



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

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

**TEMA:**

---

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA INSPECCIONES MEDIANTE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS FLUORESCENTES (MT) PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE MECÁNICA”**

---

**AUTORES:** José Luis Fuentes Córdova

Jesús Alejandro Núñez Maliza

**TUTOR:** Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

**AMBATO – ECUADOR**

**Marzo – 2023**

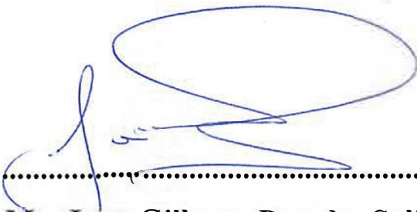
## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA INSPECCIONES MEDIANTE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS FLUORESCENTES (MT) PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE MECÁNICA.**", elaborado por los señores José Luis Fuentes Córdova portador de la cédula de ciudadanía C.I. 180530727-7 y, Jesús Alejandro Núñez Maliza portador de la cédula de ciudadanía C.I. 180532913-1, estudiantes de la Carrera de Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, marzo 2023



.....

**Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas**  
**TUTOR**



## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros, José Luis Fuentes Córdova, con C.I. 180530727-7 y Jesús Alejandro Núñez Maliza, con C.I. 180532913-1, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con tema "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA INSPECCIONES MEDIANTE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS FLUORESCENTES (MT) PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE MECÁNICA.**", así como también tablas, figuras, análisis, conclusiones y recomendaciones, son de nuestra responsabilidad como autores de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

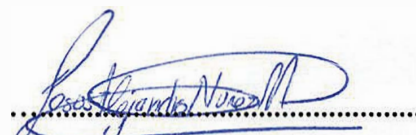
Ambato, marzo 2023



**José Luis Fuentes Córdova**

**C.I. 180530727-7**

**AUTOR**



**Jesús Alejandro Núñez Maliza**

**C.I. 180532913-1**

**AUTOR**

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos 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 Institución.

Cedemos los Derechos en línea patrimoniales de nuestro Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además aprobamos 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 nuestros derechos de autor.

Ambato, marzo 2023



**José Luis Fuentes Córdova**

**C.I. 180530727-7**

**AUTOR**



**Jesús Alejandro Núñez Maliza**

**C.I. 180532913-1**

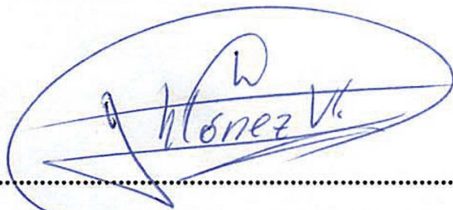
**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por los estudiantes José Luis Fuentes Córdova y Jesús Alejandro Núñez Maliza, de la Carrera de Mecánica, bajo el tema: "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA INSPECCIONES MEDIANTE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS FLUORESCENTES (MT) PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE MECÁNICA.**"

Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature appears to be "López Vel." with a large "W" above it.

.....  
Ing. Mg. Jorge Enrique López Velásteguí  
**MIEMBRO CALIFICADOR**

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature is more complex and stylized.

.....  
Ing. Mg. Oscar Iván Analuiza Maiza  
**MIEMBRO CALIFICADOR**

## DEDICATORIA

*El presente trabajo es consagrado a aquellas personas importantes en mi vida, de las cuales he recibido los valores, la inspiración, los anhelos y el apoyo incondicional, para cumplir una meta más en mi existencia, con especial afecto, dedico este proyecto técnico a mi madre Gioconda y mi abuelo Segundo Luis, los cuales han estado presentes en cada momento de mi vida, siendo siempre el pilar en mi desarrollo personal y mi educación, recalando siempre su apoyo y afecto, esto fue posible gracias a mi familia.*

*Jesús Alejandro Núñez Maliza*

## AGRADECIMIENTO

*Antes de todo agradezco a Dios por guiar mi camino y brindarme su bendición, a través de salud, aptitud, amor, bondad y fortaleza para culminar esta etapa en mi vida y lograr una meta más en ella. A mi madre, abuelos y familia, por ser el apoyo principal en todos los momentos de mi existencia, por ser el norte en los momentos difíciles y por ser parte de todas las metas que he alcanzado, engrandeciendo siempre su apoyo, consejos y valores inculcados.*

*Me complace expresar mi agradecimiento al Ing. Juan Paredes, por depositar su confianza e interés en la concepción de este trabajo y su apoyo en cada una de las etapas hasta su consumación, así mismo, agradezco a los docentes de la carrera de Mecánica por impartir con excelencia los conocimientos, enseñanzas y experiencias que he asimilado en el transcurso de mi etapa académica, agradezco a la Universidad Técnica de Ambato por proporcionarme una ecuaníme formación en el aspecto educativo y personal, de igual forma, a mi compañero de tesis José Luis, por mostrar siempre el compromiso, apoyo y constancia en el desarrollo y culminación de este proyecto.*

*Jesús Alejandro Núñez Maliza*

## **DEDICATORIA**

*Una vez culminado el presente trabajo quiero dedicarlo a las personas que considero un pilar fundamental en mi formación académica y personal, en especial a mi madre Fanny Irma por ser mi apoyo incondicional y apoyarme en todo momento, de igual forma a mis hermanos y familia.*

*José Luis Fuentes Córdova*

## AGRADECIMIENTO

*Considero gratificante expresar mi agradecimiento a Dios por ser la luz que guía mi camino, a mi padre Jorge Elvis por ser el sustento económico durante mi formación académica, mi madre Fanny Irma por la sabiduría y apoyo incondicional, a mi hermano Jorge Alberto por ser un pilar fundamental en mi vida. De igual forma quiero agradecer a la Universidad Técnica de Ambato por permitirme obtener mi título universitario, a mi tutor de tesis el Ingeniero Juan Paredes por la buena predisposición y conocimientos brindados, al igual que a mi compañero de tesis Jesus Alejandro por sobrellevar este trabajo y aportar con sus conocimientos adquiridos para resolver cada una de las pequeñas problemáticas que se fueron desarrollando durante la realización del proyecto.*

*José Luis Fuentes Córdova*



## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
AGRADECIMIENTO .....	ix
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xviii
RESUMEN .....	xx
ABSTRACT.....	xxi
CAPITULO I .....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1.    Tema de Investigación .....	1
1.2.    Antecedentes Investigativos.....	1
1.3.    Objetivos .....	3
1.3.1.    Objetivo General .....	3
1.3.2.    Objetivos Específicos.....	3
1.4.    Fundamentación Teórica.....	3
1.4.1.    Ensayos no Destructivos .....	3
1.4.1.1.    Definición de END .....	4
1.4.1.2.    Propósitos de los Ensayos No Destructivos .....	4
1.4.1.3.    Clasificación de los métodos de Ensayos No Destructivos.....	4
1.4.2.    Defectología.....	6
1.4.2.1.    Definición de discontinuidad .....	6
1.4.2.2.    Tipos de discontinuidades .....	6
1.4.2.3.    Discontinuidades de soldadura.....	8
1.4.3.    Ensayos No Destructivos superficiales y subsuperficiales .....	10
1.4.3.1.    Pruebas Visuales (VT) .....	11
1.4.3.2.    Pruebas de Líquidos Penetrantes (PT) .....	13

1.4.3.3.	Pruebas de Corrientes de Foucault (ET) .....	15
1.4.3.4.	Pruebas de Partículas Magnéticas (MT) .....	16
1.4.4.	Banco de Pruebas .....	18
1.4.4.1.	Definición .....	18
1.4.4.2.	Equipo horizontal húmedo de partículas magnéticas .....	18
1.4.4.3.	Equipo estacionario de partículas magnéticas.....	21
1.4.4.4.	Equipo móvil y portátil de partículas magnéticas .....	24
1.4.5.	Principios de Magnetización .....	26
1.4.5.1.	Introducción .....	26
1.4.5.2.	Fuerzas magnéticas .....	28
1.4.5.3.	Campo magnético .....	29
1.4.5.4.	Flujo Magnético .....	29
1.4.5.5.	Densidad de flujo .....	29
1.4.5.6.	Fuerza de magnetización.....	30
1.4.5.7.	Permeabilidad magnética .....	30
1.4.5.8.	Histéresis Magnética.....	31
1.4.5.9.	Curva de Histéresis .....	31
1.4.5.10.	Magnetización.....	32
1.4.5.11.	Campo distorsionado.....	34
1.4.5.12.	Campos de fuga.....	34
1.4.5.13.	Efectos de sobre magnetización .....	35
1.4.5.14.	Tipos de corriente de magnetización.....	35
1.4.5.15.	Características técnicas de la corriente alterna y continua .....	38
1.4.6.	Métodos de Magnetización (Técnicas) .....	38
1.4.6.1.	Bobina .....	38
1.4.6.2.	Conductor Central .....	39
1.4.7.	Ensayo de Partículas Magnéticas Fluorescentes .....	39
1.4.7.1.	Partículas magnéticas secas .....	40
1.4.7.2.	Partículas magnéticas húmedas.....	40
1.4.7.3.	Procedimiento de inspección en el ensayo de partículas magnéticas fluorescentes. ....	41
1.4.8.	Transformador.....	42
1.4.8.1.	Transformador ideal.....	43
CAPITULO II .....		44
MATERIALES Y METODOLOGÍA.....		44

2.1.	Materiales y Equipos.....	44
2.1.1.	Materiales.....	44
2.1.1.1.	Acero ASTM A-36 .....	44
2.1.1.2.	Acero AISI 304 (Inoxidable) .....	44
2.1.1.3.	Acero SAE J403 – AISI 1010.....	45
2.1.1.4.	Cobre.....	46
2.1.2.	Recursos y Materiales usados para el modelado y simulación del banco de pruebas .....	47
2.1.3.	Recursos y Materiales usados para la construcción del transformador.....	48
2.1.4.	Recursos y Materiales usados para la construcción del banco de pruebas.....	49
2.1.5.	Recursos y Materiales usados para el sistema de control .....	51
2.2.	Metodología .....	53
2.2.1.	Tipos de Investigación .....	53
2.3.	Metodología de la Ingeniería inversa.....	54
2.3.1.	Ingeniería inversa aplicada al proyecto.....	54
2.4.	Tipos de piezas sometidas a ensayo .....	61
2.5.	Técnicas de magnetización de piezas sometidas a ensayo.....	61
2.5.1.	Tipos básicos de corriente de magnetización.....	61
2.5.2.	Técnicas de magnetización .....	62
2.5.2.1.	Magnetización directa e indirecta .....	62
2.5.3.	Magnetización de contacto directo .....	62
2.5.3.1.	Magnetización general por contacto de cabezal y contrapunto.....	62
2.5.4.	Magnetización indirecta.....	62
2.5.4.1.	Magnetización por bobina y cable .....	62
2.5.4.2.	Corriente de magnetización inducida por conductor central.....	63
2.6.	Consideraciones del método aplicado.....	63
2.6.1.	Corriente de Magnetización .....	63
2.6.1.1.	Magnetización circular.....	63
2.6.1.2.	Magnetización circular inducida por conductor central.....	64
2.6.1.3.	Magnetización Longitudinal .....	66
2.7.	Resumen del procedimiento del proyecto técnico (Diagrama).....	68
CAPITULO III.....		71
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		71
3.1.	Selección de alternativas para el diseño del banco de pruebas .....	71

3.1.1. Aplicación del método ordinal de criterios ponderados.....	71
3.2. Parámetros de Diseño .....	78
3.2.1. Dimensiones límites de la pieza a ser ensayada.....	78
3.2.2. Dimensiones generales de banco de pruebas .....	79
3.2.3. Parámetros de funcionamiento del banco de pruebas .....	79
3.3. Otros parámetros referentes al método de magnetización .....	79
3.4. Fuente de poder.....	80
3.4.1. Diseño del transformador.....	80
3.5. Diseño de Bobina.....	84
3.6. Dimensionamiento de las placas de contacto de cobre .....	85
3.7. Cálculos de diseño .....	86
3.7.1. Cabezales .....	86
3.7.1.1. Cabezal Fijo .....	86
3.7.1.2. Cabezal Móvil.....	94
3.7.2. Análisis de la estructura .....	98
3.7.3. Análisis del tamaño de soldadura en la estructura .....	100
3.7.4. Tornillo de transmisión de fuerza .....	105
3.7.5. Pernos de sujeción de placas – soportes.....	109
3.8. Prediseño del banco de pruebas (MT).....	122
3.9. Modelado CAD del banco de pruebas .....	124
3.10. Construcción del transformador.....	128
3.11. Construcción de banco de pruebas del banco de pruebas para partículas magnéticas fluorescentes (MT).....	132
3.12. Sistema de Control.....	138
3.13. Costos del Proyecto.....	141
3.14. Verificación del funcionamiento del banco de pruebas para partículas magnéticas fluorescentes. ....	148
3.14.1. Procedimiento del ensayo de Inspección Visual (VT) .....	149
3.14.2. Procedimiento del ensayo con Partículas Magnéticas Secas .....	150
3.14.3. Procedimiento del ensayo con Partículas Magnéticas Húmedas Fluorescentes.....	152
3.14.4. Ensayo de Inspección Visual y ensayo de Partículas Magnéticas Secas y Húmedas fluorescentes con junta a tope de ranura en V (380mm).....	155
3.14.5. Ensayo de Inspección Visual y ensayo de Partículas Magnéticas Secas y Húmedas fluorescentes con junta a tope de ranura en V (180mm).....	166

3.14.6. Ensayo de Inspección Visual y ensayo de Partículas Magnéticas Secas Húmedas fluorescentes con soldadura en ranura con bisel simple, junta en T (300mm). .....	175
3.14.7. Ensayo de Inspección Visual y ensayo de Partículas Magnéticas Secas Húmedas fluorescentes con soldadura en ranura con bisel simple, junta en T (180 mm). .....	185
3.14.8. Ensayo de Inspección Visual y ensayo de Partículas Magnéticas Secas Húmedas fluorescentes con soldadura en ranura con bisel simple, junta a tope en tubería cilíndrica (180 mm). .....	195
3.15. Desarrollo de instructivos de manejo y mantenimiento de la bancada magnética y de uso, almacenamiento, preparación y mantenimiento de las partículas magnéticas fluorescentes de Método Húmedo. ....	207
3.15.1. Instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de partículas magnéticas fluorescentes base aceite .....	207
3.15.2. Hoja de datos del equipo de inspección por partículas magnéticas .....	215
3.15.3. Manual de Operación del equipo de inspección por partículas magnéticas .....	215
CAPITULO IV .....	216
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	216
4.1. Conclusiones .....	216
4.2. Recomendaciones .....	218
MATERIALES DE REFERENCIA .....	219
Referencias Bibliográficas .....	219
ANEXOS .....	222
Anexo 1. Bancada Magnética Minimag 1500 A .....	222
Anexo 2. Designación de tamaño de diámetros y áreas de roscas de tornillo UNC y UNF ..	223
Anexo 3. Pasos preferidos para roscas tipo Acme. ....	223
Anexo 4. Coeficiente de fricción de tornillo .....	224
Anexo 4.1. Coeficiente de fricción de collarín .....	224
Anexo 5. Pernos cabeza hexagonal grado 8 del catálogo de Boman .....	224
Anexo 6. Dimensiones de arandelas .....	225
Anexo 6.1. Longitud del sujetador .....	225
Anexo 6.2. Especificaciones SAE para pernos de acero. ....	226
Anexo 7. Dimensiones de roscas hexagonales .....	226
Anexo 8. Tubo estructural cuadrado .....	227
Anexo 9. Tubo estructural redondo .....	228
Anexo 10. Tubo estructural rectangular .....	229
Anexo 11. Criterios de Aceptación y rechazo de Inspección Visual .....	230
Anexo 12. Guía Estándar para Examen con Partículas Magnéticas. ....	231

Anexo 13. Práctica Estándar para Pruebas con Partículas Magnéticas.....	232
Anexo 14. Hoja de datos del equipo de inspección por partículas magnéticas.....	233
Anexo 15. Manual de Operación del equipo de inspección por partículas magnéticas .....	237
Anexo 16. Evidencia de entrega del equipo a la Universidad Técnica de Ambato .....	258
Anexo 17. Planos de Construcción .....	259

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Unidad de banco horizontal de partículas magnéticas húmedas .....	19
Figura 2: Unidad horizontal húmeda D960R .....	22
Figura 3: Montaje de inspección de anillo Keytos mediante la técnica de conductor central .....	23
Figura 4: Unidad móvil de MT .....	24
Figura 5: Unidad portátil de C.C.....	25
Figura 6: Yugo electromagnético de C.A. ....	25
Figura 7: Magnetos permanentes .....	26
Figura 8: Materiales Ferromagnéticos .....	27
Figura 9: Acero inoxidable austenítico .....	27
Figura 10: Materiales Diamagnéticos .....	28
Figura 11: Líneas de fuerza presentes en un imán .....	28
Figura 12: Comportamiento de la curva de imanación .....	30
Figura 13: Curva de Histéresis completa .....	31
Figura 14: Orientación del flujo magnético .....	32
Figura 15: Magnetización Longitudinal.....	33
Figura 16: Magnetización circular .....	33
Figura 17: Alteración de líneas de fuerza en los polos de un imán.....	34
Figura 18: Campo de fuga.....	35
Figura 19: Forma de onda de Corriente Continua.....	36
Figura 20: Forma de onda Corriente Alterna .....	36
Figura 21: Corriente continua rectificadora de media onda .....	37
Figura 22: Corriente continua rectificadora de onda completa .....	37
Figura 23: Magnetización por medio de un conductor central .....	39
Figura 24: Bancada magnética, modelo Mag Kit.....	55
Figura 25: Propiedades de la bancada magnética Mag Kit .....	56
Figura 26: Bancada magnética modelo minimag 500 .....	56
Figura 27: Región efectiva de examen cuando se utiliza conductor central desplazado .....	65
Figura 28: Ancho de la placa de cobre.....	85
Figura 29: Fuerzas que actúan sobre el cabezal fijo. ....	86
Figura 30: Diagrama de cuerpo libre del cabezal fijo.....	87
Figura 31: Diagrama de Corte del cabezal fijo. ....	88
Figura 32: Diagrama de Momento del cabezal fijo.....	88



Figura 33: Dimensiones del perfil tipo U.....	89
Figura 34: Centroide del perfil U.....	89
Figura 35: Puntos de análisis para el cortante transversal.....	91
Figura 36: Fuerzas que actúan en el cabezal móvil.....	94
Figura 37: Diagrama de cuerpo libre del cabezal móvil. ....	94
Figura 38: Diagrama de corte del cabezal móvil. ....	95
Figura 39: Diagrama de momento del cabezal móvil. ....	96
Figura 40: Dimensiones del perfil U.....	96
Figura 41: Tensión axial y de flexión sobre la estructura. ....	99
Figura 42: Desplazamientos de la estructura. ....	100
Figura 43: Esfuerzos en el punto de análisis de soldadura.....	101
Figura 44: Desplazamientos en el punto de análisis de soldadura. ....	101
Figura 45: Trazado de comprobación de soldadura. ....	102
Figura 46: Tamaño de soldadura en uno de los conectores. ....	102
Figura 47: Esfuerzos en el punto de análisis de soldadura.....	103
Figura 48: Desplazamientos en el punto de análisis de soldadura. ....	103
Figura 49: Trazado de comprobación de soldadura. ....	104
Figura 50: Tamaño de soldadura en uno de los conectores. ....	104
Figura 51: Perno con rosca completa .....	110
Figura 52: Perno con rosca en un tramo .....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales métodos de Ensayos no Destructivos.....	5
Tabla 2: Tipos de discontinuidades.....	7
Tabla 3: Clasificación de las discontinuidades en soldadura.....	8
Tabla 4: Clasificación de la capacidad de los métodos de END.....	10
Tabla 5: Ventajas y desventajas del método de inspección visual (VT) .....	12
Tabla 6: Criterios de aceptación de inspección visual. ....	12
Tabla 7: Ventajas y desventajas de la aplicación de la prueba de líquidos penetrantes (PT) . ....	14
Tabla 8: Ventajas y desventajas de la aplicación de la prueba de Foucault (ET). ....	16
Tabla 9: Componentes típicos de unidad húmeda horizontal de pruebas por partículas magnéticas.....	19
Tabla 10: Ventajas y desventajas de C.C. y C.A. ....	38
Tabla 11: Propiedades mecánicas del acero A-36.....	44
Tabla 12: Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304.....	45
Tabla 13: Propiedades mecánicas del acero SAE J403 - AISI 1010.....	45
Tabla 14: Propiedades mecánicas del Cobre.....	46
Tabla 15: Lista de materiales y recursos para el modelado y simulación del equipo. ....	47
Tabla 16: Lista de recursos y materiales para la construcción del transformador. ....	48
Tabla 17: Lista recursos y materiales para la construcción del equipo.....	50
Tabla 18: Listado de recursos y materiales usados para el control.....	51
Tabla 19: Bancadas Magnéticas disponibles en el Mercado.....	58
Tabla 20: Tipos de bobinas de bancadas magnéticas.....	59
Tabla 21: Tipos de fuentes de alimentación.....	60
Tabla 22: Listado de piezas sugeridas a ensayar.....	61
Tabla 23: Valores de corriente sugerida para Magnetización Circular Directa a utilizar en el equipo.....	64
Tabla 24: Rangos de amperaje por diámetro de conducto central desplazado a utilizar en el equipo.....	65
Tabla 25: Valores de amperaje para magnetización longitudinal en bobina.....	68
Tabla 26: Valorización de criterios.....	71
Tabla 27: Evaluación de criterios para banco de pruebas. ....	73
Tabla 28: Evaluación del criterio de factibilidad de fabricación de banco de pruebas. ....	74
Tabla 29: Evaluación del criterio de costo de fabricación de banco de pruebas.....	74

Tabla 30: Evaluación del criterio de tamaño y peso de banco de pruebas.....	75
Tabla 31: Evaluación del criterio montaje y desmontaje. ....	76
Tabla 32: Evaluación del criterio Mantenimiento.....	76
Tabla 33: Evaluación del criterio Confiabilidad. ....	77
Tabla 34: Tabla de conclusiones con ponderaciones de las alternativas de banco de pruebas. ...	78
Tabla 35: Dimensiones límites de pieza a ensayar en equipo de banco de pruebas. ....	78
Tabla 36: Dimensiones generales equipo de banco de pruebas. ....	79
Tabla 37: Dimensiones límites de pieza a ensayar en equipo de banco de pruebas. ....	79
Tabla 38: Parámetros referente al método de magnetización a emplearse en el equipo de banco de pruebas. ....	79
Tabla 39: Prediseño del banco de pruebas. ....	122
Tabla 40: Diseño de banco de pruebas.....	125
Tabla 41: Proceso de construcción del transformador. ....	128
Tabla 42: Construcción del banco de pruebas. ....	132
Tabla 43: Sistema de Control del Equipo. ....	139
Tabla 44: Costos directos del proyecto. ....	141
Tabla 45: Costos indirectos del proyecto.....	146
Tabla 46: Costo total del proyecto. ....	148

## RESUMEN

En la actualidad se ve reflejada la importancia de los Ensayos No Destructivos, tanto en el campo estudiantil como en el módulo educativo que imparte la carrera de Mecánica y su aplicación en el medio de la industria nacional e internacional, se proporcionó un nuevo equipo de END al laboratorio de Materiales de la Carrera. Para ello, se realizó una investigación exploratoria en hojas de datos de productos y en la Guía Estándar para Examen con Partículas Magnéticas (ASTM E 709 - 21), se diseñó el equipo, sobre el cual se desarrolló el cálculo y simulación respectiva, obteniendo un modelamiento satisfactorio para su construcción. Para la construcción del equipo, se requirió de procesos como: doblado, torneado, fresado, taladrado y soldadura SMAW, en acero A 500 Gr D y ASTM A 36. Respecto al diseño y construcción del transformador y sistema de magnetización se utilizó la Guía Estándar ASTM E1444 -15 y ASTM E 709 – 21, estableciendo un amperaje máximo de 1200 A para las técnicas de magnetización Circular y Longitudinal. Terminado el proceso de construcción del banco de pruebas, se comprobó su funcionamiento por medio de su uso, en la inspección de varios tipos de probetas por las técnicas de Magnetización Circular y Magnetización Longitudinal, bajo la aplicación del método seco y húmedo fluorescente. Finalmente, se elaboró el manual de uso del equipo y el desarrollo de un instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de la suspensión de partículas magnéticas fluorescentes base aceite que principalmente utiliza el equipo de banco de pruebas para el desarrollo de las inspecciones.

**Palabras clave:** Partículas magnéticas, Banco de pruebas, Ensayos no destructivos, Soldadura, Fluorescentes, Método Húmedo, Magnetización.

## ABSTRACT

Nowadays, the importance of Non-Destructive Testing is reflected in the student field as well as in the educational module taught by the Mechanics career and its application in the national and international industry, a new NDT equipment was provided to the Materials laboratory of the career. For this purpose, an exploratory research was carried out in product data sheets and in the Standard Guide for Magnetic Particles Examination (ASTM E 709 - 21), the equipment was designed, on which the respective calculation and simulation was developed, obtaining a satisfactory modeling for its construction. For the construction of the equipment, processes such as: bending, turning, milling, drilling and SMAW welding were required, in steel A 500 Gr D and ASTM A 36. Regarding the design and construction of the transformer and magnetization system, the Standard Guide ASTM E1444 -15 and ASTM E 709 - 21 were used, establishing a maximum amperage of 1200 A for the Circular and Longitudinal magnetization techniques. Once the construction process of the test bench was completed, its operation was tested by means of its use, in the inspection of several types of specimens by the Circular Magnetization and Longitudinal Magnetization techniques, under the application of the dry and wet fluorescent method. Finally, a manual for the use of the equipment and the development of an instruction manual for the use, storage and maintenance of the suspension of oil-based fluorescent magnetic particles, which is mainly used by the test bench equipment for the development of the inspections, were elaborated.

**Keywords:** Magnetic particles, Test Bench, Non-Destructive Testing, Welding, Fluorescent, Wet Method, Magnetization.

## **CAPITULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1. Tema de Investigación**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA INSPECCIONES MEDIANTE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS FLUORESCENTES (MT) PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE MECÁNICA”

#### **1.2. Antecedentes Investigativos**

De acuerdo a lo establecido por ASTM E-709 en la Guía Estándar para Examen con Partículas Magnéticas [1], existe una gran diversidad de equipos empleados para la magnetización de componentes y partes de material ferromagnético, los cuales requieren de una fuente de energía con la capacidad necesaria para enviar niveles de corriente adecuados para ocasionar un campo magnético, condicionado a la medida de cables, interruptores, medidores y rectificadores en caso de utilizar energía eléctrica alterna. A su vez, la portabilidad que tenga el equipo limitará la capacidad para producir un campo magnético con mayor flujo de corriente, sin embargo, presentan ventajas como la posibilidad de montarse y transportarse de manera sencilla.

En adición se indica que, mediante la aplicación de un equipo estacionario de partículas magnéticas, se puede realizar una magnetización longitudinal por medio de una bobina con núcleo de aire, produciendo un campo magnético paralelo a los ejes de la bobina, al pasar corriente a través de la bobina rodeando la pieza o sección a examinar [1].

Moreno [2], en su investigación nombrada Arduino y los ensayos no destructivos, realiza una aplicación del ecosistema del Arduino dentro del amplio campo de los ensayos no destructivos, uno de los ensayos involucrados es el de partículas magnéticas (MT) con la incorporación de una Sonda Hall que proporciona una caída de voltaje por medio de un conductor de corriente influenciado por un campo magnético externo (la dirección de las líneas del flujo debe ser perpendicular al flujo de corriente).

Los resultados que se obtuvieron transcurrida la investigación indica una mejora notable en cada uno de los ensayos no destructivos, específicamente en el ensayo de partículas magnéticas con la sonda hall se puede identificar el correcto funcionamiento del equipo, si presenta alguna anomalía y por último indica si el proceso de magnetización en la pieza es el adecuado [2].

El método de inspección por partículas magnéticas al igual que el examen por líquidos penetrantes, se limita a la detección de defectos superficiales o cercanos a la superficie, sin embargo, el método de partículas magnéticas considera factores como la sensibilidad que presenta para la localización de diversos tipos de defectos superficiales y poco profundas, principalmente grietas en el análisis de materiales ferromagnéticos, además este método presenta mucha sencillez y un costo relativamente bajo en la realización de las inspecciones, así también, facilita la detección de discontinuidades mediante el uso de la magnetización, generalmente requiriendo para la visualización del campo magnético del uso de una suspensión fluorescente con partículas de acero. El principio del examen MT, se basa en colocar en un campo magnético el elemento a examinar y sobre este aplicar hierro en forma de suspensión o polvo fino, si las partículas de hierro se alinean con el campo formado a manera de una película uniforme sobre la superficie del elemento y este no se muestra alterado, resultara que no existe ninguna discontinuidad superficial o subsuperficial. Caso contrario, si una discontinuidad perturba el campo magnético, se producirá una concentración de las partículas de hierro, la cual mostrara la presencia de esta, durante la inspección visual, para ello, es necesario que la grieta este alineada transversalmente o casi de manera transversal a las líneas del campo magnético, por esta razón es importante que el campo magnético que se utilice en el desarrollo de la inspección se forme de manera perpendicular a la dirección prevista a la formación de los defectos e ir variando su dirección en la búsqueda de estos. Esto se pue conseguir magnetizando la pieza secuencialmente mediante una bobina circular que produzca un campo magnético longitudinal y pasando corriente a través del elemento a inspeccionar para producir un campo magnético circular [3].



### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar y construir un banco de pruebas de ensayos no destructivos para inspecciones mediante partículas magnéticas fluorescentes (MT) para el laboratorio de materiales de la carrera de mecánica.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Realizar una investigación exploratoria en diversas fuentes bibliográficas, normas y hojas de datos de productos (Ingeniería Inversa) en base al diseño y construcción del banco de pruebas.
- Realizar el diseño de la bancada del banco de pruebas para inspecciones por partículas magnéticas fluorescentes (MT) bajo especificaciones técnicas y esquematización por medio de software.
- Realizar el diseño del sistema de magnetización del banco de pruebas para inspecciones de partículas magnéticas fluorescentes (MT) bajo especificaciones técnicas establecidas en las Normas ASTM E1444/E1444M – ASTM E709 y la esquematización por medio de software.
- Construir la bancada y el sistema de magnetización del banco de pruebas para inspecciones mediante partículas magnéticas fluorescentes (MT), bajo parámetros y especificaciones determinadas en el diseño.
- Realizar pruebas de funcionamiento del banco de pruebas para partículas magnéticas fluorescentes (MT), mediante inspección fundamentada en la Norma AWS D1.1.
- Desarrollar instructivos de manejo y mantenimiento de la bancada magnética y del uso y almacenamiento de las partículas magnéticas fluorescentes de Método Húmedo.

### **1.4. Fundamentación Teórica**

#### **1.4.1. Ensayos no Destructivos**

Los Ensayos no Destructivos forman parte de la ciencia de los materiales, como resultado, estos están relacionados y se ocupan de todos los aspectos de análisis referente a la capacidad de servicio y a la calidad de los materiales, elementos y estructuras,

incorporando nueva tecnología en procesos de control y monitoreo, medición y detección de discontinuidades, examinación de materiales y estructuras sin deterioro o daño en su capacidad de servicio revelando propiedades ocultas y defectos, por ello, en la actualidad los END se han convertido en un aspecto fundamental de la ingeniería y serán cada vez más vitales en el avance de programas de investigación, desarrollo, diseño y fabricación efectivos [4].

#### **1.4.1.1. Definición de END**

Los Ensayos no Destructivos (END), se han establecido como métodos empleados para realizar pruebas sobre una pieza, material, o sistema, sin comprometer su funcionalidad y así investigar precisamente las propiedades e integridad de los materiales u objetos de prueba [4].

Estas pruebas además de facilitar la identificación y comprobación de la presencia o ausencia de discontinuidades, principalmente grietas, porosidad, corrosión, desprendimientos y otras anomalías [4], permiten medir otras características de los objetos de prueba, como su dimensión, configuración, tamaño o estructura, incluyendo factores, así como, el tamaño de grano, contenido de aleación o dureza [3].

