia prima e insumos	500.25
Costos de mano de obra directa	339
Costos indirectos	770
Total	1609.25

3.5. Especificaciones técnicas.

Es necesario contar con las especificaciones técnicas del flujómetro de Hall para una correcta manipulación y mantenimiento del mismo, mostrado en la tabla 3.39

Tabla 3-39 Ficha técnica del flujómetro de Hall. Fuente: Autor.

	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO				
	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica				
	Carrera de Ingeniería Mecánica				
Fecha:	09/01/2019	Máquina	X	Equipo	Sistema
				Universidad Técnica de Ambato	
					
				Código	0
Características Técnicas					
Serie	1	Capacidad de medición	50 gr		
Marca	UTA FICM	Precisión del temporizador	0,1 s		
Procedencia	Ecuatoriana	Voltaje	12 V		
Modelo	1	Amperaje	0,4 A		
Fuente de alimentación	Eléctrica	Servo motores	SG 90		
Polvo de trabajo	Polvo Fino	Torque servo motor	2,5 kg cm		
Controlador	Arduino	Peso total	22 Kg		
Embudo	Norma ISO 4490				
Componentes principales					
Embudo					
Servo motores		Estructura base			
Sensores de proximidad		Pantalla LCD			
Controlador Arduino					
Función: mide el tiempo invertido para que 50 g de un polvo metálico fluyan a través del orificio de un embudo calibrado de medidas normalizadas.					

3.6. Construcción del flujómetro de Hall

3.6.1. Diagrama de proceso

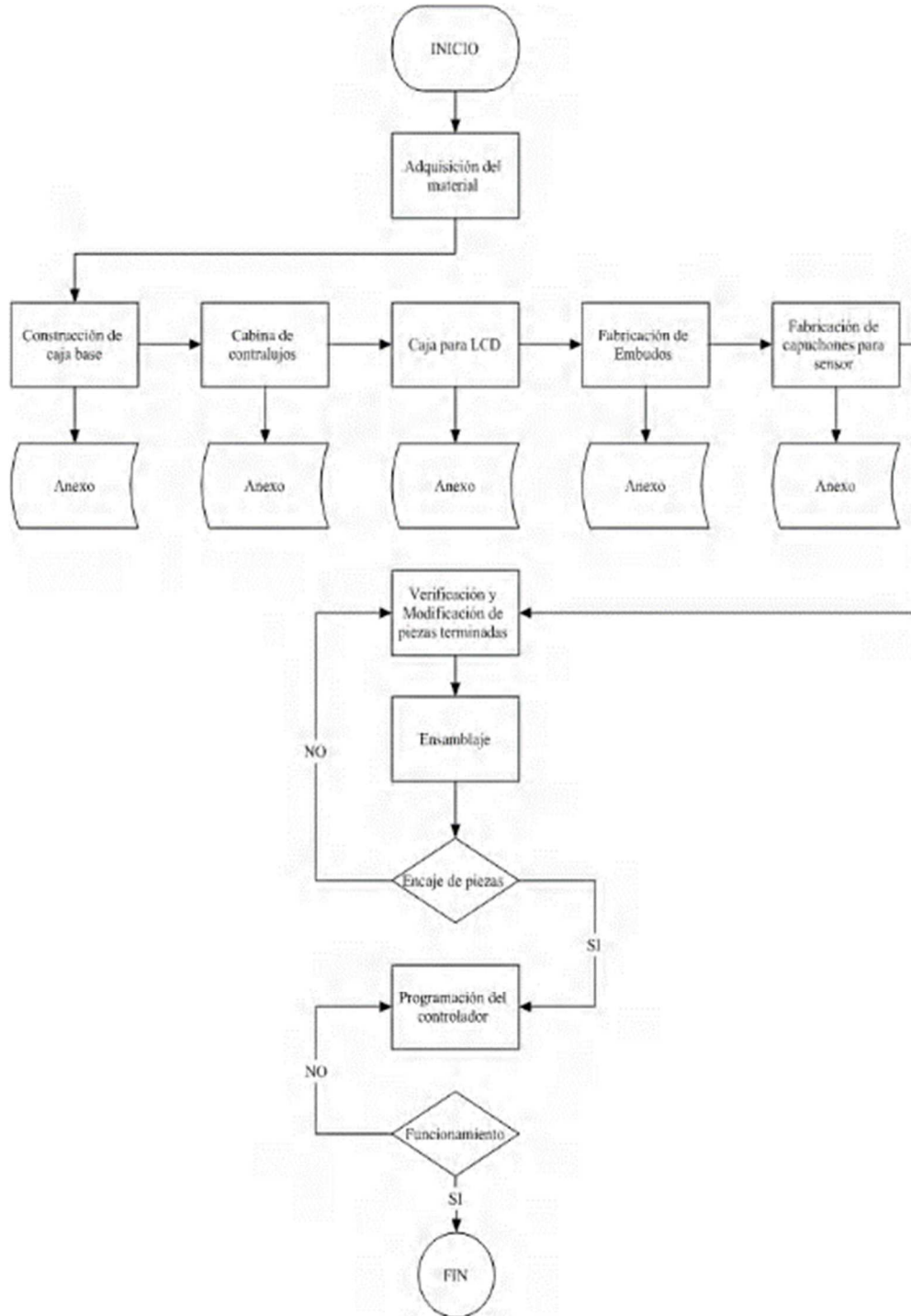


Figura 3-18 Diagrama de procesos para la construcción del flujómetro de Hall. Fuente: Autor.

3.6.2. Especificaciones de los procesos

– Construcción de la caja base

Para iniciar con la construcción del flujómetro comenzamos con la caja base la cual de una plancha de acero de 2 mm se trazó las medidas de la misma y se procedió a cortar, después de cortado se procedió a doblar las paredes laterales y soldarlas.

Ya al concluir se trazó las medidas de la tapa y se realizaron los huecos para los tornillos correspondientes como se aprecia en la figura 3.19.



Figura 3-19 Construcción de la caja base. Fuente: Autor

– Cabina de contraflujos

Al conformar la cabina de contraflujos utilizamos el acrílico, con la plancha del material indicado trazamos las medidas correspondientes para las tapas laterales y traseras, se procedió a pegar con el pegamento PG PLUS según las especificaciones de los planos.

Para la pared circular frontal de la cabina se realizó el siguiente proceso:

Se cortó la plancha de acrílico según la medida de la pared, luego se ingresó en un horno estándar para calentar el material y poder doblarlo, con un molde de tubería circular se le adaptó para que tome la forma cilíndrica de la pared y nuevamente se lo ingreso al horno, después del tiempo prudente para que tome forma se le retiró para que pueda enfriarse.

Con las planchas de acrílico más gruesas se cortaron las placas soporte y se procedió a ensamblar todo el conjunto con tornillos como se muestra en la figura 3.20.



Figura 3-20 Fabricación de la cabina cubreflujos. Fuente: Autor.

– **Caja para LCD**

En el conformado de la caja que alojara la pantalla LCD se ejecutó los siguientes pasos: Cortamos la plancha de acero A36 según las medidas proporcionadas por los planos, luego se dobla las paredes laterales y se prosigue a soldarlas.

Para después taladrar en las partes especificadas para los torillos y ensamblar con la caja base de la máquina como se muestra en la figura 3.21.



Figura 3-21 Construcción de la caja para LCD. Fuente: Autor.

– **Fabricación de Embudos**

Los embudos (figura 3.22) se fabricaron con un torno CNC HASS con los parámetros especificados en la figura 3.23. a continuación:



Figura 3-22 Fabricación de embudos de Hall. Fuente: Autor

Material	Velocidad corte v(m/min)		Velocidad avance a (mm/min)
	Desbaste	Acabado	
Cobre y aluminio	60-80	80-100	80-120
Bronce común	25-28	35-40	80
Acero dulce	16-20	25-30	60
Acero semiduro	12-16	18-22	30
Acero duro	10-15	16-18	25
Acero muy duro	8-12	13-15	20
Fundición gris	12-15	18-20	45

Figura 3-23 Selección de velocidades en función del material. Fuente: [26]

– **Fabricación de capuchones para el sensor**

Los capuchones mostrados en la figura 3.24 se procedieron a conformar mediante una impresora 3D con los planos de la parte:

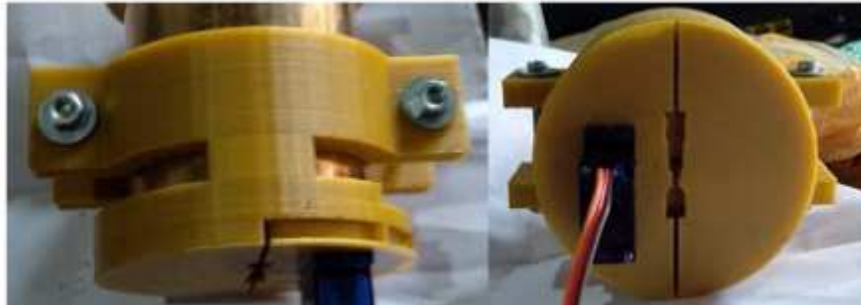


Figura 3-24 Impresión 3D de los capuchones. Fuente: Autor

3.7. Funcionamiento

3.7.1. Pruebas de funcionamiento y calibración.

Para las pruebas de calibración para la apertura y cierre de la compuerta y detección de los sensores se realizó mediante el método de prueba y error, el cual mediante observación del paso del polvo y con la ayuda de un cronómetro de mano se tomó tiempos con el fin de asegurar el cierre oportuno de la compuerta de paso del polvo.

3.7.2. Calibración de las compuertas de apertura y cierre de paso del polvo metálico.

- Prueba 1 con ángulo de 85°

Tabla 3-40 Apertura de compuertas con 85° de detección. Fuente: Autor.

Prueba de calibración 1			
Tipo de prueba:		Apertura de compuertas	
Material		Arena granalla 150	
Masa:		25 gr	
Ángulo de detección de los sensores.		85°	
	Medición de la máquina (s)	Medición con cronómetro manual (s)	% Error
T1	27,85	25,25	10,30
T2	27,25	24,45	11,45
T3	27,14	24,52	10,69
Promedio	27,41	24,74	10,81

Observaciones: Ya que la forma de percepción de los sensores no detecta de forma exacta el cambio de señal al momento de detectar el fin del paso del polvo se debe calcular el ángulo de desviación que percibe el controlador al momento del cambio de señal para poder asegurar el cierre oportuno de la compuerta, el error global es de 10.81 el cual es muy alto y se debe tratar de reducir el error a menor de 1.

- Prueba 2 con ángulo de 83°

Tabla 3-41 Apertura de compuertas con 83° de detección. Fuente: Autor.

Prueba de calibración 2			
Tipo de prueba:		Apertura de compuertas	
Material		Arena granalla 150	
Masa:		25 gr	
Ángulo de detención de los sensores.		83°	
Medición de la máquina (s)		Medición con cronómetro manual (s)	% Error
T1	26,71	25,17	6,12
T2	25,93	24,44	6,10
T3	26,03	24,51	6,20
Promedio	26,22	24,71	6,14

Observaciones: Al reducir el ángulo de detección se puede observar que el error global disminuye de 10.81 a 6.14 el cual se puede decir que se debe seguir reduciendo el ángulo hasta reducir el error a menor de 1.

- Prueba 3 con ángulo de 81°

Tabla 3-42 Apertura de compuertas con 81° de detección. Fuente: Autor.

Prueba de calibración 3			
Tipo de prueba:		Apertura de compuertas	
Material		Arena granalla 150	
Masa:		25 gr	
Ángulo de detención de los sensores.		81°	
Medición de la máquina (s)		Medición con cronómetro manual (s)	% Error
T1	25,87	25,28	2,33
T2	25,06	24,49	2,33
T3	25,1	24,51	2,41
Promedio	25,34	24,76	2,36

Observaciones: al reducir el ángulo de detección se puede observar que el error global disminuye de 6.14 a 2.36 el cual se puede decir que se debe seguir reduciendo el ángulo hasta reducir el error a menor de 1.

- Prueba 4 con ángulo de 80°

Tabla 3-43 Apertura de compuertas con 80° de detección. Fuente: Autor.

Prueba de calibración 4			
Tipo de prueba:		Apertura de compuertas	
Material		Arena granalla 150	
Masa:		25 gr	
Ángulo de detención de los sensores.		80°	
Medición de la máquina (s)		Medición con cronómetro manual (s)	% Error
T1	25,31	25,24	0,28
T2	24,55	24,48	0,29
T3	24,6	24,52	0,33
Promedio	24,82	24,75	0,30

Observaciones: El ángulo óptimo de detección puede ser valorado en el rango de los 80° puesto que el error global disminuye de 2.36 a 0.30 el cual se puede decir que es un error aceptable y permisible por la norma ISO 4490.

3.7.3. Calibración de la lectura de tiempo.

Para la lectura del inicio del conteo del tiempo se considera a partir de la salida del polvo del capuchón del embudo, y dando por terminado al momento de que termine el paso del polvo, se debe calibrar el tiempo de retardo que toma en el transcurso desde la salida del embudo hasta la posición de los sensores.

El método de calibración para los temporizadores es de prueba y error, primero se debe medir la distancia entre la salida del embudo y la posición media de los sensores. (Figura 3.25)

Donde:

1. Salida del embudo.
2. Posición media de los sensores.

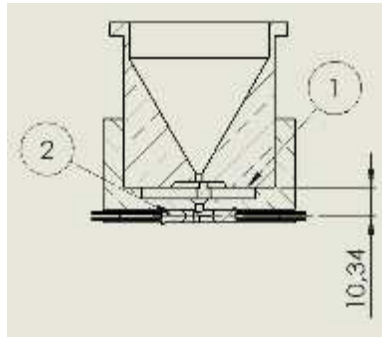


Figura 3-25 Determinación del espacio entre salida del embudo posición media de los sensores. Fuente: Autor.

Esta prueba se realizó dando la decisión del inicio del conteo al momento de abrir la compuerta y parando el temporizador al momento de cruzar por la posición media de los sensores, este valor es de $0.27s \pm 0.002$.

Por lo tanto, el retardo al conteo del tiempo será de 0.27s al momento de la apertura de la compuerta.

3.7.4. Comprobación de medidas y acabados superficiales de los embudos.

Para la comprobación de las medidas de los embudos se toma como referencia la norma ISO 4490 (figura 3.26) , como instrumento de medición se utilizó un calibrador pie de rey, rugosímetro. Las medias obtenidas se muestran en la tabla 3.44.

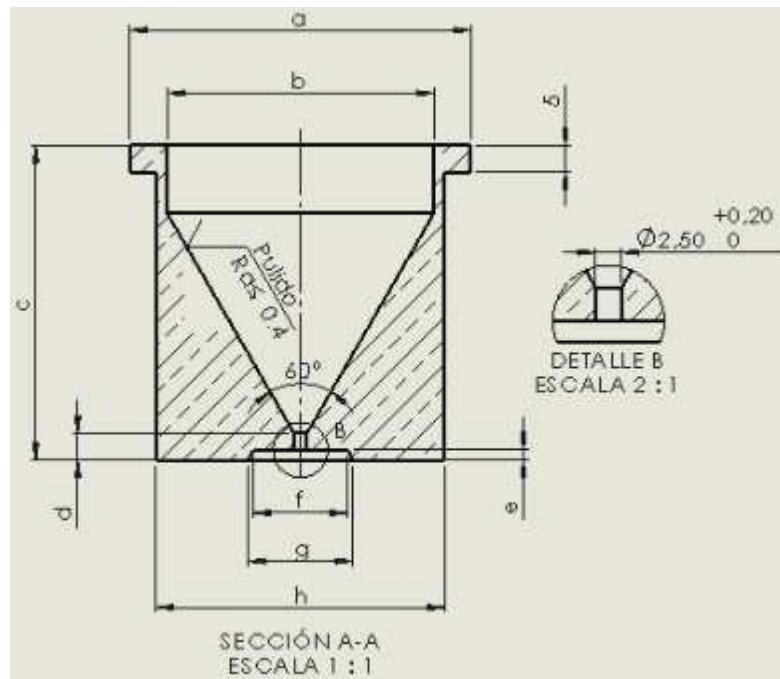


Figura 3-26 Medidas de referencia del embudo de Hall. Fuente: ISO 4490

Tabla 3-44 Comprobación de dimensiones de los embudos. Fuente: Autor

	Dimensiones (mm)								Ángulo	Rugosidad	Orificio salida mm
	a	b	c	d	e	f	g	h			
Embudo 1	65	50,8	60	5,2	2	18	20	55	60°	0,024 μm	2.5
Embudo 2	65	50,8	60	5,2	2	18	20	55	60°	0,026 μm	2.5
Embudo 3	65	50,8	60	5,2	2	18	20	55	60°	0,028 μm	2.5

Como se puede observar las dimensiones, tolerancias y acabados superficiales cumplen con los requerimientos impuestos en la norma ISO 4490. Los métodos de medición se especifican en el Anexo 7.

3.7.5. Calibración de los embudos.

La velocidad de flujo de la muestra de referencia debe determinarse mediante el método anterior. Si el tiempo de flujo ha cambiado y se sale del intervalo $(40,0 \pm 0,5)$ s, debe utilizarse un factor de corrección cuando se midan otros polvos. Este factor de corrección se obtiene dividiendo 40,0 por este nuevo valor para el polvo de esmeril de origen chino. Se recomienda que el usuario verifique periódicamente si es necesaria o no una corrección. Se recomienda que, antes de adoptar un factor de corrección, se investigue la causa del cambio. Si el tiempo de flujo ha disminuido, es probable que su uso frecuente haya desgastado el orificio y se justifique un (nuevo) factor de corrección.

Un aumento en el tiempo de flujo puede indicar un recubrimiento de polvo blando en el orificio. Este recubrimiento debería eliminarse cuidadosamente y repetirse el ensayo de calibración.

Se recomienda dejar de usar el embudo calibrado después de que la velocidad de flujo de la muestra de referencia haya disminuido a menos de 37 s. [1]

3.7.6. Pruebas de funcionamiento.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron con 50gr polvo metálico o arena de granalla a un tamiz de 150 y 50 gr de polvo de cobre a un tamiz de 200 como se muestran en las tablas 3.45 y 3.46 respectivamente

Tabla 3-45 Prueba de funcionamiento 1 con 50gr de Arena granalla 150. Fuente: Autor

Prueba de Funcionamiento 1	
Tipo de prueba:	Medición de fluidez
Material	Arena granalla 150
Masa:	50 gr
Medición de la máquina (s)	
T1	48,33
T2	47,61
T3	48,12
Promedio	48,02
Interpretación: La fluidez del polvo de granalla #150 es de 48,02 s en 50 gr	

Tabla 3-46 Prueba de funcionamiento 1 con 50gr de Polvo de cobre #320. Fuente: Autor

Prueba de Funcionamiento 1	
Tipo de prueba:	Medición de fluidez
Material	Polvo de cobre #320
Masa:	50 gr
Medición de la máquina (s)	
T1	62,16
T2	61,24
T3	61,57
Promedio	61,66
Interpretación: La fluidez del polvo de granalla #150 es de 61,66 s en 50 gr	

3.7.7. Mantenimiento

3.7.7.1. Condiciones de servicio

- Consulte la norma NTE INEN ISO 4490 para el funcionamiento y puesta en marcha del flujómetro correctamente.

- No sobrecargar la máquina con pesos adicionales a los establecidos en las especificaciones técnicas de la misma.
- Asegurarse de proporcionar el voltaje necesario para la máquina de lo contrario no se garantiza el normal funcionamiento del flujómetro.
- Es responsabilidad del encargado del laboratorio la conservación y buen estado de la máquina.

3.7.7.2. Lista de repuestos

- Servo motores
- Sensores de proximidad
- Photo Transistores 5mm
- Diodos Infrarrojos 5mm
- Pantalla LCD 100x40
- Botones momentáneos
- Resistencias 330 Ohm
- Potenciómetro 10K
- Tornillo M3
- Tornillo M5
- Tornillo M6

3.7.8. Instrucciones de uso

- Es necesario un ambiente tranquilo que no influya el viento ni elementos de temperatura externos
- Trabajar a temperatura ambiente.
- Para el montaje o desmontaje de la máquina, cada elemento (tornillos, cajas, soportes, etc.) tiene su ubicación respectiva, revisar los planos y/o especificaciones para su correcto ensamblaje
- Para cada ensayo en el flujómetro revisar que la máquina siempre este limpia libre de impurezas y/o polvos externos que nos remitan resultados erróneos.