#### **1.4.1.2. Propósitos de los Ensayos No Destructivos**

La prueba visual (VT), si bien ha sido un recurso fundamental en los procesos de fabricación y mantenimiento desde 1920, actualmente ya no es el principal medio para determinar la calidad de estos mediante elementos de prueba, surgiendo así un gran espectro de pruebas no destructivas usadas alrededor del mundo, principalmente para detectar variaciones en el acabado de la superficie, cambios en la estructura, perceptibilidad de discontinuidades, medición de espesores y determinación de muchas otras especificaciones de los elementos de estudio y productos industriales, para así, garantizar su integridad y confiabilidad previniendo fallas y accidentes [4].

#### **1.4.1.3. Clasificación de los métodos de Ensayos No Destructivos**

La Junta Asesora Nacional de Materiales (NMAB), ha clasificado a las técnicas de prueba de Ensayos No Destructivos en seis clases principales de métodos como son: visual, penetración, magnético – eléctrico, radiación, químico – electroquímico y vibración mecánica [4].

En la tabla 1, se muestra el principio del ensayo, aplicación, ventajas y desventajas de los principales métodos de Ensayos no Destructivos.

Tabla 1: Principales métodos de Ensayos no Destructivos [4].

<b>Método</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Principios</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
<b>Pruebas Visuales (VT)</b>	Abarca cuantiosas aplicaciones industriales que abarca la inspección desde la materia prima hasta los productos terminados y la inspección en servicio.	Usa la luz transmitida o reflejada del objeto de prueba sobre el ojo humano u otros dispositivos para detección de la luz	Es un procedimiento económico, simple y requiere de un entrenamiento mínimo. Posee una amplia variedad de usos y beneficios	Solo permite la evaluación de las condiciones de la superficie del objeto de prueba. Se requiere de una fuente efectiva de iluminación.
<b>Prueba de Partículas Magnéticas (MT)</b>	Aplica a la totalidad de los materiales ferromagnéticos, piezas grandes y pequeñas, discontinuidades superficiales y subsuperficiales	El objeto de prueba esta magnetizado y sobre este se aplican partículas ferromagnéticas finas sobre la superficie, las cuales se alinean sobre las discontinuidades	Es un procedimiento fácil de aplicar. El equipo/material es económico. Es más sensible y rápido en comparación a la prueba con PT.	Solo puede detectar discontinuidades superficiales y pocas veces discontinuidades de subsuelo. Solo aplica para materiales ferromagnéticos,
<b>Pruebas Ultrasonicas (UT)</b>	Implica a la mayoría de los materiales que se pueden examinar si la transmisión del sonido y el acabado de la superficie son buenos y si la forma no es compleja.	Usa pulsos de sonido de alta frecuencia de un transductor, los cuales se propagan a través del material de prueba, reflejándose en las interfases resultado de las discontinuidades.	Aporta resultados precisos y de alta sensibilidad de manera rápida.	No permite realizar un registro permanente. Atenuación del material, acabado superficial y contorno. Requiere de acoplante.
<b>Pruebas de Penetración (PT)</b>	Aplica cualquier material solido no absorbente con superficies no recubiertas o contaminadas.	Utiliza un líquido que contiene un colorante visible o fluorescente el cual es aplicado sobre la superficie y detecta las discontinuidades por acción capilar.	Es un método relativamente fácil y los materiales empleados son baratos. Es un método extremadamente versátil y sensible, requiere un entrenamiento mínimo.	Se limita a discontinuidades solo en la superficie y esta debe poseer un estado libre de contaminantes y estar relativamente lisa.
<b>Pruebas Radiográficas (RT)</b>	Puede ser aplicado en la mayoría de los materiales, formas y estructuras. Incluye soldaduras, piezas fundidas, compuestos fabricados o en servicio.	Una película radiográfica es expuesta cuando la radiación pasa a través del objeto de prueba y las discontinuidades se muestran al afectarse a esta exposición.	Otorga una alta sensibilidad y registro permanente. Ofrece el examen volumétrico más utilizado y aceptado.	La prueba está limitada al espesor y densidad basado en el material. La orientación de las discontinuidades planas es fundamental en la prueba.
<b>Pruebas Infrarrojas Térmicas (TIR)</b>	Aplica en la mayoría de los materiales y componentes donde los cambios de temperatura están relacionados con las	Las alteraciones de temperatura en la superficie de los elementos de prueba se detectan y se miden utilizando sensores térmicos y cámaras.	Aporta sensibilidad extrema a los cambios ligero de temperatura en piezas pequeñas o áreas grandes.	La prueba no es eficaz para detectar defectos en piezas gruesas y solo permite evaluar las superficies.

Método	Aplicación	Principios	Ventajas	Limitaciones
	condiciones de la pieza – conductividad térmica.		Proporciona un registro permanente.	La evaluación requiere de un alto nivel de habilidad.
<b>Prueba de Emisión Acústica (AE)</b>	Aplica en la inspección de soldaduras, recipientes a presión, equipos rotativos, algunos compuestos y estructuras sometidos a tensión o compresión.	En la medida en que se propagan las discontinuidades, se libera energía que viaja a manera de ondas de tensión a través del material, las cuales son detectadas por medio de sensores.	Permite monitorear áreas grandes para detectar condiciones de deterioro y predecir la falla.	Requiere que los sensores hagan contacto con la superficie de prueba. Precisa de múltiples sensores para la ubicación de fallas. Requiere de interpretación de las señales.
<b>Prueba de Corrientes de Foucault (ET)</b>	Permite examinar todos los materiales conductores en busca de fallas, condiciones metalúrgicas, adelgazamiento y conductividad.	Se inducen campos eléctricos localizados en una muestra de prueba conductiva mediante inducción electromagnética.	Brinda un proceso rápido, versátil, sensible, sin contacto y es fácilmente adaptable a la automatización y a los exámenes in – situ.	Requiere que las variables sean entendidas y controladas. La prueba tiene poca profundidad de penetración, efectos de despegue y condición de superficie.

## 1.4.2. Defectología

### 1.4.2.1. Definición de discontinuidad

De acuerdo a lo establecido en AWS B1.10:2016, una discontinuidad es una intermisión en la estructura típica de un material y comprende la falta de homogeneidad en las características mecánicas, metalúrgicas o físicas [5].

Es preciso indicar que una discontinuidad no necesariamente es un defecto, de igual manera se ha establecido que un defecto es una discontinuidad o varias que por su naturaleza o efecto de su acumulación, hacen que una pieza o elemento no cumpla con las normas mínimas de aceptación aplicables [5].

### 1.4.2.2. Tipos de discontinuidades

Una discontinuidad se puede originar en cualquier eventualidad durante la vida útil de una pieza metálica, pudiéndose producir en alguna de las 3 etapas significativas de la vida de la misma. Si esta discontinuidad se desarrolla durante la producción inicial de la pieza, esta se denomina como una discontinuidad inherente [6].

Si esta se crea durante los procesos de fabricación, se designa como una discontinuidad de proceso; y se denomina como discontinuidad de servicio, si está se produce por el uso y sus correspondientes circunstancias de carga y/o ambiente [6].

La tabla 2, describe los principales tipos de discontinuidades de acuerdo a su clasificación y capacidad de producirse de manera superficial o internamente en una pieza de ensayo según se etapa de producción, fabricación y servicio.

Tabla 2: Tipos de discontinuidades [6].

<b>Tipos de discontinuidades</b>					
<b>Inherentes</b>		<b>De procesos</b>			<b>De servicio</b>
		<b>Primarios</b>		<b>Secundarios</b>	
Fundición	Lingote	Laminados	Forjados	Amolado Maquinado Tratamientos térmicos Soldadura	Corrosión Tensiones Fatiga
Salpicaduras Soplado en frío Desgarro en caliente Rechupes Inclusiones Porosidad Segregaciones	Inclusiones gaseosas Inclusiones no metálicas Contracciones Segregaciones	Laminaciones Costuras Cordones	Pliegues Laminaciones Estallido Fisuras	Fisuras Desgarramientos	Fisuras

En adición, se clasifica a las discontinuidades como superficiales e internas y se distingue 3 tipos de indicaciones que pueden producirse en una pieza en ensayo, comprendidas por indicaciones relevantes, no relevantes y falsas [6].

Las indicaciones no relevantes provienen de discontinuidades que no afectan de manera directa las condiciones de servicio de la pieza, pudiendo ser parte de la geometría de esta como orificios o fallas como poros y fisuras, entre otras que no representan un riesgo frente al funcionamiento y el servicio de la pieza [6].

Las indicaciones relevantes resultan de fallas graves e importantes que afectan de manera directa las capacidades de servicio de la pieza. Por último, las indicaciones falsas derivan de interferencias eléctricas, electrónicas, o por superficies demasiado rugosas en las piezas [6].

### 1.4.2.3. Discontinuidades de soldadura

Los defectos y discontinuidades en soldadura se pueden catalogar en superficiales e internas [6]. Del mismo modo, estas discontinuidades se pueden encontrar en las zonas del metal de soldadura afectadas por el calor y en el metal base de las soldaduras realizadas en cualquiera de los 5 tipos básicos de unión, comprendidas por las uniones a tope, en T, de esquina, traslapada y de borde [5].

A continuación, en la tabla 3, se muestra la clasificación de las discontinuidades de soldadura, de acuerdo con AWS B1.10:2016 de acuerdo a su tipo y localización.

Tabla 3: Clasificación de las discontinuidades en soldadura [5].

Tipo	Concepto	Localización	Observación
<b>Porosidad</b>			
Es una discontinuidad de tipo cavidad generalmente esférica o alargada, formada por el atrapamiento de gas durante la solidificación de la soldadura.			
Disperso	Porosidad distribuida uniformemente en todo el metal de soldadura a causa de técnicas o materiales de soldadura defectuosos.	Zona de metal de soldadura (WMZ)	La porosidad también se puede encontrar en la zona del metal base (BMZ) y la zona afectada por el calor (HAZ) si el metal base es una fundición.
Grupo	Matriz de porosidad con distribución geométrica aleatoria ocasionada por parámetros, técnicas o consumibles de soldadura inadecuados.		
Tubería	Porosidad con una longitud mayor que su ancho, la cual se encuentra perpendicular a la cara de soldadura.		
Alineada	Matriz de porosidad orientada en una línea de poros esféricos o alargados con formaciones en zonas cercanas a la raíz de la soldadura e interfaz de cordones de soldadura.		
Alargada	Porosidad que tiene una longitud mayor que su ancho, ubicada en una dirección paralela al eje de soldadura.		
<b>Inclusiones</b>			
Discontinuidades producidas por material sólido extraño atrapado como escoria, fundente, tungsteno u óxido.			
<b>Escoria</b>	Discontinuidades resultantes del atrapamiento de productos no metálicos dentro del metal de soldadura.	Zona de metal de soldadura (WMZ) – Interfaz de soldadura (WI)	N/A
<b>Tungsteno</b>	Resultan de partículas de tungsteno atrapadas en el metal de soldadura.		
<b>Fusión incompleta</b>	Es una discontinuidad de soldadura en la que no se produjo fusión entre el metal de soldadura y las caras de fusión o los cordones de soldadura adyacentes	Zona de metal de soldadura (WMZ) – Interfaz de soldadura (WI)	Se produce en la cara de fusión o entre cordones de soldadura contiguos.
<b>Penetración de junta incompleta</b>	Es una condición de raíz de junta en una soldadura de ranura en la que el metal de soldadura no se extiende a través del espesor de la junta.	Zona del metal base (BMZ)	Se produce en la raíz de soldadura en una soldadura de ranura.
<b>Socavado</b>	Es una ranura fundida en el material base adyacente a la punta de la soldadura o la raíz que queda sin rellenar con el metal de soldadura.	Zona afectada por el calor (HAZ) - Interfaz de soldadura (WI)	Se produce de manera adyacente a la punta de soldadura o a la raíz de la soldadura en el metal base.

<b>Tipo</b>	<b>Concepto</b>	<b>Localización</b>	<b>Observación</b>
<b>Falta de llenado</b>	Es una condición en la que la cara de soldadura o la superficie de la raíz de la soldadura, se extiende por debajo de la superficie adyacente del metal base resultando en una falla en el llenado completo de la junta.	Zona de metal de soldadura (WMZ)	Aplica la cara de soldadura o superficie de la raíz de una soldadura de ranura.
<b>Solapado</b>	Es la protuberancia del metal de soldadura no fusionado más allá de la punta o de la raíz de soldadura, la cual forma una muesca mecánica considerada rechazable.	Zona de metal de soldadura (WMZ)	Aplica en la soldadura de punta o la superficie de la raíz.
<b>Laminación</b>	Discontinuidad interna del metal base con separación o debilidad alineada paralelamente a la superficie trabajada de un producto laminado.	Zona del metal base (BMZ)	Aplica al metal base, generalmente cerca de la mitad del espesor de la sección.
<b>Delaminación</b>	Es una laminación que se ha separado bajo estrés.	Zona del metal base (BMZ)	Aplica al metal base, generalmente cerca de la mitad del espesor de la sección.
<b>Costuras y vueltas</b>	Discontinuidades de metal base que se encuentran en productos laminados, trefilados y forjados que aparecen en la superficie del producto trabajado.	Zona del metal base (BMZ)	Aplica la superficie del metal base, generalmente alineada con la dirección de la laminación.
<b>Desgarro laminar</b>	Grieta escalonada subsuperficial en el metal base con orientación paralela a la superficie causada por tensiones de tracción en la dirección del espesor de los metales base y debilitados por inclusiones no metálicas pequeñas y dispersas paralelas a la superficie del material.	Zona del metal base (BMZ)	Aplica el metal base.
<b>Grietas</b>			
Discontinuidades de tipo fractura caracterizadas por una alta relación de longitud y ancho con respecto al desplazamiento de la abertura, típicamente formadas en la zona del metal de soldadura, la zona afectada por el calor y el metal base cuando las tensiones localizadas superan la resistencia máxima del material.			
Longitudinal	Grietas formadas como resultado a altas velocidades de enfriamiento, altas velocidades de soldadura y problemas de porosidad que no aparecen en la superficie de soldadura.	Zona del metal base (BMZ) - Zona de metal de soldadura (WMZ) - Zona afectada por el calor (HAZ)	Aplica el metal base de la soldadura o el metal base adyacente a la interfaz de soldadura.
Transversal	Resultado de tensiones creadas por la contracción longitudinal del metal base, alta restricción de la junta o el metal de soldadura con niveles excesivos de hidrogeno.	Zona del metal base (BMZ) - Zona de metal de soldadura (WMZ) - Zona afectada por el calor (HAZ)	Aplica el metal de soldadura y puede propagarse a la zona afectada por el calor y al metal base.
Cráter	Denominadas también como grietas estrella, ocurren en el cráter de una soldadura, cuando esta se termina incorrectamente.	Zona de metal de soldadura (WMZ)	Aplica el metal de soldadura en el punto donde termina el arco.
Garganta	Son grietas longitudinales orientadas a lo largo de la garganta de soldadura de filete.	Zona de metal de soldadura (WMZ)	Se desarrolla de manera paralela al eje de soldadura a través de la garganta de una soldadura de filete.
Dedo de pie	Son grietas frías que se inician y propagan desde la punta de la soldadura donde se encuentran las tensiones de contracción térmica que actúan sobre una zona afectada	Zona afectada por el calor (HAZ) - Interfaz de soldadura (WI)	Aplica la superficie de la raíz o la raíz de soldadura.



<b>Tipo</b>	<b>Concepto</b>	<b>Localización</b>	<b>Observación</b>
	por el calor e inician de manera normal a la superficie del metal base.		
Cara y raíz	Grietas formadas en la cara o raíz de la soldadura o en sus superficies.	Zona de metal de soldadura (WMZ)	Aplica la cara, raíz o superficies de soldadura.
Debajo del cordón	Grietas en frío que se forman en la zona afectada por el calor del metal base que pueden unirse para formar una grieta continua.	Zona afectada por el calor (HAZ)	Aplica la zona afectada por el calor y puede propagarse al metal base.
<b>Concavidad</b>	Distancia máxima desde la cara de una soldadura de filete cóncava hasta una línea que une los extremos de la soldadura, es denominada también como garganta insuficiente.	Zona de metal de soldadura (WMZ)	Aplica la cara de soldadura de una soldadura de filete.
<b>Convexidad</b>	Distancia máxima desde la cara de una soldadura de filete convexa perpendicular a una línea que une los extremos de la soldadura como resultado de una muesca mecánica en la unión de la cara de la soldadura y el metal base donde se produce una superposición.	Zona de metal de soldadura (WMZ)	Aplica la cara de soldadura de una soldadura de filete.
<b>Refuerzo de soldadura</b>	En las soldaduras de ranura es el metal de soldadura en exceso a la cantidad requerida para llenar una junta ubicado en la raíz o en la cara de la soldadura.	Zona de metal de soldadura (WMZ)	Aplica la cara de soldadura o la superficie de la raíz de una soldadura de ranura.
<b>Salpicaduras</b>	N/A	Zona de metal de soldadura (WMZ) - Zona del metal base (BMZ)	Aplica la cara de soldadura o superficie de metal base.
<b>Golpe de arco</b>	N/A	Zona de metal de soldadura (WMZ) - Zona del metal base (BMZ)	Aplica la cara de soldadura o superficie de metal base.

### 1.4.3. Ensayos No Destructivos superficiales y subsuperficiales

La tabla 4, detalla la clasificación de los métodos de Ensayos no Destructivos superficiales y subsuperficiales, así como su capacidad de examinación.

Tabla 4: Clasificación de la capacidad de los métodos de END [7].

<b>Tipos de ensayos no destructivos (NDT) y sus capacidades</b>	
<b>Método</b>	<b>Capacidad</b>
<b>Visual</b>	Método de inspección de superficies
<b>Líquido Penetrante</b>	Método de inspección de superficies
<b>Inspección de partículas magnéticas</b>	Método de inspección de superficies y ligeramente subsuperficial
<b>Corrientes de Foucault</b>	Método primario de inspección de superficie
<b>Emisión Acústica</b>	Método de inspección volumétrica

Tipos de ensayos no destructivos (NDT) y sus capacidades	
Método	Capacidad
Ultrasonido	Método de inspección volumétrica
Radiografía	Método de inspección volumétrica

#### 1.4.3.1. Pruebas Visuales (VT)

La prueba de inspección visual es una técnica de uso simple, fácil aplicación, interpretación rápida y bajo costo, en adición es una de las técnicas más antiguas y sencillas, empleada para realizar la primera inspección sobre cualquier objeto de estudio sometido a una evaluación no destructiva utilizando como principal herramienta los ojos, y así determinar la ubicación y tipo de defectos presentes en la superficie de dicho objeto [8].

La inspección visual requiere de una buena visión y un conocimiento adecuado, permitiendo realizar una detección rápida para correcciones de fallas, por lo que es usada ampliamente para evaluar la calidad o la condición de una soldadura o componente sin requerir equipamiento especial, motivo por el cual esta es la principal herramienta en programas de control de calidad. Esta técnica puede ser mejorable con la adición de dispositivos que van desde lupas de baja potencia hasta estereoscopios conectados a sistemas de cámara o televisión, añadidos a la adecuada preparación de la superficie del objeto de prueba para resaltar los detalles de la superficie [7].

En adición, la prueba VT puede proporcionar información importante mediante el uso adecuado, entrenamiento y experiencia, sumada a una iluminación adecuada, limpieza del área de inspección y a estándares de calidad, contribuye a la revelación de algunos tipos de discontinuidades tales como porosidad en la superficie del objeto inspeccionado, diversos tipos de grietas superficiales, determinar el contorno y la rugosidad del cordón de soldadura, ubicación de escoria residual, películas de óxido, desalineación de juntas, entre otros factores que indiquen inferior calidad en el objeto de prueba [9]. En la tabla 5, se muestra las ventajas y desventajas del método de prueba de inspección visual.

Tabla 5: Ventajas y desventajas del método de inspección visual (VT) [9].

<b>Prueba de inspección visual</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Es el mejor método para detectar la ubicación, contorno y rugosidad del cordón de soldadura, socavado, desalineación de juntas y escoria residual.	Se limita a inspeccionar atributos de superficie y alineación.
Equipo mínimo requerido	No genera registro permanente fácilmente registrable
Método rápido y económico para usar, obtención rápida de resultados	No puede detectar de manera confiable algunos tipos de grietas en la superficie.

Con respecto a la categoría de discontinuidad y los criterios de inspección - aceptación para la inspección visual se tiene la tabla 6, que detalla la categoría de discontinuidad de soldadura y los criterios de inspección - aceptación para la inspección visual de acuerdo con AWS D1.1:2020.

Tabla 6: Criterios de aceptación de inspección visual [10].

<b>Categoría</b>	<b>Criterio de aceptación</b>	
<b>Tiempos de inspección</b>	La inspección visual de todas las soldaduras en todos los aceros puede empezar inmediatamente después de que las soldaduras completas se hayan enfriado a temperatura ambiente.	
<b>Prohibición de grietas</b>	Cualquiera grieta es inaceptable, independientemente de su tamaño o ubicación.	
<b>Fusión de soldadura/metal base</b>	Debe existir una fusión completa entre capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.	
<b>Sección transversal de cráter</b>	Todos los cráteres deberán llenarse para proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto los extremos de las soldaduras de filete intermitentes fuera de su longitud efectiva.	
<b>Soldaduras subdimensionadas</b>	El tamaño de soldadura de filete en una soldadura continua (L) puede ser menor que el tamaño nominal especificado (U).	
	L (Tamaño de soldadura nominal especificada in, [mm])	U (Disminución permitida en in, [mm])
	$\leq 3/16$ [5]	$\leq 1/16$ [2]
	$1/4$ [6]	$\leq 3/32$ [2,5]
	$\geq 5/16$ [8]	$\leq 1/8$ [3]
	En todos los casos, la parte inferior o disminuida de la soldadura no deberá exceder el 10% de la longitud de la soldadura.	

Categoría	Criterio de aceptación
<b>Socavado</b>	Para materiales de menos de 1 in [25 mm] de espesor, el socavado no excederá de 1/32 in [1 mm], con la excepción de que el socavado no exceda de 1/16 in [2 mm]. Para materiales iguales o superiores a 1 in [25 mm] de espesor, el socavado no excederá de 1/16 de [2 mm] para cualquier longitud de soldadura.
	En los miembros primarios, el socavado no deberá tener una profundidad superior a 0,01 in [0,25 mm] cuando la soldadura sea transversal a la tensión de tracción en cualquier condición de carga de diseño. El socavado no deberá tener más de 1/32 in [1 mm] para todos los demás casos.
<b>Porosidad</b>	Las soldaduras de ranura CJP en uniones a tope transversales a la dirección de la tensión de la tracción calculada, no tendrán porosidad vermicular visible. Para todas las demás soldaduras de ranura y de filete, la suma de la porosidad visible de 1/32 in [1 mm] o más de diámetro no deberá exceder de 3/8 in [10 mm].
	La frecuencia de la porosidad vermicular en las soldaduras de filete no deberá exceder de una en cada 4 in [100 mm] de longitud de soldadura y su diámetro máximo no excederá de 3/32 in [2,5 mm].
	Excepción: para las soldaduras de filete que conectan los refuerzos a la banda, la suma de los diámetros de la porosidad no excederá de 3/8 [10 mm] en cualquier pulgada lineal de soldadura y no deberá exceder los 3/4 in [20 mm] en cualquier longitud de soldadura de 12 in [300 mm].
<b>Porosidad</b>	Las soldaduras de ranura CJP en uniones a tope transversales a la dirección de la tensión de tracción calculada no tendrán porosidad vermicular. Para todas las demás soldaduras de ranura, la frecuencia de la porosidad no excederá de una en 4 in [100 mm] de longitud y el diámetro máximo no exceder de 3/32 in [2,5 mm].

#### 1.4.3.2. Pruebas de Líquidos Penetrantes (PT)

La prueba de tinte penetrante es una de las técnicas simples de prueba no destructivas mayormente utilizadas en todos los materiales, con excepción de los materiales porosos, esta técnica es empleada para detectar y revelar defectos superficiales y subsuperficiales por medio de un tinte. Para ello, primeramente, se debe limpiar la superficie a inspeccionar y luego se debe aplicar uniformemente un tinte sobre esta, de manera que el tinte penetre en los defectos por capilaridad dejándolo actuar por un tiempo adecuado para que este pueda penetrar por cada uno de los defectos en o cercanos a la superficie [7], [8].

Después de dicha aplicación, pasado un tiempo de permanencia, el exceso de líquido penetrante es removido de la superficie y se aplica un revelador, el cual actúa a manera de papel secante, extrayendo el tinte de las zonas capilares conformadas por los defectos,

motivo por el cual, dependiendo del tipo utilizado, los tintes penetrantes coloreados requieren de una adecuada fuente de luz blanca [7].

Del mismo modo, los tintes penetrantes fluorescentes requieren de condiciones de oscuridad para su uso con la aplicación de luz negra ultravioleta [7].

Como parte de las etapas del proceso a desarrollar en el método PT se tiene:

1. **Prelimpieza:** La superficie a inspeccionar debe limpiarse con alcohol isopropílico para eliminar contaminantes y permitir que el tinte penetre hacia las discontinuidades en la superficie [9].
2. **Aplicación de penetrante:** Procede una vez los agentes limpiadores se hayan evaporado, seguido de la aplicación de un líquido penetrante de acción capilar, ya sea de contraste a luz visible o fluorescente [9].
3. **Eliminación de exceso de penetrante:** Se elimina el exceso de penetrante que no se queda en las discontinuidades por cualquiera de los métodos de eliminación como son postemulsionante, lavable con solvente o lavable con agua [9].
4. **Aplicación de revelador:** Se debe aplicar uniformemente sobre la superficie y dejar actuar a manera de secador durante un tiempo adecuado, para la posterior examinación bajo luz visible o luz ultravioleta dependiendo del tipo de tinte empleado [9].
5. **Limpieza posterior:** Una vez evaluada la superficie de prueba, se debe limpiar con alcohol isopropílico para eliminar el revelador y el resto de penetrante [9].

A continuación, la tabla 7, describe las ventajas y desventajas del método de prueba de inspección de líquido penetrante.

Tabla 7: Ventajas y desventajas de la aplicación de la prueba de líquidos penetrantes (PT) [9] .

Prueba de líquido penetrante	
Ventajas	Desventajas
Es adecuada para materiales no magnéticos y que no se puedan inspeccionar con MT	Se limita a inspeccionar discontinuidades abiertas a la superficie de prueba
Los materiales/equipos de inspección son de bajo costo, fáciles de usar y portátiles.	Las temperaturas de aplicación están restringidas a los 50 a 100 °F, o en penetrantes de alta temperatura, hasta los 500 °F

<b>Prueba de líquido penetrante</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Los resultados de la prueba son fáciles de interpretar y se obtienen de manera inmediata.	No puede detectar de manera confiable algunos tipos de grietas en la superficie.
No requiere de equipo complejo y el personal se puede entrenar fácilmente	Requiere de una limpieza posterior a la aplicación del penetrante y el revelador.
No hay límite en el tamaño del objeto de prueba o muestra	Algunos penetrantes son inflamables y algunos requieren de eliminación especial, adicionalmente algunos materiales de estos pueden ser corrosivos para metales sensibles.
Es capaz de detectar indicaciones lineales y redondas muy pequeñas (0,003 in).	Las superficies ásperas y porosas pueden ocultar indicaciones reales y crear indicaciones falsas

Con respecto a las soldaduras sujetas a inspección por el método PT, en el estándar de aceptación por medio de inspección visual, se evaluarán en base a los criterios de aceptación y rechazo (Tabla 8.1) en conformidad con el procedimiento y la técnica en conformidad con la norma ASTM E165 [10].

#### **1.4.3.3. Pruebas de Corrientes de Foucault (ET)**

El método de prueba de corrientes de Foucault es una de las más antiguas pruebas de END, esta es una técnica electromagnética que solo se puede utilizar en materiales conductores, para la detección de grietas, fallas, variaciones de tamaño y material, e inclusive clasificar de manera rápida pequeños componentes [7].

El método consiste en una bobina energizada aplicada sobre la superficie de un objeto de prueba metálico, sobre el cual se inducen corrientes parasitas, las cuales crean campos magnéticos en dirección opuesta al campo magnético original de la bobina, en consecuencia, la impedancia de la bobina en contacto con la muestra, resulta afectada por la presencia de las corrientes de Foucault inducidas en el objeto [7]. En el momento en que las corrientes de Foucault aplicadas sobre el objeto a ensayar se distorsionan, estas muestran la presencia de defectos o variaciones existentes en el material, por ende, se produce una afectación en la impedancia de la bobina, la cual se debe medir para obtener la muestra que indica la condición del material y el tipo de defecto [7].

En la tabla 8, se presentan algunas ventajas y desventajas del ensayo de corrientes de Foucault (PT).

Tabla 8: Ventajas y desventajas de la aplicación de la prueba de Foucault (ET) [9].

<b>Prueba de corriente de Foucault</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Permite un registro permanente por medio de técnicas informáticas especiales	Dependiendo de la frecuencia de la bobina primaria, se limita a inspeccionar discontinuidades a una profundidad de aproximadamente ¼ in.
Emplea equipo portátil de bajo costo	Algunos tipos de equipos son complejos y costosos
Algunas de las técnicas empleadas se pueden automatizar fácilmente	Algunas técnicas requieren de un costoso y extenso entrenamiento
Algunas técnicas y procedimientos permiten que la pintura del objeto permanezca en la superficie de prueba	La evaluación final depende de la interpretación del inspector
Algunas técnicas permiten inspeccionar superficies mojadas, aceitosas o grasosas, si la bobina primaria empleada es resistente al agua o humedad.	Requiere de una superficie lo suficientemente lisa y limpia para mantener la bobina de prueba a una distancia constante respecto a la superficie a inspeccionar

#### **1.4.3.4. Pruebas de Partículas Magnéticas (MT)**

Esta técnica de prueba no destructiva regida por las leyes del magnetismo es utilizada en la detección de discontinuidades o defectos superficiales y cercanos a la superficie, específicamente en materiales ferromagnéticos como es el hierro y el acero, motivo por el cual la prueba MT, se limita a la inspección de materiales que resisten el paso de las líneas de flujo magnético [3].

Únicamente los materiales ferromagnéticos pueden ser inspeccionados por el método MT, por lo que previamente a su aplicación es necesario comprender los principios de magnetismo y electromagnetismo, en adición conocer los materiales sobre los cuales se puede realizar esta técnica, por lo que es necesario distinguir entre los 3 tipos de metales comúnmente aplicados, los cuales son los ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos [3].

En adición, el procedimiento del método MT se basa en el principio de distorsión de las líneas de flujo magnético, ocasionada por la aparición de defectos al revelar su presencia,

la cual se puede localizar por medio de la fuja de flujo al aplicar finas partículas de hierro en el área del objeto de prueba a inspeccionar [3].

Del mismo modo el método de inspección de partículas magnéticas puede ser usado para encontrar fallas o defectos debajo de la superficie, pero es empleado principalmente en zonas superficiales de los objetos a ensayar, sobre los cuales se aplican partículas de hierro secas o húmedas suspendidas en un líquido, siendo estas coloreadas o fluorescentes respectivamente [7].

En complemento, la efectividad de estas partículas puede variar dependiendo de la profundidad y el tipo de falla, por lo que es importante realizar una adecuada preparación de la superficie de los elementos a inspeccionar antes de realizar la prueba con partículas magnéticas para así evitar irregularidades de la superficie que pueden resultar en indicaciones falsas [7].