Capítulo 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

El proceso durante el desarrollo del presente trabajo de titulación demuestra que:

- Los parámetros necesarios para el diseño del flujómetro de Hall se basó en la normativa ISO 4490 entre los cuales se tomó en consideración el material del embudo de Hall que fue el bronce SAE 40 el cual fue seleccionado en función de la disponibilidad en stock ecuatoriano, económico, fácil de mecanizar y maleable para dar el acabado superficial y rugosidad ≤ 0.4 y se obtuvo un acabado superficial mediante pulido con lijas de agua #100, 150, 200 y 250 donde se obtuvo una rugosidad global igual a 0.028 además de una dureza de 60 HB y una permeabilidad magnética de 1.
- La comprobación de las medidas y tolerancias dimensionales se realizaron mediante la utilización de un calibrador pie de rey con un nonio de 50 divisiones, se consideró como medidas de mayor prioridad al diámetro interno del embudo de 50.8 mm, diámetro a la salida del embudo de 2.5 mm, Ángulo de inclinación del embudo de 60°, longitud del embudo de 60mm, longitud de la caída de la salida del embudo de 3.2 mm, para la verificación del ángulo de caída de 60° se comprobó mediante las propiedades volumétricas obtenidas mediante el software CAD donde nos da 66 mililitros que fueron llenados con aceite y comprobados mediante la observación del llenado del embudo. Por lo tanto, los 3 embudos cumplen con las especificaciones requeridas en la norma ISO 4490.
- El diseño estructural de la máquina se basó en un modelo de 3 embudos dispuestos de forma vertical en función de los requerimientos del ensayo y del usuario, ya que este deberá ser de fácil ensamblaje para su correcto mantenimiento y limpieza de la máquina. Además, la máquina tiene la capacidad de adaptarse a cambio de los embudos y pruebas de fluidez dispuestas en las normas ASTM B213, ASTM B964 e ISO 13517.
- La construcción y automatización del flujómetro de Hall se lo realizó con la utilización de un Arduino UNO además de una rigurosa selección de materiales, procesos de fabricación, elementos electrónicos, en base a factores como durabilidad, confiabilidad, factores de seguridad, costos y funcionamiento. Para la calibración de la detección de

la caída del polvo metálico en los sensores se determinó mediante prueba y error a un ángulo de 80° el cual arroja un error global de los 3 embudos de 0.30% entre la lectura del tiempo de la máquina y la lectura manual mediante un cronómetro.

- Las pruebas de funcionamiento realizadas fueron con polvo metálico de granalla de tamiz #150 el cual arrojó una fluidez de 48,02 s en 50 gr.

4.2 Recomendaciones

- Tener conocimiento previo del funcionamiento y cuidados que debe tener la máquina para una correcta medición.
- Cumplir con los requerimientos en la toma de muestras en base a la normativa ISO 4490 con el fin de que la medición de la fluidez sea confiable.
- Mantener limpio y seco el lugar de funcionamiento además del flujómetro antes, durante y después de la medición.
- Se recomienda la construcción de los embudos normados disponibles en las normas ASTM B213, ASTM B964 e ISO 13517 con el fin de cubrir en su totalidad la variedad de pruebas de fluidez para diferentes morfologías de polvos metálicos.
- Realizar la calibración de los embudos mediante la programación dispuesta en el Arduino e insertar el factor de corrección obtenido mediante la calibración del embudo disponible en la norma ISO 4490 apartado 4.

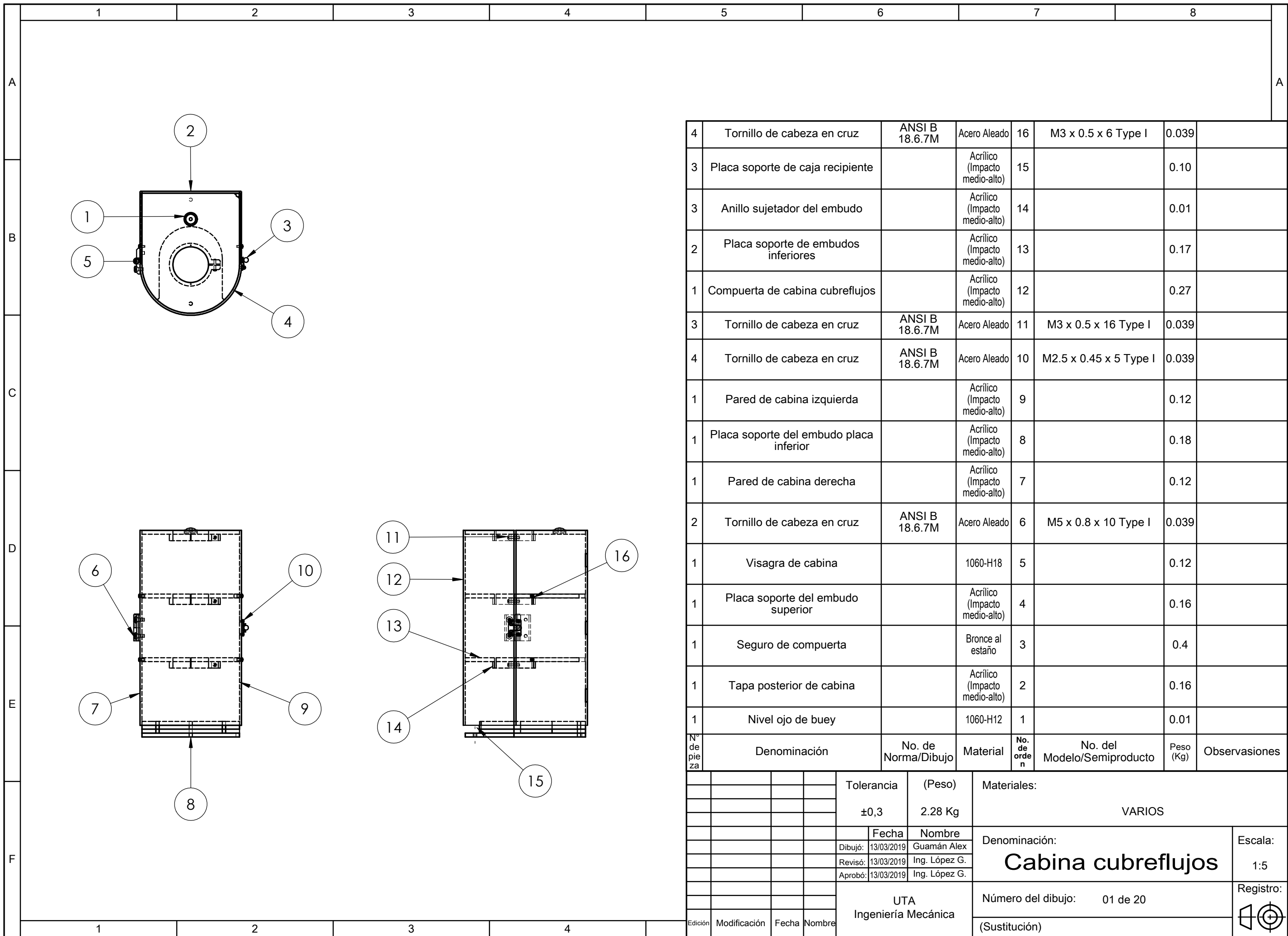
Bibliografía

- [1] Norma ISO 4490, "Determinación de la velocidad de flujo mediante un conducto calibrado" (aparato de Hall). 2014
- [2] Norma ASTM B213-17, "Métodos de prueba estándar para la velocidad de flujo de los polvos".
- [3] Norma ASTM B964, "Métodos de prueba estándar para la velocidad de flujo de los polvo smetálicos utilizando el embudo de Carney". 2013
- [4] Norma ISO 13517, "Determinación del caudal por medio de un embudo calibrado (caudalímetro Gustavsson)". 2013
- [5] L. Bolzoni, "Diseño y Procesado de Aleaciones de Titanio mediante Técnicas", Leganés, Departamento de ciencia e ingeniería de materiales, p. 47, 2011.
- [6] A. Huanacuni, "Estudio de las propiedades metálica rico en 80% de cobre, aleado con zinc para evaluar la dureza y y el desgaste vía la pulvimetalurgia", Facultad de Ingeniería de Procesos, Arequipa, 2015.
- [7] QuimiNet, «www.quiminet.com,» 24 Enero 2012. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/todo-lo-que-queria-saber-acerca-de-los-polvos-metalicos-2668451.htm>. [Último acceso: 23 Julio 2018].
- [8] M. Groover, "Fundamentos de Manufactura Moderna", Tercera edición ed., México: McGraw-Hill, pp. 340-343, 2007.
- [9] L. Zambrano, "Fabricación de polvos metálicos para la industria manufacturera", Tesis de grado, Guayaquil, 1992.
- [10] J. Montes, F. Cuevas y J. Cintas, "Ciencia e ingeniería de los materiales", Madrid: Paraninfo, 2014.
- [11] S. Kalpakjian y S. Schmid, "Manufactura, ingeniería y tecnología", México: Pearson Educación, pp. 177-178, 2008
- [12] P. Albarracín, "Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz", 4ta ed., Antioquia: Litochoa Ltda., 2006.

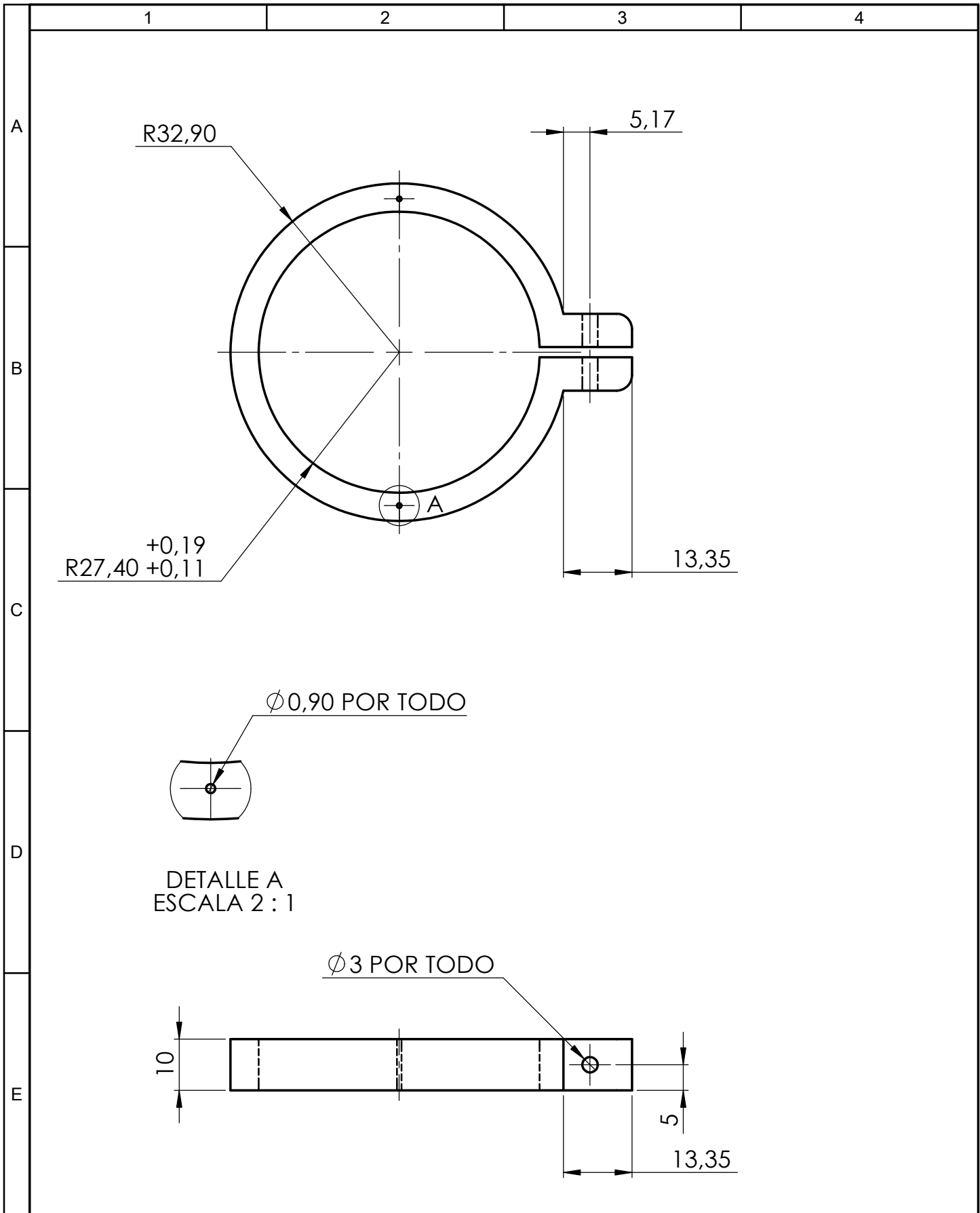
- [13] A. Castillo, "Demostración de un prototipo en vibraciones mecánicas", tesis de grado ed., Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010.
- [14] T. Engaña, «www.eganasl.com,» [En línea]. Available: <https://www.eganasl.com/es/ar/1/catalogo.html>.
- [15] Sarorius y AG, "10 criterios para la elección de la balanza mas adecuada para su proceso", 2014.
- [16] W. Bolton, "Mecatrónica", 5ta ed., Pearson, 2013, pp. 8-15.
- [17] F. Mateus, "Autómatas programables. Visión general", Oviedo: Universidad de Oviedo, 2004.
- [18] A. Manuel, D. Biel, J. Olivé, J. Prat y F. Sánchez, "Instrumentación virtual: Adquisición, procesado y análisis de señales", Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2001.
- [19] Arduino, «[Arduino Store](https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3),» [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.
- [20] S. Kamar, "Introducción a la robótica", México: Mc Graw-Hill, 2008.
- [21] Manoplas y J. Garzón, "Ficha Técnica laminas acrílicas de poli (metil metacrilato)", Medellín, 2005.
- [22] 1. 1.-8. UNE, "Tornillos y tuercas de acero, momentos de apriete". España 1999.
- [23] A. L. Casillas, "Máquinas: Cálculos de taller", 36 ed., Máquinas, 1997.
- [24] C. A. De Castro P, "Teorías de falla bajo cargas estáticas", Salamanca: Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Salamanca, 2014.
- [25] I. 3D, "Filamento PLA: consejos, características y mucho más", 3 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.impresoras3d.com/filamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas/>. [Último acceso: 17 Diciembre 2018].
- [26] E. T. Zabal, "Mecanizado por arranque de viruta: Torneado", Bilbao: Ingenieritza Goi Eskola, 2012.

- [27] Valvias, "Prontuario de roscas métricas DIN", [En línea]. Available: <http://www.valvias.com/prontuario-rosca-metrica-din-13.php?m=1>.
- [28] P. Gher, "Plásticos mecanizables," Marzo 2015. [En línea]. Available: http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_metacrilato.html.
- [29] J. Blum, "Arduino a fondo", Madrid: Anaya Multimedia, 2014.
- [30] A. A. Domínguez Gómez, J. Wójcik Filipek y J. S. Nava Chávez, "Medición de la fuerza de apriete en un ensamble utilizando tornillo autorroscante," "Ideas" Facultad de Ingeniería UEAM, 2009.
- [31] R. Bosh, "Manual de la técnica del automóvil", Octava ed., México: Reverte, 1996.