Como parte de las etapas del proceso a desarrollar en el método MT se tiene:

- 1. Prelimpieza:** Se la realiza por lo general, mediante esmerilado para eliminar la pintura, escoria y las incrustaciones, permitiendo que las partículas de hierro se desplacen libremente sobre la superficie de inspección [9].
- 2. Aplicación de partículas magnéticas:** Las partículas de hierro se aplican en la superficie del área de prueba, mientras la corriente eléctrica produce un campo magnético, ya sea mediante el método seco, en el cual se rocía una capa delgada y uniforme de partículas de hierro seco con colores de contraste sobre la superficie de prueba, o por el método húmedo, en el cual las partículas de hierro están suspendidas en agua, queroseno o un destilado de petróleo, adicionados a recubrimientos de partículas fluorescentes, y fluyen sobre la superficie de prueba mejorando la visibilidad y la sensibilidad de la prueba [9].
- 3. Establecimiento del campo magnético:** La geometría del objeto de prueba y la orientación de las discontinuidades y defectos determinan el método a utilizar para establecer el campo magnético, los cuales incluyen el método directo, el método de conductor central, método de bobina envolvente o el método de yugo magnético [9].
- 4. Eliminación del exceso de partículas magnéticas:** Mientras se siga produciendo el campo magnético, el sobrante de partículas se deben expulsar mediante aire a baja



presión para el caso del método seco, o dejarlas escurrir en caso de utilizar el método húmedo, al realizar una correcta eliminación solo las partículas atraídas por la fuga de eflujo permanecerán revelando las discontinuidades. Una vez evaluada la superficie de ensayo se procede a limpiar mediante cepillado o frotado con el fin de eliminar las partículas restantes [9].

Con respecto a las soldaduras sujetas a inspección por el método MT, en el estándar de aceptación por medio de inspección visual, se evaluarán en base a los criterios de aceptación y rechazo (Tabla 8.1) en conformidad con el procedimiento y la técnica en conformidad con la norma ASTM E709 [10].

#### **1.4.4. Banco de Pruebas**

##### **1.4.4.1. Definición**

Existen diversos equipos de ensayo MT con una disponibilidad alta que implica tanto las líneas de producción y las aplicaciones de campo, a su vez el equipo de prueba para partículas magnéticas tiene un rango que abarca desde pequeños dispositivos como es el caso del yugo magnético manual, hasta los equipos grandes como las unidades de prueba que facilitan de mejor manera diversas aplicaciones y se clasifican en unidades estacionarias, móviles y portátiles [3], [4].

En adición, los equipos y los sistemas empleados en las pruebas por partículas magnéticas deben acometerse a 2 condiciones de importancia, las cuales son:

1. Realizar pruebas de manera precisa en base los requisitos de amperaje, área de prueba y tamaño del objeto de prueba [4].
2. Realizar pruebas con la intervención del operador o sin ella, a una velocidad establecida y requerida [4].

Por ello, estas condiciones influirán en la selección de la unidad, materiales y sus requisitos tanto en aspectos del tamaño, forma, velocidad y configuración del equipo o sistema de prueba por partículas magnéticas [4].

##### **1.4.4.2. Equipo horizontal húmedo de partículas magnéticas**

La unidad o equipo horizontal húmedo es el dispositivo mayormente utilizado para realizar pruebas de producción, por lo que la longitud nominal de esta unidad se halla definida por el tamaño del objeto de prueba que puede abrazar en sus sujetadores [4].

Por lo que sus longitudes generalmente para la mayoría de aplicaciones de prueba van desde los 3 pies hasta los 12 pies (1 m a 4 m), del mismo modo se han construido escalas más grandes de este dispositivo extremadamente largas diseñados para realizar pruebas sobre palanquillas de acero, tubos de armas, tuberías de yacimientos petrolíferos e incluso cigüeñales de motores de ferrocarril entre otros [3], [4].

En este equipo, previo a la realización de la prueba de partículas magnéticas, se debe sujetar el objeto de prueba entre un cabezal y un contrapunto ajustable, de manera que se permita el desplazamiento de manera horizontal por medio de los rieles en la plataforma de la unidad [4].

En la figura 1, se puede observa un modelo de una unidad horizontal de END para inspecciones por partículas magnéticas (MT).



Figura 1: Unidad de banco horizontal de partículas magnéticas húmedas [4].

A continuación, la tabla 9, detalla el tipo y la descripción de los componentes típicos que conforman una unidad húmeda horizontal de inspección por partículas magnéticas.

Tabla 9: Componentes típicos de unidad húmeda horizontal de pruebas por partículas magnéticas [4].

<b>Componentes de una unidad húmeda horizontal</b>			
<b>Capucha</b>	Encierra la unidad para utilizar radiación ultravioleta	<b>Botón</b>	Inicia y detienen la corriente de magnetización
<b>Pedestal de instrumentos</b>	Mantiene medidores y otros controles	<b>Controlador de corriente</b>	Selecciona los niveles de corriente
<b>Amperímetro</b>	Mide el amperaje de la corriente continua	<b>Interruptor de pie</b>	Controla la válvula de presión de aire para la placa de contacto del cabezal
<b>Temporizador ajustable</b>	Controla el tiempo transcurrido de la corriente de magnetización	<b>Actuador (Solenóide)</b>	Se conecta a la barra del actuador para operar la corriente de magnetización

<b>Componentes de una unidad húmeda horizontal</b>			
<b>Fuente de luz visible</b>	Provee iluminación	<b>Indicador de encendido</b>	Indica cuando el suministro de energía esta activo
<b>Interruptores</b>	Enciende el ventilador de control y luz visible	<b>Interruptor de bomba</b>	Activa la bomba para la suspensión de partículas magnéticas
<b>Bobina</b>	Proporciona magnetización longitudinal	<b>Estantería</b>	Son placas de contacto de cabezal y contrapunto para soportar objetos de prueba
<b>Placa de contacto</b>	Proporciona conexión de circuito	<b>Manguera</b>	Entrega la suspensión de partículas magnéticas
<b>Contrapunto</b>	Parte ajustable para probar la longitud del objeto de prueba	<b>Boquilla</b>	Aplica la suspensión de las partículas magnéticas sobre el objeto de prueba
<b>Manivela</b>	Ajusta la posición del contrapunto	<b>Placa de contacto</b>	Conecta el circuito en el cabezal
<b>Cortina</b>	Encierra la capucha para restringir la luz visible	<b>Cabezal</b>	Soporta el cilindro de aire que opera la placa de contacto
<b>Barra actuadora</b>	Activa el actuador para operar la corriente de magnetización	<b>Brazo oscilante</b>	Permite el posicionamiento de la lampara ultravioleta
<b>Interruptor de transferencia</b>	Selecciona la magnetización de la bobina o del disparo de la cabeza magnética	<b>Fuente ultravioleta</b>	Proporciona radiación ultravioleta

El sistema de magnetización del equipo horizontal húmedo puede desarrollarse a manera de magnetización circular por contacto directo y de manera longitudinal por medio de un yugo o bobina circundante, estos dispositivos permitirán, después de haber colocado de manera adecuada el objeto de prueba y sujeto en su posición, pasar corriente eléctrica a través de este o un elemento conductor para inducir un campo magnético. A su vez para la magnetización longitudinal en la mayoría de los sistemas horizontales húmedos, presenta una bobina de magnetización sobre un riel horizontal [4].

Durante y después de la magnetización circular, la bobina se deberá mover para rodear el objeto a inspeccionar, por lo que se indica que, en objetos de prueba con un tamaño de 450 mm de largo o más, se debe reposicionar a la bobina em incrementos de 350 mm a 425 mm, en contrario, los procedimientos por medio de yugo magnético, los campos longitudinales se configuran en toda la longitud del objeto de prueba, sin necesidad de reposicionamiento. Es preciso indicar que las unidades horizontales húmedas utilizadas para pruebas en servicio y en proceso suelen emplear sistemas de corriente alterna monofásicos, debido a que es menos costoso, ya que no se requiere de circuitos

rectificadores, los cuales resultan costosos, más aún si se encuentra asociados a sistemas de enfriamiento [4].

Debido a lo anterior, existen numerosas diferencias desarrolladas entre los circuitos empleados por los sistemas de partículas magnéticas de corriente continua y alterna, una de estas diferencias radica en que el equipo de corriente continua generalmente presenta un temporizador de corriente preestablecido para una duración de 0,5 s diseñado para usarse en un ciclo de trabajo bajo [4].

Sin embargo, este temporizador puede ser omitido o reajustado, en adición, los sistemas que emplean corriente alterna totalmente rectificadas requieren de un enfriamiento elevado por medio de ventiladores, así mismo a estos sistemas se puede adicionar desmagnetización, al utilizar corriente continua inversora mediante procedimientos reductores o circuitos de desmagnetización de corriente alterna de descompensación rápida [4].

El uso de corriente alterna con la profundidad de penetración dependiente de la frecuencia de la línea, produce un efecto de piel, que hace que el campo magnético generado siga el contorno del objeto de prueba, mientras que, al realizar una magnetización con corriente continua, la corriente y el campo resultante siguen el camino de menor resistencia, que no necesariamente sigue la ubicación de las discontinuidades. Debido a esto, el equipo de corriente alterna, generalmente es el mayormente elegido, ya que la intensidad de campo relativa del sistema de corriente alterna requiere la mitad de la corriente utilizada por un sistema de corriente continua y en adición, ofrece una mayor probabilidad de detección [4].

#### **1.4.4.3. Equipo estacionario de partículas magnéticas**

El equipo estacionario es una unidad horizontal húmeda con la capacidad para producir campos circulares y longitudinales e incluso ciertas unidades pueden desmagnetizar las piezas mediante un desmagnetizador separado, y están disponibles para aplicaciones específicas de pruebas MT y de igual manera, el tamaño del sistema de prueba está determinado por el tamaño de los objetos de prueba [3].

Los equipos estacionarios de partículas magnéticas habitualmente, están diseñados para operar con una fuente de 440 V de corriente alterna y para proporcionar corriente magnetizable alterna o rectificadas [4].

Este tipo de unidad emplea un cabezal fijo y un cabezal móvil deslizante, donde la pieza se coloca entre estos ajustando ligeramente el contrapunto, cuando el contrapunto se encuentra bloqueado, un cabezal neumático controlado por un interruptor de pie agarra la pieza con fuerza y permite el flujo de corriente permitiendo un campo de flujo circular [3]. La figura 2, indica cada uno de los accesorios del equipo que permiten utilizar las técnicas de Magnetización Circular y Longitudinal.

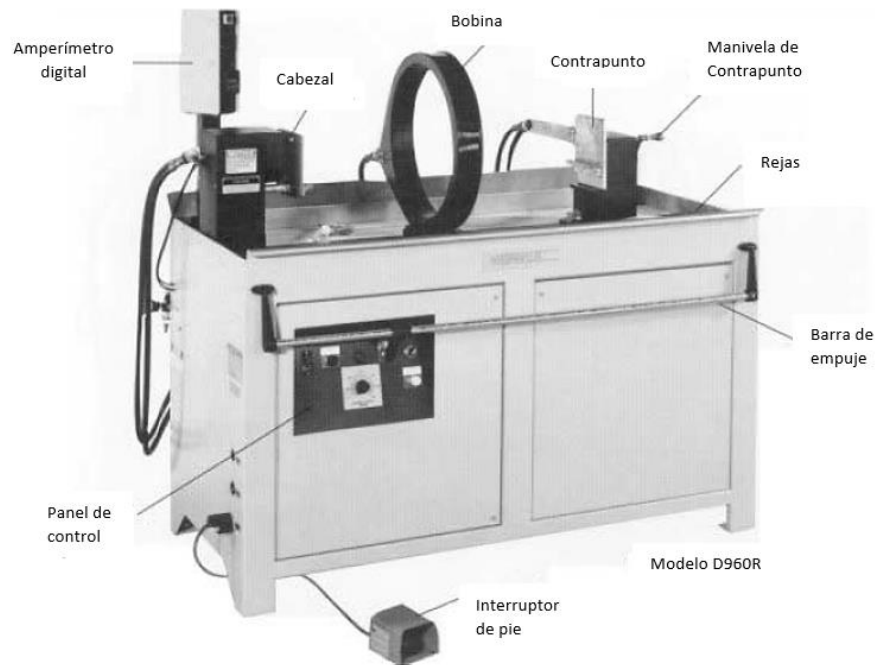


Figura 2: Unidad horizontal húmeda D960R [3].

En adición, al inspeccionar piezas huecas como tubos o anillos en esta unidad, usualmente se emplea la técnica de conductor central, usando una barra de alta conductividad eléctrica de cobre o aluminio, la cual se sujeta entre el cabezal y el contrapunto, y al paso de la corriente sobre esta barra, se inducirá un campo magnético circular en el objeto de prueba y como se trata de una técnica indirecta, muestra ciertas ventajas como es la posibilidad de inspeccionar varios elementos de manera simultánea sin riesgo de sobrecalentamiento [3].

En la figura 3, se evidencia el funcionamiento del equipo por medio del anillo Keytos bajo la técnica de conductor central con la finalidad de verificar el funcionamiento de este.

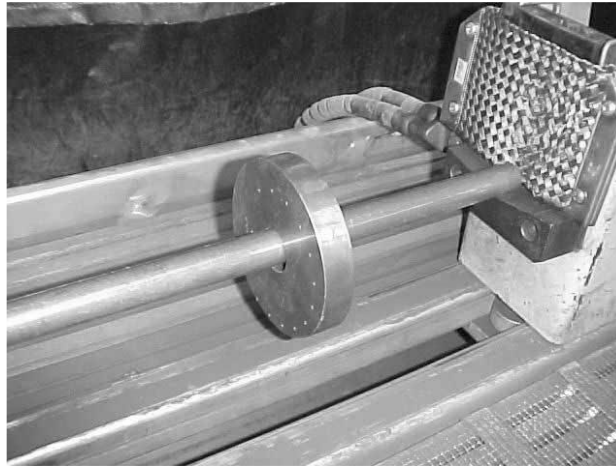


Figura 3: Montaje de inspección de anillo Keytos mediante la técnica de conductor central [3].

Para emplear las técnicas de magnetización longitudinal, se utilizan bobinas, sobre las cuales se puede colocar en su interior de manera centralizada o en su superficie interior los objetos de prueba a inspeccionar, de igual forma la relación existente entre el diámetro interior de la bobina y la longitud del componente estudiado, las relaciones del área de la sección transversal o la dirección de las discontinuidades determinarán la posición de colocación del objeto de prueba [3].

Así mismo, en esta unidad el amperaje puede ser ajustable con un temporizador y autorregulador de corriente variable, a su vez se puede proporcionar desmagnetización utilizando la propia bobina o mediante un desmagnetizador de bobina de CA por separado, resultando una gran versatilidad, capacidad y aplicación de este tipo de unidad, sin embargo, presenta una gran limitación, definida por no permitir la inspección o aplicación de este dispositivo en campo [3].

Con respecto a la realización de pruebas de partículas magnéticas en estructuras y placas soladas o fundiciones grandes y complejas, la magnetización general de estos elementos mediante alta corriente de magnetización resulta económica, ya que la salida máxima en estas aplicaciones suele ser de 12 kA [4].

#### 1.4.4.4. Equipo móvil y portátil de partículas magnéticas

La diferencia entre el equipo móvil y portátil de partículas magnéticas radica en la capacidad para moverse, para el caso de la unidad móvil, esta debe ser transportada a un determinado lugar para luego moverse sobre sus propias ruedas, ya que el peso de esta unidad ronda entre los 500 kg; en cambio una unidad portátil, puede ser transportada con facilidad por una persona, ya que el peso de esta no pasa de 25 kg [3].

A pesar de que ambos equipos pueden realizar inspecciones análogas mediante el uso de varios accesorios, pero las salidas de potencia varían de manera considerable ya que un equipo móvil tiene mayor capacidad que uno portátil, las cuales pueden producir hasta 1600 y 1500 amperios respectivamente, en adición dichos accesorios comunes incluyen únicamente abrazaderas y puntas para producir magnetización circular, las cuales deben emplearse de manera adecuada para no producir un arco eléctrico que puede afectar diversas áreas de la superficie de prueba [3].

Entre estos accesorios, las bobinas envueltas en cable y las bobinas rígidas son utilizadas en equipos móviles y portátiles para producir magnetización longitudinal con posiciones de corriente alterna o continua seleccionables, lo que permite a su vez realizar una desmagnetización [3].

En la figura 4 y 5, se indica un equipo para inspecciones mediante partículas magnéticas portátil para ser utilizado en condiciones requeridas.



Figura 4: Unidad móvil de MT [3].



Figura 5: Unidad portátil de C.C.[3].

Entre estos accesorios, las bobinas envueltas en cable y las bobinas rígidas son utilizadas en equipos móviles y portátiles para producir magnetización longitudinal con posiciones de corriente alterna o continua seleccionables, lo que permite a su vez realizar una desmagnetización [3].

### **Yugo electromagnético**

Mediante este equipo se puede lograr una mayor portabilidad, al utilizar un yugo electromagnético de CA o uno con una unidad de baterías que aumente aún más su portabilidad al no necesitar una fuente de alimentación de corriente alterna, en adición este equipo emplea patas articuladas para generar magnetización longitudinal y facilitar varios contornos de inspección, mediante el reposicionamiento y orientación de la línea de flujo en al menos dos direcciones opuestas a  $90^\circ$  [3].

La figura 6, se visualiza el ensayo MT mediante un Yugo electromagnético para revelar los defectos o discontinuidades presentes en la superficie a inspeccionar.

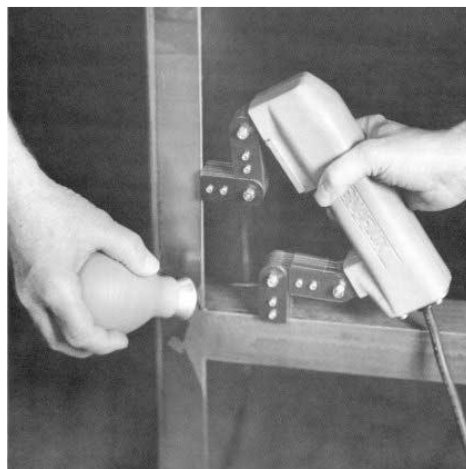


Figura 6: Yugo electromagnético de C.A.[3].



## **Magnetos permanentes**

Se puede emplear este tipo de pequeños imanes permanentes para producir una magnetización longitudinal localizada, sin embargo, existen ciertas limitaciones sobre su uso, debido a que su uso puede volverse complejo y por otra parte a sus fuertes campos, ya que las partículas suelen ser atraídas hacia las patas más fácilmente que a la superficie del objeto de prueba [3].

En la figura 7, se indica como se visualizan los magnetos permanentes antes de ser utilizados en el ensayo.

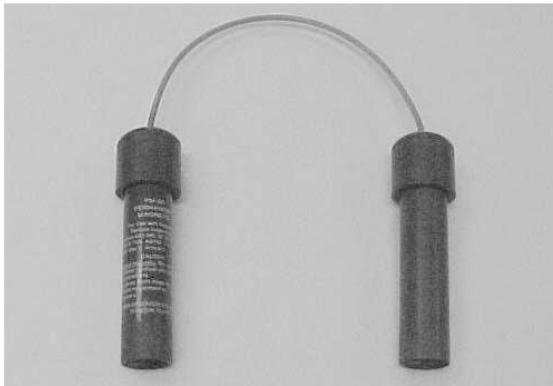


Figura 7: Magnetos permanentes [3].

## **Bobinas de desmagnetización de CA**

Se emplean bobinas de desmagnetización cuando la desmagnetización no se puede lograr en el equipo de MT, la cual funciona con un valor de corriente fijo y la reducción de la intensidad del campo se produce pasando el objeto de prueba una distancia de dos a tres veces la longitud de este objeto y a partir del aumento de la distancia entre la bobina y la pieza, el campo se reduce a un valor de cero o cercano [3].

### **1.4.5. Principios de Magnetización**

#### **1.4.5.1. Introducción**

El ensayo de partículas magnéticas (MT) está dentro de los Ensayos no Destructivos (END), y se utiliza para la detección de discontinuidades principalmente lineales localizadas en la superficie que se requiera analizar o cerca de esta [3].

Este tipo de ensayo, está en función del comportamiento que dictan las leyes del magnetismo por lo que se limita a la inspección de materiales que tengan la capacidad de soportar líneas de flujo magnético [3].

La clasificación de los metales es:

- Ferromagnéticos
- Paramagnéticos
- Diamagnéticos

Ferromagnéticos. \_ Son metales que se caracterizan por ser atraídos por un imán y ser altamente magnetizables. El Hierro, Níquel y Cobalto son algunos de estos [3].

En la figura 8, se indican algunos de los materiales ferromagnéticos comúnmente conocidos.



Figura 8: Materiales Ferromagnéticos [3].

Paramagnéticos. \_ Estos metales tienen la fuerza de atracción magnética muy baja y no son magnetizables, un ejemplo claro es el acero inoxidable austenítico [3].

La figura 9, un tipo de acero austenítico que interviene dentro de los materiales paramagnéticos.



Figura 9: Acero inoxidable austenítico [3].

Diamagnéticos. \_ Son repelidos por la presencia de un imán y no tienen la capacidad de magnetizarse. El Bismuto, Oro y Antimonio son algunos de estos [3].

En la figura 10, se indican algunos de los materiales diamagnéticos comúnmente conocidos.



Figura 10: Materiales Diamagnéticos [3].

#### 1.4.5.2. Fuerzas magnéticas

Cuando se acerca un polo de un imán respecto de los dos polos del otro imán, surge una fuerza de atracción en un lado y una fuerza de repulsión en el otro. De este modo entre los polos de los imanes existen fuerzas semejantes a las cargas eléctricas, a este tipo de fuerzas de las conoce como fuerzas magnéticas [11].

Las líneas de fuerzas describen el comportamiento de aquellas líneas que salen (polo norte) y luego entran (polo sur) en los extremos del imán. Las zonas donde se acumulan las líneas de fuerza se denominan polos magnéticos (Norte y Sur), los cuales se encuentran atraídos por los polos del planeta Tierra [11].

En la figura 11, se visualiza el comportamiento de las líneas de fuerza en el campo magnético proporcionado por un imán.

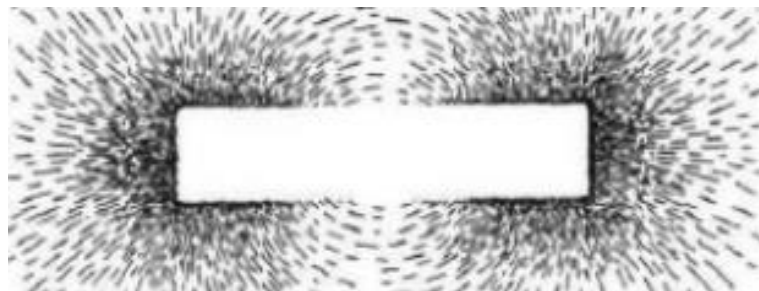


Figura 11: Líneas de fuerza presentes en un imán [11].

Las líneas de fuerza se caracterizan por:

- La trayectoria de un polo a otro es en una sola dirección.
- A mayor distancia entre polos menor es su densidad.
- Evita en el trayecto la presencia de reluctancia magnética.
- Las líneas de fuerza nunca se chocan [11].

#### **1.4.5.3. Campo magnético**

Un campo magnético se establece como el espacio en las proximidades de un imán o un elemento conductor, por el que transita un flujo de corriente eléctrica, en el cual existe la presencia de líneas de fuerza magnéticas. Está conformado por un número de líneas de fuerza o flujo magnético, y su unidad de medida en el Sistema Internacional es el amperio/metro [11].

El campo magnético está bajo la influencia de dos efectos, el primero de estos es la fuerza ejercida sobre un polo magnético o una carga eléctrica, a este término se lo conoce como inducción magnética ( $\beta$ ), y el segundo es el poder imanador del campo que actúa sobre el material cercano, a este término se lo conoce como intensidad de campo magnético (H) [11].

#### **1.4.5.4. Flujo Magnético**

El flujo magnético es el conjunto de líneas de fuerza que tiene un campo magnético y fluyen por el polo norte de un imán. El símbolo que representa al flujo magnético es ( $\theta$ ) [12].

Sus unidades en el Sistema Internacional son el weber (Wb) que equivalen a  $10^8$  maxwells. En el Sistema Cegesimal su unidad es el maxwell, un maxwell representa una línea en el campo magnético [12].

#### **1.4.5.5. Densidad de flujo**

La densidad de flujo es el conjunto de líneas o maxwells por unidad de área establecida en una sección perpendicular al flujo. El símbolo que representa a la densidad de flujo es ( $\beta$ ). En el Sistema Internacional se mide en tesla que son  $10^4$  gauss. Su unidad en el Sistema Cegesimal es el gauss, un gauss representa a una línea por  $\text{cm}^2$  [12].

Si las líneas de flujo se acercan a los polos estas se vuelven más densas y el valor de la densidad de flujo es mayor, además la corriente que se aplica a la bobina es directamente influenciada con la densidad de flujo [12].

#### 1.4.5.6. Fuerza de magnetización

La fuerza magnetizadora o mejor conocida como intensidad de campo es la posibilidad que tiene un campo magnético para generar magnetismo por inducción. La fuerza de magnetización es de atracción y también de repulsión[12].

El símbolo que la representa es (H), su unidad en el Sistema Internacional es amperes por metro que son igual a  $4\pi \times 10^4$  oersteds, y en el Sistema Cegesimal es el oersted [12].

#### 1.4.5.7. Permeabilidad magnética

La permeabilidad es una propiedad que poseen los materiales magnéticos y se define por la relación entre la inducción magnética ( $\beta$ ) y la intensidad de campo magnético (H). Dicho de otra forma, la permeabilidad magnética representa el grado de facilidad con la que un cierto material se vuelve magnético [11].

Existe una relación inversa entre la permeabilidad magnética y la reluctancia, por lo tanto, cuando un material posee alta permeabilidad, el valor de la reluctancia es pequeño [11].

En la figura que se muestra a continuación, se puede apreciar la analogía entre la densidad de flujo magnético o inducción magnética que produce sobre el material y la intensidad de campo magnético que se aplica al material [11].

La figura 12, presenta el diagrama de la inducción magnética vs la intensidad de campo magnético, indicando el límite de saturación de un material para que se quede imantado.

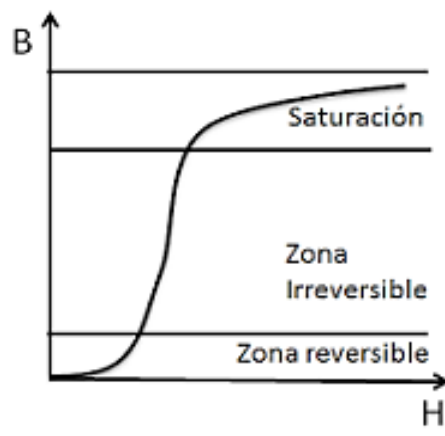


Figura 12: Comportamiento de la curva de imanación [11].

Si un material es introducido a un campo magnético el valor de la densidad de flujo incrementará siempre y cuando mayor sea el valor de la permeabilidad [11].

Los factores que alteran el comportamiento de la curva de imanación  $H$ - $\beta$  son:

- Permeabilidad del material (mayor permeabilidad del material, mayor pendiente de la curva).
- Microestructura del material.
- Tamaño del grano.
- Composición química [11].

#### 1.4.5.8. Histéresis Magnética

Fenómeno originado por los cambios de densidad de flujo ( $\beta$ ) rezagados en relación con la intensidad del campo magnético ( $H$ ) de un material ferromagnético [13].

Se define como el retardo de magnetización que tiene una sustancia ferromagnética en el momento de variar la intensidad de campo magnético o fuerza de magnetización, que se aplica sobre esta [13].

#### 1.4.5.9. Curva de Histéresis

Cuando se incrementa en cantidades pequeñas la intensidad de campo magnético, y se realiza una medición de la densidad de flujo dentro de un intervalo, se puede trazar la curva de histéresis la cual representa la relación entre intensidad de campo magnético y densidad de flujo [11].

En la figura 13, indica el comportamiento de la curva de Histéresis específicamente en cada uno de los puntos del ciclo.

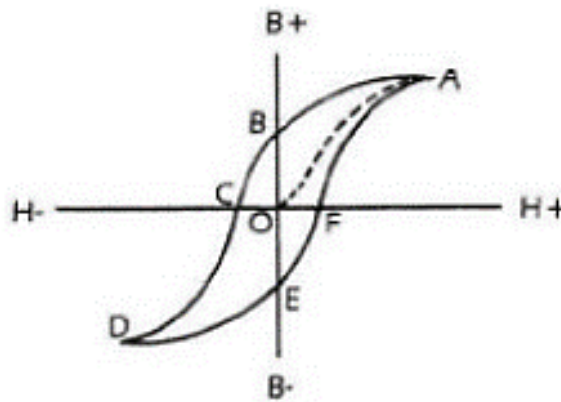


Figura 13: Curva de Histéresis completa [11].

Si se analiza el punto O de la figura anterior, se puede apreciar la trayectoria de una línea entrecortada que representa el aumento de la densidad de flujo ( $\beta$ ) en función del crecimiento de la intensidad de campo magnético (H), hasta llegar al punto A que es la saturación del material. Al tener un valor reducido de (H), se evidencia un declive en ( $\beta$ ), por lo tanto, cuando (H) llega al cero situado en el punto B el valor de ( $\beta$ ) del material es determinado. El magnetismo residual que tiene la pieza en el ciclo está entre los puntos O y B [11].

Al tener una intensidad de campo magnético en dirección opuesta con un incremento constante, la densidad de flujo se queda en cero (punto C de la figura), y se puede determinar la fuerza coercitiva que tiene la pieza [11].

El punto D representa una máxima saturación en dirección opuesta o que la pieza fue magnetizada hasta el valor máximo de la densidad de flujo. Si se reduce el valor de (H) se tiene el magnetismo residual en dirección opuesta, representado por el trayecto O y E. El ciclo de histéresis es completado cuando se incrementa la fuerza de magnetización en la misma dirección del inicio, y se define como un campo magnético residual, pero con dirección opuesta [11].

#### 1.4.5.10. Magnetización

Si se tiene un conductor (barra de cobre), y un flujo de corriente eléctrica fluyendo a través de este, se origina un campo magnético en torno al conductor. Para determinar la dirección del flujo magnético se aplica la regla de la mano derecha, la cual se toma con dicha mano el conductor con el pulgar recto en la misma dirección de la corriente eléctrica y el resto de los dedos indican en qué dirección se encuentra el flujo magnético [11].

La figura 14, representa el modo de indicación para determinar la dirección de campo magnético proporcionado por el flujo de corriente.

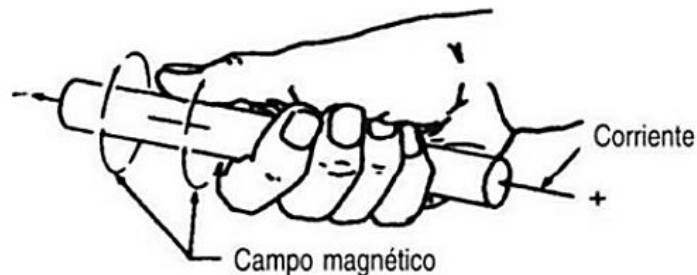


Figura 14: Orientación del flujo magnético [11].

## Magnetización Longitudinal

En la figura 15, se muestra a continuación, la pieza, superficie, o parte, que se quiere someter a una inspección, puede transformarse en un núcleo del electroimán ubicándolo en parte interior de un solenoide, por lo tanto, se origina un campo que fluye por medio de la pieza en dirección paralela al eje de la bobina produciendo dos o más polos en cada uno de los extremos de la pieza. Este comportamiento se define como magnetización bipolar o longitudinal [14].

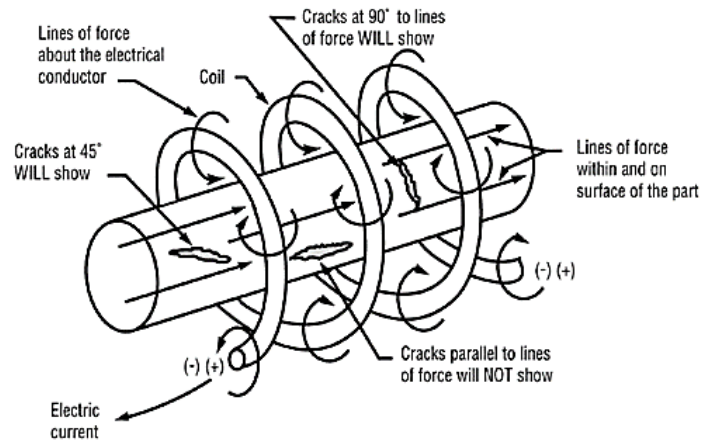


Figura 15: Magnetización Longitudinal [14].