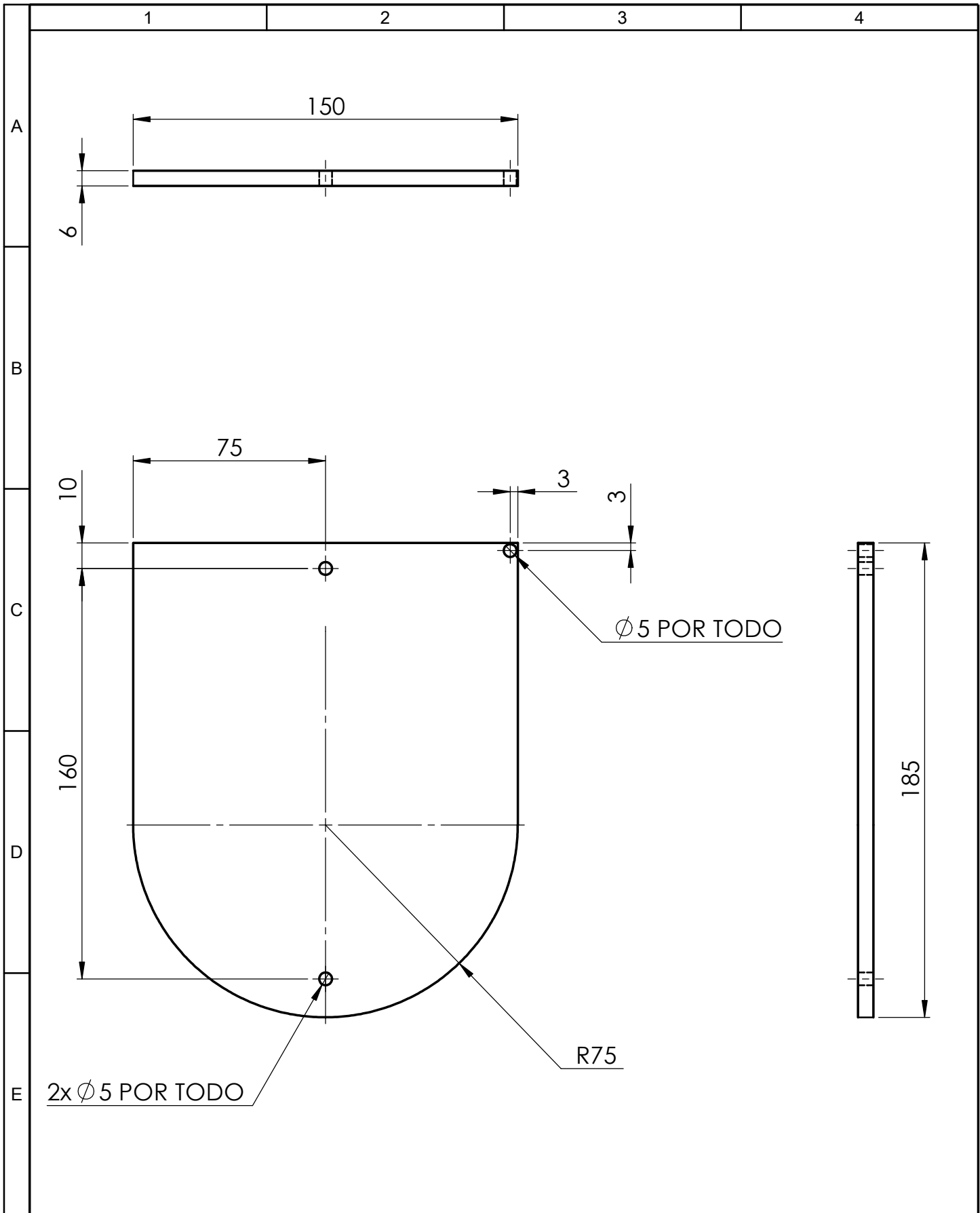
PLANOS



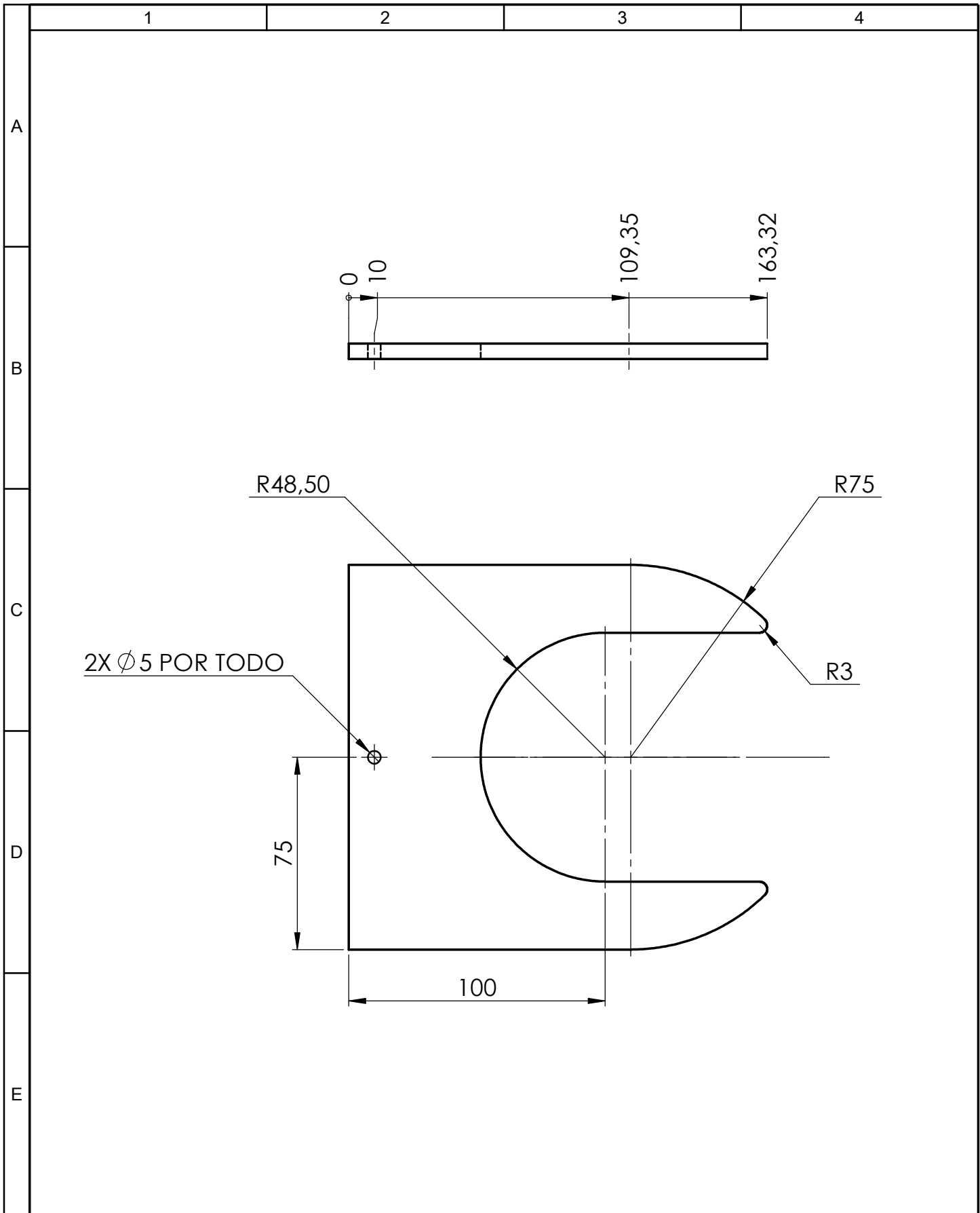
Nº de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso (Kg)	Observaciones
4	Tornillo de cabeza en cruz	ANSI B 18.6.7M	Acero Aleado	16	M3 x 0.5 x 6 Type I	0.039	
3	Placa soporte de caja recipiente		Acrílico (Impacto medio-alto)	15		0.10	
3	Anillo sujetador del embudo		Acrílico (Impacto medio-alto)	14		0.01	
2	Placa soporte de embudos inferiores		Acrílico (Impacto medio-alto)	13		0.17	
1	Compuerta de cabina cubreflujos		Acrílico (Impacto medio-alto)	12		0.27	
3	Tornillo de cabeza en cruz	ANSI B 18.6.7M	Acero Aleado	11	M3 x 0.5 x 16 Type I	0.039	
4	Tornillo de cabeza en cruz	ANSI B 18.6.7M	Acero Aleado	10	M2.5 x 0.45 x 5 Type I	0.039	
1	Pared de cabina izquierda		Acrílico (Impacto medio-alto)	9		0.12	
1	Placa soporte del embudo placa inferior		Acrílico (Impacto medio-alto)	8		0.18	
1	Pared de cabina derecha		Acrílico (Impacto medio-alto)	7		0.12	
2	Tornillo de cabeza en cruz	ANSI B 18.6.7M	Acero Aleado	6	M5 x 0.8 x 10 Type I	0.039	
1	Visagra de cabina		1060-H18	5		0.12	
1	Placa soporte del embudo superior		Acrílico (Impacto medio-alto)	4		0.16	
1	Seguro de compuerta		Bronce al estaño	3		0.4	
1	Tapa posterior de cabina		Acrílico (Impacto medio-alto)	2		0.16	
1	Nivel ojo de buey		1060-H12	1		0.01	
Tolerancia		(Peso)		Materiales:			
±0,3		2.28 Kg		VARIOS			
Fecha		Nombre		Denominación:			Escala:
Dibujó: 13/03/2019		Guamán Alex		Cabina cubreflujos			1:5
Revisó: 13/03/2019		Ing. López G.					
Aprobó: 13/03/2019		Ing. López G.					
UTA Ingeniería Mecánica				Número del dibujo: 01 de 20		Registro:	
				(Sustitución)			



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,05	0.01 Kg	Acrílico (Impacto medio-alto)	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 12/03/2019	Guamán Alex	Anillo sujetador del embudo	1:1
				Revisó: 12/03/2019	Ing. López G.		
				Aprobó: 12/03/2019	Ing. López G.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 02 de 20	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

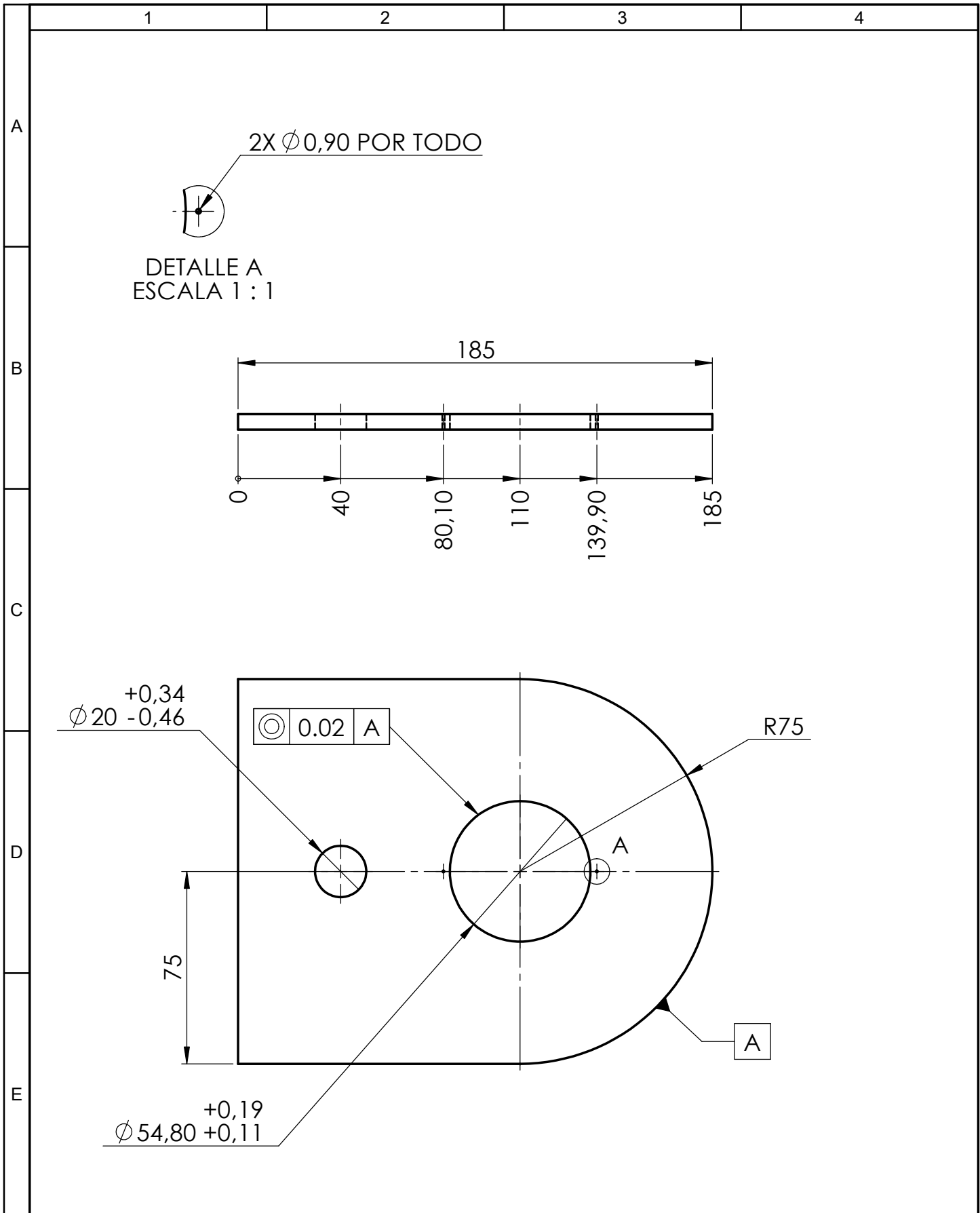


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,05	0.18 Kg	Acrílico (Impacto medio-alto)		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
			Dibujó:	13/03/2019	Guamán Alex			
			Revisó:	13/03/2019	Ing. López G.			
				Aprobó:	13/03/2019	Ing. López G.	1:2	
				UTA		Número del dibujo: 03 de 20		Registro:
				Ingeniería Mecánica				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

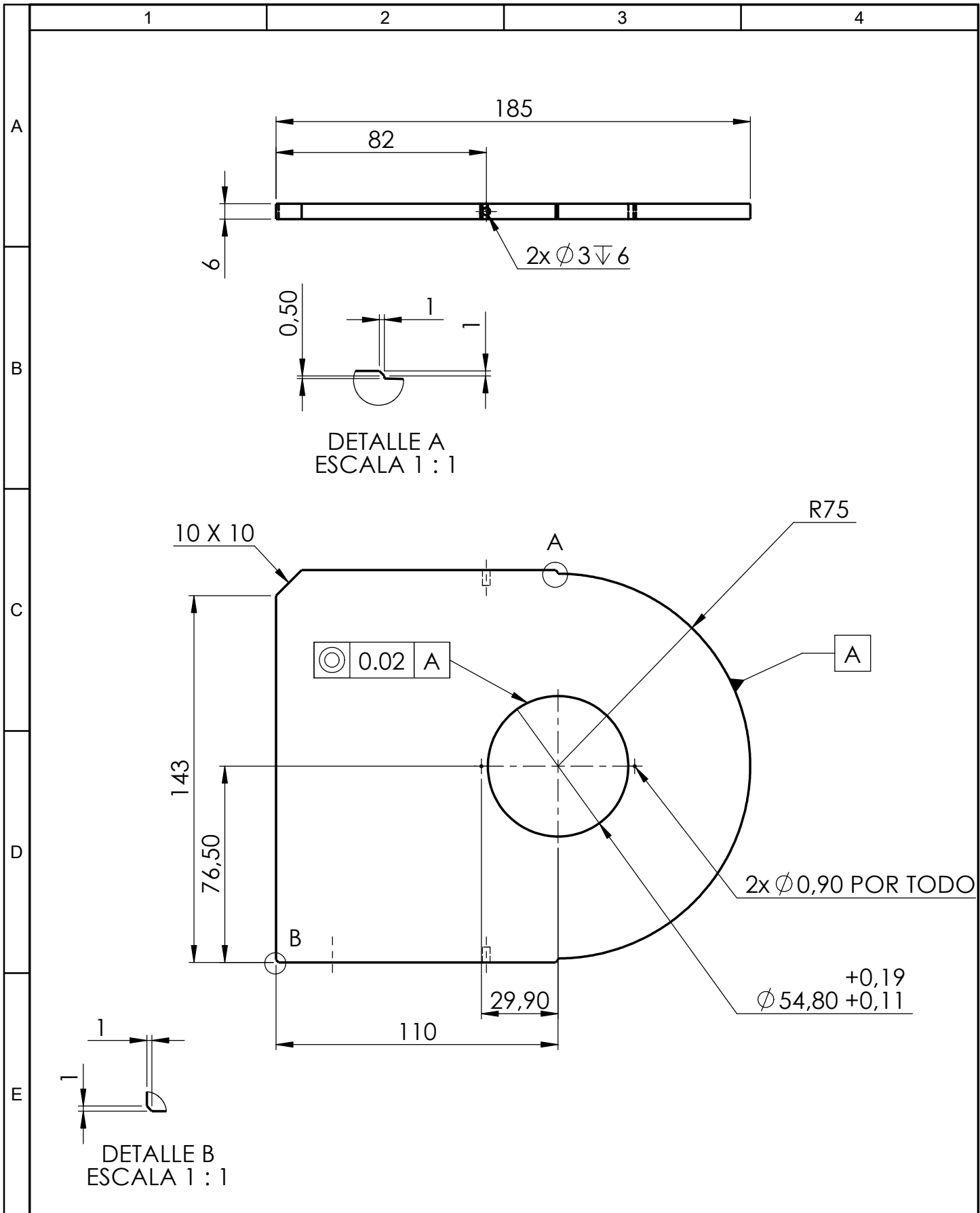


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	0.10 Kg	Acrílico (Impacto medio-alto)		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
			Dibujó:	13/03/2019	Guamán Alex			
			Revisó:	13/03/2019	Ing. López G.			
				Aprobó:	13/03/2019	Ing. López G.	1:2	
				UTA		Número del dibujo: 04 de 20		Registro:
				Ingeniería Mecánica				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

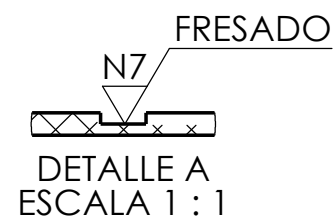
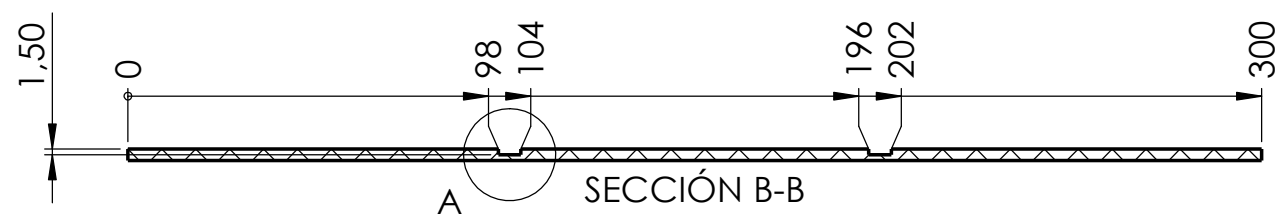
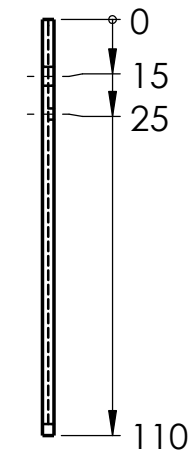
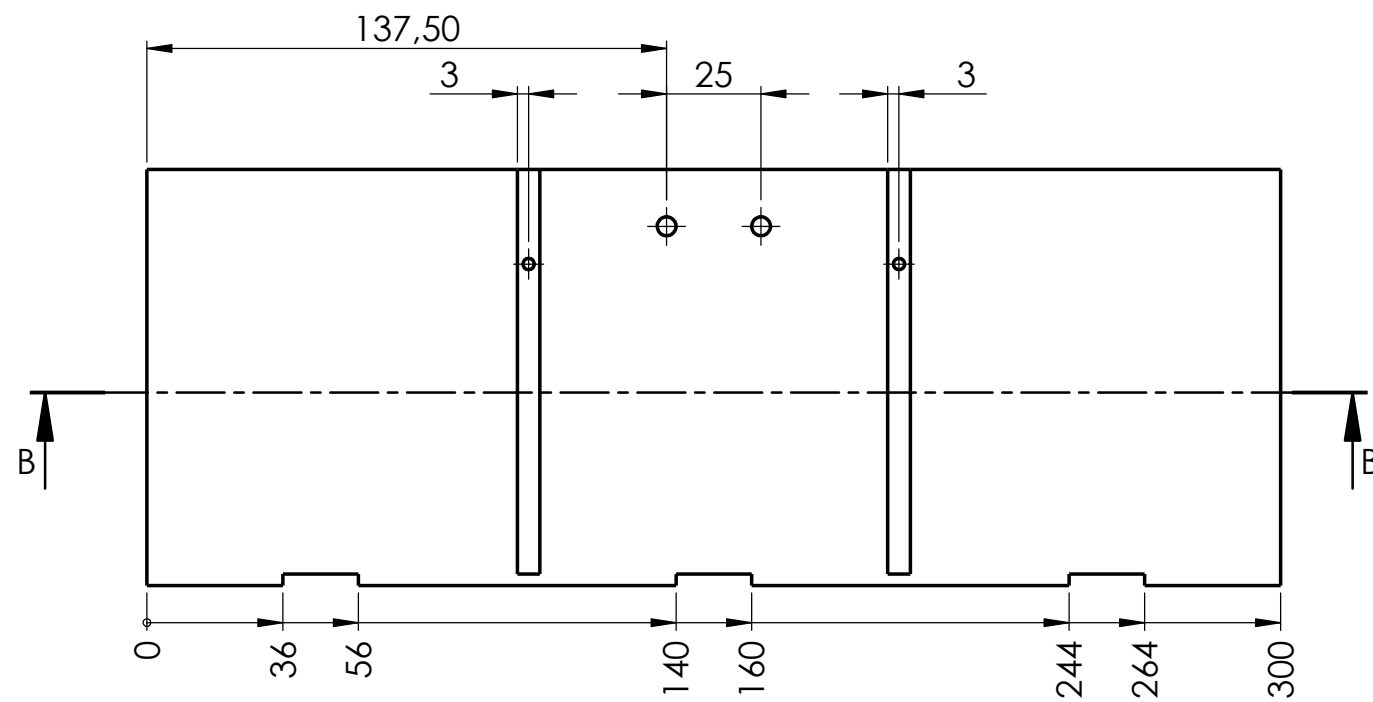
Placa soporte de caja recipiente



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,05$	0.16 Kg	Acrílico (Impacto medio-alto)	
				Fecha	Nombre	Denominación: Placa soporte del embudo superior	Escala:
			Dibujó:	13/03/2019	Guamán Alex		1:2
			Revisó:	13/03/2019	Ing. López G.		
				Aprobó:	13/03/2019	Ing. López G.	Registro:
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 05 de 20	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,05$	0.17 Kg	Acrílico (Impacto medio-alto)	
				Fecha	Nombre	Denominación: Placa soporte de embudos inferiores	Escala: 1:2
			Dibujó:	13/03/2019	Guamán Alex		
			Revisó:	13/03/2019	Ing. López G.		
				Aprobó:	13/03/2019	Ing. López G.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	06 de 20
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	Registro:



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.12Kg	Acrílico (Impacto medio-alto)	
					Fecha	Nombre	Denominación: Pared de cabina derecha
				Dibujó:	13/03/2019	Guamán Alex	
				Revisó:	13/03/2019	Ing. López G.	
				Aprobó:	13/03/2019	Ing. López G.	Número del dibujo: 07 de 20
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Registro: 	

1

2

3

4

Edición

Modificación

Fecha

Nombre

UTA
Ingeniería Mecánica

Número del dibujo: 07 de 20

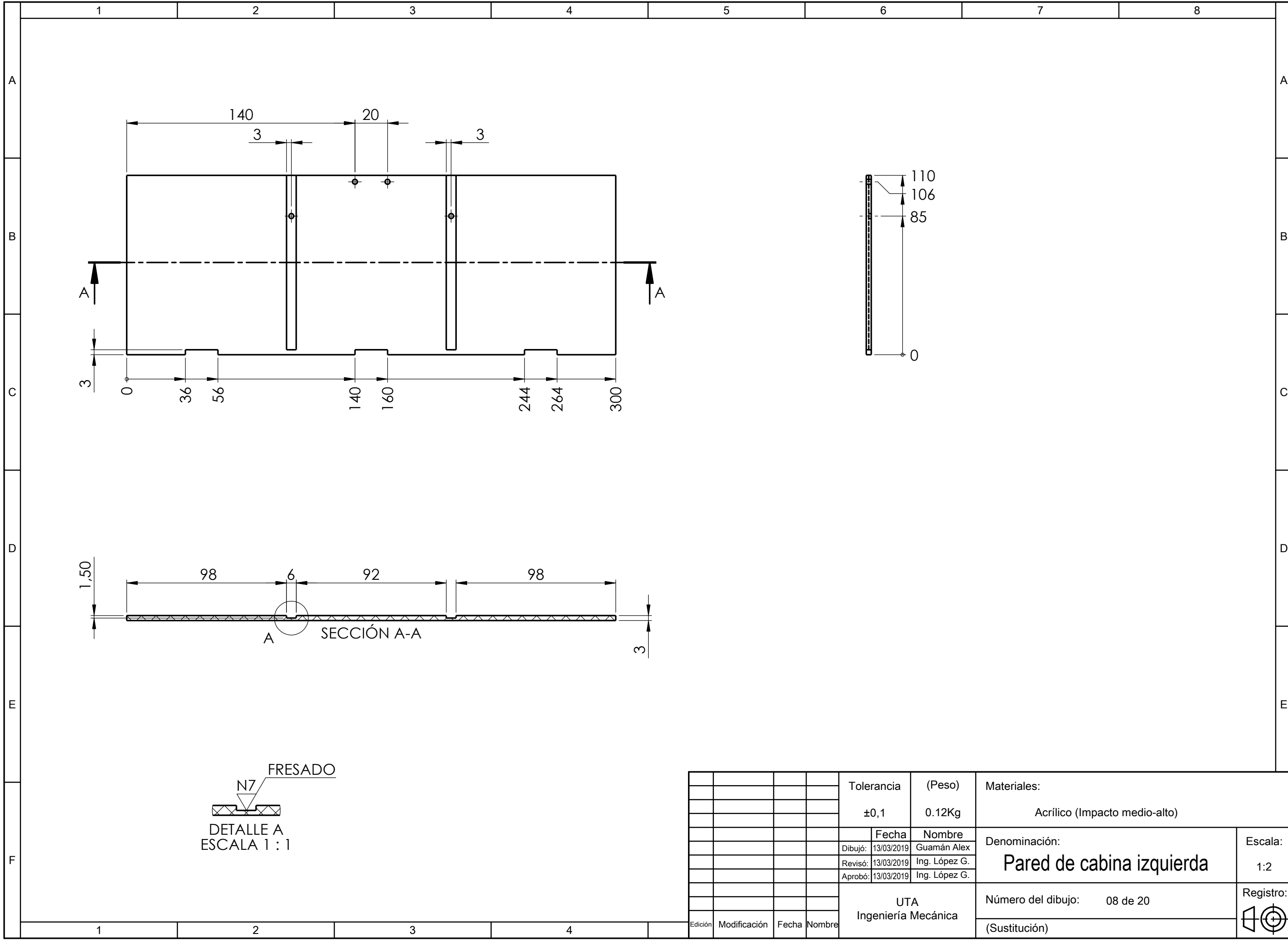
(Sustitución)

Escala:

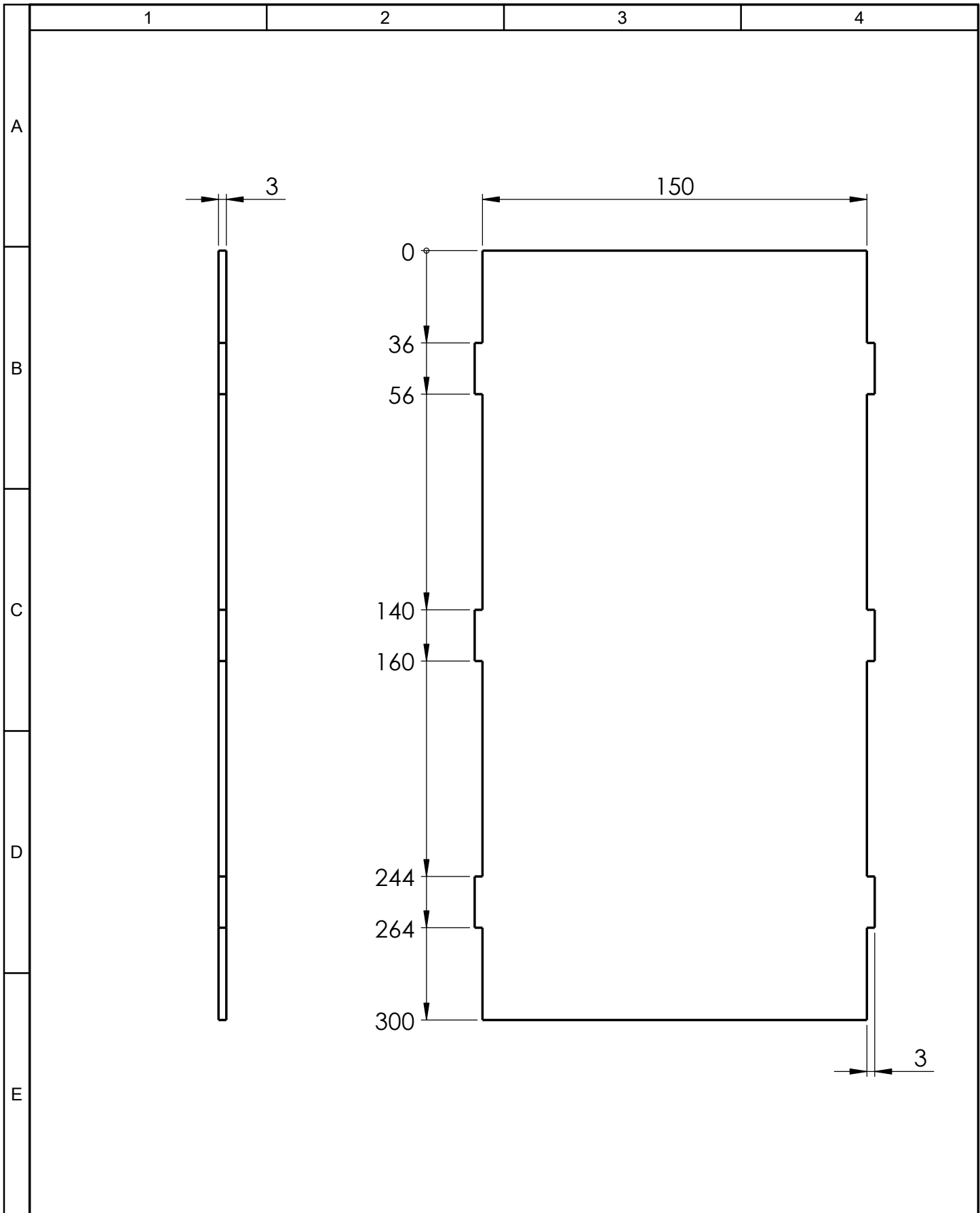
1:2

Registro:

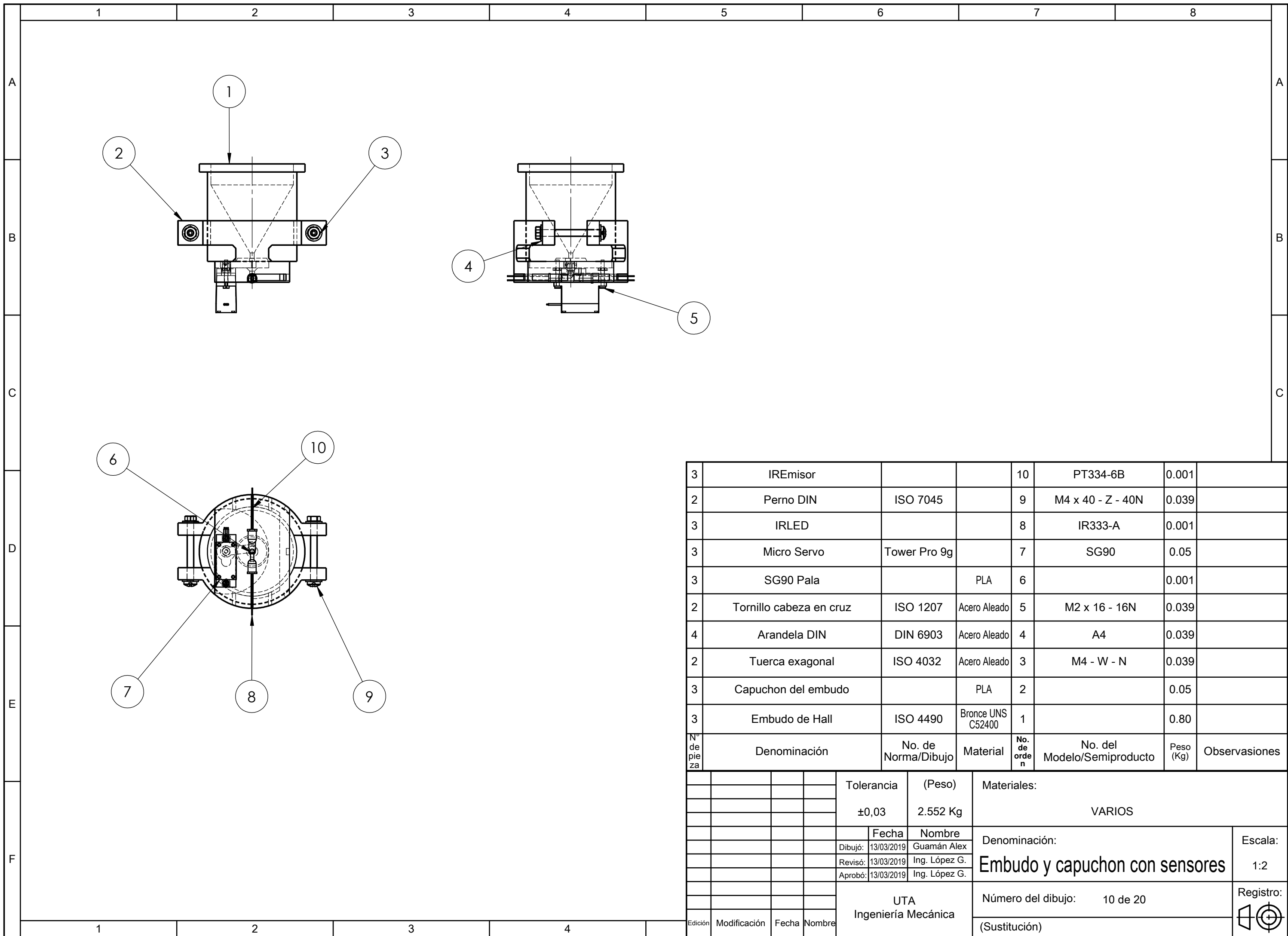




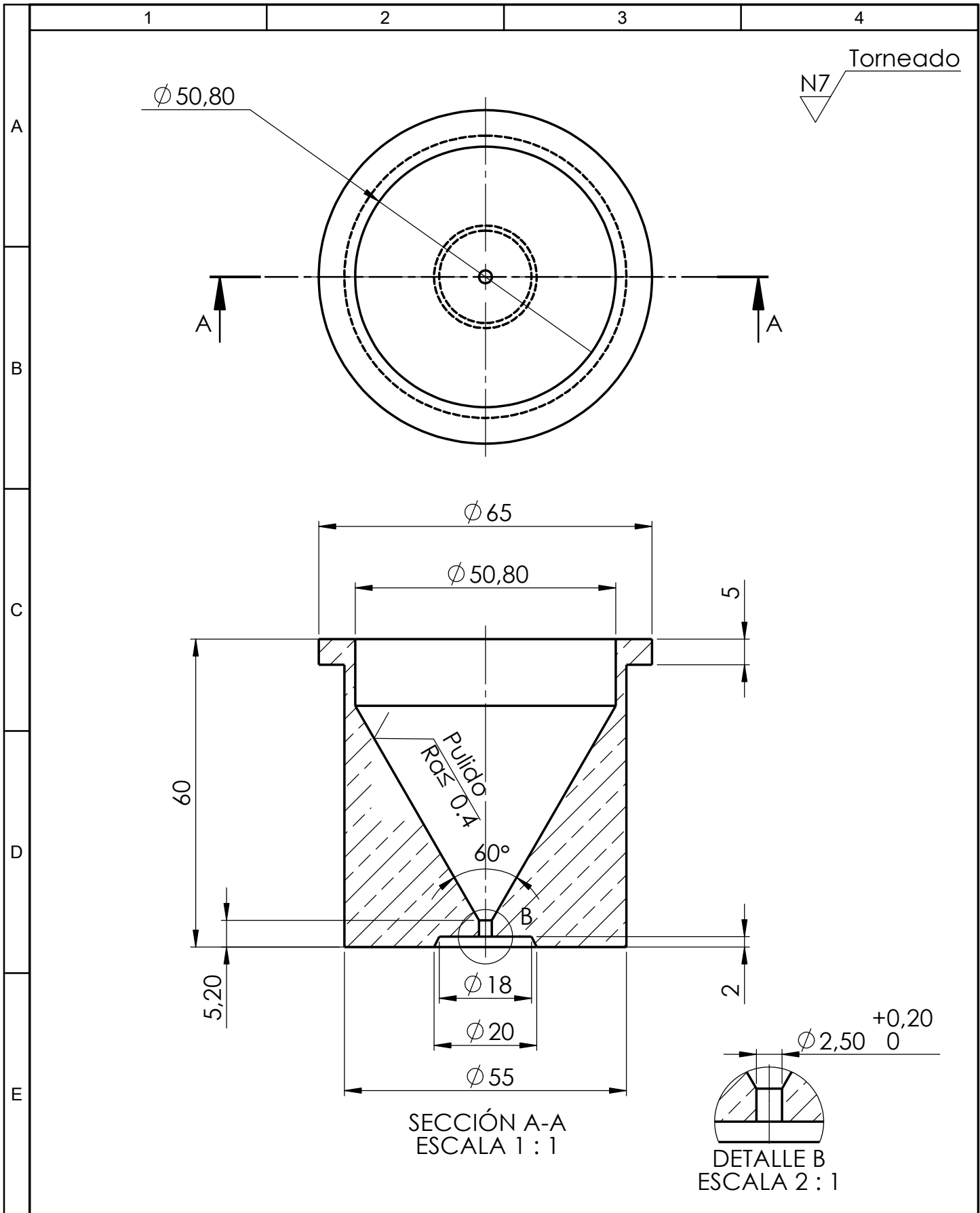
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.12Kg	Acrílico (Impacto medio-alto)	
					Fecha	Nombre	Denominación: Pared de cabina izquierda
				Dibujó:	13/03/2019	Guamán Alex	
				Revisó:	13/03/2019	Ing. López G.	
				Aprobó:	13/03/2019	Ing. López G.	Escala: 1:2
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	08 de 20
						(Sustitución)	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



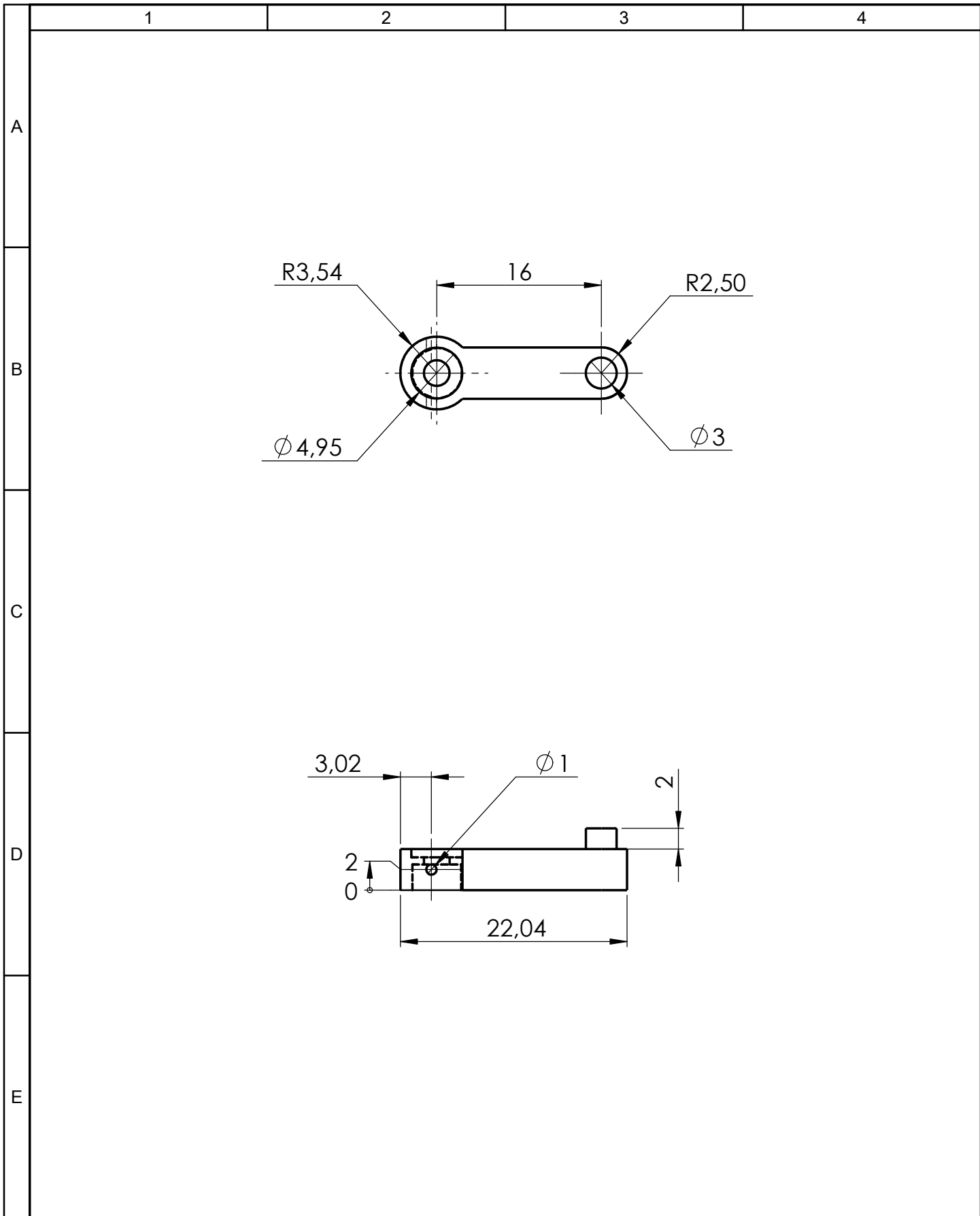
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.01 Kg	Acrílico (Impacto medio-alto)	
				Fecha	Nombre	Denominación: Pared posterior de cabina	Escala: 1:2
				Dibujó: 13/03/2019	Guamán Alex		
				Revisó: 13/03/2019	Ing. López G.		
				Aprobó: 13/03/2019	Ing. López G.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 09 de 20	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