Piezas como ejes, vigas, y elementos semejantes, logran magnetizarse enrollando un cable eléctrico sobre la pieza, luego se da apertura al flujo de corriente eléctrica y la pieza tiene una magnetización longitudinal [14].

## Magnetización Circular

Este tipo de magnetización comúnmente se da al pasar un flujo de corriente eléctrica por medio de la superficie de la propia pieza, como se muestra en la siguiente figura 16 [14].

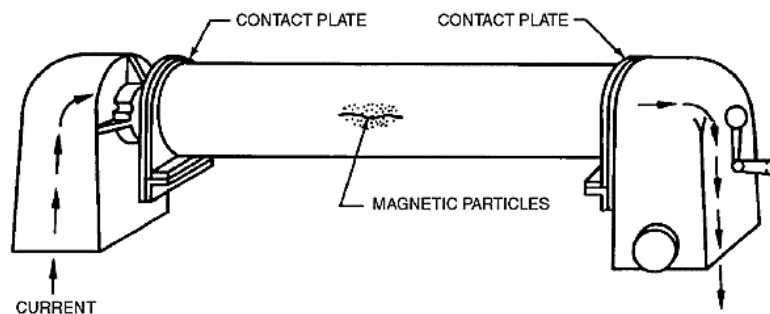


Figura 16: Magnetización circular [14].



El campo magnético que se origina fluye en forma circular y tiene un ángulo recto respecto a la dirección la corriente eléctrica, es conocido como el método directo de magnetización. Principalmente se ocupa para la detección de discontinuidades que se encuentran ubicadas en dirección del flujo de corriente eléctrica [14].

Al analizar piezas huecas como cilindros, también se lo hace por medio de la magnetización circular aplicando una barra conductora en el interior de la pieza. Al aplicar el flujo de corriente eléctrica por medio del conductor tanto la superficie interior y exterior del cilindro quedan magnetizadas. A este tipo de técnica se le denomina método indirecto de magnetización [14].

#### 1.4.5.11. Campo distorsionado

Las líneas de fuerza presentes en el campo magnético de un material se distribuyen de manera uniforme, siempre y cuando el material sea homogéneo. La existencia de una discontinuidad refleja la interrupción del campo y proporciona un incremento de la renuencia [3].

Las líneas de fuerza adoptan una redistribución en el material doblándose en torno a la superficie de la discontinuidad, este comportamiento se origina ya que las líneas de fuerza prefieren evitar el camino de menor renuencia o resistencia. Por lo tanto, está claro definir que un campo es distorsionado por la presencia de una discontinuidad [3].

#### 1.4.5.12. Campos de fuga

Si un imán se rompe en dos o más partes, cada una de esas partes tendrá el comportamiento de un nuevo imán con polos norte y sur en sus extremos, haciendo que en esta parte (extremo del imán) las líneas de fuerza se alteren como se muestra en la figura 17 [15].

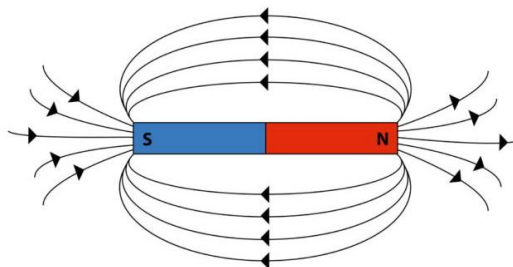


Figura 17: Alteración de líneas de fuerza en los polos de un imán [15].

El campo de fuga surge cuando las líneas de fuerza están distorsionadas en la zona de la grieta. En la figura 18, las limaduras de hierro se reúnen en el campo de fuga y detecta un defecto de preferencia si el campo esta de forma perpendicular [15].

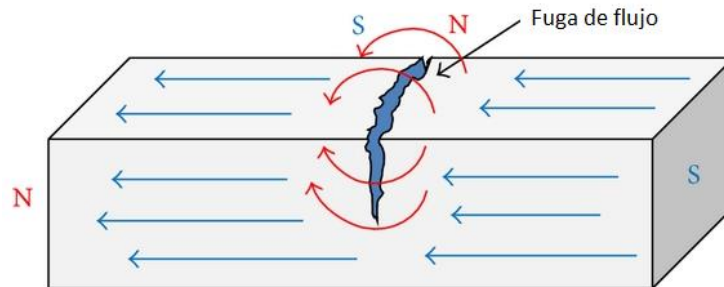


Figura 18: Campo de fuga [15].

Para la detección de una discontinuidad mediante la inspección de partículas magnéticas, el campo de fuga debe ser fuerte para que la discontinuidad aparezca y pueda ser observado durante la inspección [15].

#### **1.4.5.13. Efectos de sobre magnetización**

Para realizar el ensayo de partículas magnéticas (MT), se recomienda tener una intensidad de campo y densidad de flujo necesarios para crear un campo de fuga de flujo magnético capaz de acumular partículas magnéticas en las respectivas discontinuidades que presente la pieza a inspeccionar [11].

Cuando una pieza está sobre magnetizada surge la presencia de falsas discontinuidades, debido a una carga excesiva de magnetización que provocará la acumulación de partículas en zonas de fugas de flujo, pero no producidas por discontinuidades [11].

Una solución de la sobre magnetización es magnetizar solo la superficie de la pieza y se lo hace aplicando corriente alterna con el respectivo efecto de superficie [11].

#### **1.4.5.14. Tipos de corriente de magnetización**

##### **Corriente Continua**

Está constituida por un flujo de carga eléctrica y se caracteriza por tener una intensidad constante, esto quiere decir que no varía en el tiempo. A continuación, se presenta la figura 19, que define el comportamiento de la corriente continua [11].

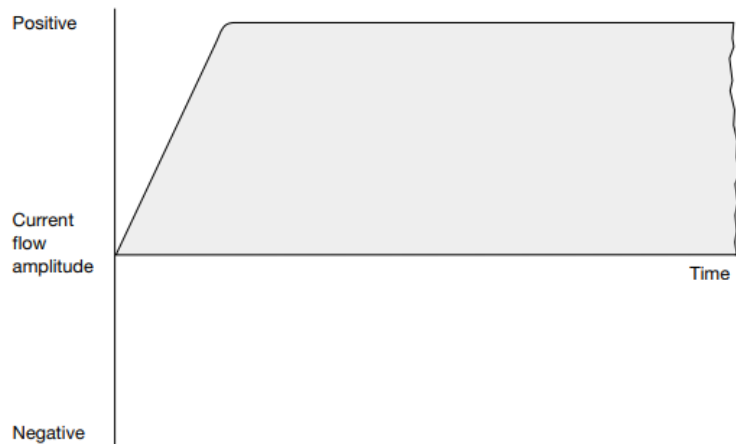


Figura 19: Forma de onda de Corriente Continua [11].

### Corriente Alterna

La corriente está constituida por un flujo de carga eléctrica, la principal característica, es que la intensidad es variante de manera periódica en el tiempo, este comportamiento es representado por una senoide [11]. En la figura 20, se define el comportamiento de la forma de onda de corriente alterna.

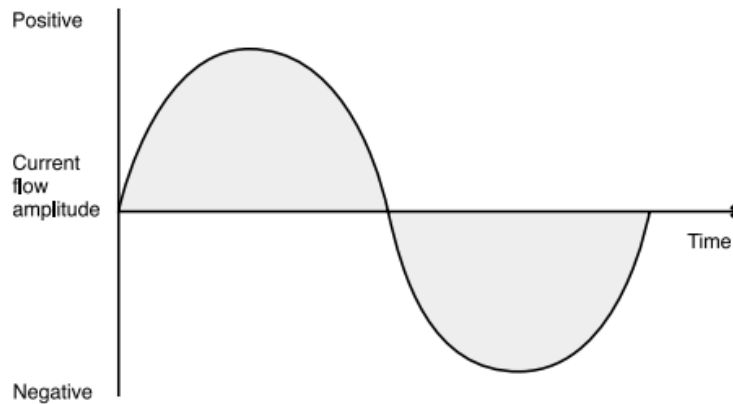


Figura 20: Forma de onda Corriente Alterna [11].

En la figura 20, la intensidad parte desde cero y aumenta hasta alcanzar un valor máximo (eje positivo), después la intensidad decae hasta llegar al valor mínimo (eje negativo) y de nuevo la intensidad se incrementa hasta llegar a cero. El comportamiento mencionado anteriormente es denominado como Hercio (Hz) o un ciclo por segundo [11].

## Corriente Rectificada

Mejor conocida como corriente continua rectificada de media onda, consiste en la rectificación de la corriente alterna por medio de generación de corriente eléctrica unidireccional sin la modificación de crestas de las ondas. Al utilizar un rectificador simple se logra impedir que la intensidad descienda a valores negativos. Esto significa tener un tipo de corriente pulsante que parte del cero hasta alcanzar su máximo valor, y nuevamente descender hasta el cero finalizando así el ciclo [11].

En la figura 21, se describe el comportamiento de la corriente continua rectificada de media onda.

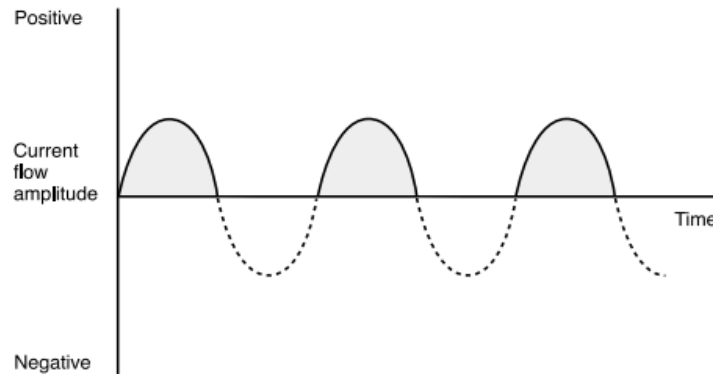


Figura 21: Corriente continua rectificada de media onda [11].

Si esta vez la corriente es fluída por un rectificador y se invierte la intensidad, se origina un incremento en el número de pulsos positivos. A este comportamiento se lo conoce como corriente continua rectificada de completa onda [11].

La figura 22, define el comportamiento de la corriente rectificada de onda completa.

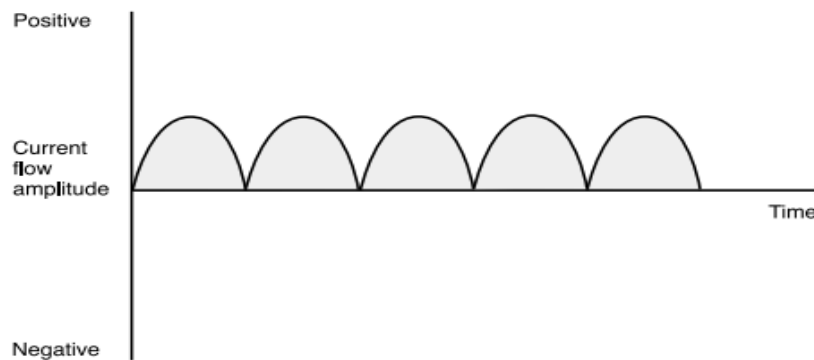


Figura 22: Corriente continua rectificada de onda completa [11].

En los ensayos no destructivos de forma práctica se usa la corriente alterna para detectar aquellos defectos superficies, y las corrientes continua o rectificada son para detectar el defecto en los límites debajo de la superficie [11].

#### 1.4.5.15. Características técnicas de la corriente alterna y continua

Cuando se utiliza la corriente continua para magnetizar una pieza, este tipo de corriente fluye de manera uniforme por toda la superficie. El campo magnético y la densidad de flujo tiene un valor máximo en la parte exterior y un valor de cero en el eje central. Al implementar la corriente alterna para magnetizar una pieza, el campo magnético se coloca en la superficie exterior de la pieza generando así el efecto piel [11].

En la tabla mostrada a continuación, se contextualiza las ventajas y desventajas de la corriente continua y corriente alterna.

Tabla 10: Ventajas y desventajas de C.C. y C.A [11].

Tipo de corriente	Ventajas	Desventajas
<p><b>Corriente continua (C.C.)</b> Utilizada para detectar defectos subsuperficiales.</p>	<p>Detección de discontinuidades subsuperficiales. No requiere de suministros eléctricos.</p>	<p>La vida útil de las baterías se reduce al implementar grandes cantidades de intensidad. Peso excesivo de las baterías.</p>
<p><b>Corriente alterna (C.A.)</b> Utilizada para detectar defectos superficiales.</p>	<p>Mayor facilidad en la detección de discontinuidades. Equipos económicamente bajos y sencillos. La desmagnetización de las piezas es más fácil.</p>	<p>Únicamente detectan discontinuidades superficiales. A veces la densidad de flujo del objeto no consigue su valor máximo, esto depende de estado en que se encuentra el ciclo de magnetización cuando se corta el flujo de corriente.</p>

#### 1.4.6. Métodos de Magnetización (Técnicas)

##### 1.4.6.1. Bobina

Al implementar la técnica de magnetización por medio de una bobina, el campo magnético es de forma longitudinal, a medida que la bobina pasa a través de la pieza a inspeccionar se va originando el campo magnético. Este tipo de técnica tiene una ventaja significativa

ya que no es causante de un daño térmico debido a que no existe contacto sobre la pieza al momento de magnetizarla [3].

#### 1.4.6.2. Conductor Central

Este tipo de magnetización se destaca por permitir el paso de flujo de corriente por medio de un conductor, por lo tanto, dicho conductor debe estar ubicado en la parte interna de la pieza a inspeccionar [15].

Es utilizando generalmente en piezas como cilindros huecos y tramos de tubería, el campo magnético es de forma circular, por lo tanto, detectará únicamente las discontinuidades ubicadas transversalmente con respecto a las líneas de flujo, si el defecto está ubicado en la misma dirección del flujo (paralelo) no se origina el campo de fuga y no se agrupan las partículas magnéticas, esto se ve representado gráficamente en la figura 23 [11].

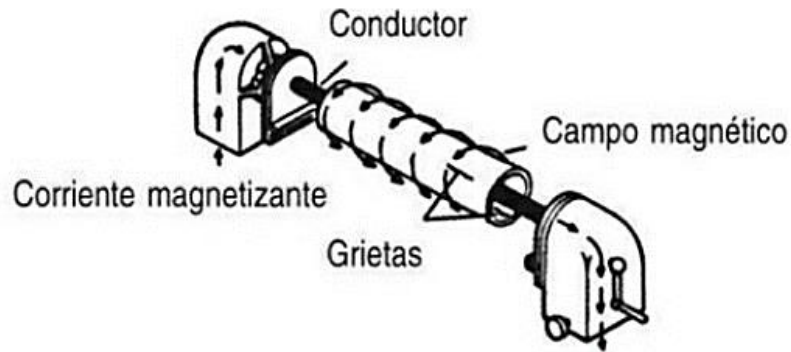


Figura 23: Magnetización por medio de un conductor central [10].

#### 1.4.7. Ensayo de Partículas Magnéticas Fluorescentes

El ensayo de partículas magnéticas tiene como objetivo primordial detectar los defectos y discontinuidades presentes en una pieza u objeto, por lo tanto, necesita de dos elementos básicos, el primero de estos es un equipo que brinde magnetización, y el segundo son las partículas magnéticas que sirven como un medio de detección de indicaciones [11].

Las partículas magnéticas se clasifican según el tipo de pigmentación al realizar la mezcla, y son:

- **Visibles**

Este tipo de partículas garantizan un contraste notorio en la superficie de la pieza u objeto que se inspecciona, para la visualización se requiere de la presencia de luz natural o blanca [11].

- **Fluorescentes**

Las partículas magnéticas fluorescentes destacan por la presencia de la fluorescencia inmersa bajo la condición de la luz negra o ultravioleta [11].

#### **1.4.7.1. Partículas magnéticas secas**

Las partículas magnéticas secas están constituidas por una variedad de tamaños y formas, cuando las partículas son pequeñas el ensayo presenta mayor sensibilidad. Su aplicación se la realiza de manera uniforme o por medio del uso de la corriente alterna o rectificadas [11].

#### **1.4.7.2. Partículas magnéticas húmedas**

Las partículas magnéticas por el método de vía húmeda están aplicadas a un medio líquido como el queroseno, agua, o derivados del petróleo. Esto permite que las aplicaciones sean muchos más finas, el tamaño debe estar en el rango de (40-60 $\mu$ m) si excede este límite el grado de dificultad aumenta para mantener las partículas suspendidas en el líquido [11].

La velocidad de este tipo de partículas es reducida debido a la densidad y viscosidad del fluido de suspensión, de este modo la orientación es mejor y consecuentemente la detección de defectos es más confiable [11].

La principal ventaja de la implementación de partículas magnéticas húmedas en comparación con las secas es la fácil accesibilidad sobre la superficie de la pieza a inspeccionar sin importar el tipo de geometría que tenga [11].

#### **1) Partículas magnéticas fluorescentes**

Este tipo de partículas magnéticas se caracteriza por otorgar fluorescencia bajo la condición de luz negra, esto se ve evidenciado por un color amarillo verdoso en la superficie de la pieza a inspeccionar, y representa la adherencia de las partículas magnéticas sobre los defectos [8].

El grado de visibilidad es mejor debido a que las indicaciones fluorescentes bajo la proyección de luz negra se vuelven más cómodas de visualizar en comparación con las indicaciones rojas, grises, o negras. Esto genera la optimización del tiempo en el proceso

de inspección, es decir, la inspección con la implementación de partículas magnéticas fluorescentes es más eficaz en comparación con otros tipos de partículas empleadas [8].

#### **1.4.7.3. Procedimiento de inspección en el ensayo de partículas magnéticas fluorescentes**

##### **Limpieza de la Superficie**

La preparación de la superficie de la pieza consiste en la eliminación de suciedades, impurezas, grasa, polvo, restos de pigmentos, entre otros. Generalmente se recomienda utilizar un removedor de solvente (limpiador) [16].

##### **Comprobación del equipo**

Realizar la inspección del correcto funcionamiento de la lámpara de Luz UV con la ayuda de un medidor de luz UV-A.

Revisar y configurar la zona donde se aplica la corriente de magnetización.

Establecer y adecuar los elementos correspondientes al método o técnica de magnetización se va a aplicar en ese momento, configuración del amperaje para la pieza [16].

##### **Baño de la pieza**

Aplicación de las partículas magnéticas fluorescentes húmedas sobre toda la superficie de la pieza que se requiere analizar, esto se lo hace momentos antes de aplicar la corriente [16].

##### **Uso de la corriente magnética**

Aplicar la corriente magnética simultáneamente al momento que se finaliza la aplicación de las partículas magnéticas (baño de la pieza), esto se aplica para reducir la probabilidad de la eliminación de la existencia de indicaciones muy finas [16].

##### **Inspección de la pieza**

Realzar la inspección con la ayuda de una lámpara UV con la finalidad de indagar las indicaciones que aparecen, seguido de eso realizar las mediciones de cada una de las indicaciones para la interpretación correspondiente [16].



### **Magnetización extra**

A veces se necesita de la aplicación de una magnetización extra, esto se debe por lo general a la configuración de la pieza y el proceso que se emplea [16].

### **Desmagnetización**

Una vez concluida la inspección se procede a desmagnetizar la pieza, se usa un medidor de campo que permita medir la existencia del magnetismo residual [16].

### **Limpieza después del ensayo**

Necesariamente se debe hacer una limpieza minuciosa de la pieza después de realizar el ensayo, esto lo hace para eliminar la presencia de partículas magnéticas impregnadas en la superficie de la pieza [16].

### **1.4.8. Transformador**

De acuerdo con lo que establece [17], el transformador consiste en un elemento estático que es capaz de generar inducción electromagnética, a partir de un sistema de corriente alterna y su respectiva transformación a uno o más sistemas de corriente alterna de la misma frecuencia e intensidad, pero tensiones diferentes. En adición, estos elementos están definidos por varias características de diseño establecidas previamente a su funcionamiento fijadas por el usuario o personal ejecutor del fin necesario.

Del mismo modo, el transformador, desde el más simple hasta el más complejo, consta de 2 devanados conductores que ejercen una inducción mutua, por ende, en el primer devanado se recoge la potencia eléctrica y el devanado secundario distribuye dicha potencia a una red exterior. Así mismo, los devanados del transformador suelen estar constituidos sobre núcleos de material ferromagnético, recibiendo así su denominación de transformador de núcleo de hierro, al contrario si su bobinado no consta de un núcleo, se trata de un transformador de núcleo de aire [18].

El transformador de núcleo de hierro es el tipo clásico de transformador, pero en la actualidad se han desarrollado variantes modernas, las cuales emplean materiales ferromagnéticos diferentes a los que se utilizan en el desarrollo de los transformadores clásicos de núcleo laminado [19].

#### **1.4.8.1. Transformador ideal**

El transformador moderno de núcleo de hierro puede ser considerado como un dispositivo transformador ideal en muchas de sus aplicaciones y para lo cual se hallan establecidos los siguientes criterios:

- Las pérdidas en el núcleo son despreciables
- Las resistencias de los devanados son despreciables
- Las capacidades de los devanados son despreciables
- El flujo magnético total atraviesa la totalidad de las espiras de ambos devanados
- La permeabilidad del núcleo es altamente elevada, que con una fuerza magnetomotriz despreciable es posible conseguir el flujo necesario en el transformador[18].

Como resultado, para el transformador ideal se supone ciertas características determinantes en su aproximación perfecta, sin la existencia de fugas magnéticas, pérdidas y la existencia de una corriente de excitación. De igual forma, las tensiones entre los terminales del transformador ideal son proporcionales al número de espiras de los devanados, por ende, sus formas de onda son iguales [18].

En adición, se establece que la corriente de excitación para este tipo de transformador es nula y, por tanto, la corriente de los devanados es proporcional al número de espiras de dichos devanados que constituyen al transformador ideal. Así mismo, la potencia instantánea que se genera en los devanados primario y secundario son numéricamente iguales, indicando que, mientras el primario del transformador absorbe la potencia de la línea o de un generador, el secundario entrega potencia al circuito de utilización [18].

## CAPITULO II

### MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### 2.1. Materiales y Equipos

##### 2.1.1. Materiales

##### 2.1.1.1. Acero ASTM A-36

El acero ASTM A-36 es considerado como uno de los aceros más usados en el campo de la construcción y aplicación de ingeniería debido a sus propiedades físicas y mecánicas.

La tabla 11, detalla las propiedades mecánicas que presenta el acero ASTM A-36.

Tabla 11: Propiedades mecánicas del acero A-36 [20].

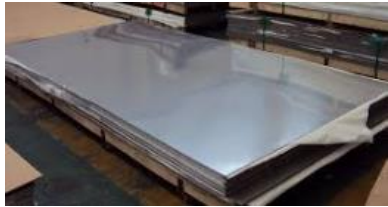
<b>Acero ASTM A-36</b>		
<b>Propiedades mecánicas</b>		
<b>Resistencia a la tracción, máxima</b>	400 a 550 MPa	
<b>Limite elástico mínimo</b>	250 Mpa	
<b>Alargamiento a la rotura</b>	20-23%	
<b>Módulo de elasticidad</b>	200 GPa	
<b>Resistencia a la fluencia</b>	152 MPa	
<b>Módulo de volumen</b>	160 GPa	
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.26	
<b>Módulo de corte</b>	79.3 GPa	

##### 2.1.1.2. Acero AISI 304 (Inoxidable)

Este tipo de acero inoxidable es uno de los más usados a nivel mundial, ya que tiene una característica significativa por tener una excelente resistencia a la corrosión por lo que son utilizados principalmente en depósitos de almacenamiento, utensilios, electrodomésticos.

A continuación, se presenta la tabla 12 con las propiedades mecánicas del acero inoxidable [21].

Tabla 12: Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304 [20].

<b>Acero AISI 304</b>		
<b>Propiedades mecánicas</b>		
<b>Resistencia a la tracción, máxima</b>	505 MPa	
<b>Limite elástico mínimo</b>	215 Mpa	
<b>Dureza, Brinell</b>	123	
<b>Dureza, Rockwell B</b>	70	
<b>Alargamiento a la rotura</b>	70%	
<b>Módulo de elasticidad</b>	193 Gpa	
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.29	
<b>Módulo de corte</b>	77 Gpa	

### 2.1.1.3. Acero SAE J403 – AISI 1010

El acero SAE J403- AISI 1010 se caracteriza por ser un acero que posee un bajo contenido de carbono, por lo tanto, puede mecanizarse y moldearse con mayor facilidad que otros aceros. Las propiedades mecánicas de este acero se pueden mejorar conforme al tratamiento térmico que se le aplique. A continuación, se presenta la tabla 13, con las propiedades mecánicas del acero AISI 1010.

Tabla 13: Propiedades mecánicas del acero SAE J403 - AISI 1010 [20].

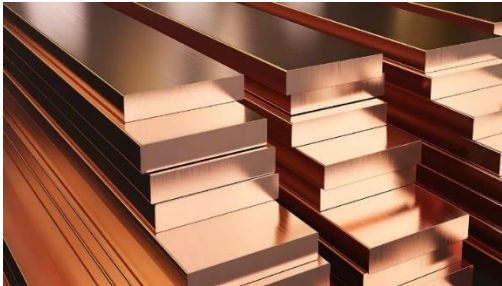
<b>Acero SAE J403 - AISI 1010</b>		
<b>Propiedades mecánicas</b>		
<b>Densidad</b>	7,87 g/cc	
<b>Resistencia a la tracción, máxima</b>	365 MPa	
<b>Resistencia a la tracción, rendimiento</b>	305 Mpa	
<b>Alargamiento a la rotura</b>	20 %	
<b>Módulo de elasticidad</b>	205 GPa	
<b>Reducción del área</b>	40 %	
<b>Módulo de volumen</b>	160 GPa	
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.29	
<b>Módulo de corte</b>	80 GPa	

#### 2.1.1.4.Cobre

El cobre es un elemento metálico de transición, que posee una tonalidad rojiza y brillante. Este elemento es considerado como uno de los mejores conductores de la electricidad, además de ser muy liviano, maleable, y con un precio muy accesible a nivel económico. En la tabla 14, se detalla las propiedades mecánicas que presenta el Cobre

Tabla 14: Propiedades mecánicas del Cobre [20].







<b>Cobre (Cu)</b>	
<b>Propiedades mecánicas</b>	
<b>Dureza Vickers</b>	50
<b>Resistencia a la tracción, máxima</b>	210 MPa
<b>Resistencia a la tracción, rendimiento</b>	33 Mpa
<b>Alargamiento a la rotura</b>	60 %
<b>Módulo de elasticidad</b>	110 GPa
<b>Reducción del área</b>	40 %
<b>Módulo de volumen</b>	140 GPa
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.343
<b>Módulo de corte</b>	46 GPa



### 2.1.2. Recursos y Materiales usados para el modelado y simulación del banco de pruebas

En la tabla 15, se muestra una descripción de los materiales que se utilizan en el proceso de diseño, modelado, y simulación del equipo.






Tabla 15: Lista de materiales y recursos para el modelado y simulación del equipo.





Nombre	Descripción	Imagen
Software para el diseño y simulación	Es una herramienta que permite el modelamiento del equipo, así como los planos, y simulación.	
Computadora	Dispositivo que sirve como base para el diseño y simulación del banco de pruebas, además permite elaborar el documento del proyecto técnico.	
Internet	Es un recurso importante debido a que permite el acceso a fuentes de información necesarias para el diseño, y otras etapas del proyecto.	
Biblioteca	La biblioteca aporta con libros físicos y virtuales proporcionados por la Facultad.	
Cuaderno	El cuaderno sirve como una herramienta para realizar los cálculos correspondientes al diseño.	
Calculadora	Sirve para calcular cada uno de los cálculos que requiere el diseño.	

### 2.1.3. Recursos y Materiales usados para la construcción del transformador

En la tabla 16, se detalla el listado con la descripción de los recursos y materiales necesarios para la construcción del transformador para el equipo de banco de pruebas.

Tabla 16: Lista de recursos y materiales para la construcción del transformador.

Nombre	Descripción	Imagen
Cartón	El cartón sirve como base para sentar el bobinado del primario y secundario.	
Papel aislante diamantado Kraft 010	Papel de tipo aislante que se coloca entre cada capa del bobinado.	
Cinta Masking	Cinta adhesiva que sirve para unir las bases de cartón para los bobinados.	
Conductor calibre 12	Este tipo de conductor se ocupa para realizar el bobinado del primario.	
Lámina de Cobre	Este tipo conductor en forma de láminas se ocupa para realizar el bobinado del secundario.	

Nombre	Descripción	Imagen
Láminas de acero al silicio	El conjunto de láminas o chapas conforman el núcleo del transformador.	
Papel Nomex 030	El papel Nomex se utiliza como aislante del bobinado secundario ya que está en condiciones de altas temperaturas.	
Barniz aislante	El barniz aislante se coloca en la parte exterior del núcleo, y los bobinados.	
Multímetro	Dispositivo que sirve para medir el voltaje, y verificar los parámetros requeridos del transformador.	

#### 2.1.4. Recursos y Materiales usados para la construcción del banco de pruebas

En la tabla 17, se muestra el listado con la descripción de los recursos y materiales necesarios para la construcción del equipo de banco de pruebas.







Tabla 17: Lista recursos y materiales para la construcción del equipo.






Nombre	Descripción	Imagen
Torno	El torno sirve para el modelamiento de piezas en función de parámetros requeridos.	
Amoladora	Es una herramienta para realizar cortes sobre superficies metálicas por medio de un disco de corte.	
Soldadora SMAW	La soldadura se da por medio de un arco eléctrico entre el metal base y el electrodo, se utiliza para la unión de piezas o partes metálicas.	
Electrodo	El electrodo es un elemento que conforma el proceso de soldar, se utiliza para la unión de piezas o partes metálicas.	
Taladro de Pedestal	El taladro de pedestal sirve para realizar perforaciones de forma circular sobre una superficie metálica.	
Cable 350 y 700 MCM	Se utiliza estos tipos de cable para el enrollamiento de la bobina y las conexiones correspondientes.	

### 2.1.5. Recursos y Materiales usados para el sistema de control

En la tabla 18, se detalla el listado con la descripción de los recursos y materiales necesarios para la construcción del sistema de control del equipo de banco de pruebas.

Tabla 18: Listado de recursos y materiales usados para el control.

Nombre	Descripción	Imagen de referencia
Tiristor doble de alta corriente y voltaje	Es un dispositivo semiconductor de alta frecuencia de apagado rápido, el cual actúa a manera de interruptor, con la finalidad de controlar el disparo de la corriente alterna en aplicaciones de alta potencia.	
Tarjeta control de soldadora de punto	Es un dispositivo controlador utilizado en las soldadoras de punto, esta tarjeta controla el proceso de soldadura mediante el principio de activación por cambio de fase, permitiendo regular el número de pulsos eléctricos, el tiempo y la cantidad de corriente utilizada.	
Transformador de 24 Voltios	Es un dispositivo estático de corriente alterna que permite controlar y variar los pulsos y la energía como es el voltaje o la intensidad de corriente.	
Breaker de 60 Amperios	Es un dispositivo interruptor encargado de cerrar de manera automática el flujo de corriente eléctrica a un circuito o sistema de potencia, con la finalidad de protegerlo de daños por sobrecarga, generación de cortocircuitos y daños producidos por fallas de aislación en el equipo o instalación eléctrica.	

Nombre	Descripción	Imagen de referencia
Borne de conexión	Es un elemento de contacto que permite asegurar las conexiones del conductor eléctrico contra una pieza metálica por medio de apriete, para así conectar dispositivos de manera segura, proteger la conexión de cortocircuitos y sobrecalentamiento, y distribuir el cableado y la corriente entre 2 o más puntos.	
Selector ON/OFF	Es un dispositivo que permite controlar el encendido, apagado y ejecución del circuito eléctrico, cambiando o cortando la conexión al abrir y cerrar los contactos eléctricos al giro de la perilla.	
Lámpara Led	Este componente se utiliza para indicar el funcionamiento del circuito y activación de pulso de corriente eléctrica.	
Potenciómetro	Dispositivo que permite controlar la intensidad de corriente (amperaje), el tiempo de pulso de corriente y el tiempo de paro o pausa entre la activación de los pulsos.	
Indicador digital de voltaje y amperaje.	Este dispositivo permite medir y visualizar el voltaje y amperaje que circula en el circuito eléctrico del equipo.	