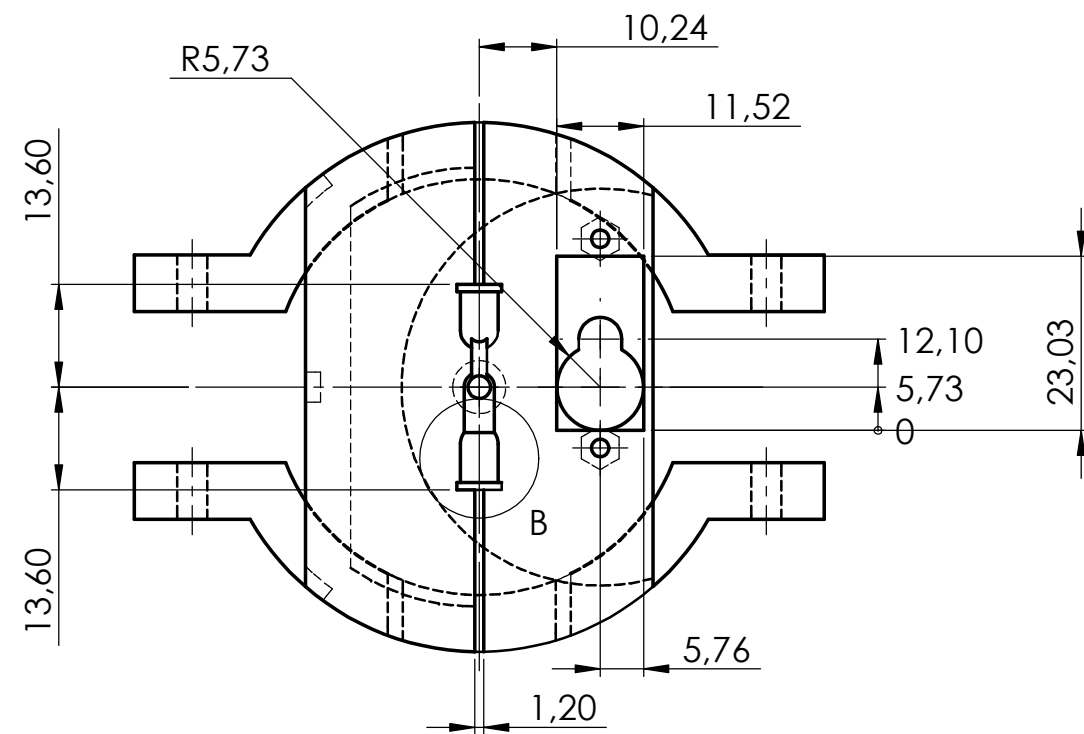
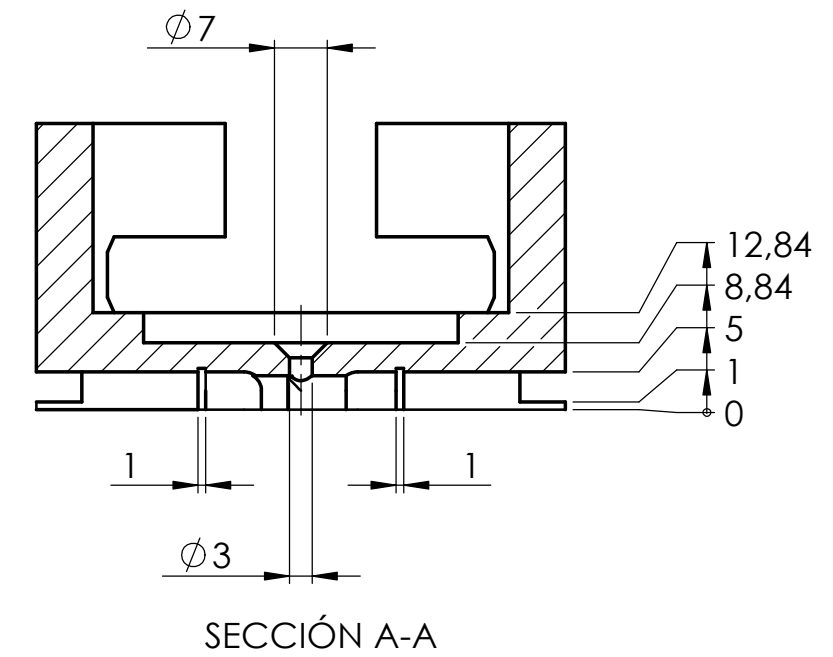
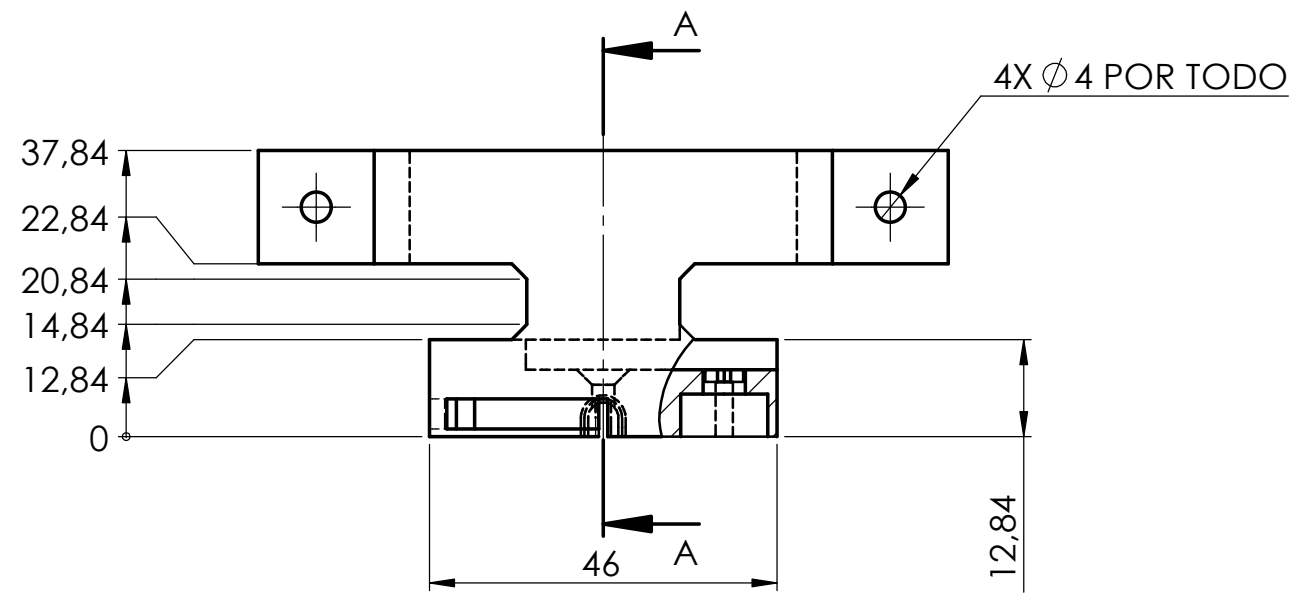
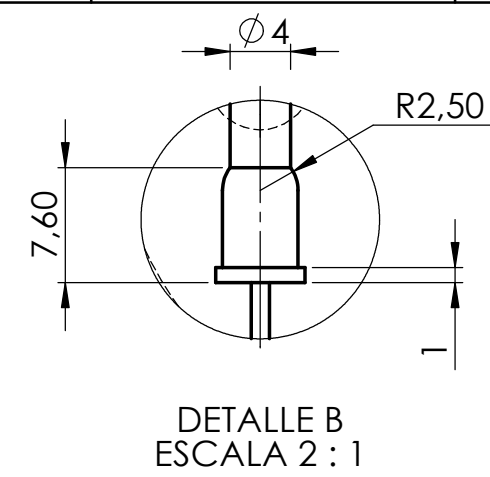
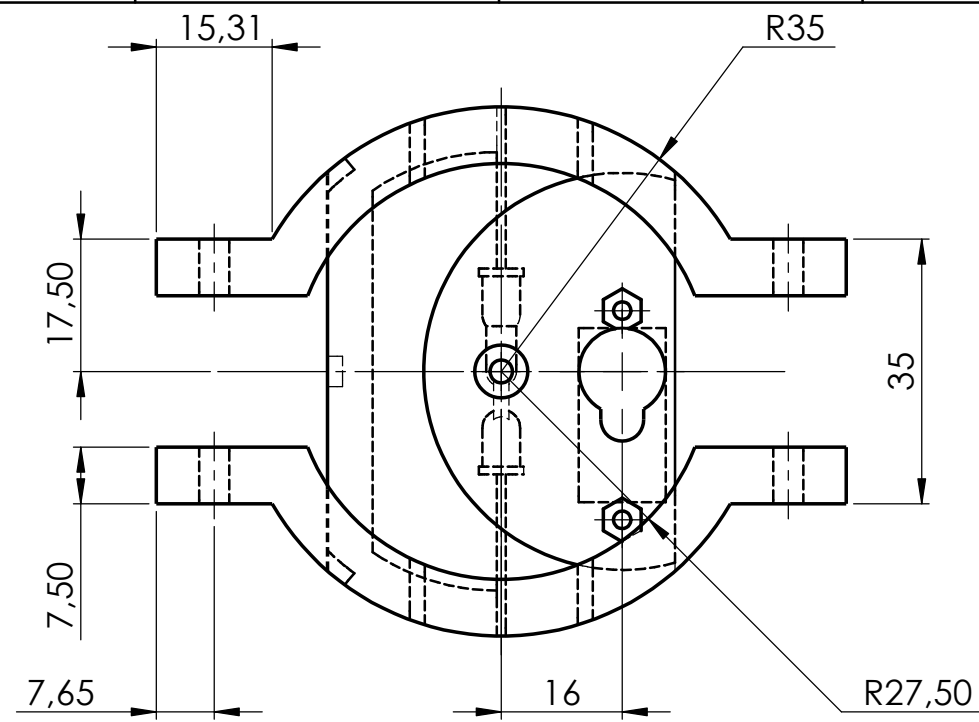
3	IREmisor			10	PT334-6B	0.001	
2	Perno DIN	ISO 7045		9	M4 x 40 - Z - 40N	0.039	
3	IRLED			8	IR333-A	0.001	
3	Micro Servo	Tower Pro 9g		7	SG90	0.05	
3	SG90 Pala		PLA	6		0.001	
2	Tornillo cabeza en cruz	ISO 1207	Acero Aleado	5	M2 x 16 - 16N	0.039	
4	Arandela DIN	DIN 6903	Acero Aleado	4	A4	0.039	
2	Tuerca exagonal	ISO 4032	Acero Aleado	3	M4 - W - N	0.039	
3	Capuchon del embudo		PLA	2		0.05	
3	Embudo de Hall	ISO 4490	Bronce UNS C52400	1		0.80	
Nº de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso (Kg)	Observaciones
		Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
		±0,03	2.552 Kg	VARIOS			
		Fecha	Nombre	Denominación:			Escala:
		Dibujó: 13/03/2019	Guamán Alex	Embudo y capuchon con sensores			1:2
		Revisó: 13/03/2019	Ing. López G.				
		Aprobó: 13/03/2019	Ing. López G.				
		UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 10 de 20		Registro:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)			



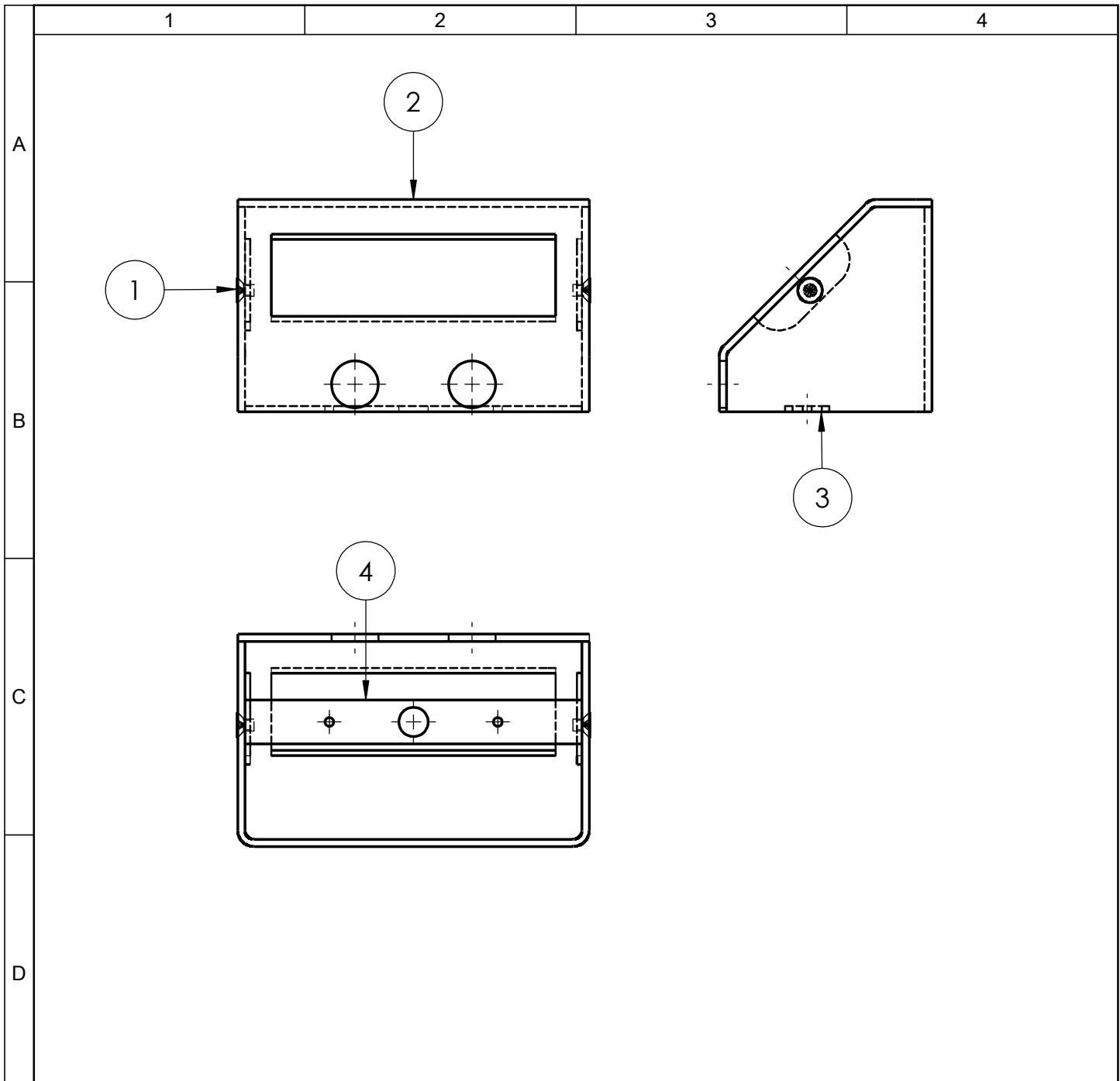
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				$\pm 0,1$	0.80 Kg	Bronce SAE 40		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
				Dibujó: 13/03/2019	Alex Guamán			
				Revisó: 13/03/2019	Ing. López G.			
				Aprobó: 13/03/2019	Ing. López G.	Número del dibujo: 11 de 20	Registro:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica				(Sustitución)
						EMBUDO DE HALL		1:1



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,05	0.01 Kg	PLA	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 13/03/2019	Guamán Alex		
				Revisó: 13/03/2019	Ing. López G.		
				Aprobó: 13/03/2019	Ing. López G.	Compuerta de la salida del embudo	2:1
				UTA			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	

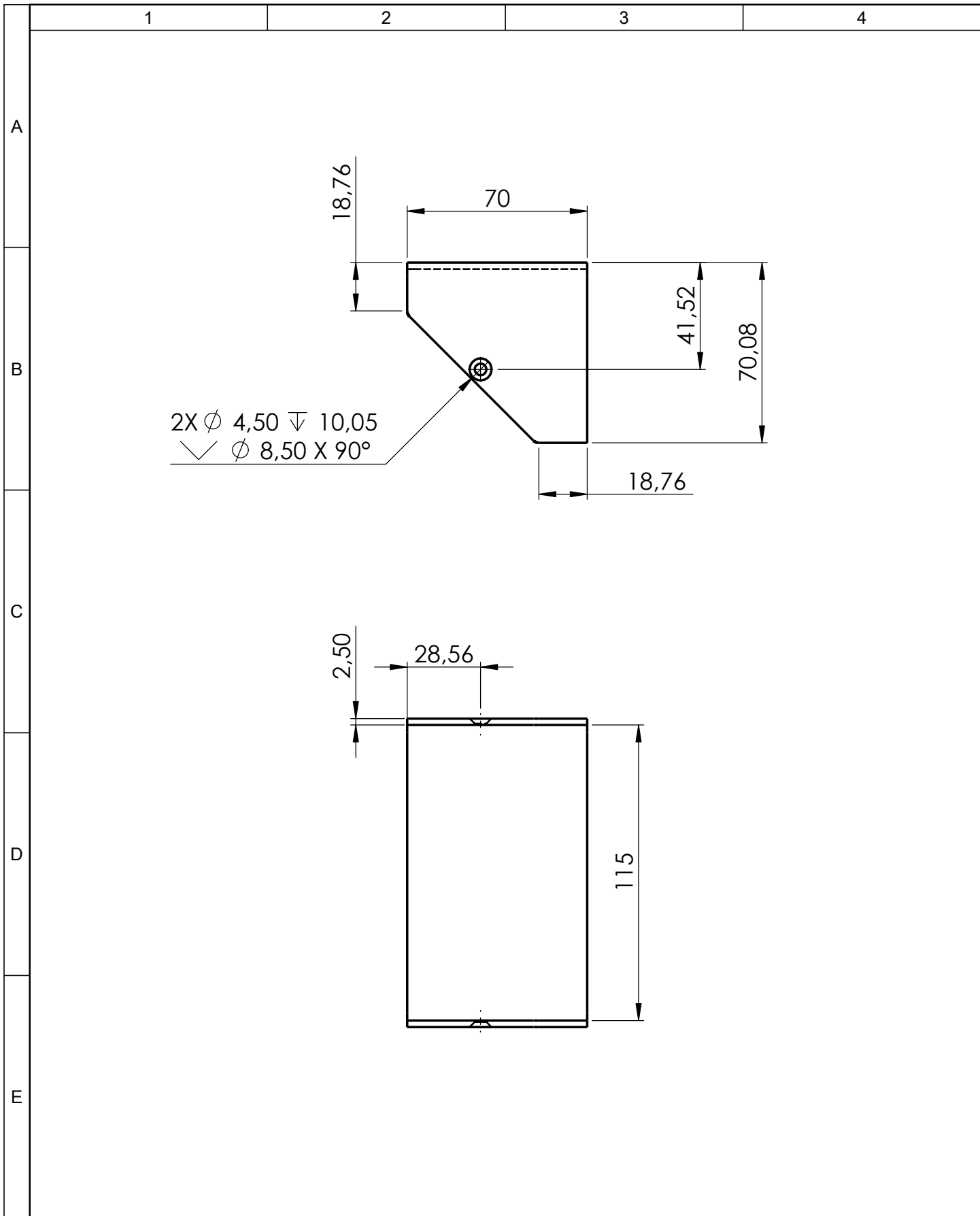


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	0.05 Kg	PLA	
					Fecha	Nombre	Denominación: Capuchon para sensores
				Dibujó:	13/03/2019	Guamán Alex	
				Revisó:	13/03/2019	Ing. López G.	
				Aprobó:	13/03/2019	Ing. López G.	Escala: 1:1
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Registro: (Sustitución)



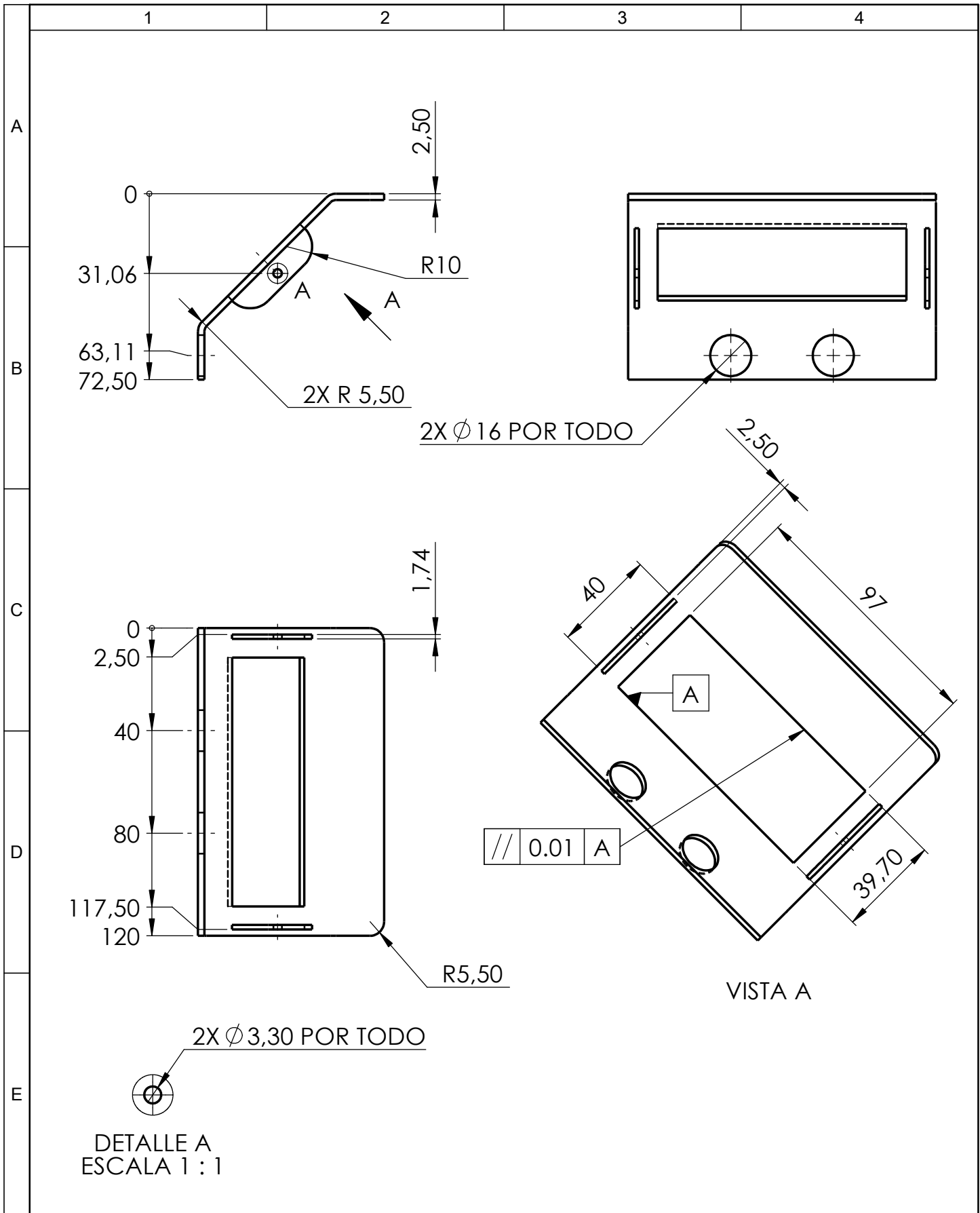
1	SUJETADOR DE LA CAJA LCD		ASTM A36 Acero	4		0.03	
1	Caja LCD		ASTM A36 Acero	3		0.30	
1	TAPA DE LA CAJA DEL LCD		ASTM A36 Acero	2		0.19	
2	Tornillo cabeza de cruz	B18.6.7M		1	M4 x 0.7 x 6 Type I	0.036	
N° de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/Semiproducto	Weight	Observaciones

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	0.52 Kg	ASTM A36 Acero		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
				Dibujó: 13/03/2019	Guamán Alex			
				Revisó: 13/03/2019	Ing. López G.			
				Aprobó: 13/03/2019	Ing. López G.	Caja del LCD	1:2	
				UTA Ingeniería Mecánica				Número del dibujo: 14 de 20
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)	