Nombre	Descripción	Imagen de referencia
Cable Ftp No. 26	Utilizadas en las conexiones eléctricas/electrónicas del circuito de control.	
Cable para instalaciones eléctricas N0. 8		
Gabinete metálico	Este componente permite proteger y almacenar los dispositivos que conforman el circuito de control, permitiendo realizar una instalación eléctrica funcional y organizada.	

## 2.2. Metodología

El presente proyecto tiene como objetivo primordial el diseño y construcción de un banco de pruebas de ensayos no destructivos para inspecciones mediante partículas magnéticas fluorescentes, siendo este considerado como una herramienta importante para el aprendizaje de los estudiantes de la carrera de Mecánica, en la materia de Ensayos no Destructivos, debido a que servirá para realizar este tipo de practica que actualmente los equipos del laboratorio de materiales no tienen las condiciones para hacerlo.

### 2.2.1. Tipos de Investigación

#### Exploratoria

Este tipo de investigación por lo general se la implementa en términos preliminares del proyecto ya que permite establecer una respuesta a aquellas inquietudes que surgen, como son las dimensiones del objeto, materiales, el tipo de alimentación, recursos económicos, accesorios disponibles en el mercado nacional, entre otros, los cuales son datos informativos de vital importancia para el proyecto técnico.

## **Bibliográfica**

Al utilizar este tipo investigación se fundamenta una base segura y confiable respecto a la información que se requiere, dicha información se la obtiene de fuentes en físico o digitales como libros, artículos científicos, normas, entre otros. Posteriormente dicha información proporcionará una base para los apartados de conceptualización y metodología del proyecto.

## **Descriptiva**

Sirve para realizar un manejo adecuado del procedimiento detallado en los parámetros de diseño ya sea de la parte estructural, el sistema de magnetización y fuente, dimensionamiento, además de establecer las condiciones de funcionamiento y operación del equipo.

## **Explicativa**

Proporciona un conocimiento específico sobre aspectos importantes del proyecto como el funcionamiento, principios de magnetización en el campo de los ensayos no destructivos, y aplicación, correspondiente a un banco de pruebas que permita aplicar el método de inspección por medio de partículas magnéticas fluorescentes.

### **2.3. Metodología de la Ingeniería inversa**

La ingeniería inversa representa un tipo de metodología enfocada al complemento del diseño y procesos de manufacturación de productos. Además, es considerada como un mecanismo desarrollado de forma inversa de cada uno de los métodos o procedimientos convencionales de diseño y manufactura de un producto [22].

Al aplicar la metodología de la ingeniería inversa en el diseño, se debe usar ciertos parámetros como herramientas, tecnología, y con el apoyo de software computacional, innovadores métodos de manufactura, y elementos de medición, los cuales permiten completar el proceso de diseño de un elemento en términos de ingeniería [22].

#### **2.3.1. Ingeniería inversa aplicada al proyecto**

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la ingeniería inversa con la finalidad de obtener información sobre los equipos construidos comercializados de manera nacional e internacional, por lo que aportarían con información valiosa respecto a las dimensiones

generales y específicas, bobina magnética, almohadillas o placas de cobre, tipo de fuente con su respectiva capacidad, y la implementación de uno varios tipos de corriente eléctrica.

Esta información fue conseguida en catálogos de empresas dedicadas a la venta de equipos para inspecciones mediante partículas magnéticas. Magnaflux comercializa varios modelos con características propias del equipo, sin embargo, a continuación, se presenta el modelo “Mag Kit”, el cual presenta un diseño sencillo y práctico, por lo que en base a este se consideró las dimensiones para el modelamiento de los cabezales y el riel de movilización para el prediseño del equipo.

En la figura 24, se presenta el modelo Mag Kit de la empresa Magnaflux, comercializada en el mercado nacional.



Figura 24: Bancada magnética, modelo Mag Kit [23] .

En la figura 25, se indican las propiedades técnicas del banco de pruebas Mag Kit.

### PRODUCT PROPERTIES

Available Voltage	115 V
Part Number	628834
Footprint	50.5" L x 20.5" W x 50.25" H (Table Height 36") 128cm L x 52.1cm W x 127.6cm H (Table Height 91.4cm)
Part Weight	300lb (136kg)
Maximum Part Weight	350lb (159kg)
Maximum Part Length	39" (99cm)
Coil Diameter	11" I.D. (28cm)

Figura 25: Propiedades de la bancada magnética Mag Kit [23] .

Advanced Technology Group (ATG), es una empresa internacional que también se dedica a la construcción y comercialización de bancadas magnéticas, el modelo “MINIMAG 500” es atractivo por sus dimensiones y disposición, por lo que puede ser transportado a cualquier lugar sin ninguna dificultad. Para el modelado del prediseño se analizó este tipo de modelo debido a su capacidad (1500 amperios), es similar a la capacidad del banco de pruebas del presente proyecto (1200 amperios).

En la figura 26, se indica el modelo minimag 500 de la empresa ATG, el cual destaca su diseño por ser portátil y fácil de manejar.



Figura 26: Bancada magnética modelo minimag 500 [24] .

Los modelos mencionados permiten ampliar el conocimiento con respecto a la corriente que usan, los accesorios de magnetización como bobina y contactos, sistema de movilización al momento de realizar el ensayo, materiales de elementos u accesorios, entre otros, como se puede apreciar en el Anexo 1.

A continuación, se plantea un listado de bancos magnéticos comercializados a nivel internacional de marcas como Magnaflux, ATG, NDT supply, los cuales presentan distintos modelos con sus correspondientes características:

- Dimensiones
- Tipo de corriente de magnetización
- Control de la corriente por medio de puntos
- Amperaje máximo en la salida
- Voltaje y Frecuencia
- Peso máximo que soporta el equipo

En la tabla 19, se presenta un listado de equipos magnéticos disponibles en el mercado ecuatoriano.







Tabla 19: Bancadas Magnéticas disponibles en el Mercado.

Marca	Modelo	Dimensiones (mm) (L X W x H)	Tipo de corriente de magnetización	Control de corriente (Puntos)	Amperaje en la salida	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Peso máx. que soporta (Lb)
Magnaflux	MD 230	1600 x 600 x 1321	AC/ HWDC	10	2500	230/460	50/60	700
Magnaflux	Mag Kit	1280 x 521 x 1276	AC/ HWDC	10	1500	230/460	50/60	350
Magnaflux	Mag IV- 60	2057 x 610 x 965	AC	10	2500	230/460	50/60	200
Magnaflux	Mag V-60	2464 x 1219 x 1956	AC	10	4000	230/460	50/60	200
Magnaflux	Dra -100	2032 x 813 x 965	AC	10	2100	230/460	50/60	-
Magnaflux	Mag VI-60	2057 x 610 x 965	AC/ HWDC	10	5000	230/460	50/60	200
Magnaflux	H-700	2489 x 914 x 2616	DC	Variable	4000	230/460	50/60	-
Magnalfux	H-800	2489 x 914 x 2616	DC	Variable	4000	230/460	50/60	800
ATG	minimag 500	1000 x 700 x 750	AC/ HWDC	10	1000	230/460	50/60	110
NDT supply	MT - HD	1650 x 750 x 2200	AC	10	2000	230/460	50/60	220
ATG	Unimag	1280 x 5750 x 1220	A/C	10	1500	230/460	50/60	200





En la tabla 20, se muestra algunos tipos de bobinas, los cuales varían en los parámetros descritos en la tabla 20. La información recopilada sirve para ir determinando los principios de funcionamiento, al igual que establecer ciertos parámetros de diseño que posteriormente sirvan para cálculos de la bobina.

Tabla 20: Tipos de bobinas de bancadas magnéticas.

<b>ACCESORIO DEL BANCO MAGNÉTICO</b>				
<b>Función / Alternativa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Sistema de Magnetización</b>				
<b>Bobina</b>				
<b>Especificaciones</b>				
<b>Longitud máxima</b>	Ø 250 mm	Ø 150 mm Ø 350 mm	Ø 305 mm Ø 510 mm	400 mm
<b>Tipo</b>	Bobina envolvente	Bobina envolvente	Bobina envolvente	Bobina envolvente
<b>Vueltas</b>	3 4	3	4 5	4
<b>Alimentación</b>	Manual	Manual	Manual	Manual
<b>Magnetización</b>	Longitudinal	Longitudinal	Longitudinal	Longitudinal
<b>Intensidad de Campo Magnético</b>	7,4 kA/m a 600 A	-	7,4 kA/m a 600 A	-
<b>Área de cable</b>	95 mm <sup>2</sup>	-	95 mm <sup>2</sup> 150 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>

En la tabla 21, correspondiente a la fuente de alimentación; muestra distintos tipos, los cuales presentan variaciones en el voltaje, amperaje, y tipo de corriente eléctrica, siendo estos un parámetro fundamental para el diseño del transformador. Al igual que en los casos anteriores en base a los datos proporcionados por la investigación, se puede realizar un análisis e identificar los valores de salida de corriente (amperaje y voltaje) de los transformadores comercializados.

Tabla 21: Tipos de fuentes de alimentación.

<b>ACCESORIOS DE BANCO MAGNÉTICO</b>				
<b>Función / Alternativa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Sistema de Alimentación</b>				
<b>Unidad portátil de fuente de alimentación</b>				
<b>Especificaciones</b>				
<b>Dimensiones</b>	44.5 x 23 x 19.1 cm	55.8 x 24.3 x 24.3 cm	43.8 x 23.8 x 20.3 cm	44.5 x 23 x 19.1 cm
<b>Peso</b>	15,9 kg	42,2 kg	18,1 kg	42,2 kg
<b>Salida máxima</b>	750 Amps AC o HWDC	1500 Amps AC o HWDC	750 Amps AC o HWDC	753 Amps AC o HWDC
<b>Salida de corriente</b>	115 V AC 50/60 Hz	230 V AC 50/60 Hz	115 V AC 50/60 Hz	3,2 a 18 V AC 50/60 Hz
	230 V AC 50/60 Hz	460 V AC 50/60 Hz	230 V AC 50/60 Hz	
<b>Corrientes de Línea</b>	26 Amps 115 V AC 13 Amps 230 V AC	42 Amps 230 V AC 21 Amps 460 V AC	27 Amps 115 V AC 14 Amps 230 V AC	230 V AC 460 V AC
<b>Ciclo de Trabajo</b>	2 Minutos ON 2 Minutos OFF	2 Minutos ON 2 Minutos OFF	2 Minutos ON 2 Minutos OFF	1 Segundo ON 1 Segundo OFF

## 2.4. Tipos de piezas sometidas a ensayo

Las piezas o probetas que se requieren analizar en el banco de pruebas varían en tamaño y forma, esto se debe a que son objetos que se encuentran en el laboratorio de materiales. Dichas piezas y probetas se especifican en la tabla que se muestra a continuación, la cual indica el tipo de pieza o probeta, forma, localización de defectos, dirección de defectos y el método de magnetización que requiere la pieza u probeta.

La tabla 22, muestra el tipo de elemento, forma y técnica de magnetización que requiere para la localización de defectos superficiales y subsuperficiales.

Tabla 22: Listado de piezas sugeridas a ensayar.

Nombre	Forma	Localización de defectos	Dirección de los defectos	Posible técnica de Magnetización
Soldadura en junta a tope	Rectangular	Discontinuidades superficiales y subsuperficiales	Axial Circunferencial	Circular. Longitudinal.
Soldadura en junta en T (Filete)	Rectangular	Discontinuidades superficiales y subsuperficiales	Axial Circunferencial	Circular. Longitudinal.
Tubería cilíndrica	Circular	Discontinuidades y superficiales	Axial Circunferencial	Longitudinal. Conductor central.
Soldadura en tubería cilíndrica	Circular	Discontinuidades superficiales y subsuperficiales	Axial Circunferencial	Longitudinal. Conductor central.
Piezas mecánicas	Varias	Discontinuidades superficiales y subsuperficiales	Axial Circunferencial	Circular. Longitudinal. Conductor central.

## 2.5. Técnicas de magnetización de piezas sometidas a ensayo

### 2.5.1. Tipos básicos de corriente de magnetización

Los cuatro tipos básicos de corriente que se emplea generalmente en las pruebas de partículas magnéticas para establecer la magnetización de una pieza son:

- Corriente Alterna (CA)
- Corriente Rectificada de Media Onda (HW)
- Corriente Rectificada de Onda Completa (FW)

Para aplicaciones especiales, se emplea:

- Corriente Continua (CC) [1].

## **2.5.2. Técnicas de magnetización**

### **2.5.2.1. Magnetización directa e indirecta**

Para magnetización directa, la corriente de magnetización circula directamente a través de la pieza creando un campo magnético de forma circular u orientado a 90 grados con respecto al flujo de la corriente sobre la pieza [1].

Para las técnicas que emplean magnetización indirecta, se induce un campo magnético en la pieza a ensayar, creando un campo magnético circular/toroidal, longitudinal o multidireccional en la pieza [1].

### **2.5.3. Magnetización de contacto directo**

Para magnetización directa, es necesario generar contacto físico entre la parte ferromagnética a analizar y los electrodos portadores de corriente conectados a una fuente de alimentación. Por ende, para la magnetización de área localizada como para magnetización general de la pieza, ambas sirven como contacto directo de magnetización de piezas y este se puede lograr mediante el uso de prods (puntas), cabezal y contrapunto, abrazaderas magnéticas [1].

#### **2.5.3.1. Magnetización general por contacto de cabezal y contrapunto**

Las piezas son sujetas entre dos electrodos que de forma notoria son representados por un cabezal y un contrapunto del banco partículas magnéticas húmedas, y sobre los cuales la corriente de magnetización es aplicada directamente a través de la pieza [1].

### **2.5.4. Magnetización indirecta**

En magnetización indirecta de una pieza, se utiliza una bobina, envoltura de cable, yugo o conductor central para inducir un campo magnético sobre esta. El conductor central genera magnetización circular, mientras que la magnetización de bobina, envoltura de cable y yugo establece una magnetización longitudinal [1].

#### **2.5.4.1. Magnetización por bobina y cable**

Cuando se emplean técnicas de magnetización por envoltura de cable o bobina, la fuerza de magnetización del campo magnético es proporcional a los amperios por vuelta acompañado de una geometría sencilla [1].

### **2.5.4.2. Corriente de magnetización inducida por conductor central**

Para magnetización circular indirecta de piezas o partes huecas se realiza mediante el paso de corriente de magnetización a través de un conductor central o un cable empleado a modo de conductor central, los conductores centrales generalmente son macizos pero pueden ser huecos e idealmente están hechos de material no ferroso, sin embargo se puede utilizar un conductor central ferromagnético [1].

En adición para la unidad de tipo banco de prueba en un examen por medio de conductor central, la distancia a lo largo de la circunferencia de la pieza que puede examinarse de manera efectiva es equivalente a cuatro veces el diámetro del conductor central [1].

## **2.6. Consideraciones del método aplicado**

### **2.6.1. Corriente de Magnetización**

Se recurrió a lo especificado en la norma ASTM E709 – 21, para determinar el tipo de corriente de magnetización adecuada con respecto a los parámetros para establecer las intensidades de los campos magnéticos generados en el equipo, garantizando un adecuado funcionamiento del banco de pruebas sobre cualquiera de sus aplicaciones y en base a los métodos de magnetización realizables y establecidos.

#### **2.6.1.1. Magnetización circular**

De acuerdo a [1], en lo especificado por el apartado X3. FÓRMULAS EMPÍRICAS en el punto X.3.2.1.1, para magnetización circular directa, cuando se magnetiza pasando directamente la corriente a través de la pieza a ensayar, la corriente nominal generalmente debe comprender un rango de 300 a 800 A/pulgada de diámetro de pieza (12 a 32 A/mm). Las corrientes aplicadas normalmente serán de 500 A/pulgada (20 A/mm) o menos, o en las corrientes más altas hasta 800 A/pulgada (32 A/mm). Amperajes menores a 300 A pueden ser utilizados cuando la configuración de la pieza lo dicta.

Es importante considerar que el diámetro de pieza debe tomarse como la mayor distancia entre 2 puntos cualquiera de su circunferencia exterior.

A continuación, en la tabla 23, se detalla los valores de corriente de magnetización a utilizar en el equipo de banco de pruebas, para la técnica de magnetización circular directa, en referencia al diámetro exterior o longitud de sección transversal del elemento a inspeccionar de acuerdo con ASTM E709:2021.

Tabla 23: Valores de corriente sugerida para Magnetización Circular Directa a utilizar en el equipo.

<b>Intensidad de corriente A/pulgada [A/mm]</b>	<b>Diámetro exterior o sección transversal de pieza (por pulgada o milímetro de mayor ancho en un plano) pulgada [mm]</b>
250 a 400 A/pulgada [10 a 16 A/mm]	1/2 pulgada [12,7 mm]
500 a 800 A/pulgada [20 a 32 A/mm]	1 pulgada [25,4 mm]
750 a 1200 A/pulgada [30 a 48 A/mm]	1 ½ pulgada [ 38,1 mm]

### **2.6.1.2.Magnetización circular inducida por conductor central**

De acuerdo a [1] en el punto X.3.2.1.2 establece que, al utilizar conductores centrales desplazados, este conductor que pasa por el interior de la pieza a ensayar debe ser colocado contra la pared interior de la pieza. Adicionalmente la corriente empleada debe ser de 12 A/mm de diámetro de pieza a 32 A/mm de diámetro de pieza (300 a 800 A/pulgada).

De igual forma el diámetro de la pieza debe tomarse como la mayor distancia entre 2 puntos cualquiera de su circunferencia exterior.

Así mismo, las corrientes aplicadas en este método, por lo general serán de 500 A/pulgada (20 A/mm) o menos y en corrientes más altas hasta 800 A/pulgada, estos rangos de amperaje se incluye su utilización para examinar inclusiones o para examinar aleaciones de baja permeabilidad magnética.

Para exámenes realizadas para localizar inclusiones en aceros endurecidos, se pueden emplear corrientes aún más altas hasta 1000 A/pulgada (40 A/mm).

En adición, se establece que la distancia a lo largo de la circunferencia de la pieza que puede ser efectivamente examinada debe tomarse aproximadamente como 4 veces el diámetro del conductor central como muestra la figura 27.

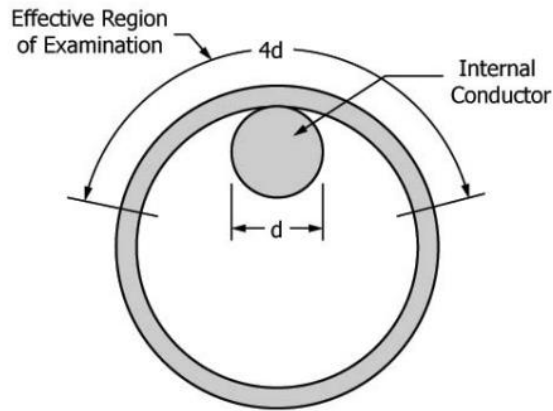


Figura 27: Región efectiva de examen cuando se utiliza conductor central desplazado [1].

En este método debe examinarse toda la circunferencia girando la pieza sobre el conductor, por ello, se permite una superposición del campo magnético de aproximadamente el 10%.

En concordancia a lo expuesto con anterioridad en ASTM E709, se considera que la corriente de magnetización empleada en el conductor central desplazado es la misma corriente que se maneja para magnetización circular directa, por ende, la tabla , muestra una guía de los valores de corriente de magnetización, en base al rango 24 de valores mínimo – máximo recomendados, proporcionados en el punto específico perteneciente a dicha norma y los cuales se pueden utilizar cuando se de uso de un conductor central desplazado en el equipo.

La tabla 24, detalla los valores de corriente de magnetización a utilizar en el equipo de banco de pruebas, para la técnica de magnetización circular inducida por conductor central, en referencia al diámetro del conductor central a emplear en la inspección, bajo las especificaciones de ASTM E709:2020.

Tabla 24: Rangos de amperaje por diámetro de conducto central desplazado a utilizar en el equipo.

<b>Diámetro del conductor central (pulgadas)</b>	<b>Amperaje [A] (+/- 10%)</b>
1/2	250 - 400 [A]
1	500 - 800 [A]
1 1/2	750 - 1200 [A]



### 2.6.1.3.Magnetización Longitudinal

#### Bobinas de bajo factor de llenado

De acuerdo a [1] en el punto X.3.2.2.1, se establece que para una bobina de bajo factor de llenado, el área de la sección transversal de la bobina envolvente supera considerablemente el área de la sección transversal de la pieza analizada (presenta un área de menos del 10% del diámetro interior de la bobina).

Para realizar una magnetización adecuada de las piezas, estas deben colocarse de manera correcta dentro de la bobina y cerca de la pared interior de la bobina. Mediante este factor de relleno bajo, la intensidad de campo adecuada para piezas posicionadas excéntricamente con una relación longitud sobre diámetro (L/D) entre 3 y 15 se calcula a partir de la siguiente ecuación X3.1:

- a. Piezas con bajo factor de llenado colocadas cerca de la pared interior de la bobina:**

$$NI = \frac{K}{\frac{L}{D}} (\pm 10\%) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

N = número de vueltas en la bobina,

I = corriente de bobina a utilizar en amperios (A),

K = 45000 (constante derivada empíricamente)

L = longitud de la pieza en pulgadas,

D = diámetro de la pieza en pulgadas,

NI = amperio vueltas.

- b. Piezas con un factor de llenado bajo colocado en el centro de la bobina:**

$$NI = \frac{KR}{\left\{ 6 \left( \frac{L}{D} \right) - 5 \right\}} (\pm 10\%) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

N = número de vueltas en la bobina,

I = corriente de bobina a utilizar en amperios (A),

$K = 43000$  (constante derivada empíricamente)

$R$  = radio de la bobina en pulgadas,

$L$  = longitud de la pieza en pulgadas,

$D$  = diámetro de la pieza en pulgadas,

$NI$  = amperio vueltas.

### **Bobinas de alto factor de llenado**

Del mismo modo, en concordancia a lo establecido por [1] en el punto X.3.2.2.3, cuando se utiliza bobinas fijas o envoltura de cable y el área de la sección transversal de la bobina es inferior al doble del área de la sección transversal de la pieza, la bobina tiene un factor de llenado alto.

- c. Para piezas posicionadas dentro de una bobina de alto factor de llenado y para piezas con una relación (L/D) igual o superior a 3: Ecuación X.3.3**

$$NI = \frac{K}{\left\{ \left( \frac{L}{D} \right) + 2 \right\}} (\pm 10\%) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$N$  = número de vueltas en la bobina o envoltura de cable,

$I$  = corriente de bobina a utilizar en amperios (A),

$K = 35000$  (constante derivada empíricamente)

$L$  = longitud de la pieza en pulgadas,

$D$  = diámetro de la pieza en pulgadas,

$NI$  = amperio vueltas.

Para relaciones  $L/D$  menores a 3, se debe emplear una pieza de poste de material ferromagnético aproximadamente del mismo diámetro que la pieza, para así aumentar eficazmente la relación  $L/D$  o se deberá utilizar un método de magnetización alternativo para inducir la corriente. Del mismo modo, para relaciones  $L/D$  superiores a 15, se debe utilizar un valor máximo de 15 para todas las fórmulas citadas anteriormente [1].

La tabla 25, muestra los valores de corriente de magnetización a utilizar en el equipo de banco de pruebas, para la técnica de magnetización longitudinal por bobina de núcleo de aire de 5 espiras, en referencia a la relación longitud/diámetro (L/D) a emplear en la inspección, bajo las especificaciones de ASTM E709:2020.

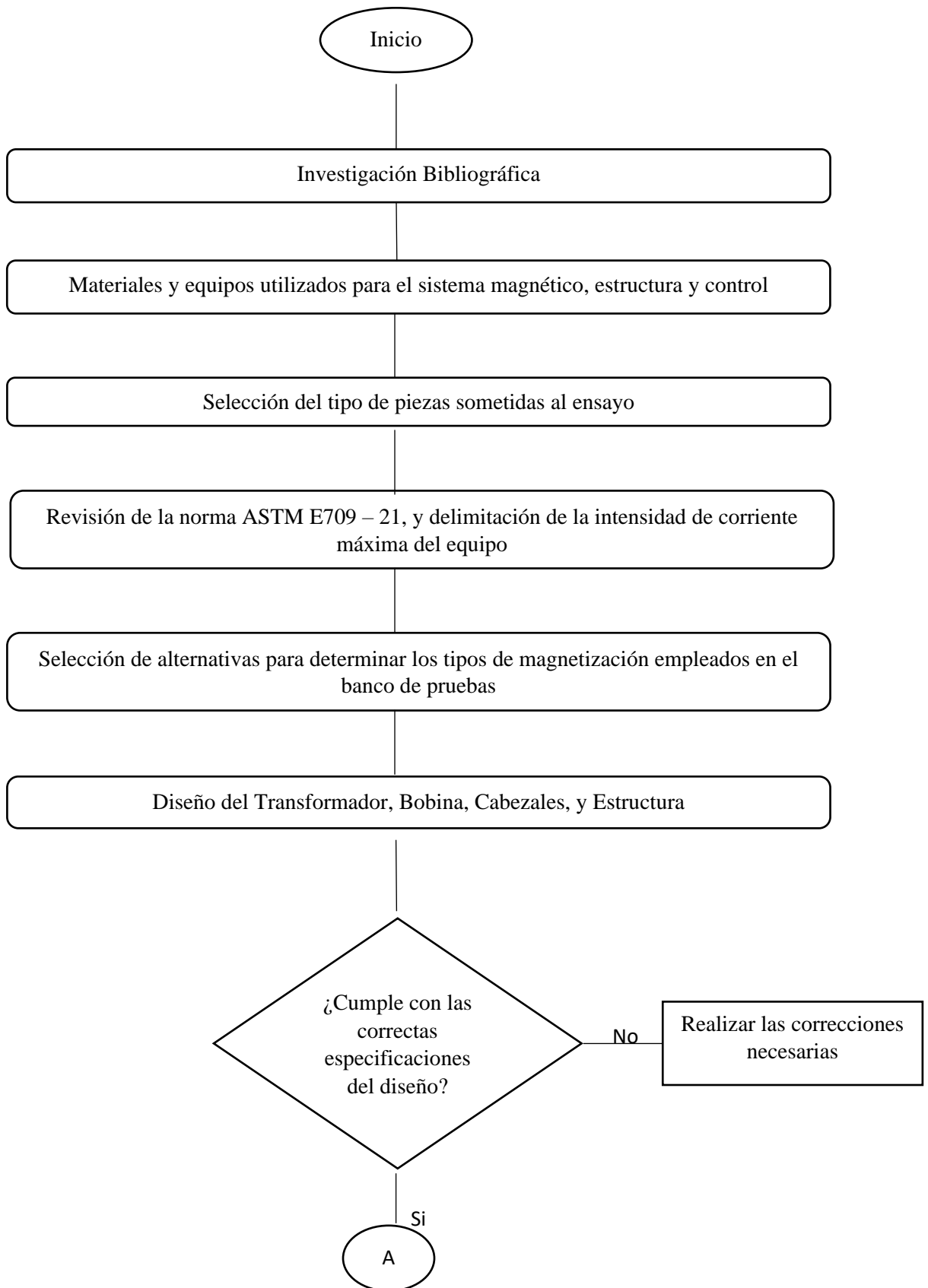
Tabla 25: Valores de amperaje para magnetización longitudinal en bobina.

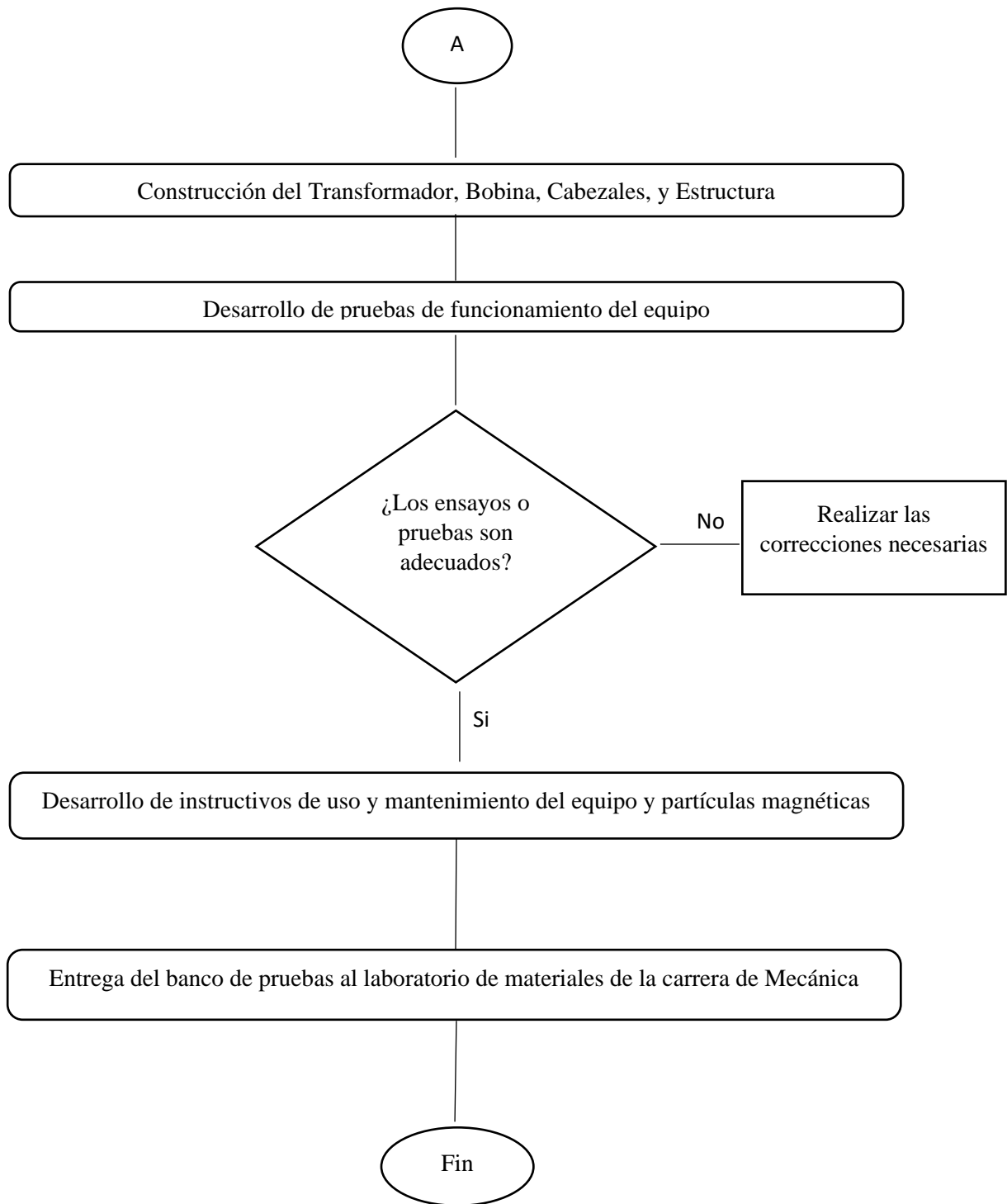
<b>5 espiras</b>	<b>Amperaje requerido [A] <math>\pm 10\%</math></b>		
<b><math>\varnothing</math> 25 cm</b>	<b>Bobina de bajo factor de llenado</b>		<b>Bobina de alto factor de llenado</b>
<b>Relación L/D</b>	<b>colocado cerca de la pared interior de la bobina</b>	<b>colocado en el centro de la bobina</b>	
7	1286	1144	778
8	1125	984	700
9	1000	864	636
10	900	769	583
11	818	694	538
12	750	632	500
13	692	580	467
14	643	536	438
15	600	498	412

En conclusión, al analizar los parámetros especificados con anterioridad, para cada rango de amperaje empleado para la magnetización circular directa y por conductor central y para magnetización longitudinal, se tiene que el equipo deberá ser diseñado para una corriente hasta los 1200 A ( $\pm 10\%$ ).

### **2.7. Resumen del procedimiento del proyecto técnico (Diagrama)**

A continuación, se presenta un diagrama indicando el procedimiento que comprende paso a paso el cumplimiento de los objetivos planteados dando como resultado la construcción de un banco de pruebas para inspecciones mediante partículas magnéticas.





## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Selección de alternativas para el diseño del banco de pruebas

La selección de alternativas es una actividad que se realiza antes del diseño del banco de pruebas, dichas alternativas están enfocadas al tipo de dirección que genera el campo magnético. A continuación, se presentan tres alternativas que posteriormente serán aplicados al método de criterios ponderados.

- Alternativa 1. Magnetización Longitudinal
- Alternativa 2. Magnetización Circular
- Alternativa 3. Magnetización Longitudinal y Circular

##### 3.1.1. Aplicación del método ordinal de criterios ponderados

La aplicación de este método nos ayuda a determinar cuál es la mejor opción de las alternativas existentes utilizando una valoración.

Principalmente se basa en la creación de tablas en las cuales existe una comparación entre un criterio y los demás criterios seleccionados. A estos criterios se le aplica una valoración, detallada en la siguiente tabla [25].

Principalmente se basa en la creación de tablas en las cuales existe una comparación entre un criterio y los demás criterios seleccionados. A estos criterios se le aplica una valoración, detallada en la tabla 26.

Tabla 26: Valorización de criterios [25].

<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>
Si el criterio seleccionado ubicado en las filas es mayor en relación con el de las columnas	1
Si el criterio seleccionado ubicado en las filas es igual en relación con el de las columnas	0,5
Si el criterio seleccionado ubicado en las filas es menor en relación con el de las columnas	0

Con respecto a los criterios que se evaluarán para el equipo de banco de pruebas para inspección por partículas magnéticas fluorescentes, estos se fundamentan en los diferentes métodos de magnetización que puede realizar el equipo referente a la inducción de los campos magnéticos, en adición se manejan los siguientes criterios:

1. **Factibilidad de construcción:** Comprende la facilidad y factibilidad de la construcción de la estructura, partes o componentes del banco de pruebas, dependiente a la forma, material, tamaño y su disponibilidad en el mercado de preferencia nacional.
2. **Costo:** Se limita al presupuesto con el que se tiene que desarrollar la construcción del equipo.
3. **Tamaño y peso:** Determinado a un peso y tamaño adecuado para el uso y aplicación, lugar de instalación y que garantice movilidad y portabilidad del banco de pruebas.
4. **Montaje y desmontaje:** Comprende una evaluación con respecto a la facilidad de ensamblar la parte estructural, bobina, cabezales, fuente de poder, y accesorios, la cual no deberá presentar ninguna complejidad en cualquier etapa del ensamblaje o a su vez el desmontaje de las partes del equipo.
5. **Mantenimiento:** Se define al mantenimiento del equipo, el cual deberá ser realizado de manera adecuada en el lugar de instalación, uso o aplicación del equipo, manteniendo como factores de relevancia a la rapidez y facilidad del mantenimiento y a la disponibilidad para reparar o remplazar las diferentes partes del banco de pruebas con un fácil acceso.
6. **Confiabilidad:** Determinado al valor de confianza que requiere el equipo respecto a factores de ingeniería, construcción, uso, aplicación y ciclo de vida, que permitan obtener un balance adecuado de seguridad a un costo óptimo con base en los criterios de diseño de piezas, partes y componentes del equipo, enfocados a los factores de seguridad adecuados o establecidos en el diseño y construcción.

Tabla 27: Evaluación de criterios para banco de pruebas.

Criterio	Factibilidad de construcción	Costo	Tamaño y peso	Montaje y desmontaje	Mantenimiento	Confiabilidad	$\Sigma + 1$	Ponderación
Factibilidad de construcción		0,5	0	1	1	1	4,5	0,17
Costo	0,5		1	1	1	1	5,5	0,21
Tamaño y peso	0	0		0,5	0	1	2,5	0,09
Montaje y desmontaje	0,5	0,5	1		1	1	5	0,19
Mantenimiento	0,5	1	0,5	1		1	5	0,19
Confiabilidad	0	0,5	0,5	0,5	0,5		3	0,11
TOTAL							25,5	1

Los criterios evaluados en la tabla 27, abarcan la ponderación establecida en [25], en donde el criterio con menor peso específico en la selección de criterios influyentes en el diseño y la construcción del equipo es el tamaño y peso del equipo y sus componentes, mostrando un valor de 0,09, mientras que el criterio con mayor peso es el costo, reflejando un valor de 0,21, debido al monto presupuestario crucial en la construcción de la estructura, partes y componentes del banco de pruebas.

En adición cada uno de los criterios establecidos tendrán que ser evaluados con la finalidad de determinar la mejor alternativa para generar la magnetización del banco de pruebas de inspección por partículas magnéticas. Dichos criterios también se evalúan respecto las diferentes maneras de producir la inducción de los campos magnéticos:

- Magnetización Circular
- Magnetización Longitudinal
- Magnetización Circular y Longitudinal.

Para el primer criterio evaluado, la factibilidad de construcción se tiene:



Tabla 28: Evaluación del criterio de factibilidad de fabricación de banco de pruebas.

Factibilidad de construcción	Magnetización Circular	Magnetización Longitudinal	Magnetización Circular - Longitudinal	$\Sigma + 1$	Ponderación
Magnetización Circular		1	1	3	0,37
Magnetización Longitudinal	0		1	2	0,25
Magnetización Circular - Longitudinal	1	1		3	0,37
TOTAL				8	1

En la tabla 28, se muestra la evaluación para el criterio de factibilidad de construcción, en la cual la Magnetización Circular y Longitudinal es la opción con mayor valorización con un valor de 0,37, resultando como la mejor alternativa.

Para el segundo criterio evaluado, el costo de diseño y construcción se tiene:

Tabla 29: Evaluación del criterio de costo de fabricación de banco de pruebas.

Costo	Magnetización Circular	Magnetización Longitudinal	Magnetización Circular - Longitudinal	$\Sigma + 1$	Ponderación
Magnetización Circular		0,5	0,5	2	0,28
Magnetización Longitudinal	0,5		0,5	2	0,28
Magnetización Circular - Longitudinal	1	1		3	0,42
TOTAL				7	1

En la tabla 29, se muestra la evaluación para el criterio de costo de construcción del banco de pruebas, donde se muestra que la Magnetización Circular y Longitudinal es el factor con mayor valorización, por ende, esta opción resultaría la más costosa; sin embargo, permitiría construir y emplear dos tipos de campo magnético que permitirían aplicar diversas técnicas o métodos de magnetización sobre las piezas a inspeccionar, generando un equipo más completo, con mayor aplicabilidad y utilidad.

Para el tercer criterio evaluado, el tamaño y peso del equipo se tiene:

Tabla 30: Evaluación del criterio de tamaño y peso de banco de pruebas.

Tamaño y peso	Magnetización Circular	Magnetización Longitudinal	Magnetización Circular - Longitudinal	$\Sigma + 1$	Ponderación
Magnetización Circular		0	0	1	0,16
Magnetización Longitudinal	1		0	2	0,33
Magnetización Circular - Longitudinal	1	1		3	0,50
TOTAL				6	1

En la tabla 30, se muestra que el criterio con mayor valorización en la selección del tamaño y peso del banco de pruebas es la que permite la Magnetización Circular y Longitudinal, debido a que este sistema implementaría más componentes en el equipo y sumado al peso de la estructura, aumentaría el peso total del banco de pruebas; sin embargo, a lo establecido en el punto anterior, se buscará con un diseño óptimo la implementación de dicho sistema que genere magnetización circular y longitudinal.

Para el cuarto criterio evaluado, el montaje y desmontaje del equipo se tiene:

Tabla 31: Evaluación del criterio montaje y desmontaje.

Montaje y desmontaje	Magnetización Circular	Magnetización Longitudinal	Magnetización Circular - Longitudinal	$\Sigma + 1$	Ponderación
Magnetización Circular		0,5	1	2,5	0,41
Magnetización Longitudinal	0,5		1	2,5	0,41
Magnetización Circular - Longitudinal	0	0		1	0,16
TOTAL				6	1

En la tabla 31, se evidencia a la Magnetización Circular y Magnetización Longitudinal como las alternativas con mayor valorización, esto se debe a que el montaje y desmontaje es mucho más fácil por separado, por tal motivo la tercera alternativa que representa a la implementación de Magnetización Circular y Longitudinal es más complicada y demorosa en comparación con las demás.

Para el quinto criterio evaluado, el mantenimiento del equipo se tiene:

Tabla 32: Evaluación del criterio Mantenimiento.

Mantenimiento	Magnetización Circular	Magnetización Longitudinal	Magnetización Circular - Longitudinal	$\Sigma + 1$	Ponderación
Magnetización Circular		0,5	0,5	2	0,30
Magnetización Longitudinal	0		0,5	1,5	0,23
Magnetización Circular - Longitudinal	1	1		3	0,46
TOTAL				6,5	1

En la tabla 32, se muestra que el criterio con mayor valorización en el mantenimiento del equipo es la alternativa de Magnetización Circular y Longitudinal, debido a que al implementar los dos tipos de magnetización requiere un mantenimiento más específico y adecuado para cada uno de estos sistemas.

Para el sexto criterio evaluado, la confiabilidad del equipo se tiene:

Tabla 33: Evaluación del criterio Confiabilidad.

Confiabilidad	Magnetización Circular	Magnetización Longitudinal	Magnetización Circular - Longitudinal	$\Sigma + 1$	Ponderación
Magnetización Circular		0,5	0	1,5	0,25
Magnetización Longitudinal	0,5		0	1,5	0,25
Magnetización Circular - Longitudinal	1	1		3	0,5
TOTAL				6	1

En la tabla 33, se evidencia la evaluación del criterio confiabilidad, la alternativa con mayor valorización es la Magnetización Circular y Longitudinal, ya que su confiabilidad en el método de inspección será mejor ya que utiliza los dos tipos de magnetización y por tal motivo el equipo incrementa su confiabilidad para realizar los ensayos.

Finalmente, posterior al análisis de cada uno de los criterios y alternativas, se ha determinado la prioridad de diseño y construcción con la mejor opción, en base a un análisis presentado en la siguiente tabla de conclusiones:

Tabla 34: Tabla de conclusiones con ponderaciones de las alternativas de banco de pruebas.

Criterio	Factibilidad de construcción	Costo	Tamaño y peso	Montaje y desmontaje	Mantenimiento	Confiabilidad	$\Sigma$	Prioridad
Magnetización Circular	0,06	0,06	0,01	0,08	0,06	0,02	0,31	2
Magnetización Longitudinal	0,04	0,06	0,03	0,08	0,04	0,02	0,29	3
Magnetización Circular - Longitudinal	0,06	0,09	0,04	0,03	0,09	0,05	0,38	1

La tabla 34, presenta un análisis en base a las ponderaciones de cada una de las alternativas seleccionadas y analizadas respecto a los criterios establecidos, como resultado se obtiene que la mejor opción es un banco de pruebas que emplee una magnetización Circular y Longitudinal, por ende, esta opción se presenta como la primera prioridad de diseño y construcción, ya que cumple con los criterios adecuados desarrollados y presentados en el análisis de alternativas.

### 3.2. Parámetros de Diseño

#### 3.2.1. Dimensiones límites de la pieza a ser ensayada

A continuación, en la tabla 35, se detalla las especificaciones límite de la pieza a inspeccionar en el banco de pruebas por cualquiera de las técnicas de magnetización definidas para el equipo.

Tabla 35: Dimensiones límites de pieza a ensayar en equipo de banco de pruebas.

<b>Largo máximo de pieza</b>	625 mm
<b>Peso máximo de la pieza</b>	110 kg (242,51 lb)
<b>Diámetro máximo de pieza</b>	38.1 mm (1 1/2 in)
<b>Diámetro máximo del conductor</b>	38.1 mm (1 1/2 in)

### 3.2.2. Dimensiones generales de banco de pruebas

La tabla 36, describe las dimensiones generales definidas para el diseño del banco de pruebas.

Tabla 36: Dimensiones generales equipo de banco de pruebas.

<b>Largo</b>	1000 mm
<b>Ancho</b>	700 mm
<b>Altura</b>	1350 mm

### 3.2.3. Parámetros de funcionamiento del banco de pruebas

La tabla 37, describe las especificaciones para el control y funcionamiento del equipo.

Tabla 37: Dimensiones límites de pieza a ensayar en equipo de banco de pruebas.

<b>Corriente de magnetización</b>	AC
<b>Amperaje máximo de salida</b>	1200 [A]
<b>Control de corriente</b>	Regulable
<b>Voltaje de alimentación</b>	220 V
<b>Frecuencia</b>	60 Hz

### 3.3. Otros parámetros referentes al método de magnetización

La tabla 38, muestra las especificaciones del sistema de magnetización con los métodos a emplear.

Tabla 38: Parámetros referente al método de magnetización a emplearse en el equipo de banco de pruebas.

<b>Dirección de la corriente de magnetización</b>	Circular y longitudinal
<b>Método de aplicación de partículas magnéticas</b>	Método húmedo
<b>Tipo de partículas</b>	Partículas magnéticas fluorescentes
<b>Vehículo de suspensión</b>	Base aceite
<b>Presentación</b>	Aerosol

### 3.4. Fuente de poder

#### 3.4.1. Diseño del transformador

Para el diseño del transformador se debe considerar que el funcionamiento está destinado para trabajar en altos amperajes y en ciclos de operación intermitentes. Los parámetros de diseño definidos en el anterior capítulo requieren una salida en el bobinado secundario de 1200 amperios.

- Voltaje suministrado en el primario = 220 V
- Voltaje en el secundario = 8 V
- Potencia nominal = 9,6 kVA

#### Área de la sección del núcleo

$$A = (A * B) \text{ cm}^2 \quad \text{Ecuación 4}$$

$$A = (19,5 * 4,5) \text{ cm}^2$$

$$A = 87,75 \text{ cm}^2$$

#### Intensidad de corriente en el primario

$$P = V * I \text{ [26]} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$P$ , Potencia nominal (Voltio Amperio)

$V$ , Tensión (Voltios)

$I$ , Intensidad (Amperios) [28]

$$I_1 = \frac{P}{V_1}$$

$$I_1 = \frac{9600 \text{ VA}}{220 \text{ V}}$$

$$I_1 = 43,64 \text{ A}$$

### Intensidad de corriente en el secundario

$$I_2 = \frac{P}{V_2}$$

$$I_2 = \frac{9600 \text{ VA}}{8 \text{ V}}$$

$$I_2 = 1200 \text{ A}$$

### Número de espiras para el bobinado

$$\frac{E_2}{N_2} = \frac{E_h}{N_h} = 4,44f\Phi_{pm} \times 10^{-8} \left[ \frac{\text{voltios}}{\text{vuelta}} \right] \quad [27] \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\Phi_{pm} = \beta_m * A \quad [26] \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

E, Fuerza electromotriz (fem), medida en (Voltios)

N, Número de vueltas para el bobinado (vueltas)

f, Frecuencia (Hercios)

$\beta_m$ , Densidad de flujo máxima admisible (Gauss)

A, Sección del núcleo ( $cm^2$ ) [26].

El valor de la densidad de flujo depende del tipo de chapa que se utiliza, y se encuentra entre un rango de 10000 y 11000 Gauss [27]. Por lo tanto, se escoge un valor de 10000 Gauss.

$$\frac{E_h}{N_h} = 4,44 * 60\text{Hz} * 10000\text{Gauss} * 87,75 \text{ cm}^2 * 10^{-8} \left[ \frac{\text{voltios}}{\text{vuelta}} \right]$$

$$\frac{E_h}{N_h} = 2,34 \left[ \frac{\text{voltios}}{\text{vuelta}} \right]$$

Para el primario (entrada)

$$\frac{E_1}{N_1} = \frac{E_h}{N_h}$$



$$N_1 = \left(\frac{E_h}{N_h}\right)^{-1} \left[\frac{\text{vuelta}}{\text{voltios}}\right] * E_1[\text{voltios}]$$

$$N_1 = (2,34)^{-1} \left[\frac{\text{vuelta}}{\text{voltios}}\right] * 220[\text{voltios}]$$

$$N_1 = 94,11 = 95 \text{ vueltas.}$$

Para el secundario (salida)

$$\frac{E_2}{N_2} = \frac{E_h}{N_h}$$

$$N_2 = \left(\frac{E_h}{N_h}\right)^{-1} \left[\frac{\text{vuelta}}{\text{voltios}}\right] * E_2[\text{voltios}]$$

$$N_2 = (2,34)^{-1} \left[\frac{\text{vuelta}}{\text{voltios}}\right] * 8 [\text{voltios}]$$

$$N_2 = 3,42 = 4 \text{ vueltas}$$

### Sección de los conductores para los bobinados

$$S = \frac{I}{\delta} \quad [19]$$

Ecuación 8

En el cual:

$S$ , Área de la sección ( $mm^2$ )

$I$ , Intensidad de corriente (Amperios)

$\delta$ , Densidad de corriente ( $A/mm^2$ ) [19].

Para la densidad de corriente se recomienda utilizar valores entre 1,5 a 3,5  $A/mm^2$  los cuales corresponden a transformadores de uso continuo o intermitente [19]. Por lo tanto, para el diseño se escoge un valor de 3,5  $A/mm^2$ .

Para el primario (entrada)

$$S_1 = \frac{I_1}{\delta}$$

$$S_1 = \frac{43,64 A}{3,5 A/mm^2}$$

$$S_1 = 12,46 mm^2$$

Para el secundario (salida)

$$S_2 = \frac{I_2}{\delta}$$

$$S_2 = \frac{1200 A}{3,5 A/mm^2}$$

$$S_2 = 342,86 mm^2$$

En el primario se dispone del catálogo General Cable “Cablec”, en la sección de conductores, el calibre 6 AWG que tiene una sección nominal de  $13,3 mm^2$  [28].

Para el secundario se dispone de láminas de cobre con una sección de  $26,6 mm^2$  por cada una, se requiere una sección de  $342,86 mm^2$  por lo tanto:

$$\text{Número de láminas} = \frac{\text{sección del conductor requerido}}{\text{sección de lámina de cobre}} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\text{Número de láminas} = \frac{342,86 mm^2}{26,6 mm^2}$$

$$\text{Número de láminas} = 12,89 = 13$$

$$\text{Sección de láminas} = 13 * 26,6 mm^2$$

$$\text{Sección de láminas} = 345,80 mm^2$$

Para la sección del calibre del conductor del secundario se necesitan alrededor de 13 láminas para cumplir con la sección requerida.

Entonces,  $345,80 mm^2 > 342,86 mm^2 \rightarrow$  satisface.

### 3.5. Diseño de Bobina

El diseño de la bobina consiste en el dimensionamiento de la sección del cable, debido a que los parámetros de diseño ya fueron establecidos en el capítulo anterior. De este modo se presentan las características de la bobina.

- Utiliza el método de magnetización longitudinal, por lo tanto, requiere un valor máximo de 1200 Amperios.
- Diámetro de la bobina igual a 250 mm (9,84 pulgadas).
- Número de vueltas igual a 5.

El valor de la densidad de corriente corresponde al mismo que se utilizó para el cálculo de la sección de conductores del transformador, por lo tanto, se asigna un valor de 3,5  $A/mm^2$ .

$$S = \frac{I}{\delta} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$S = \frac{1200 A}{3,5 A/mm^2}$$

$$S_1 = 342,86 mm^2$$

La bobina requiere una sección de cable de 342,86  $mm^2$ , se dispone del catálogo General Cable “Cablec”, en la sección de alambres y cables de cobre, el calibre 700 MCM que tiene una sección aproximada de 354,0  $mm^2$  [28]. Dicho cable contiene algunas características mostradas a continuación.

Diámetro aproximado del conductor = 24,43 mm

Diámetro exterior del cable = 30 mm

Peso aproximado = 3241,0 Kg/Km

### Cálculo de la longitud de cable

Para determinar la longitud del cable en metros, se utiliza la fórmula del perímetro de un círculo y se la multiplica por el número de vueltas de la bobina. Entonces queda expresado de la siguiente manera:

$$L = \pi * D * N \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde

$D$ , Diámetro de la bobina

$N$ , Número de vueltas

$$L = \pi * 250 \text{ mm} * 5$$

$$L = 3926,99 \text{ mm}$$

$$L = 3,92 \text{ m}$$

### 3.6. Dimensionamiento de las placas de contacto de cobre

$$S = \frac{I}{\delta} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$S = \frac{1200 \text{ A}}{3,5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}}$$

$$S = 342,86 \text{ mm}^2$$

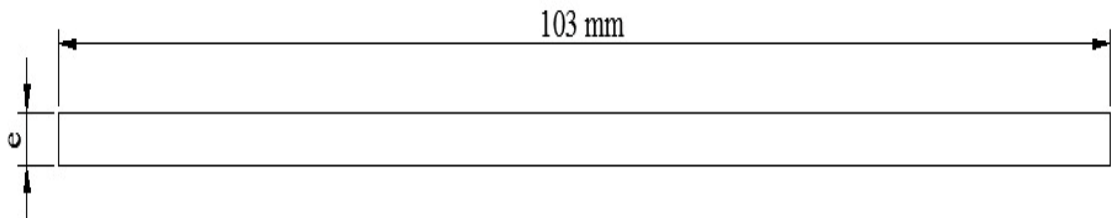


Figura 28: Ancho de la placa de cobre.

$$S = (103\text{mm})(e)$$

Ecuación 13

$$e = \frac{342,86 \text{ mm}^2}{103 \text{ mm}}$$

$$e = 3,3 \text{ mm} \approx 3 \text{ mm}$$

### 3.7. Cálculos de diseño

#### 3.7.1. Cabezales

Los cabezales cumplen la función de sujetar la pieza sometida a ensayo, con la finalidad de obtener un buen contacto entre cabezales en cuanto se refiere a magnetización circular. Cada cabezal podrá soportar un peso de 55 Kg, como se detalla a continuación.

##### 3.7.1.1. Cabezal Fijo

Datos:

Peso máximo de la pieza sometida a ensayo = 55 Kg

Fuerza de apriete para un buen contacto = 638 N

#### Análisis de fuerzas máximas actuantes en uno de los cabezales

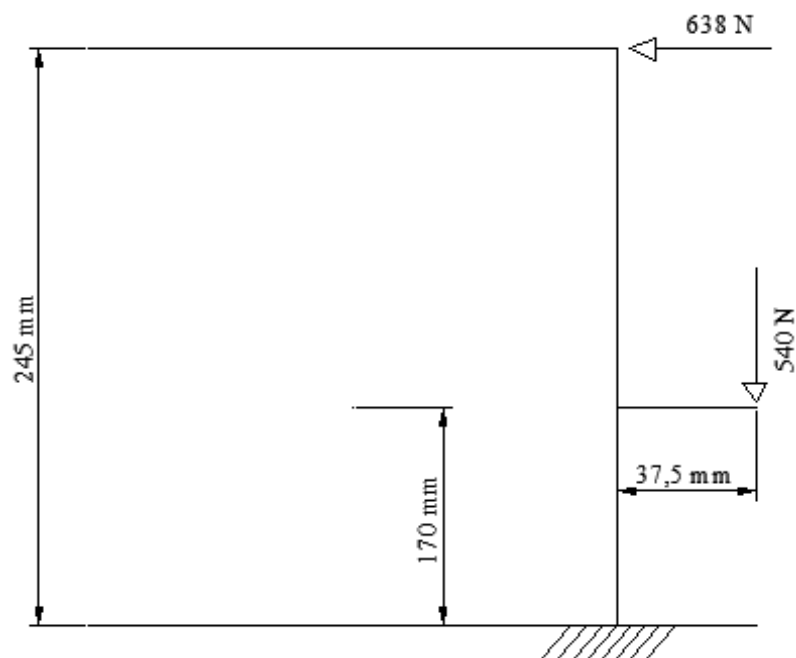


Figura 29: Fuerzas que actúan sobre el cabezal fijo.

## Diagrama de Cuerpo Libre

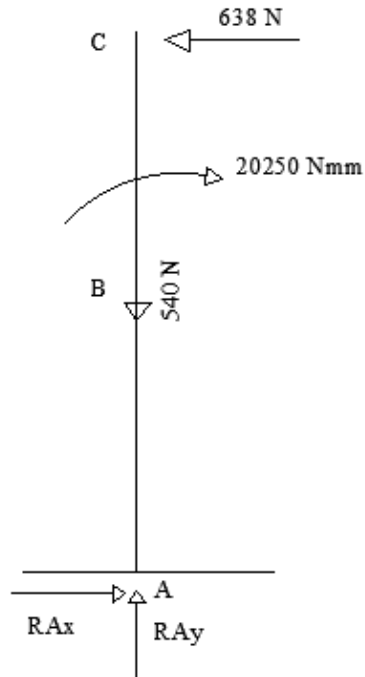


Figura 30: Diagrama de cuerpo libre del cabezal fijo.

## Estado de Fuerzas y Momento

$$\sum F_y = 0$$

$$-540 + R_{Ay} = 0$$

$$R_{Ay} = 540 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Ax} - 638 = 0$$

$$R_{Ax} = 638 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$M_A - 638 \text{ N} * 245 \text{ mm} - M_B = 0$$

$$M_A = 638 \text{ N} * 245 \text{ mm} - 20250 \text{ Nmm}$$

$$M_A = 136060 \text{ Nmm}$$

### Diagrama de Corte

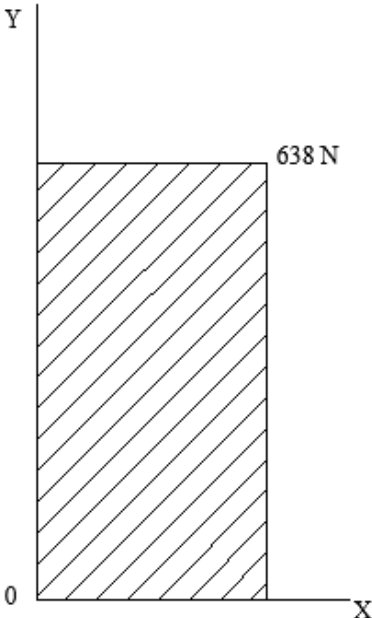


Figura 31: Diagrama de Corte del cabezal fijo.

### Diagrama de Momento

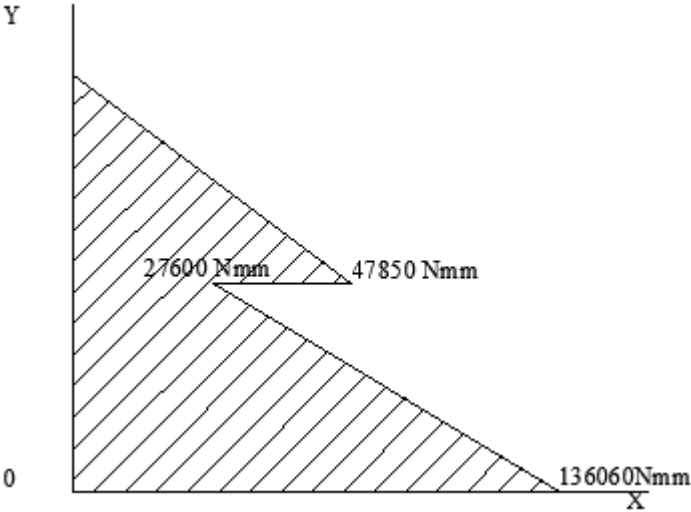


Figura 32: Diagrama de Momento del cabezal fijo.

## Cálculo de la sección transversal

La sección transversal es de tipo U debido a que se utiliza este tipo de perfil con las siguientes dimensiones:

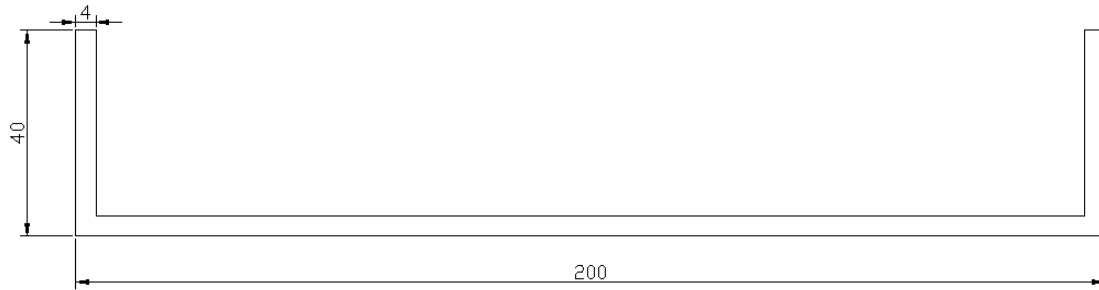


Figura 33: Dimensiones del perfil tipo U.

**Distancia al centroide respecto a un eje de referencia  $\bar{y}$ .**

$$\bar{y} = \frac{\sum(A_i y_i)}{A_T} \quad [29]$$

Ecuación 14

Donde

$A_T$ , Área total del elemento ( $mm^2$ )

$A_i$ , Área de un componente del elemento ( $mm^2$ )

$y_i$ , Distancia al centroide del componente en función a un eje de referencia ( $mm$ )

$\bar{y}$ , Distancia al centroide del elemento en función a un eje de referencia ( $mm$ ) [29].



Figura 34: Centroide del perfil U.



$$\bar{y} = \frac{(200\text{mm} * 4\text{mm}) * (2) + 2((4\text{mm} * 36\text{mm}) * (4\text{mm} + 18\text{mm}))}{(200\text{mm} * 4\text{mm}) + 2 * (36\text{mm} * 4\text{mm})}$$

$$\bar{y} = 7,29 \text{ mm}$$

### Cálculo del Momento de Inercia

$$I_T = I_1 + A_1 d_1^2 + I_2 + A_2 d_2^2 + I_3 + A_3 d_3^2 + \dots [29] \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde

A, Área de la parte o elemento ( $\text{mm}^2$ )

d, Distancia al centroide desde un eje de referencia ( $\text{mm}$ )

I, Inercia de la parte o elemento ( $\text{mm}^4$ ) [29].

$$I_x = \frac{200 * 4^3}{12} + 2 \left( \frac{4 * 36^3}{12} \right) + (200 * 4) * (7,29 - 2)^2 + (2) * \left( (4 * 36) * (7,29 - (18 + 4))^2 \right)$$

$$I_x = 116876,57 \text{ mm}^4$$

### Cálculo de Esfuerzos en el punto A de análisis.

$$\sigma_F = \frac{M * c}{I} [30] \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde

M, Momento flector ( $\text{Nmm}$ )

I, Momento de inercia ( $\text{mm}^4$ )

c, Magnitud máxima de la distancia desde el eje neutro ( $\text{mm}$ ) [30].

### Esfuerzo de flexión en el centroide

$$\sigma_F = \frac{136060 \text{ Nmm} * 7,29 \text{ mm}}{116876,57 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_F = 8,49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Esfuerzo de flexión en $y_{max}$

$$y_{max} = H - \bar{y} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$y_{max} = 40\text{mm} - 7,29\text{mm}$$

$$y_{max} = 32,71\text{ mm}$$

$$\sigma_F = \frac{M * y_{max}}{I} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$\sigma_F = \frac{136060\text{ Nmm} * 32,71\text{ mm}}{116876,57\text{ mm}^4}$$

$$\sigma_F = 38,08 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

**Para el esfuerzo cortante en el punto de análisis se tiene:**

$$Q = \bar{y}'' * A'' \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

$\bar{y}''$ , Distancia medida desde un punto de referencia hasta el centroide del área del elemento (mm).

$A''$ , Área con respecto al eje neutro (mm<sup>2</sup>) [30].