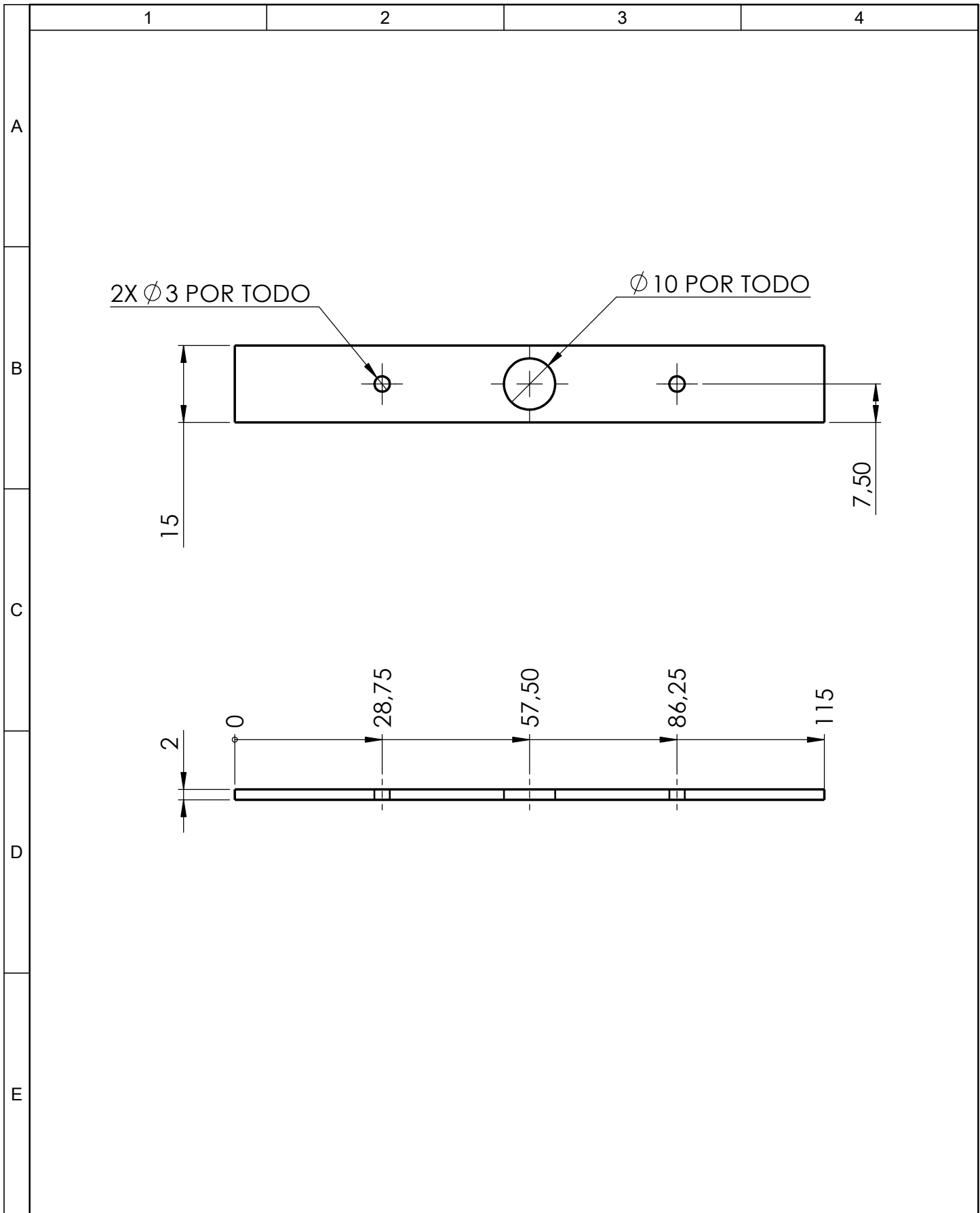
2X ϕ 4,50 ∇ 10,05
 \sphericalangle ϕ 8,50 X 90°

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
				$\pm 0,05$	0.30 kg	ASTM A36 Acero			
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
				Dibujó: 13/03/2019	Guamán Alex				
				Revisó: 13/03/2019	Ing. López G.				
				Aprobó: 13/03/2019	Ing. López G.	Caja base del LCD	1:2		
				UTA				Número del dibujo: 15 de 20	Registro:
				Ingeniería Mecánica					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)			

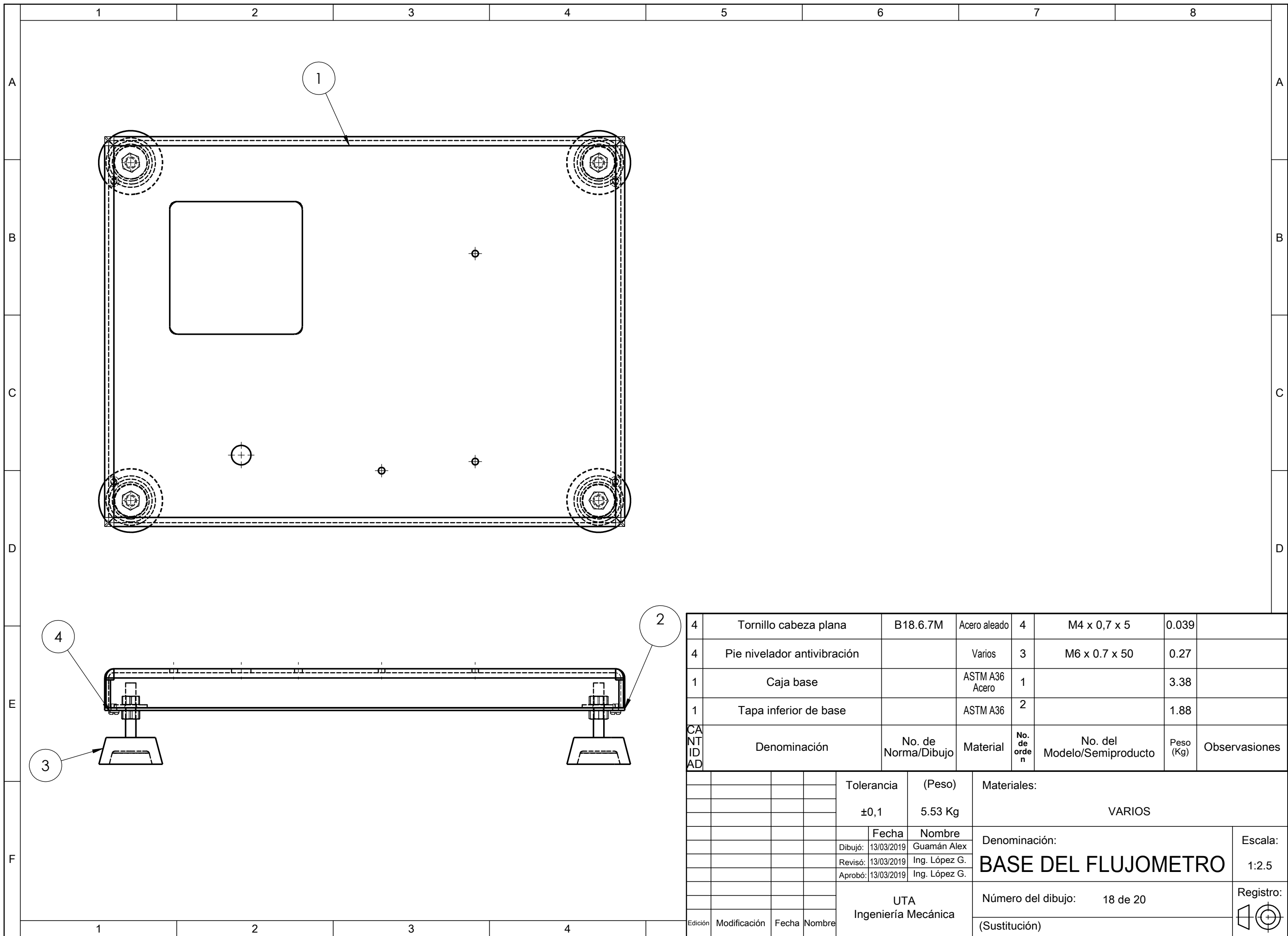


DETALLE A
ESCALA 1 : 1

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,05	0.30 kg	ASTM A36 Acero	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 13/03/2019	Guamán Alex	Tapa de la caja LCD	1:2
				Revisó: 13/03/2019	Ing. López G.		
				Aprobó: 13/03/2019	Ing. López G.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 16 de 20	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

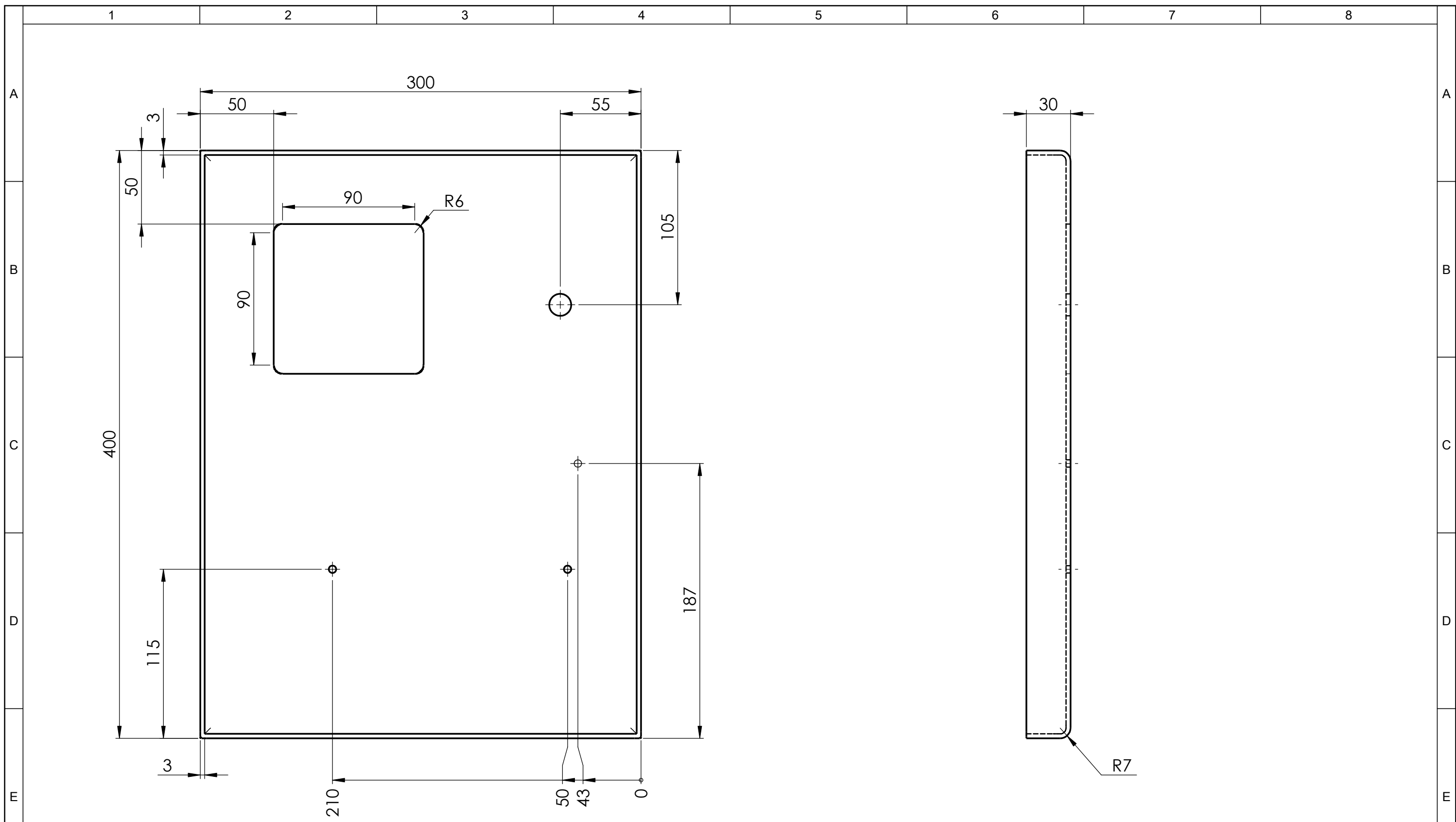


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.01 Kg	ASTM A36 Acero	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 13/03/2019	Guamán Alex		
				Revisó: 13/03/2019	Ing. López G.		
				Aprobó: 13/03/2019	Ing. López G.	Placa sujetador de caja LCD	1:1
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

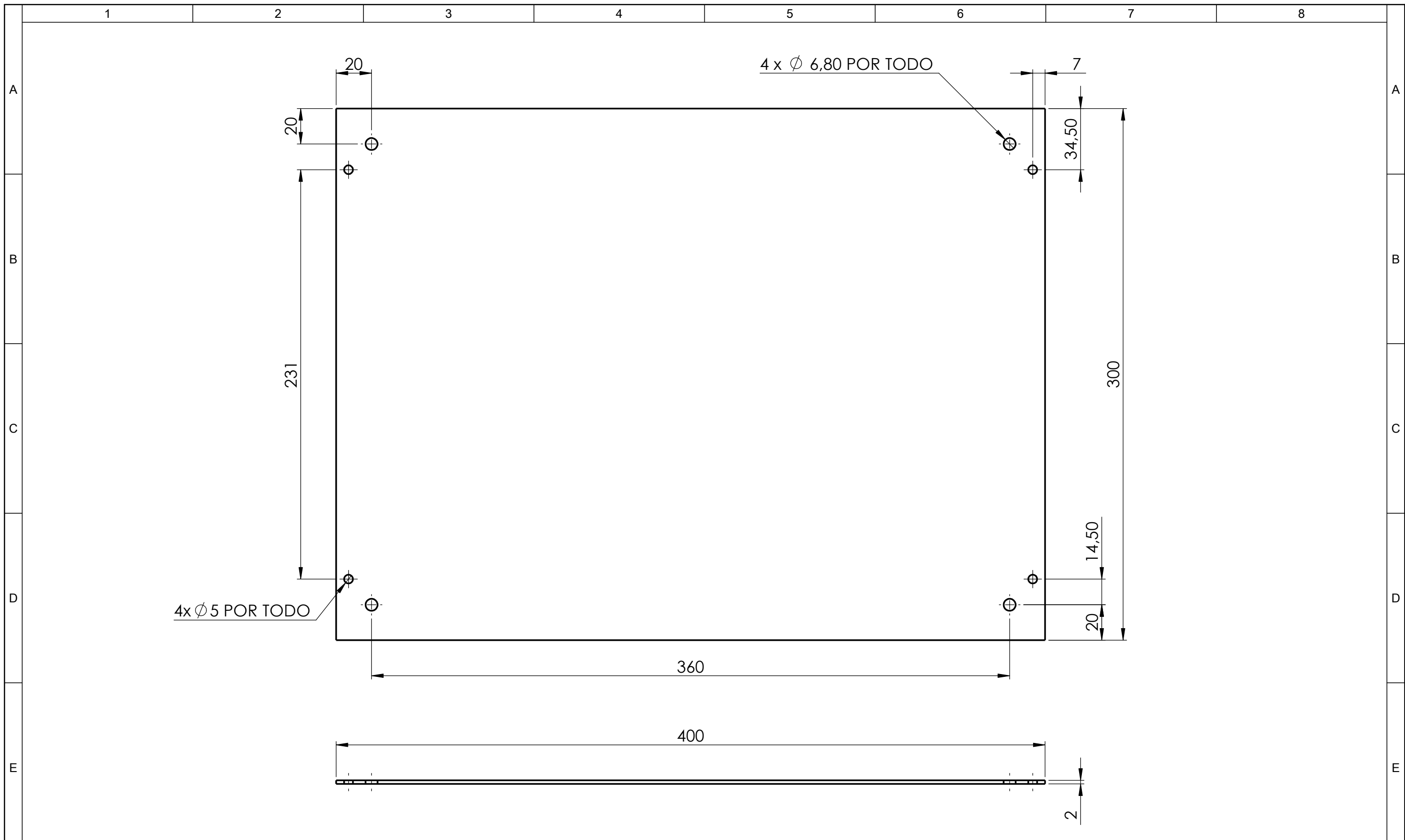


CANTIDAD	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso (Kg)	Observaciones
4	Tornillo cabeza plana	B18.6.7M	Acero aleado	4	M4 x 0,7 x 5	0.039	
4	Pie nivelador antivibración		Varios	3	M6 x 0.7 x 50	0.27	
1	Caja base		ASTM A36 Acero	1		3.38	
1	Tapa inferior de base		ASTM A36	2		1.88	

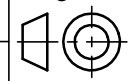
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	5.53 Kg	VARIOS	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó: 13/03/2019	Guamán Alex	BASE DEL FLUJOMETRO	
				Revisó: 13/03/2019	Ing. López G.	Escala: 1:2.5	
				Aprobó: 13/03/2019	Ing. López G.	Registro:	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 18 de 20	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	3.38 Kg	ASTM A36 Acero		
					Fecha	Nombre	Denominación: Caja base superior	
				Dibujó:	13/03/2019	Guamán Alex		
				Revisó:	13/03/2019	Ing. López G.		
				Aprobó:	13/03/2019	Ing. López G.	Escala: 1:2.5	
				UTA Ingeniería Mecánica				Número del dibujo: 19 de 20
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Registro (Sustitución)



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	1.88Kg	ASTM A36		
					Fecha	Nombre	Denominación: Tapa inferior de base	
				Dibujó:	13/03/2019	Guamán Alex		
				Revisó:	13/03/2019	Ing. López G.		
				Aprobó:	13/03/2019	Ing. López G.	Número del dibujo: 20 de 20	
				UTA Ingeniería Mecánica				
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Registro: (Sustitución)



ANEXOS

Anexo 1
Ficha Técnica Láminas acrílicas de poli (Metil metacrilato)

	FICHA TÉCNICA LAMINAS ACRÍLICAS DE POLI (METIL METACRILATO)
---	--

1. Identificación

Nombre Comercial	Lámina Acrílica de Poli(metil metacrilato).	
Sinónimos	Plexiglas, vidrio sintético, acrílico.	
Descripción	Compuesto generado en forma de láminas como resultado de una reacción de polimerización por el método de vaciado (o en bloque) de una mezcla líquida, compuesta principalmente por monómero de metil metacrilato.	
Fabricante	METAL ACRILATO S.A. - MANOPLAS Planta: Km 27 Autopista Medellín - Bogotá. Guarne (Ant) - COLOMBIA. PBX: (4) 5514651 Fax: (4) 5515297 E-mail: manoplas@epm.net.co - www.manoplas.com.co	

2. Composición

Material o componente	%	Descripción
Metil Metacrilato MMA	98	Monómero 100% importado de LUCITE INTERNACIONAL.
Aditivos	2	Se trabaja con aditivos, protectores UV, catalizadores, pigmentos y colorantes desarrollados especialmente para acrílico.

2. Aplicación

Usos	El acrílico producido por el método de vaciado, es utilizado en una gran variedad de aplicaciones como construcción, publicidad, elaboración de accesorios para el hogar, exhibidores y decoración, entre otros.
Forma de trabajo	Puede ser cortado, perforado y maquinado tal como se hace con la madera y los metales blandos, tales como aluminio y latón.

3. Datos Técnicos

Gravedad Específica	1.19	
Propiedades Ópticas		
Índice de Refracción	1.49	Por exposición a la intemperie, no se evidencian efectos como cuarteo, decoloración o combadura sobre la apariencia o claridad del material.
Transmisión de luz paralela	91.00%	
Transmisión de luz total	92.00%	
Propiedades Mecánicas	Efectos considerablemente mayores a los mostrados en la columna, producen una superficie brillante conocida como "Crazing" (cristalización). Para evitar el "Crazing", los límites de diseño para cargas aplicadas en forma constante no deben exceder de 1.500 psi. Esfuerzos de gran magnitud pero de corta duración, podrían no ser causa de Crazing.	
Resistencia a la tracción	10.500 psi	Comparable al aluminio
Resistencia a la flexión	16.000 psi	
Resistencia a la compresión	18.000 psi	
Módulo de elasticidad	450.000 psi	
Resistencia a la cizalladura	9.000 psi	
Resistencia a la abrasión	Comparable al aluminio	
Resistencia al impacto	14 veces superior a la del vidrio en calibres entre 3-6mm, siendo 50% más liviano que el vidrio y 43% más liviano que el aluminio. Aumenta su resistencia al impacto con el aumento de calibre.	
Propiedades Térmicas		
Temperatura de moldeo	143 a 182 °C	
Máxima temperatura servicio continuo	82 a 93 °C, después de haber sido moldeado por calentamiento.	
Coefficiente de expansión térmica	0.0000227 cm/cm/°C. Una forma de aplicación práctica sería considerar que por cada 30 cms de acrílico, éste se expande y contrae 1.5 mm.	
Propiedades Eléctricas	Baja conductividad eléctrica.	
Resistencia Química		
Alta resistencia a	Ácidos y bases débiles. Detergentes de uso doméstico poco abrasivos. Compuestos combustibles Hidrocarburos alifáticos	
Baja resistencia a	Compuestos clorinados Solventes orgánicos Solventes aromáticos Acetatos en general	
Quemado	Similar a la madera, produciendo menos humo.	

4. Manejo y Almacenamiento

Condiciones	Las láminas se empapan con una película de polietileno y se almacenarán en forma vertical en estanterías. Se debe evitar el contacto con gasolina, alcohol, amoníaco, acetona y sustancias cloradas.
--------------------	--

Anexo 2

Ficha Técnica del filamento PLA para impresión 3D



Filamento PLA 1,75 mm



El PLA (Ácido Poliláctico) es el mejor material para empezar a trabajar con la impresión 3D.