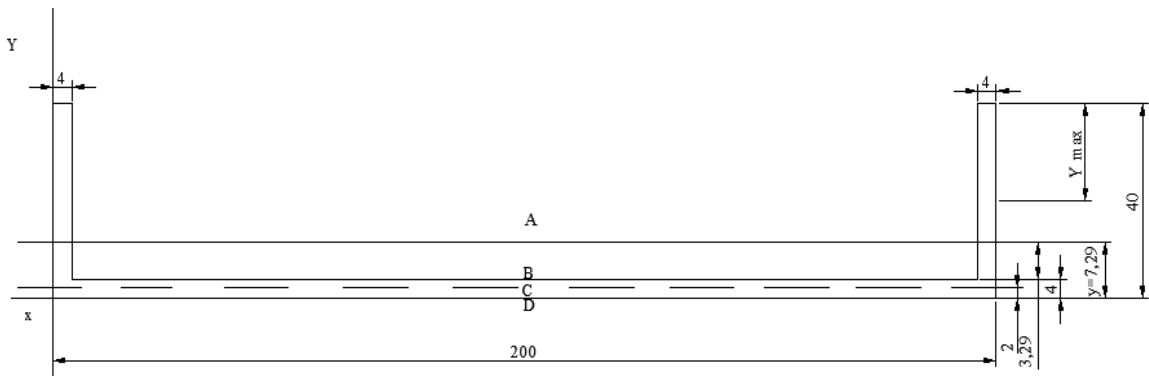


Figura 35: Puntos de análisis para el cortante transversal.

$$Q_A = 2 \left( (3,29 * 4) * \left( \frac{3,29}{2} \right) \right) + (200 * 4) * \left( (3,29) + \frac{4}{2} \right) = 4275,3\text{ mm}^3$$

$$Q_B = (200 * 4) * \left( (3,29) + \frac{4}{2} \right) = 4232\text{ mm}^3$$

$$Q_C = \left(200 * \frac{4}{2}\right) * \left((3,29) + \frac{4}{2} + \frac{\frac{4}{2}}{2}\right) = 2516 \text{ mm}^3$$

$$Q_D = (200 * 0) * (7,29) = 0 \text{ mm}^3$$

### Esfuerzo cortante transversal

$$\zeta = \frac{V * Q}{I * b} \quad [30]$$

Ecuación 20

Donde:

V, Carga (N)

Q, Área en el punto de análisis ( $\text{mm}^3$ )

I, Momento de inercia ( $\text{mm}^4$ )

b, Ancho de la sección (mm) [30].

$$\zeta = \frac{638 \text{ N} * 4275,3 \text{ mm}^3}{116876,57 \text{ mm}^4 * 8 \text{ mm}} = 2,92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Esfuerzo cortante máximo

$$\zeta_{max} = \sqrt{\frac{\sigma_F^2}{2} + \zeta^2} \quad [30]$$

Ecuación 21

Donde

$\sigma_F$ , Esfuerzo a flexión ( $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ )

$\zeta$ , Esfuerzo cortante transversal ( $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ) [30].

$$\zeta_{max} = \sqrt{\left(\frac{38,08 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2}\right)^2 + \left(2,92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)^2}$$

$$\zeta_{max} = 19,26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Se aplica la Teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\zeta_{x,y}^2} \quad [30] \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde

$\sigma'$ , Esfuerzo de Von Mises o esfuerzo equivalente  $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$

$\sigma_x$ , Esfuerzo a flexión  $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$

$\zeta_{x,y}$ , Esfuerzo cortante  $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$  [30]

$$\sigma_{equivalente} = \sqrt{\sigma_F^2 + 3\zeta_{max}^2} \quad \text{Ecuación 23}$$

$$\sigma_{equivalente} = \sqrt{\left(38,08 \frac{N}{mm^2}\right)^2 + 3 \left(19,26 \frac{N}{mm^2}\right)^2}$$

$$\sigma_{equivalente} = 50,63 \frac{N}{mm^2}$$

El material que se ocupa para el cabezal fijo es Acero ASTM A-500 Gr D con un  $S_y = 250 \text{ Mpa}$ , y un factor de seguridad igual a 3. Por lo tanto, el esfuerzo permisible es:

$$\sigma' = \frac{S_y}{\eta} \quad [30] \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde

$\sigma'$ , Esfuerzo permisible  $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$

$S_y$ , Resistencia a la fluencia del material  $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$

$\eta$ , Factor de seguridad [30].

$$\sigma_{permisible} = \frac{250 \frac{N}{mm^2}}{3}$$

$$\sigma_{permisible} = 83,33 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{equivalente} \leq \sigma_{permisible}$$

$$50,63 \text{ MPa} \leq 83,33 \text{ Mpa} \leftarrow \text{Satisface}$$

### 3.7.1.2. Cabezal Móvil

#### Análisis de fuerzas máximas actuantes en uno de los cabezales

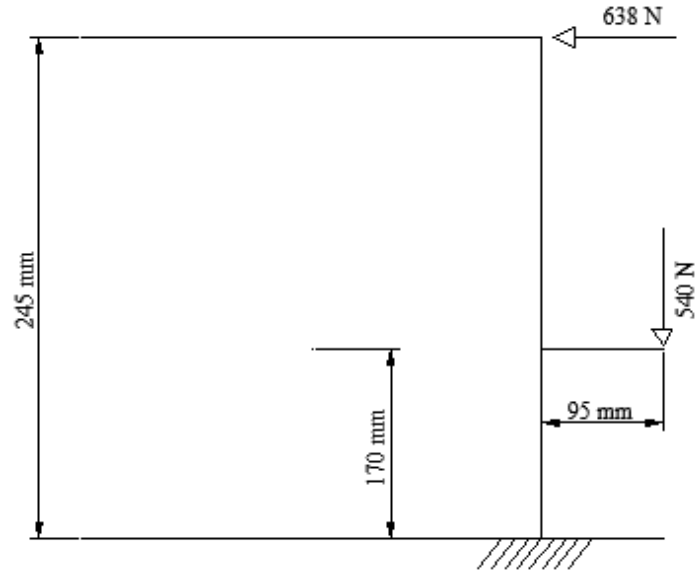


Figura 36: Fuerzas que actúan en el cabezal móvil.

#### Diagrama de Cuerpo Libre

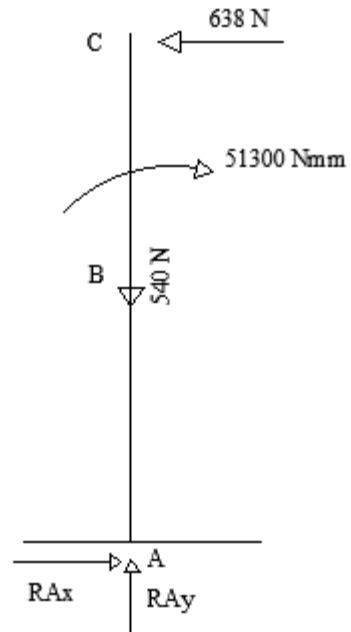


Figura 37: Diagrama de cuerpo libre del cabezal móvil.

### Estado de Fuerzas y Momento

$$\sum Fy = 0$$

$$-540 + RAy = 0$$

$$RAy = 540 \text{ N}$$

$$\sum Fx = 0$$

$$RAx - 638 = 0$$

$$RAx = 638 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$M_A - 638\text{N} * 245\text{mm} - M_B = 0$$

$$M_A = 638\text{N} * 245\text{mm} - 51300\text{Nmm}$$

$$M_A = 105010 \text{ Nmm}$$

### Diagrama de Corte

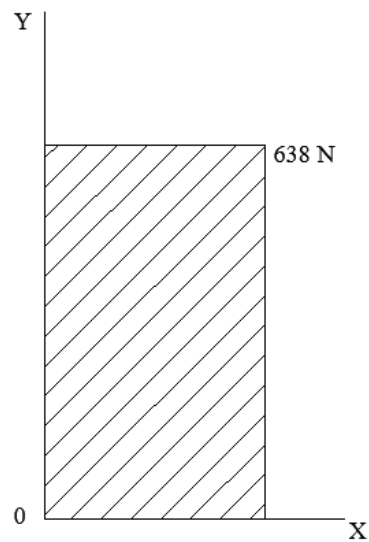


Figura 38: Diagrama de corte del cabezal móvil.

## Diagrama de Momento

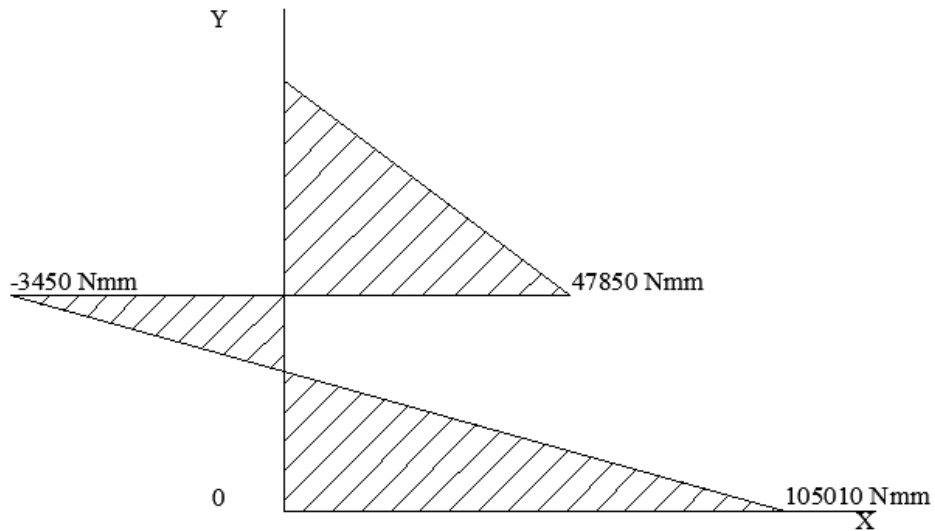


Figura 39: Diagrama de momento del cabezal móvil.

## Cálculo de la sección transversal

La sección transversal es de tipo U debido a que se utiliza este tipo de perfil con las siguientes dimensiones

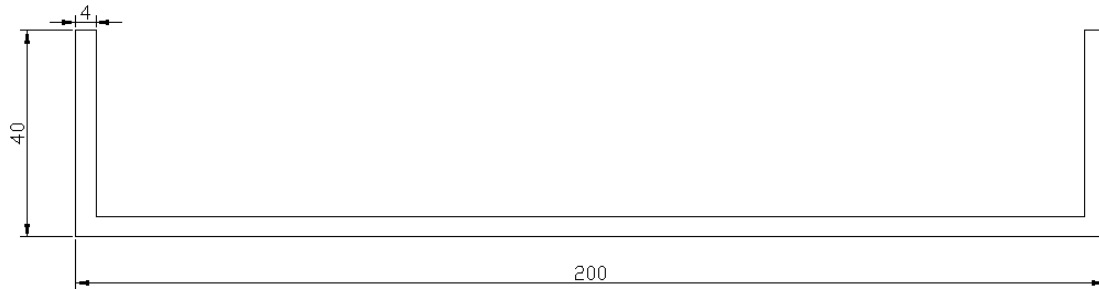


Figura 40: Dimensiones del perfil U.

## Cálculo de Esfuerzos en el punto A de análisis.

Para el cálculo de esfuerzos (flexión y cortante), se utiliza los mismos datos obtenidos en el cálculo del cabezal fijo los cuales son  $\bar{y} = 7,29 \text{ mm}$ ,  $I_x = 116876,57 \text{ mm}^4$ ,  $Q_A = 4275,3 \text{ mm}^3$ , debido a que se implementa el mismo tipo de perfil U con las mismas dimensiones.

### Esfuerzo de flexión en el centroide

$$\sigma_F = \frac{M * C}{I} \quad \text{Ecuación 25}$$
$$\sigma_F = \frac{105010 \text{ Nmm} * 7,29 \text{ mm}}{116876,57 \text{ mm}^4}$$
$$\sigma_F = 6,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Esfuerzo de flexión en $y_{max}$

$$y_{max} = H - \bar{y} \quad \text{Ecuación 26}$$
$$y_{max} = 40\text{mm} - 7,29\text{mm}$$
$$y_{max} = 32,71 \text{ mm}$$
$$\sigma_F = \frac{M * y_{max}}{I} \quad \text{Ecuación 27}$$
$$\sigma_F = \frac{105010 \text{ Nmm} * 32,71 \text{ mm}}{116876,57 \text{ mm}^4}$$
$$\sigma_F = 29,39 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Para el esfuerzo cortante en el punto de análisis se tiene:

### Esfuerzo cortante transversal

$$\zeta = \frac{V * Q}{I * b} \quad \text{Ecuación 28}$$
$$\zeta = \frac{638 \text{ N} * 4275,3 \text{ mm}^3}{116876,57 \text{ mm}^4 * 8 \text{ mm}}$$
$$\zeta = 2,92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Esfuerzo cortante máximo

$$\zeta_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_F}{2}\right)^2 + \zeta^2} \quad \text{Ecuación 29}$$



$$\zeta_{max} = \sqrt{\left(\frac{29,39 \frac{N}{mm^2}}{2}\right)^2 + \left(2,92 \frac{N}{mm^2}\right)^2}$$

$$\zeta_{max} = 14,98 \frac{N}{mm^2}$$

**Se aplica la Teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles**

$$\sigma_{equivalente} = \sqrt{\sigma_{Fmax}^2 + 3\zeta_{max}^2} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$\sigma_{equivalente} = \sqrt{\left(29,39 \frac{N}{mm^2}\right)^2 + 3\left(14,98 \frac{N}{mm^2}\right)^2}$$

$$\sigma_{equivalente} = 39,20 \frac{N}{mm^2}$$

El material que se ocupa para el cabezal móvil es Acero ASTM A-500 Gr D. con un  $S_y = 250 \text{ Mpa}$ , y un factor de seguridad igual a 3. Por lo tanto, el esfuerzo permisible es:

$$\sigma_{permisible} = \frac{S_y}{\eta} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$\sigma_{permisible} = \frac{250 \frac{N}{mm^2}}{3}$$

$$\sigma_{permisible} = 83,33 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{equivalente} \leq \sigma_{permisible}$$

$$39,20 \text{ MPa} \leq 83,33 \text{ Mpa} \leftarrow \text{Satisface}$$

### 3.7.2. Análisis de la estructura

La estructura del banco de pruebas deberá soportar el peso de las partes y componentes que conforman el sistema de magnetización y el peso de la pieza de prueba, así mismo como la fuerza y los momentos que producen dichas partes acopladas en la estructura.

Para el análisis estático de la estructura se considera un escenario con los pesos y momentos mayormente representativos empleados en la simulación, los cuales son descritos a continuación:

- Carga producida por el cabezal fijo = 540 N
- Momento producido por el cabezal fijo = 136060 Nmm
- Carga producida por el cabezal móvil = 626 N
- Momento producido por el cabezal móvil = 105010 Nmm
- Carga producida por el transformador = 735 N
- Carga producida por la bobina y soportes de acople= 310 N

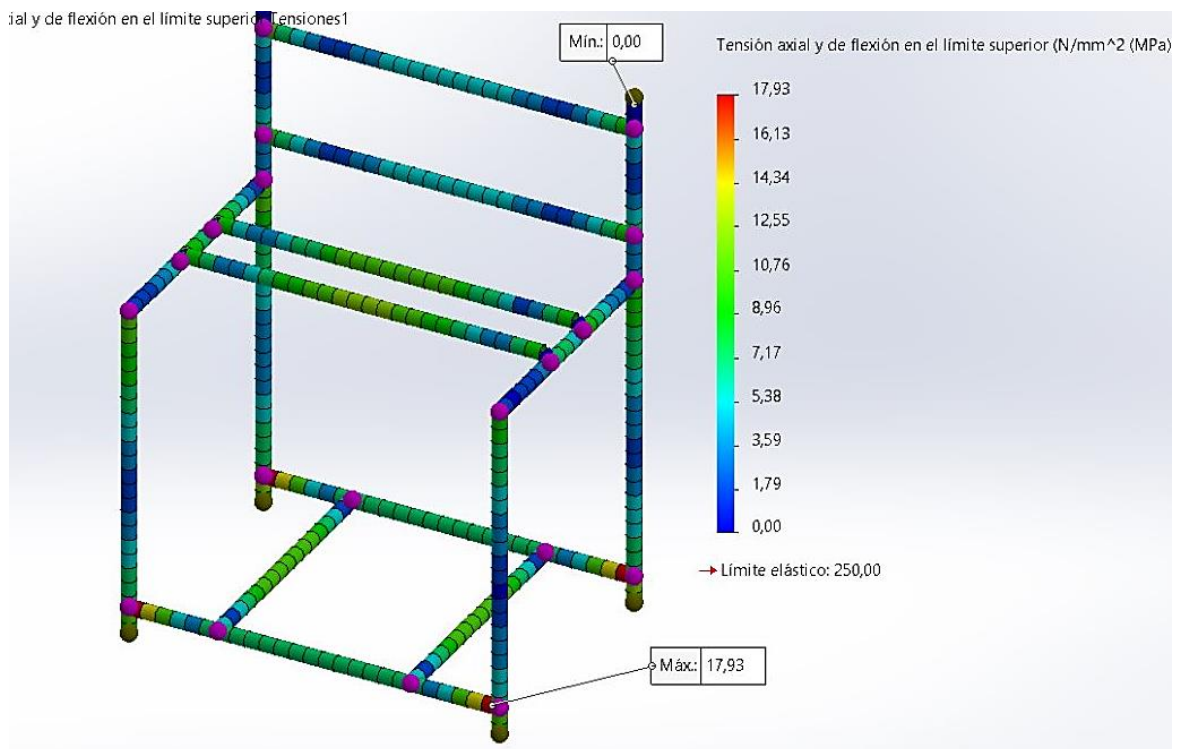


Figura 41: Tensión axial y de flexión sobre la estructura.

Como resultado de la simulación en la figura 41, en base a la aplicación de las cargas ejercidas sobre la estructura, se genera una tensión máxima de 17,93 MPa, este valor resultante es menor al módulo de elasticidad del material de la estructura (Acero ASTM A-500 Gr D), con un módulo de 250 MPa, por lo que en conclusión se tiene que la estructura soporta satisfactoriamente dichas cargas.

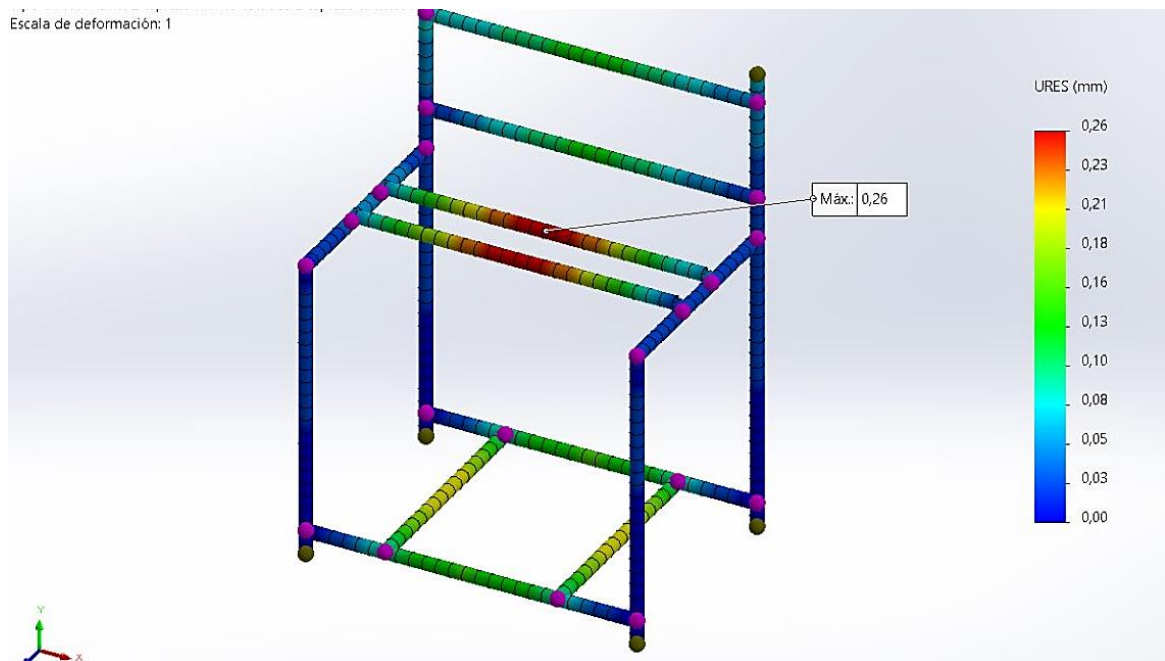


Figura 42: Desplazamientos de la estructura.

Así mismo en la figura 42, se indica el desplazamiento de la estructura debido a las cargas aplicadas, la estructura del banco de pruebas sufre una deformación máxima de 0,26 mm, este valor indica que las deformaciones producidas en la estructura son despreciables y que no representan ningún riesgo de fallo o estado de deformación permanente cuando el equipo esté en funcionamiento.

### 3.7.3. Análisis del tamaño de soldadura en la estructura

El análisis de soldadura está enfocado en los puntos de tensión máxima 17,93 MPa y deformación máxima 0,26 mm, de este modo para el primer análisis se realiza en el tramo de la estructura.

En las figuras 43 y 44, se indica el esfuerzo de von Mises y los desplazamientos en el tramo de análisis.

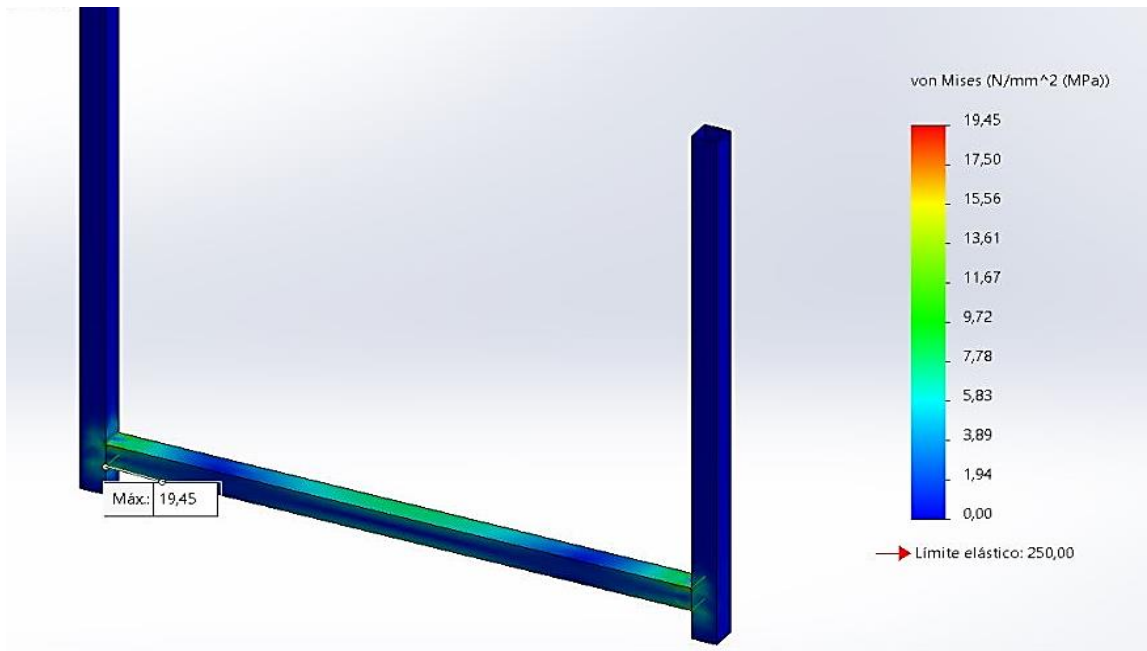


Figura 43: Esfuerzos en el punto de análisis de soldadura.

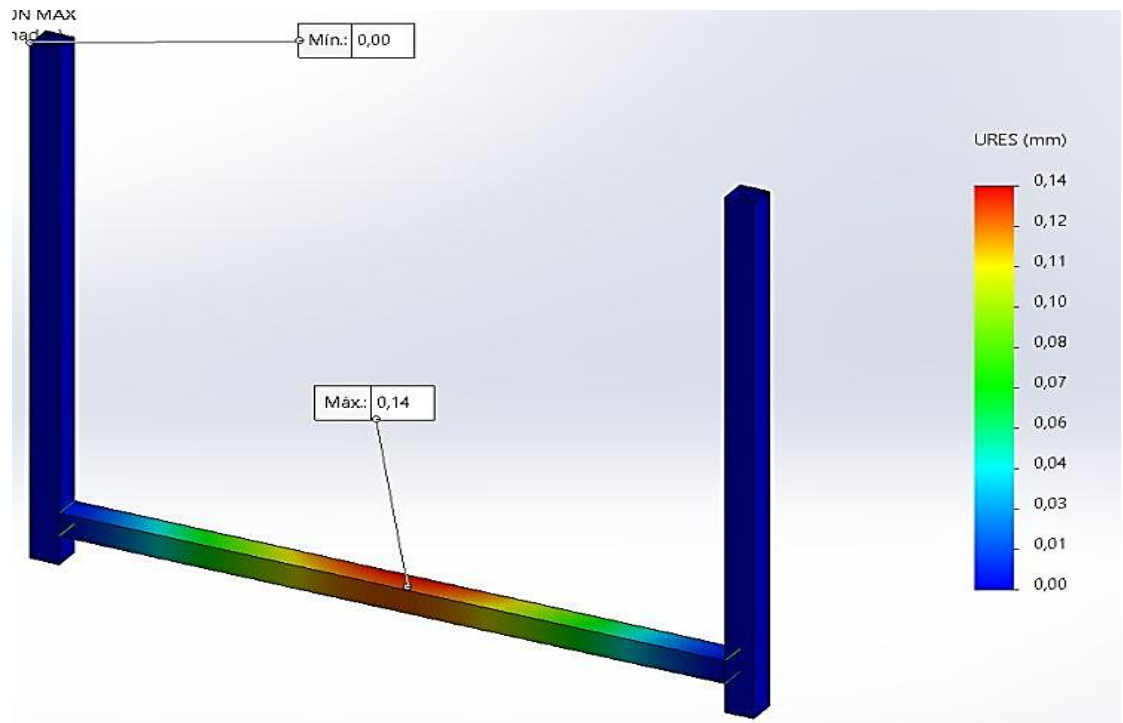


Figura 44: Desplazamientos en el punto de análisis de soldadura.

Para el tramo de análisis, el esfuerzo de Von Mises máximo es 19,45 MPa y una deformación máxima de 0,14 mm.

Una vez establecido el esfuerzo y la deformación se procede a realizar el trazado de comprobación de soldadura, como se indican en las figuras 45 y 46.

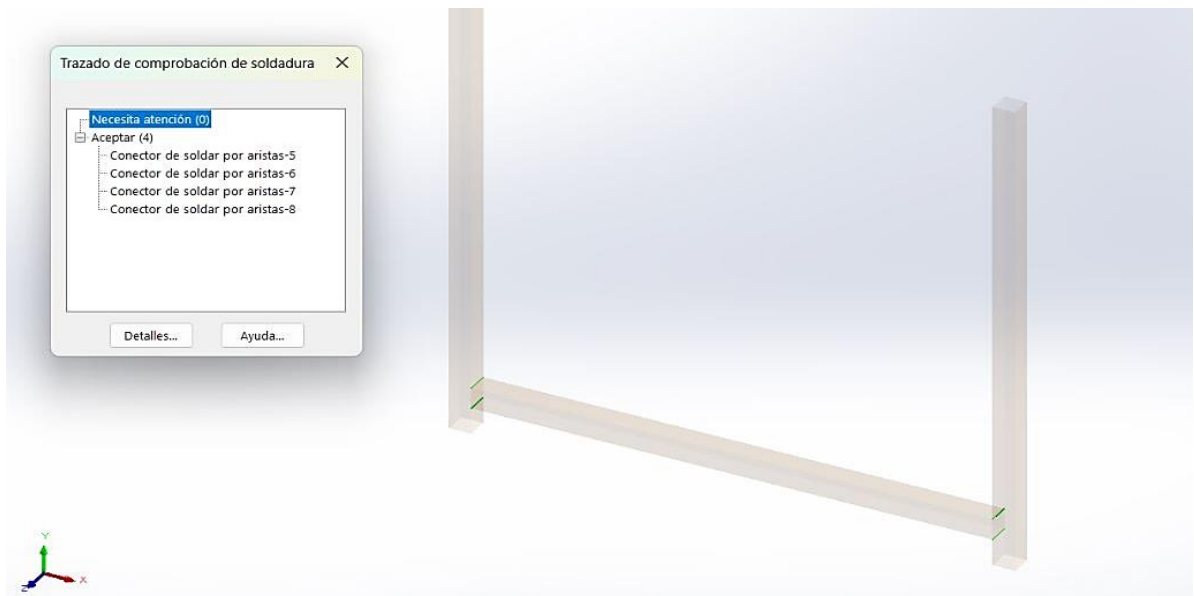


Figura 45: Trazado de comprobación de soldadura.

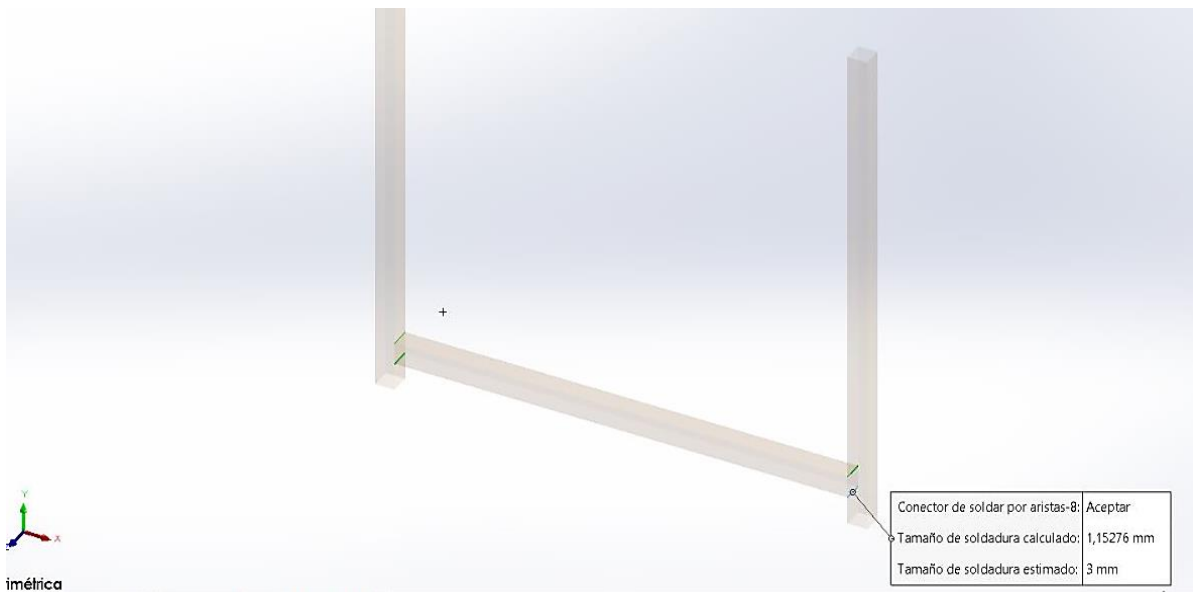


Figura 46: Tamaño de soldadura en uno de los conectores.

En el trazado de comprobación de soldadura (figuras 45 y 46), se aceptan todos los conectores de soldadura lo que significa que no necesitan atención. En uno de los conectores el tamaño de soldadura calculado es de 1,15mm, por lo tanto, dicho valor arrojado por el software indica el tamaño de soldadura adecuado para realizar el proceso de soldadura en la fase de construcción y que no exista ningún tipo de problema.