- Rápido endurecimiento
- Mínima tensión térmica
- Mínima deformación
- No necesita cinta adhesiva
- No necesita una base calentada
- Resistente a la intemperie

El filamento **PLA 3D** está compuesto por 100% PLA. El PLA es un producto biodegradable que se obtiene de residuos del cultivo de cañamero.



Módulo elástico en tensión: 2000 MPa (ISO 178)
Resistencia a la tensión: 100 MPa (ISO 178)
Dureza 90 SH D (ASTM D2240)

	Print imprimada	Print impresa*	Print impresa**
Resistencia a la tracción en tensión	87 MPa	98 MPa	98 MPa
Deformación a rotura en tensión	9%	9%	9%
Resistencia a la tracción en flexión	100 MPa	100 MPa	100 MPa

* Datos en flexión obtenidos a los 100g.
** Datos en flexión obtenidos a los 100g.



Diámetro filamento: 1,75 mm
Densidad: 1,24 g/cm³ (ASTM D2013)
Peso: 1 kg
Tamaño bobina: 190 mm x 70 mm



Temperatura recomendada de impresión: 200/220 °C
Temperatura del flexión bajo carga: 50 °C (ISO 75/10)
Temperatura de fusión: 165/180 °C (ASTM D2416)
Temperatura de transición vítrea: 50/50 °C (ASTM D2416)



Compatible con cualquier impresora que utilice filamento de 1,75 mm

<p>SKU: F000000</p> <p>Color</p>	<p>SKU: F000004</p> <p>Turquoise</p>	<p>SKU: F000006</p> <p>Violet</p>	<p>SKU: F000010</p> <p>Sulphur yellow</p>	<p>SKU: F000101</p> <p>Signal blue</p>
<p>SKU: 0500FL003</p> <p>Aubergine</p>	<p>SKU: 0500FL004</p> <p>Magenta</p>	<p>SKU: 0500FL005</p> <p>Sky blue</p>	<p>SKU: 0500FL006</p> <p>Coal black</p>	<p>SKU: 0500FL007</p> <p>Pure white</p>
<p>SKU: 0500FL008</p> <p>Vibrant orange</p>	<p>SKU: 0500FL009</p> <p>Baby red</p>	<p>SKU: 0500FL010</p> <p>Dark green</p>	<p>SKU: 0500FL011</p> <p>Light green</p>	<p>SKU: 0500FL012</p> <p>Asht grey</p>
<p>SKU: 0500FL013</p> <p>Transparent</p>	<p>SKU: 0500FL014</p> <p>Summer yellow</p>			

www.mastoner.com Tel. 918416002



Anexo 3
UNE 17-108-81 “Tornillos y tuercas de acero Momentos de apriete”

Momentos de apriete

Tornillos y tuercas de acero.
Norma UNE 17-108-81

1.- Objeto

Esta norma tiene por objeto indicar el valor del momento de apriete necesario para montar, mediante herramientas dinamométricas que no introduzcan vibraciones ni impactos, la tornillería normal de acero, sobre apoyos rígidos y sometida únicamente a sollicitaciones axiales de valor constante.

2- Prescripciones generales.

- 2.1 El 90% aproximadamente del par de apriete se utiliza en vencer los rozamientos.
- 2.2 El factor de rozamiento es muy variable y a igualdad de par puede haber grandes variaciones en los aprietes obtenidos.
- 2.3 Cuando se desee obtener garantía en el apriete, se medirá directamente el alargamiento del tornillo con independencia del par.
- 2.4 En casos delicados en los que se requiere obtener una dispersión mínima del apriete, las superficies sometidas a rozamiento se lubricarán con materiales adecuados como disulfuro de molibdeno, grafito, cadmiado, etc.
- 2.5 Cuando la tornillería deba emplearse en órganos de vital importancia con sollicitaciones axiales alternas, es necesario calcular en cada caso el momento de apriete, teniendo en cuenta el efecto de fatiga.
- 2.6 La fórmula utilizada para el cálculo de los momentos de apriete, de tornillos y tuercas normales es la siguiente:

$$M = \frac{F_t}{1000} [0,161 P + 0,583 \mu_r d_r + 0,25 \mu [D_e + D]]$$

En la que:

$$F_t = \frac{V E A_s}{1 + 3 \left[\frac{4}{1 + \frac{d_0}{d}} \left(\frac{P}{\pi d^2} + 1,155 \mu_r \right) \right]^2}$$

siendo:

M = Momento de apriete en da·NM

P = Paso de la roca en milímetros.

F_t = Carga a tracción sobre el tornillo debida al momento de apriete M, expresada en decanewtons.

d₀ = Diámetro medio de la roca del tornillo, expresado en milímetros.

d = Diámetro del núcleo de la roca del tornillo, expresado en milímetros.

D_e = Diámetro máximo de la superficie de rozamiento de la tuerca (distancia entre caras) o cabeza del tornillo, expresada en milímetros.

D = Diámetro mínimo de la superficie de rozamiento de la tuerca o cabeza de tornillo (diámetro nominal), expresado en milímetros.

A_s = Sección resistente, expresada en milímetros cuadrados.

E = Límite elástico, expresado en daN/mm².

V = Relación entre la tensión aplicada al tornillo y el límite elástico.

μ = Coeficiente de rozamiento entre tuerca o cabeza de tornillo y apoyo.

μ_r = Coeficiente de rozamiento de la roca.

3- Coeficiente aparente de rozamiento.

En la tabla I se indican los valores de los coeficientes de rozamiento μ correspondientes a diferentes recubrimientos y lubricaciones.

4- Empleo de la herramienta dinamométrica.

El apriete deberá efectuarse de forma continua y sin interrupción hasta llegar al valor del momento especificado.

Momentos de apriete

5- Error de la herramienta dinamométrica.

En las herramientas dinamométricas se admitirá un error de medida del 5%.

Tabla I

Recubrimientos	Coeficiente μ de rozamiento	
	Engrase residual	Engrase con aceite con o sin S ₂ Mo ₁ 1)
Acero con cadmiado	0,7	0,07
Cadmiado con cincado	0,10	0,08
Cadmiado con cadmiado		0,07
Acero con acero		0,10
Acero con fosfatado 2)		0,10
Fosfatado con cadmiado		0,08
Fosfatado con cincado 2)	0,11	0,10
Fosfatado con fosfatado 3)		0,11
Acero con cincado	0,12	0,10
Cincado con cincado	0,14	0,07

1) Para una menor dispersión, se aconseja emplear aceite con S₂Mo₁
 2) Se recomienda ser engrasados.
 3) Con el engrase normal después del fosfatado.

TABLA IV
CABEZA HEXAGONAL.

Clase 4.6
Marcado 6.8

E = 34 da N/mm²

DESIGNACIÓN		COEFICIENTE DE ROZAMIENTO μ					
ROSCA	PASO	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,14
		Momentos de apriete (da N m)					
M 1,6	0,35	0,0058	0,0063	0,0071	0,0075	0,0079	0,0086
M 2	0,4	0,012	0,013	0,015	0,015	0,016	0,018
M 2,5	0,45	0,024	0,026	0,030	0,032	0,033	0,036
M 3	0,5	0,041	0,045	0,052	0,055	0,058	0,063
M 3,5	0,6	0,064	0,069	0,080	0,084	0,089	0,097
M 4	0,7	0,095	0,10	0,12	0,13	0,13	0,14
M 5	0,8	0,19	0,20	0,23	0,25	0,26	0,29
M 6	1	0,32	0,35	0,40	0,43	0,45	0,49
M 8	1,25	0,77	0,84	0,97	1,0	1,1	1,2
M 10	1,5	1,5	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4
M 12	1,75	2,6	2,9	3,3	3,5	3,7	4,1
M 14	2	4,2	4,6	5,3	5,6	5,9	6,5
M 16	2	6,3	6,9	8,1	8,6	9,1	10,0
M 18	2,5	8,8	9,6	11,0	12,0	12,5	14,0
M 20	2,5	12,5	13,5	15,5	17,0	18,0	19,5
M 22	2,5	16,5	18,0	21,0	22,5	24,0	26,5
M 24	3	21,5	23,5	27,0	29,0	30,5	34,0

Momentos de apriete

**TABLA VIII
CABEZA HEXAGONAL**

Clase 8.8
E=64 da N/mm² d< M 16
E=96 da N/mm² d>= M 16

DESIGNACIÓN		COEFICIENTE DE ROZAMIENTO μ					
ROSCA	PASO	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,14
		Momentos de apriete (da Nm)					
M 1,6	0,35	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016
M 2	0,4	0,022	0,024	0,028	0,029	0,031	0,033
M 2,5	0,45	0,045	0,049	0,056	0,060	0,063	0,069
M 3	0,5	0,078	0,084	0,096	0,10	0,11	0,12
M 3,5	0,6	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18
M 4	0,7	0,18	0,19	0,22	0,24	0,25	0,27
M 5	0,8	0,35	0,38	0,44	0,47	0,49	0,54
M 6	1	0,60	0,66	0,76	0,80	0,85	0,93
M 8	1,25	1,4	1,6	1,8	1,9	2,0	2,3
M 10	1,5	2,9	3,2	3,7	3,9	4,1	4,5
M 12	1,75	4,9	5,4	6,2	6,6	7,0	7,7
M 14	2	7,8	8,6	9,9	10,5	11,0	12,5
M 16	2	12,0	13,0	15,0	16,0	17,0	19,0
M 18	2,5	17,0	18,5	21,5	23,0	24,5	27,0
M 20	2,5	24,0	26,0	30,5	32,5	34,5	38,0
M 22	2,5	32,0	35,0	41,0	44,0	46,5	51,5
M 24	3	41,5	45,5	53,0	56,0	59,5	65,5

**TABLA X
CABEZA HEXAGONAL**

Clase 10.9
E = 94 da N/mm²

DESIGNACIÓN		COEFICIENTE DE ROZAMIENTO μ					
ROSCA	PASO	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,14
		Momentos de apriete (da Nm)					
M 1,6	0,35	0,018	0,017	0,020	0,021	0,022	0,023
M 2	0,4	0,033	0,035	0,040	0,043	0,045	0,048
M 2,5	0,45	0,066	0,072	0,083	0,087	0,092	0,10
M 3	0,5	0,11	0,12	0,15	0,16	0,16	0,17
M 3,5	0,6	0,17	0,19	0,22	0,23	0,25	0,27
M 4	0,7	0,26	0,29	0,33	0,35	0,37	0,40
M 5	0,8	0,51	0,56	0,64	0,66	0,72	0,79
M 6	1	0,89	0,97	1,1	1,2	1,2	1,4
M 8	1,25	2,1	2,3	2,7	2,8	3,0	3,3
M 10	1,5	4,2	4,6	5,4	5,7	6,0	6,6
M 12	1,75	7,2	7,9	9,2	9,7	10,5	11,5
M 14	2	11,5	12,5	14,5	15,5	16,5	18,0
M 16	2	18,5	19,0	22,5	23,5	25,0	27,5
M 18	2,5	24,5	26,5	31,0	33,0	34,5	38,0
M 20	2,5	34,0	37,5	43,5	46,5	49,0	54,0
M 22	2,5	45,5	50,0	53,5	62,5	66,5	73,0
M 24	3	59,0	64,5	75,0	80,0	85,0	93,5

Momentos de apriete

TABLA XI
CABEZA HEXAGONAL

Clase 12.9 E = 110 da N/mm²

DESIGNACIÓN		COEFICIENTE DE ROZAMIENTO μ					
ROSCA	PASO	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,14
		Momentos de apriete (da Nm)					
M 1,6	0,36	0,019	0,020	0,023	0,024	0,026	0,028
M 2	0,4	0,036	0,041	0,047	0,050	0,052	0,057
M 2,5	0,45	0,077	0,084	0,097	0,10	0,11	0,12
M 3	0,5	0,15	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20
M 3,5	0,6	0,21	0,22	0,26	0,27	0,29	0,31
M 4	0,7	0,31	0,33	0,38	0,41	0,43	0,47
M 5	0,8	0,60	0,66	0,76	0,80	0,85	0,93
M 6	1	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6
M 8	1,25	2,5	2,7	3,1	3,3	3,5	3,8
M 10	1,5	5,0	5,4	6,3	6,7	7,0	7,7
M 12	1,75	8,5	9,3	10,5	11,5	12,0	13,0
M 14	2	13,5	14,5	17,0	18,0	19,0	21,0
M 16	2	20,5	22,5	26,0	28,0	29,5	32,5
M 18	2,5	28,5	31,0	36,0	38,5	40,5	44,5
M 20	2,5	40,0	43,5	51,0	54,5	57,5	63,5
M 22	2,5	53,5	58,5	68,5	73,0	77,5	85,5
M 24	3	69,0	75,5	88,0	93,5	99,0	109,0

Anexo 3.1

Selección de momento de apriete con rosca M3, Paso 0.5 y μ 0.1

Tabla IV
CABEZA HEXAGONAL

Clase 4.8
Marcado 4.8

E = 21 da N/mm²

DESIGNACIÓN		COEFICIENTE DE ROZAMIENTO μ					
ROSCA	PASO	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,14
		Momentos de apriete (da Nm)					
M 1,6	0,35	0,0068	0,0063	0,0071	0,0075	0,0078	0,0088
M 2	0,4	0,012	0,013	0,015	0,015	0,016	0,018
M 2,5	0,45	0,034	0,034	0,035	0,035	0,034	0,034
M 3	0,5	0,041	0,045	0,052	0,055	0,058	0,063
M 3,5	0,6	0,064	0,069	0,080	0,084	0,089	0,097
M 4	0,7	0,090	0,10	0,12	0,13	0,13	0,14
M 5	0,8	0,19	0,20	0,23	0,25	0,25	0,26
M 6	1	0,32	0,35	0,40	0,43	0,45	0,49
M 8	1,25	0,77	0,84	0,97	1,0	1,1	1,2
M 10	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4
M 15	1,75	3,6	3,8	4,3	4,6	4,9	5,3
M 14	2	4,2	4,6	5,3	5,6	5,9	6,5
M 16	2	6,3	6,9	8,1	8,5	9,1	10,0
M 18	2,5	8,8	9,6	11,0	12,0	12,5	14,0
M 20	2,5	12,5	13,5	15,5	17,0	18,0	19,5
M 22	2,5	16,5	18,0	21,0	22,5	24,0	26,5
M 24	3	21,9	23,9	27,0	29,0	30,0	34,0

Anexo 3.2 Selección del factor μ tabla 1

Recubrimientos	Coeficiente μ de rozamiento	
	Engrase residual	Engrase con aceite con o sin S.Mo 1)
Acero con cadmiado	0,7	0,07
Cadmiado con cincado	0,10	0,08
Cadmiado con cadmiado		0,07
Acero con acero		0,10
Acero con fosfatado 2)		0,10
Fosfatado con cadmiado	0,11	0,08
Fosfatado con cincado 2)		0,10
Fosfatado con fosfatado 3)		0,11
Acero con cincado	0,12	0,10
Cincado con cincado	0,14	0,07

1) Para una menor dispersión, se aconseja emplear aceite con S.Mo
2) Se recomienda ser engrasados
3) Con el engrase normal después del fosfatado.

Anexo 4 Dimensiones de roscas métricas DIN. Fuente: [27]

Designación	Diámetro nominal		Paso		Diámetro Francos d2 (mm)	Diámetro Núcleo d3 (mm)	Area Núcleo A3 (mm ²)	Area Resistente As (mm ²)
	(mm)	(inch)	(mm)	(inch)				
M 1 x 0,25	1	0,04	0,25	0,01	0,839	0,693	0,377	0,461
M 1,1 x 0,25	1,1	0,04	0,25	0,01	0,939	0,793	0,494	0,589
M 1,2 x 0,25	1,2	0,05	0,25	0,01	1,039	0,893	0,626	0,733
M 1,4 x 0,3	1,4	0,06	0,3	0,01	1,206	1,032	0,836	0,983
M 1,6 x 0,35	1,6	0,06	0,35	0,01	1,374	1,171	1,077	1,272
M 1,7 x 0,35	1,7	0,07	0,35	0,01	1,474	1,271	1,269	1,479
M 1,8 x 0,35	1,8	0,07	0,35	0,01	1,574	1,371	1,476	1,703
M 2 x 0,4	2	0,08	0,4	0,02	1,742	1,509	1,788	2,075
M 2,2 x 0,45	2,2	0,09	0,45	0,02	1,91	1,648	2,133	2,486
M 2,3 x 0,4	2,3	0,09	0,4	0,02	2,042	1,809	2,57	2,912
M 2,5 x 0,45	2,5	0,1	0,45	0,02	2,21	1,948	2,98	3,395
M 2,6 x 0,45	2,6	0,1	0,45	0,02	2,31	2,048	3,294	3,729
M 3 x 0,5	3	0,12	0,5	0,02	2,677	2,387	4,475	5,035

Anexo 5

Selección del coeficiente de fricción del PMMA. Fuente: [28]

Coeficiente de fricción	
Material	
PVC	0,60
PMMA	0,53
ABS	0,48
PA 6	0,41
PA 6.6	0,41
PSU	0,39
PC	0,38
PVDF	0,34
POM	0,34
PEEK	0,34
PP	0,30
PET	0,25
PE-HD	0,25
E-CTFE	0,18
PEEK-mod	0,11
PTFE	0,08

Anexo 6

Etapas de codificación del programa. Fuente: Autor

- Inicio

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Servo.h>
#include <math.h>
#define PulsadorInicio 7
#define PulsadorParo 8
#define Sensor1 0
#define Sensor2 1
#define Sensor3 2
#define Servo1 6
#define Servo2 9
#define Servo3 10
int umbral = 56;
int valorpenultimo = 0, valorultimo = 0, valoractual = 0;
bool inicioservo1 = false;
bool inicioservo2 = false;
bool inicioservo3 = false;
bool inicio = false;
bool finproceso1 = false;
bool finproceso2 = false;
bool finproceso3 = false;
float angulo = 0;
int posicion = 60;
float angulo2 = 0;
int posicion2 = 60;
float angulo3 = 0;
int posicion3 = 60;
```

Definición e inicialización de variables para su procesamiento en métodos posteriores.

- Abrir y cerrar compuertas

```

void moverservomotor(int angulo, int servo, bool imprimir) {
  if (imprimir) {
    Serial.print("Moviendo servomotor ");
    Serial.print(servo);
    Serial.print(" a ");
    Serial.print(angulo);
    Serial.println(" grados");
  }
  if (servo == 1) {
    Serial.println("Servo 1");
    if (angulo > posicion) {
      for (int i = posicion; i < angulo; i++) {
        Servomotor1.write(i);
        delay(15);
      }
    }
    else {
      for (int i = posicion; i > angulo; i--) {
        Servomotor1.write(i);
        delay(15);
      }
    }
    posicion = angulo;
  }
  else if (servo == 2) {
    Serial.println("Servo 2");
    if (angulo > posicion2) {

```

Este método permite abrir y cerrar una o varias compuertas dependiendo del ángulo de inclinación que emite la señal del sensor. Esto garantiza que la puerta se cierre cuando toda la masa de polvo metálico ha pasado al siguiente embudo.

- Tomar el Tiempo transcurrido

```

if (inicio) {
  if (!inicioservol) {
    Serial.println("Inicializando");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Tiempo1: ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Tiempo2: ");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("Tiempo3: ");
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("Tiempo Promedio: ");
    iniciotiempo1 = millis();
    inicioservol = true;
    moverservomotor(60, 1, true);
    umbral = analogRead(Sensor1);
    umbral = 0;
    Serial.print("Sensor1 = ");
    Serial.println(analogRead(Sensor1));
    Serial.print("\t");
    Serial.print("Umbral = ");
    Serial.println(umbral);
    delay(1000);
    valorultimo = analogRead(Sensor1);
    valorpenultimo = valorultimo;
  }
  else if (inicioservol && !finprocesol) {
    valoractual = analogRead(Sensor1);

```

Este fragmento de código inicializa el cronómetro una vez se abre la compuerta desde el botón Inicio. El mismo sobrescribe las variables de tiempo y el acumulador general que al final servirá para obtener la media aritmética de los tiempos medidos en cada embudo en todo el proceso en general.

```
if (angulo <= -1.3) { //Prueba 80 grados
  Serial.print("Sensor1 = ");
  Serial.println(valoractual);
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Umbral = ");
  Serial.println(umbral);
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Angulo = ");
  Serial.println(angulo);
  Serial.println("Fin proceso");
  tiempo1 = (millis() - iniciotiempo1) / 1000.0;
  lcd.setCursor(9, 0);
  lcd.print(tiempo1);
  lcd.setCursor(14, 0);
  lcd.print("s");
  Serial.print("Tiempo final: ");
  Serial.println(tiempo1);
  Serial.println("~~~~~");
  moverservomotor(85, 1, true);
  moverservomotor(90, 2, true);
  moverservomotor(85, 3, true);
  finproceso1 = true;
  delay(1000);
}
```

Este fragmento de código realiza las pruebas en una sentencia recursiva en general con los valores que el sensor arroja. En este contexto se descubrió que por debajo de los 80 grados de inclinación es el valor adecuado para finalizar el proceso de uno de los embudos de HALL.

Anexo 7

Métodos de medición de los embudos.

Se utilizó un calibrador con un nonio de 50 divisiones para medición de diámetros exteriores (figura 4.1), diámetros interiores (figura 4.2), longitudes (figura 4.3), profundidades (figura 4.4)

Diámetros exteriores.



Figura 4-1 Mediciones de diámetros exteriores. Fuente: Autor

Diámetros interiores.



Figura 4-2 Mediciones de diámetros interiores. Fuente: Autor

Longitudes



Figura 4-3 Medición de longitudes. Fuente: Autor.

Profundidad.



Figura 4-4 Medición de profundidad. Fuente: Autor

Medición del ángulo interno

Para la medición del ángulo interno tomamos como referencia la cantidad de volumen que cabe en el orificio, esta característica nos brinda el software CAD en propiedades de la sección el cual nos da un volumen de 0.06 litros (66 mililitros).

Llenamos dos jeringas de 60 ml hasta obtener los 66 ml en dos partes, procedemos a verter el aceite en el embudo cerrando el orificio de salida del embudo y comprobamos si se llena en su totalidad el embudo hasta el borde (figura 4.5).

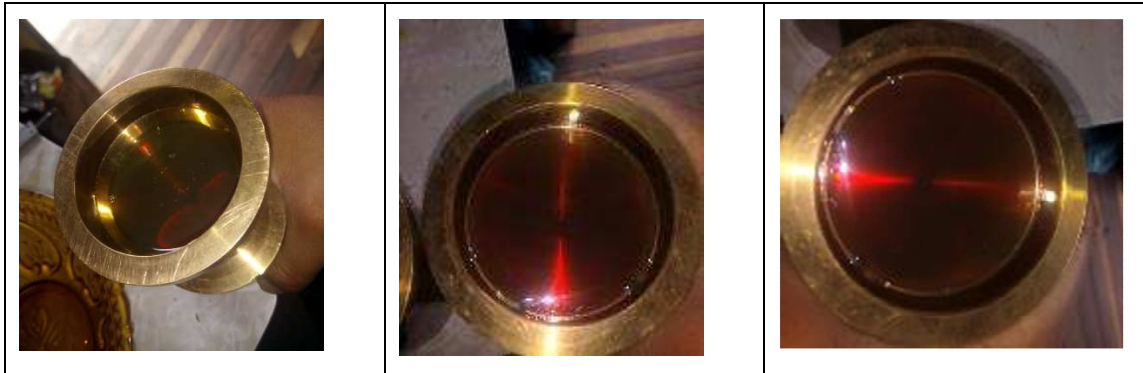


Figura 4-5 Comprobación del ángulo interno mediante el volumen. Fuente: Autor

Medición de la rugosidad en el cono interno.

Para la medición de la rugosidad primero se procedió a pulir el cono interno con lijas de agua #100, 150, 200 y 250 para poder llegar a un acabado superficial tipo espejo. Este procedimiento se realizó en un torno (figura 4.6)

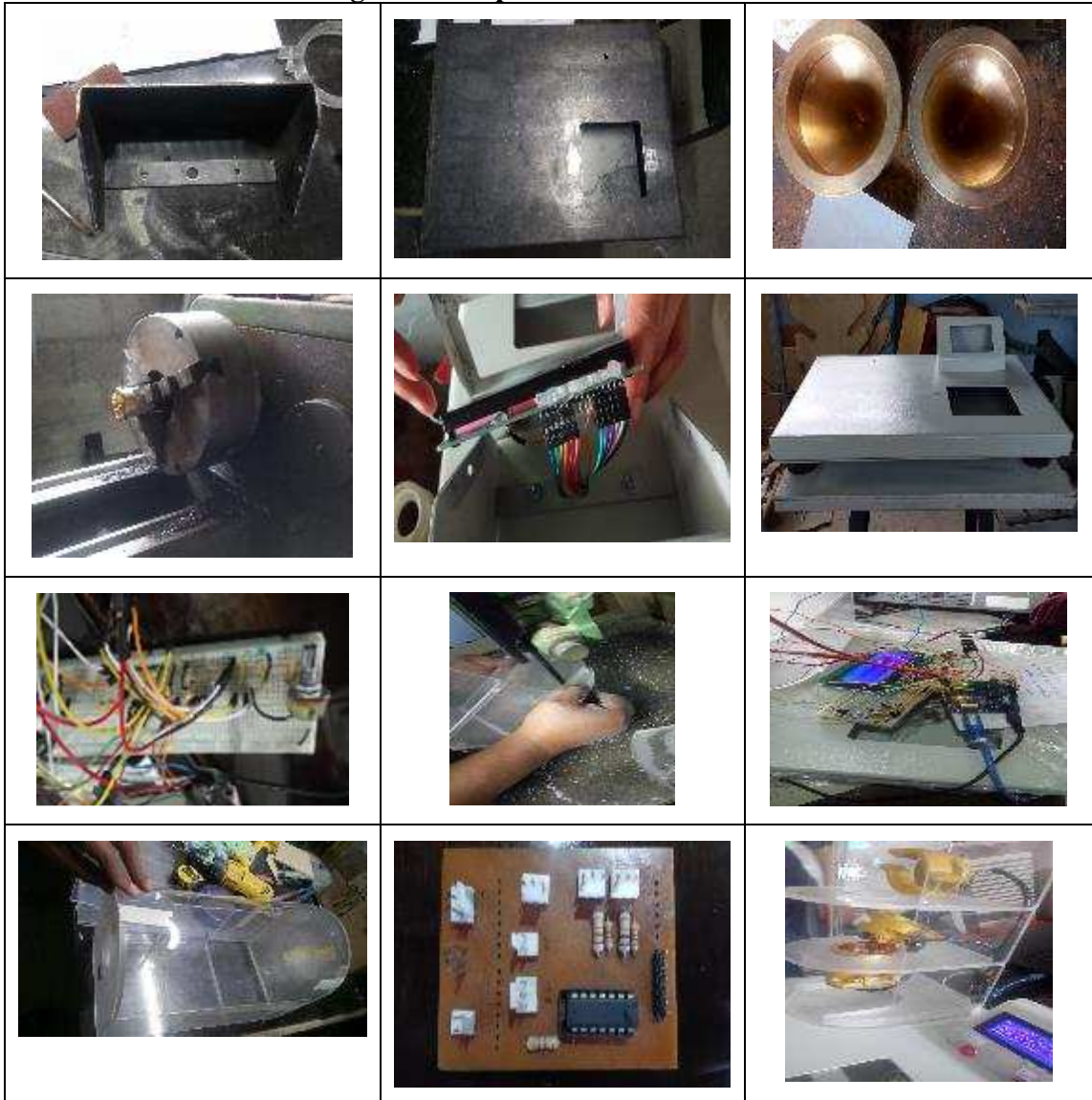


Figura 4-6 Proceso de pulido del embudo de Hall. Fuente: Autor

La medición de la rugosidad se realizó con el equipo disponible en los laboratorios de la facultad de ingeniería civil y mecánica el cual arrojó como resultado una rugosidad global menor a 0.028. Cada embudo fue sometido a 3 mediciones en diferentes partes del cono (figura 4.7)



Anexo 8
Fotografías del proceso de construcción



Anexo 9
Instrucciones de mantenimiento

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN				
Máquina: Flujómetro de Hall	Responsable:	Alex Guamán	Revisó:	Ing. Gonzalo López.
Actividad	Al momento de usarlo	Semanal	Mensual	Anual
Limpieza total de la máquina				
Revisar apriete Tornillos				
Chequeo de instalaciones eléctricas				
Verificar la estructura y posibles defectos en la misma				
Chequeo de los servo motores				
Chequeo de elementos electrónicos				
Chequeo del controlador Arduino				
Calibración del embudo				

Anexo 10
Norma ISO 4490



Quito – Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN-ISO 4490

Primera edición
2014-01

**POLVOS METÁLICOS. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE
FLUJO MEDIANTE UN CONDUCTO CALIBRADO (APARATO DE
HALL) (ISO 4490:2008, IDT)**

METALLIC POWDERS. DETERMINATION OF FLOW RATE BY MEANS OF A CALIBRATED
FUNNEL (HALL FLOWMETER) (ISO 4490:2008, IDT)

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional

ISO 4490:2008.

DESCRIPTORES: Polvos, metálicos, determinación, velocidad, flujo, conducto, calibrado.
ICS: 77.160

9 Páginas

Prólogo nacional

Esta Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 4490 es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO 4490:2008, "*Metallic powders. Determination of flow rate by means of a calibrated funnel (Hall flowmeter)*", la fuente de la traducción es la norma adoptada por AENOR. El comité nacional responsable de esta Norma Técnica Ecuatoriana y de su adopción es el Comité Interno del INEN.

PRÓLOGO

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). El trabajo de preparación de las normas internacionales normalmente se realiza a través de los comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene el derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones internacionales, públicas y privadas, en coordinación con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todas las materias de normalización electrotécnica.

Las normas internacionales se redactan de acuerdo con las reglas establecidas en la Parte 2 de las Directivas ISO/IEC.

La tarea principal de los comités técnicos es preparar normas internacionales. Los proyectos de normas internacionales adoptados por los comités técnicos se envían a los organismos miembros para votación. La publicación como norma internacional requiere la aprobación por al menos el 75% de los organismos miembros que emiten voto.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento puedan estar sujetos a derechos de patente. ISO no asume la responsabilidad por la identificación de cualquiera o todos los derechos de patente.

La Norma ISO 4490 fue preparada por el Comité Técnico ISO/TC 119, *Pulvimetalurgia*, Subcomité SC 2, *Métodos de ensayo y de muestreo para polvos (incluyendo polvos de metales duros)*.

Esta tercera edición anula y sustituye a la segunda edición (ISO 4490:2001) que ha sido revisada técnicamente.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma internacional especifica el método para la determinación de la velocidad de flujo de polvos metálicos, incluyendo los polvos para metal duro, mediante un embudo calibrado (medidor de flujo Hall).

El método se aplica solamente a polvos que fluyan libremente a través de un determinado orificio de ensayo.

2 PRINCIPIO

Se mide el tiempo invertido para que 50 g de un polvo metálico fluyan a través del orificio de un embudo calibrado de medidas normalizadas.

3 APARATOS

3.1 Embudo calibrado, con las medidas indicadas en la figura 1 (véase el capítulo 4).

El embudo calibrado debe fabricarse con materiales metálicos no magnéticos, resistentes a la corrosión y con el suficiente espesor de pared y dureza para evitar su deformación y un excesivo desgaste¹⁾.

3.2 Soporte y base horizontal antivibraciones, para soportar rígidamente el embudo calibrado, como se indica por ejemplo en la figura 2¹⁾.

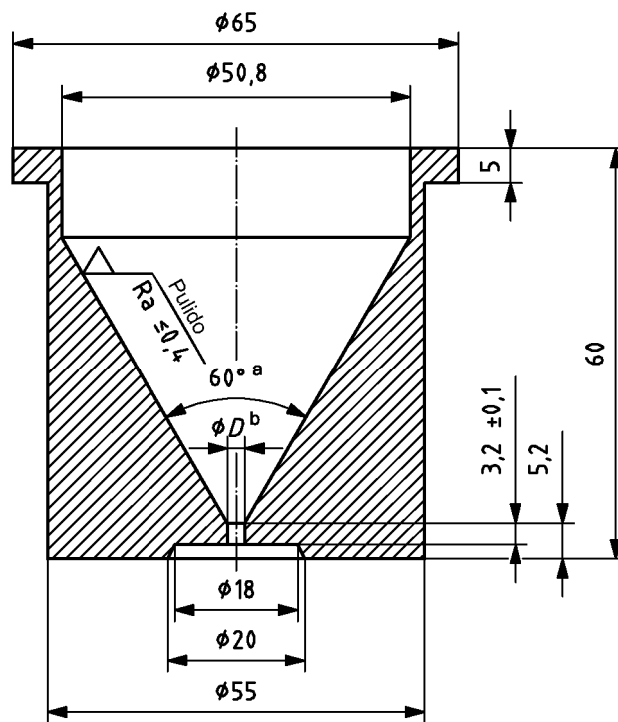
3.3 Balanza con la suficiente capacidad para pesar la muestra de laboratorio con una precisión de $\pm 0,05$ g.

3.4 Cronómetro, con la suficiente capacidad para medir el tiempo transcurrido con una precisión de $\pm 0,1$ s.

3.5 Polvo de esmeril de origen chino, material de referencia en polvo para la calibración del embudo¹⁾.

1) Los aparatos que cumplen los apartados 3.1 y 3.2, y el polvo de esmeril de origen chino pueden adquirirse a AcuPowder International, LLC, 901, Lehigh Avenue, Union, NJ 07083 USA. Se da esta información para conveniencia de los usuarios de esta norma internacional y no constituye una aprobación por parte de ISO de la compañía citada. Se pueden utilizar productos equivalentes si se demuestra que conducen a los mismos resultados.

Medidas en milímetros



Leyenda

^a Este valor es obligatorio.

^b $D = 2,5^{+0,2}_0$.

Figura 1 – Embudo calibrado (medidor de flujo Hall)

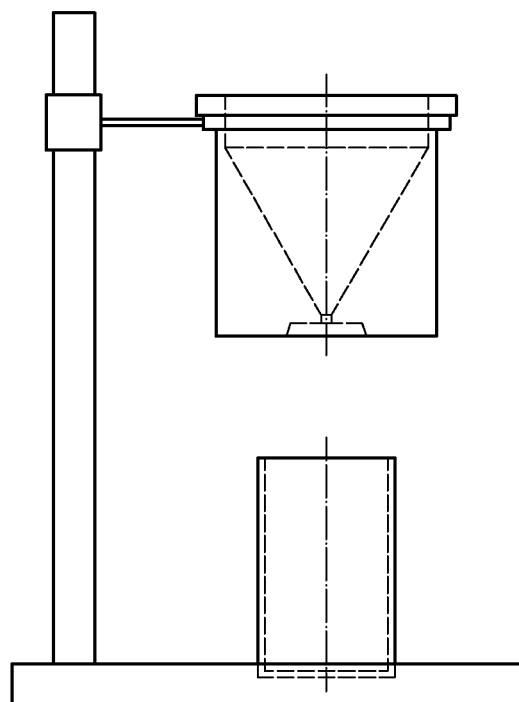


Figura 2 – Disposición del embudo calibrado y del soporte

4 CALIBRACIÓN DEL EMBUDO

4.1 Calibración del embudo por el fabricante

El fabricante debe suministrar el embudo calibrado de la siguiente manera:

- a) Se seca el polvo de esmeril de origen chino (3.5) en un recipiente de cristal limpio y abierto al aire a 110 °C durante 60 min.
- b) Se enfría el polvo de esmeril hasta la temperatura ambiente en un desecador.
- c) Se pesan 50 g del polvo de esmeril.
- d) Se sigue el procedimiento descrito en el capítulo 6.
- e) Se repite el procedimiento con los mismos 50 g de polvo de esmeril hasta que se obtengan cinco determinaciones dentro de un intervalo de 0,4 s.
- f) Se marca en la base del embudo la media de esas cinco determinaciones, que debe estar dentro del intervalo de $(40,0 \pm 0,5)$ s.

El polvo de esmeril de origen chino que se usa como referencia reemplaza al polvo de esmeril de origen turco de la edición de 1978 de esta norma internacional, dado que ya no se puede adquirir este último. Se ha demostrado que el polvo de esmeril de origen chino es más sensible, por lo que las instrucciones para su uso deberían seguirse cuidadosamente.

4.2 Calibración del embudo por el usuario

La velocidad de flujo de la muestra de referencia debe determinarse mediante el método anterior. Si el tiempo de flujo ha cambiado y se sale del intervalo $(40,0 \pm 0,5)$ s, debe utilizarse un factor de corrección cuando se midan otros polvos. Este factor de corrección se obtiene dividiendo 40,0 por este nuevo valor para el polvo de esmeril de origen chino.

Se recomienda que el usuario verifique periódicamente si es necesaria o no una corrección.

Se recomienda que, antes de adoptar un factor de corrección, se investigue la causa del cambio. Si el tiempo de flujo ha disminuido, es probable que su uso frecuente haya desgastado el orificio y se justifique un (nuevo) factor de corrección. Un aumento en el tiempo de flujo puede indicar un recubrimiento de polvo blando en el orificio. Este recubrimiento debería eliminarse cuidadosamente y repetirse el ensayo de calibración.

Se recomienda dejar de usar el embudo calibrado después de que la velocidad de flujo de la muestra de referencia haya disminuido a menos de 37 s.

5 TOMA DE MUESTRAS

5.1 La muestra de laboratorio debe de ser al menos de 200 g.

5.2 En general el polvo debe ensayarse en la condición en la que se recibe. En ciertos casos, y después de acuerdo entre el suministrador y el usuario, el polvo puede secarse. Sin embargo, si el polvo es susceptible de oxidación, el secado debe tener lugar en vacío o con un gas inerte. Si el polvo contiene sustancias volátiles, no debe secarse.

5.3 Inmediatamente antes del ensayo, se pesa una fracción para ensayo de $50 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$.

5.4 La determinación se debe realizar sobre tres fracciones para ensayo.

6 PROCEDIMIENTO

Se transfiere la fracción para ensayo al embudo calibrado, manteniendo cerrado el orificio de descarga presionando con un dedo seco. Se tiene cuidado de que el orificio este lleno de polvo. Se arranca el cronómetro (3.4) cuando el orificio está abierto y se para en el instante en el que el polvo deja de salir por el orificio. Se registra el tiempo transcurrido con una precisión de 0,1 s.

Alternativamente, se puede mantener abierto el orificio mientras se transfiere la fracción para ensayo al embudo, manteniéndose igual el resto del procedimiento.

NOTA Si el polvo no comienza a fluir cuando se abre el orificio, está permitido un ligero golpecito en embudo para iniciar el flujo. Si esto no tiene efecto, o durante el ensayo el flujo se para, se considera que el polvo no tiene la fluidez necesaria para el método de ensayo descrito en esta norma internacional.

7 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Se calcula la media aritmética de los resultados de tres determinaciones y se informa del tiempo en segundos para 50 g, con una precisión de 1 s. Cuando se deba utilizar un factor de corrección (véase 4.2), se debe multiplicar esta media por dicho factor de corrección.

8 PRECISIÓN

No hay información relevante para este apartado.

9 INFORME DE ENSAYO

El informe de ensayo debe incluir la siguiente información:

- a) referencia a esta norma internacional, es decir, ISO 4490:2008;
- b) todos los detalles necesarios para la identificación de la muestra de laboratorio;
- c) el resultado obtenido;
- d) el uso de un orificio abierto;
- e) todas las operaciones no especificadas en esta norma internacional, o señaladas como opcionales (por ejemplo, el procedimiento de secado aplicado o si se ha inducido el flujo mediante un golpecito en el embudo calibrado);
- f) los detalles de cualquier incidente que pueda haber afectado al resultado.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: TÍTULO: POLVOS METÁLICOS. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLUJO MEDIANTE UN CONDUCTO CALIBRADO (APARATO DE HALL) (ISO 4490:2008, IDT) **Código:** ICS 77.160
NTE INEN-ISO 4490

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio: 2013-11-25	REVISIÓN: La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma Oficialización con el Carácter de por Resolución No. publicado en el Registro Oficial No. Fecha de iniciación del estudio:
--	---

Fechas de consulta pública: 2013-11-27 al 2013-12-12

Comité Interno del INEN:
Fecha de iniciación: 2013-12-13
Integrantes del Comité Interno:

Fecha de aprobación: 2013-12-13

NOMBRES:

Eco. Agustín Ortiz (Presidente)
Ing. José Luis Pérez
Ing. Paola Castillo
Ing. Tatiana Briones

Ing. Laura González
Ing. Bolívar Cano
Ing. Gonzalo Arteaga (Secretaría Técnica)

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

DIRECCION EJECUTIVA
COORDINACIÓN GENERAL TÉCNICO
DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN
DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN Y
CERTIFICACIÓN
DIRECCIÓN DE METROLOGÍA
DIRECCION DE REGLAMENTACIÓN
DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

Otros trámites: Compromiso Presidencial N° 20549 del 08 de junio del 2013, para el fortalecimiento de normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como: Voluntaria Por Resolución No. 13530 de 2013-12-20
Registro Oficial Suplemento No. 155 de 2014-01-06

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección Ejecutiva: E-Mail: direccion@inen.gob.ec
Dirección de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gob.ec
Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gob.ec
Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gob.ec
Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gob.ec
[URL:www.inen.gob.ec](http://www.inen.gob.ec)**