El segundo análisis corresponde al siguiente tramo:

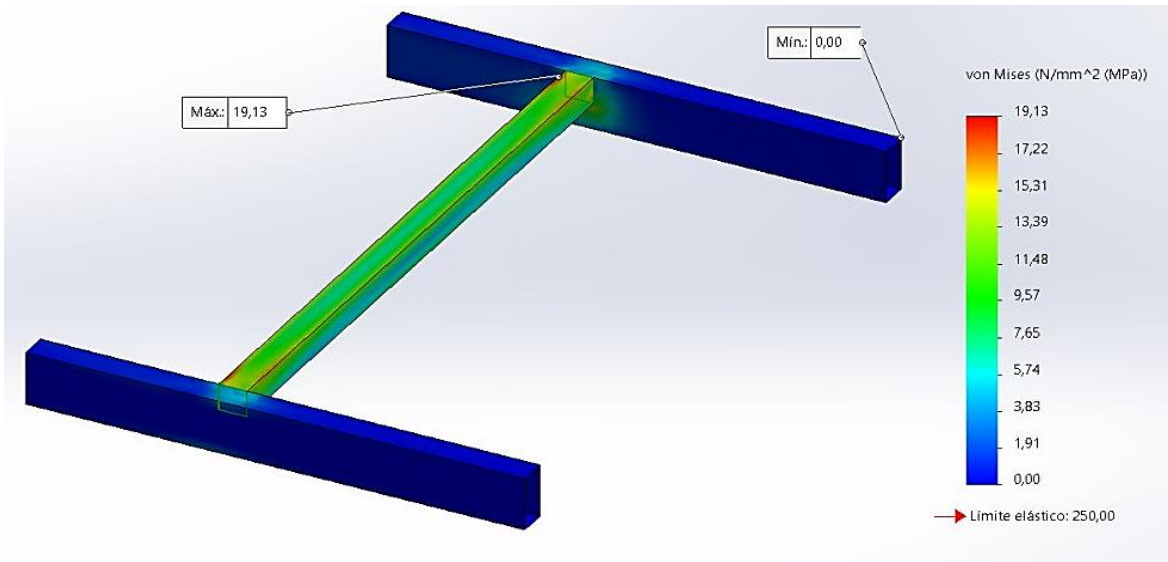


Figura 47: Esfuerzos en el punto de análisis de soldadura.

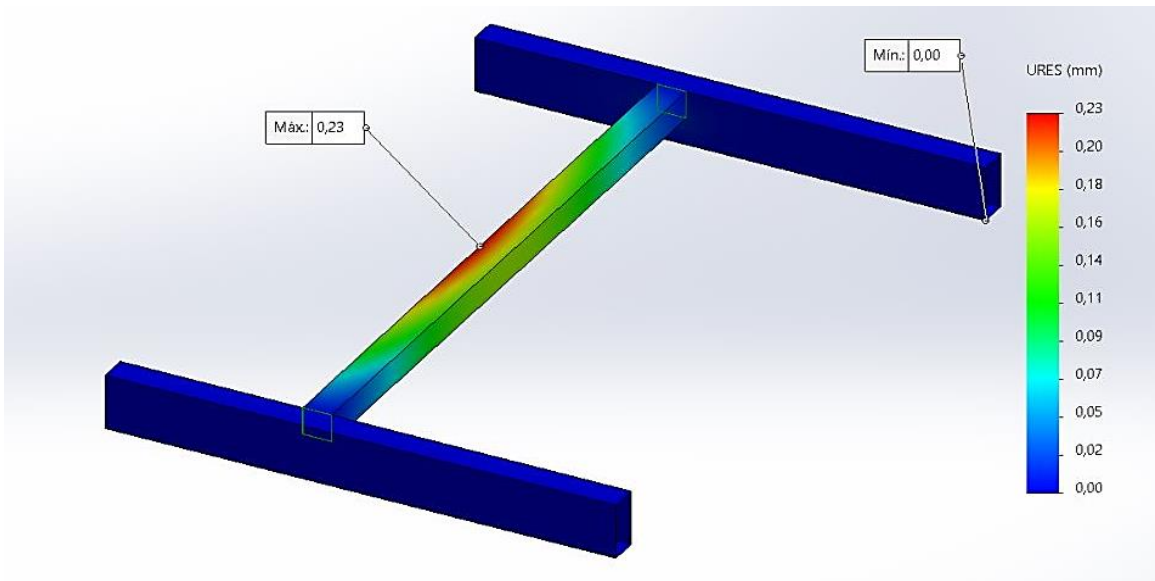


Figura 48: Desplazamientos en el punto de análisis de soldadura.

En la figura 47, se indica el esfuerzo máximo de Von Mises que es de 19,13 MPa y en la figura 48 se indica la deformación máxima de 0,23 mm del tramo de análisis. Una vez establecido el esfuerzo y la deformación se procede a realizar el trazado de comprobación de soldadura, como se observa en las figuras 49 y 50.

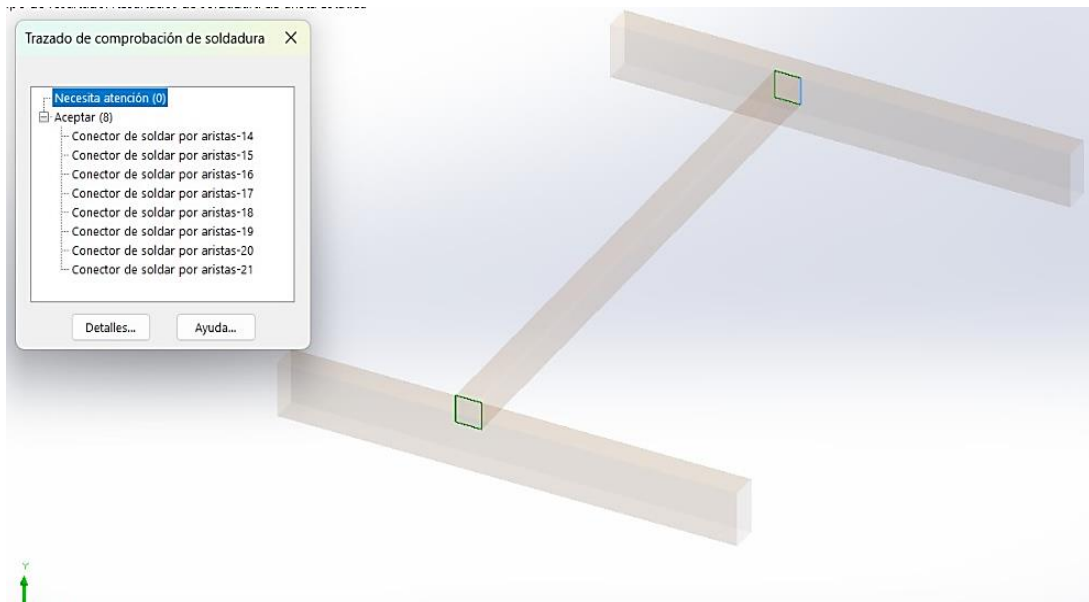


Figura 49: Trazado de comprobación de soldadura.

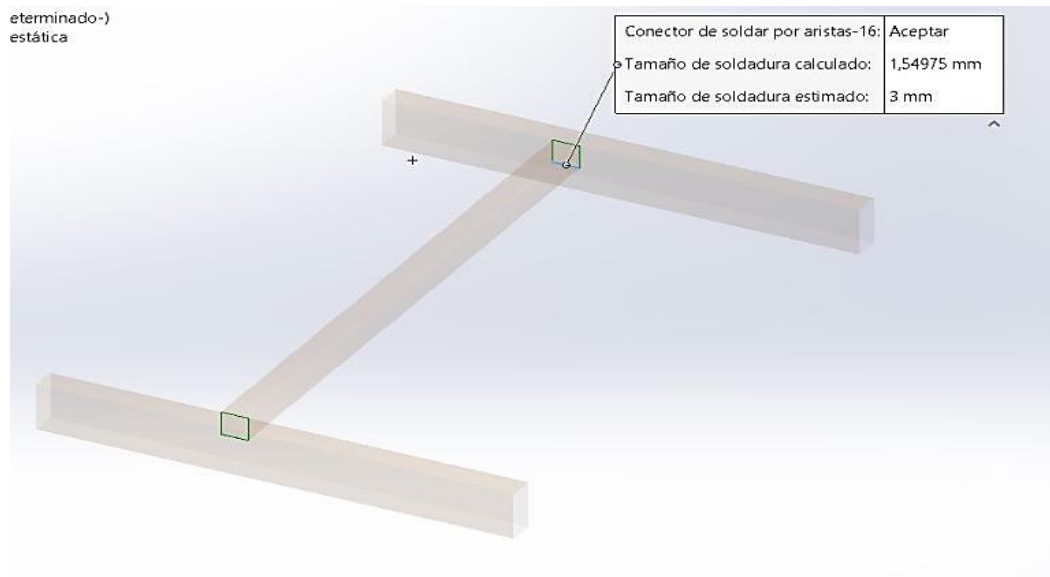


Figura 50: Tamaño de soldadura en uno de los conectores.

En el trazado de comprobación de soldadura (Figuras 49 y 50), se aceptan todos los conectores de soldadura lo que significa que no necesitan atención. En uno de los conectores el tamaño de soldadura calculado es de 1,55mm, por lo tanto, dicho valor arrojado por el software indica el tamaño de soldadura adecuado para realizar el proceso de soldadura en la fase de construcción y que no exista ningún tipo de problema.

#### **3.7.4. Tornillo de transmisión de fuerza**

##### **Datos:**

*Fuerza a transmitir = 638 N*

##### **Designación del tornillo**

Para la designación de tamaño de tornillo se utiliza uno de 1 plg, el cual se escogió en la tabla de diámetros y áreas de tornillo UNC y UNF. Con un diámetro nominal de 1,00 pulgada y 8 roscas por pulgada. (Anexo 2).

##### **Paso de la rosca**

El paso recomendado para una rosca Acme de 1 plg, corresponde a un valor de  $\frac{1}{5}$  plg, que equivale a 5,08 mm (Anexo 3).

##### **Factor de fricción del tornillo**

El material que se utiliza para el tornillo es Acero en seco, por lo que corresponde a un valor de 0,20 para el coeficiente de fricción de pares roscados (Anexo 4).

##### **Factor de fricción del collarín**

La combinación que se utiliza para el coeficiente de fricción del collarín de empuje es Acero suave sobre hierro fundido, por lo que corresponde a un coeficiente de 0,12 (Anexo 4.1).

##### **Diámetro de paso**

$$d_m = d - \frac{p}{2} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde



$d$ , Diámetro nominal de la rosca del tornillo (mm)

$p$ , Paso de la rosca (mm)

$$d_m = 1 - \frac{1}{5} = 0,9 \text{ plg} = 22,86 \text{ mm}$$

**Diámetro menor**

$$d_r = d - p$$

Ecuación 33

$$d_r = 1 - \frac{1}{5} = 0,8 \text{ plg} = 20,32 \text{ mm}$$

**Avance**

$$l = n * p$$

Ecuación 34

Donde

$n$ , Número de filetes

$p$ , Paso de la rosca (pulgada)

$$l = \left(1 * \frac{1}{5}\right) \text{ plg} = 0,2 \text{ plg} = 5,08 \text{ mm}$$

**Par de Torsión del tornillo para elevar la carga**

$$T_R = \frac{F * d_m}{2} \left( \frac{l + \pi * f * d_m * \sec \alpha}{\pi * d_m - f * l * \sec \alpha} \right) + T_c$$

$$T_R = \frac{F * d_m}{2} \left( \frac{l + \pi * f * d_m * \sec \alpha}{\pi * d_m - f * l * \sec \alpha} \right) + \frac{F * f_c * d_c}{2}$$

Ecuación 35

Donde

$F$ , Carga o fuerza de transmisión (N)

$d_m$ , Diámetro de paso (mm)

$l$ , Avance (mm)

$f$ , Factor de fricción del tornillo

$f_c$ , Factor de fricción del collarín

$d_c$ , Diámetro medio del collarín (mm)

$T_c$ , Par de torsión en el collarín (N mm)

$$T_R = \frac{638 * 22,86}{2} \left( \frac{5,08 + \pi * 0,20 * 22,86 * \sec 29}{\pi * 22,86 - 0,20 * 5,08 * \sec 29} \right) + \frac{638 * 0,12 * 22,86}{2}$$

$$T_R = 3043,86 \text{ Nmm}$$

### Eficiencia del Tornillo

$$e = \frac{F * l}{2 * \pi * T_R} \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde

$F$ , Carga o fuerza de transmisión (N)

$l$ , Avance (mm)

$T_R$ , Par de torsión del tornillo (N mm)

$$e = \frac{638 \text{ N} * 5,08 \text{ mm}}{2 * \pi * 3043,86 \text{ Nmm}} = 0,169$$

### Esfuerzo cortante en torsión del cuerpo del tornillo

$$\tau = \frac{16T_R}{\pi * d_r^3} \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde

$T_R$ , Par de torsión del tornillo (N mm)

$d_r$ , Diámetro menor (mm)

$$\tau = \frac{16 * 3043,86 \text{ Nmm}}{\pi * (20,32\text{mm})^3} = 1,85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Esfuerzo axial en el cuerpo del tornillo

$$\sigma = \frac{-4F}{\pi * d_r^2} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde

$F$ , Carga o fuerza de transmisión (N)

$d_r$ , Diámetro menor (mm)

$$\sigma = \frac{-4(638\text{N})}{\pi * (20,32\text{mm})^2}$$

$$\sigma = -1,98 \frac{N}{mm^2}$$

### Esfuerzo flexionante en la raíz de la rosca

$$\sigma_b = \frac{6F}{\pi * d_r * n_t * p} \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde

$F$ , Carga o fuerza de transmisión (N)

$d_r$ , Diámetro menor (mm)

$p$ , Paso de la rosca

$n_t$ , Número de roscas en contacto

Para obtener los niveles máximos de esfuerzos en la combinación rosca-tuerca se asume que la fuerza sea de  $0,38F$  con 1 rosca en contacto [30].

$$\sigma_b = \frac{6 * 0,38(638 N)}{\pi * 20,32 mm * 1 * 5,08 mm}$$

$$\sigma_b = 4,49 \frac{N}{mm^2}$$

### Utilizando la Teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles

Esfuerzo de Von mises a tratarse de esfuerzos tridimensionales se tiene:

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma - \sigma_b)^2 + (\sigma_b - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma)^2 + 6(\tau^2 + \zeta_{y,z}^2 + \zeta_{z,x}^2)]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 40}$$

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(-1,98 - 4,49)^2 + (4,49 - 0)^2 + (0 - (-1,98))^2 + 6(1,85^2 + 0^2 + 0^2)]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_{equivalente} = 6,58 \frac{N}{mm^2}$$

El material que se ocupa para el tornillo de fuerza es Acero ASTM A-36 con un  $S_y = 250 Mpa$ , y se ocupa un factor de seguridad igual a 3. Por lo tanto, el esfuerzo permisible es:

$$\sigma' = \frac{S_y}{\eta} [30]$$

Ecuación 41

Donde

$\sigma'$ , Esfuerzo permisible  $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$

$S_y$ , Resistencia a la fluencia del material  $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$

$\eta$ , Factor de seguridad [30].

$$\sigma_{permisible} = \frac{250 \frac{N}{mm^2}}{3}$$

$$\sigma_{permisible} = 83,33 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{equivalente} \leq \sigma_{permisible}$$

$$6,58 \text{ MPa} \leq 83,33 \text{ Mpa} \leftarrow \text{Satisface}$$

### 3.7.5. Pernos de sujeción de placas – soportes

#### CASO 1: Perno de sujeción de las placas de los cabezales

Para el caso uno se utiliza pernos cabeza hexagonal grado 8 – acabado negro, el cual tiene los siguientes datos proporcionados por el catálogo de Bohman (Anexo 5) [31].

Datos:

Número de pernos = 4

Diámetro del perno = 1/4 pulgadas

Longitud = 1,5 pulgadas

Hilo fino UNC = 20

Altura de la cabeza = 5/32

Resistencia mínima a la tensión = 150 Kpsi = 1034,48 MPa

Módulo de elasticidad = 210 GPa = 30458 Ksi

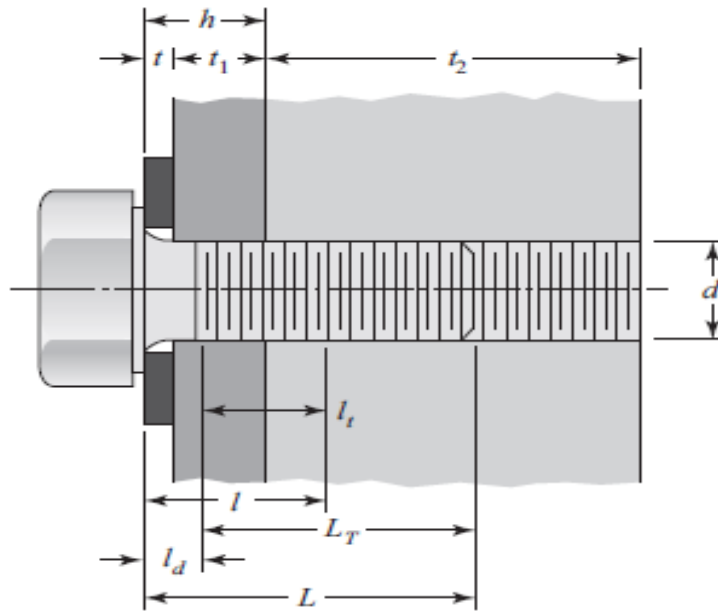


Figura 51: Perno con rosca completa [30].

Entonces:

$$h = t + t_1 \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde

$t$ , Espesor de la arandela

$t_1$ , Espesor de la placa de cobre más el espesor de la placa aislante

La arandela para utilizar es de  $\frac{1}{4}W$  que tiene un espesor de 0,065 pulgadas o 1,65 milímetros (Anexo 6).

$$h = 1,65mm + 9mm = 10,65 mm$$

El valor de  $t_2$  corresponde al espesor del perfil estructural U más el espesor del soporte aislante de pieza del cabezal.

$$t_2 \geq d$$

$$8mm \geq \frac{1}{4}plg = 6,35 mm$$

### **Espesor de todo el material apretado entre el perno y la tuerca**

Donde

$h$ , Espacio del espesor de la arandela y placas de cobre

$d$ , Diámetro del sujetador

$$l = h + \frac{d}{2} \quad \text{Ecuación 43}$$

$$l = 10,65\text{mm} + \frac{6,35\text{mm}}{2} = 13,83 \text{ mm}$$

### **Longitud del sujetador**

$$L = h + 1,5d \quad \text{Ecuación 44}$$

$$L = 10,65\text{mm} + 1,5 * 6,35\text{mm} = 20,175$$

Para la longitud del sujetador se recomienda trabajar con valores redondeados, por lo tanto, se procede a utilizar la tabla A-17 (Anexo 6.1).

$$L = \frac{7}{8} = 22,23 \text{ mm}$$

### **Longitud roscada**

$$L_T = 2d + 6\text{mm} \quad \text{Ecuación 45}$$

$$L_T = 2 * 6,35 \text{ mm} + 6 \text{ mm} = 18,70 \text{ mm}$$

### **Longitud del tramo sin rosca en el agarre**

$$l_d = L - L_T \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

$L$ , Longitud del sujetador

$L_T$ , Longitud roscada

$$l_d = 22,23 \text{ mm} - 18,70 \text{ mm} = 3,53 \text{ mm}$$

### **Longitud del tramo roscado en el agarre**

$$l_t = l - l_d \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde:

$l$ , Espesor de todo el material apretado entre el perno y la tuerca

$l_d$ , Longitud del tramo sin rosca en el agarre

$$l_t = 13,83 \text{ mm} - 3,53 \text{ mm} = 10,30 \text{ mm}$$

### Área de la parte sin rosca

$$A_d = \frac{\pi * d^2}{4} \quad \text{Ecuación 48}$$
$$A_d = \frac{\pi * 6,35 \text{ mm}^2}{4} = 31,70 \text{ mm}^2$$

### Área de la parte roscada

Se utiliza la tabla 8-2 correspondiente a diámetros y áreas de roscas de tornillo UNC y UNF (Anexo 2), para un diámetro de  $\frac{1}{4}$  pulgada.

$$A_t = 0,0318 \text{ plg}^2 = 20,516 \text{ mm}^2$$

### Coefficiente de rigidez efectiva en la sujeción

$$K_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_t + A_t * l_d} \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde:

$A_d$ , Área de la parte sin rosca

$A_t$ , Área de la parte roscada

$E$ , Módulo de elasticidad

$l_t$ , Longitud del tramo roscado en el agarre

$l_d$ , Longitud del tramo sin rosca en el agarre

$$K_b = \frac{31,70 \text{ mm}^2 * 20.516 \text{ mm}^2 * 2x10^5 \frac{N}{\text{mm}^2}}{31,70 \text{ mm}^2 * 10,30 \text{ mm} + 20.516 \text{ mm}^2 * 3,53 \text{ mm}}$$

$$K_b = 326049,57 \frac{N}{\text{mm}}$$

### **Coefficiente de rigidez de la parte roscada**

$$K_t = \frac{A_t * E}{l_t}$$

Ecuación 50

Donde:

$A_t$ , Área de la parte roscada

$E$ , Módulo de elasticidad

$l_t$ , Longitud del tramo roscado en el agarre

$$K_t = \frac{20.516 \text{ mm}^2 * 2x10^5 \frac{N}{\text{mm}^2}}{10,30 \text{ mm}}$$

$$K_t = 398368,93 \frac{N}{\text{mm}}$$

### **Coefficiente de rigidez de la parte sin rosca**

$$K_d = \frac{A_d * E}{l_d}$$

Ecuación 51

Donde:

$A_d$ , Área de la parte sin rosca

$E$ , Módulo de elasticidad

$l_d$ , Longitud del tramo sin rosca en el agarre

$$K_d = \frac{31,70 \text{ mm}^2 * 2x10^5 \frac{N}{\text{mm}^2}}{3,53 \text{ mm}}$$

$$K_d = 1796033,99 \frac{N}{\text{mm}}$$



### **Coefficiente de rigidez de elementos a sujetar**

$$K_m = \frac{0,5774\pi * E * d}{2l_n \left( 5 \frac{0,5774l + 0,5d}{0,5774l + 2,5d} \right)}$$

Ecuación 52

Donde:

$E$ , Módulo de elasticidad

$d$ , Diámetro del sujetador

$l$ , Espesor de todo el material apretado entre el perno y la tuerca

$$K_m = \frac{0,5774\pi * 2 \times 10^5 \frac{N}{mm^2} * 6,35 \text{ mm}}{2l_n \left( 5 \frac{0,5774 * 13,83 \text{ mm} + 0,5 * 6,35 \text{ mm}}{0,5774 * 13,83 \text{ mm} + 2,5 * 6,35 \text{ mm}} \right)}$$

$$K_m = 1355783,06 \frac{N}{mm}$$

### **Carga externa en tensión en los pernos**

Donde:

$P$ , Carga

$N$ , Número de pernos

$$P = \frac{P_{total}}{N}$$

Ecuación 53

$$P = \frac{638 \text{ N}}{4} = 159,4 \text{ N}$$

### **Coefficiente de la carga externa soportada por el perno**

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

Ecuación 54

Donde:

$k_b$ , Coeficiente de rigidez efectiva en la sujeción

$k_m$ , Coeficiente de rigidez de elementos a sujetar

$$C = \frac{326049,57 \frac{N}{mm}}{326049,57 \frac{N}{mm} + 1355783,06 \frac{N}{mm}}$$

$$C = 0,19$$

Para la resistencia de prueba mínima ( $S_p$ ) para pernos cabeza hexagonal grado 8 – acabado negro se tiene (Anexo 6.2):

$$S_p = 120 k_{psi} = 827,37 \frac{N}{mm^2}$$

### **Precarga**

Para conexiones no permanentes se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_i = 0,75 A_t * S_p \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde:

$A_t$ , Área de la parte roscada

$S_p$ , Resistencia de prueba mínima

$$F_i = 0,75 * 20.516 \text{ mm}^2 * 827,37 \frac{N}{mm^2} = 12730,74 \text{ N}$$

### **Esfuerzo de tensión en un perno**

$$\sigma_b = \frac{C * P + F_i}{A_t} \quad \text{Ecuación 56}$$

Donde:

$C$ , Coeficiente de la carga externa soportada por el perno

$P$ , Carga

$F_i$ , Precarga

$$\sigma_b = \frac{(0,19) * \left(\frac{638}{4}\right) + 12730,74}{20.516}$$

$$\sigma_b = 622 \frac{N}{mm^2}$$

### **Esfuerzo de precarga**

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_t} \quad \text{Ecuación 57}$$

Donde

$F_i$ , Precarga

$A_t$ , Área de la parte roscada

$$\sigma_i = \frac{12730,74}{20.516} = 620,53 \frac{N}{mm^2}$$

**Factor de seguridad contra la fluencia por esfuerzo estático, superior a la resistencia de prueba.**

$$h_p = \frac{S_p}{\sigma_b} \quad \text{Ecuación 58}$$

Donde

$S_p$ , Resistencia de prueba mínima

$\sigma_b$ , Esfuerzo de tensión en un perno

$$h_p = \frac{827,37}{622}$$

$$h_p = 1,33 \leftarrow Ok$$

### **CASO 2: Perno de bloqueo de cabezal**

Para el caso número dos se utiliza pernos cabeza hexagonal grado 8 – acabado negro, el cual tiene los siguientes datos proporcionados por el catálogo de Bohman (Anexo 5) [31].

Datos

Número de pernos = 1

Diámetro del perno = 5/8 pulgadas

Longitud = 3 pulgadas

Hilo fino UNC = 11

Resistencia mínima a la tensión = 150 Kpsi = 1034,48 MPa

Módulo de elasticidad = 210 GPa = 30458 Ksi

La carga equivale al peso del cabezal móvil más el peso de la pieza a soportar = 706 N

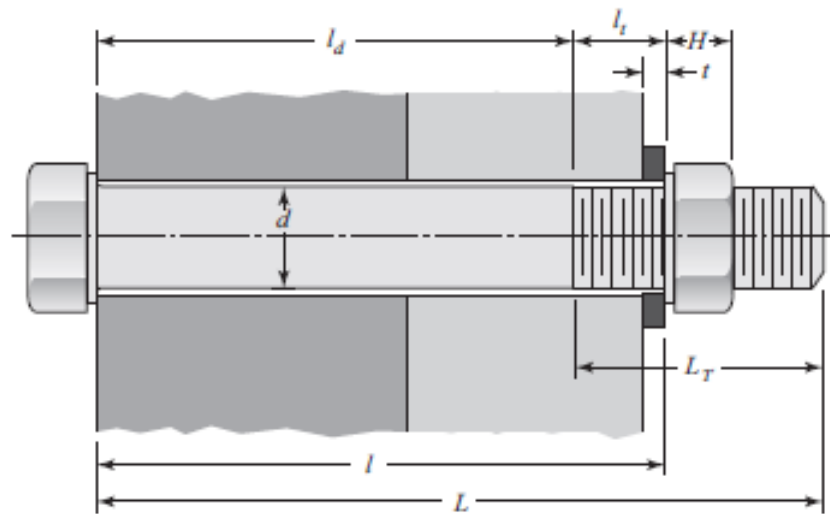


Figura 52: Perno con rosca en un tramo[30].

### Espesor de la arandela

La arandela que se utiliza es  $\frac{5}{8}W$  que tiene un espesor de 0,134 pulgadas o 3,40 milímetros (Anexo 6).

$$t = \frac{5}{8}w = 0,134 \text{ in} = 3,40 \text{ mm}$$

### Espesor de la tuerca

Para la tuerca de  $\frac{5}{8}W$  se tiene (Anexo 7);

$$H = \frac{35}{64}plg = 13,89 \text{ mm}$$

### Longitud del agarre

Equivale al espesor de todo el material apretado entre la cara del perno y la tuerca, lo que representa el espesor de la placa de bloqueo del cabezal, el ancho del perfil del tubo estructural, y el espesor del cabezal móvil.

$$l = 8mm + 40mm + 4mm$$

$$l = 52 mm$$

### **Longitud del sujetador**

$$L = l + H \quad \text{Ecuación 59}$$

Donde

$l$ , Longitud del agarre

$H$ , Espesor de la tuerca

$$L = 52mm + 13,89mm = 65,89mm$$

Para la longitud del sujetador se recomienda trabajar con valores redondeados, por lo tanto, se procede a utilizar la tabla A-17 (Anexo 6.1).

$$L = 2 \frac{3}{4} = 69,85 mm$$

### **Longitud roscada**

$$L_T = \{2d + 6mm, \quad L \leq 125mm, d \leq 48mm\}$$

Entonces:

$$L_T = 2d + 6mm \quad \text{Ecuación 60}$$

$$L_T = 2 * 15,88 + 6mm = 37,76 mm$$

### **Longitud de la parte sin roscar en el agarre**

$$l_d = L - L_T \quad \text{Ecuación 61}$$

Donde

$L$ , Longitud del sujetador

$L_T$ , Longitud roscada

$$l_d = 69,85 - 37,76 = 32,09 \text{ mm}$$

### Longitud de la parte roscada en el agarre

$$l_t = l - l_d \quad \text{Ecuación 62}$$

Donde

$l$ , Longitud del agarre

$l_d$ , Longitud de la parte sin roscar en el agarre

$$l_t = 52 - 32,09 = 19,91 \text{ mm}$$

### Área de la parte sin rosca

$$A_d = \frac{\pi * d^2}{4} \quad \text{Ecuación 63}$$

$$A_d = \frac{\pi * 15,88^2}{4} = 198,06 \text{ mm}^2$$

### Área de la parte roscada

Se utiliza la tabla 8-2 correspondiente a diámetros y áreas de roscas de tornillo UNC y UNF (Anexo 2), para un diámetro de  $\frac{5}{8}$  pulgadas.

$$A_t = 0,226 plg^2 = 145,81 \text{ mm}^2$$

### Coefficiente de rigidez efectiva en la sujeción

$$K_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_T + A_t * l_d} \quad \text{Ecuación 64}$$

$$K_b = \frac{198,06 \text{ mm}^2 * 145,81 \text{ mm}^2 * 2 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{198,06 \text{ mm}^2 * 19,91 \text{ mm} + 145,81 \text{ mm}^2 * 32,09 \text{ mm}}$$

$$K_b = 669861,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

### Coefficiente de rigidez de la parte roscada

$$K_t = \frac{A_t * E}{l_t}$$

Ecuación 65

$$K_t = \frac{145,81\text{mm}^2 * 2 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{19,91\text{mm}}$$

$$K_t = 1464691,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

**Coefficiente de rigidez de elementos a sujetar**

$$K_m = \frac{0,5774\pi * E * d}{2l_n \left( 5 \frac{0,5774l + 0,5d}{0,5774l + 2,5d} \right)}$$

Ecuación 66

$$K_m = \frac{0,5774\pi * 2 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 15,88\text{mm}}{2l_n \left( 5 \frac{0,5774 * 52\text{mm} + 0,5 * 15,88\text{mm}}{0,5774 * 52\text{mm} + 2,5 * 15,88\text{mm}} \right)}$$

$$K_m = 2876128,62 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

**Coefficiente de rigidez de la parte sin rosca**

$$K_d = \frac{A_d * E}{l_d}$$

Ecuación 67

$$K_d = \frac{198,06\text{mm}^2 * 2 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{32,09\text{mm}}$$

$$K_d = 1234403,24 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

**Coefficiente de la carga externa soportada por el perno**

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

Ecuación 68

$$C = \frac{669861,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}{669861,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}} + 2876128,62 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}$$

$$C = 0,19$$

Para la resistencia de prueba mínima ( $S_p$ ) para pernos cabeza hexagonal grado 8 – acabado negro se tiene (Anexo 6.2):

$$S_p = 120 k_{psi} = 827,37 \frac{N}{mm^2}$$

### Carga externa en tensión en los pernos

$$P = \frac{P_{total}}{N} \quad \text{Ecuación 69}$$

$$P = \frac{706 N}{1} = 706 N$$

### Precarga

Para conexiones no permanentes se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_i = 0,75 A_t * S_p \quad \text{Ecuación 70}$$

$$F_i = 0,75 * 145,81 mm^2 * 827,37 \frac{N}{mm^2} = 90479,11 N$$

### Esfuerzo de tensión en un perno

$$\sigma_b = \frac{C * P + F_i}{A_t} \quad \text{Ecuación 71}$$

$$\sigma_b = \frac{(0,19) * (706) + 90479,11}{145,81}$$

$$\sigma_b = 621,44 \frac{N}{mm^2}$$

**Factor de seguridad contra la fluencia por esfuerzo estático, superior a la resistencia de prueba.**

$$h_p = \frac{S_p}{\sigma_b} \quad \text{Ecuación 72}$$

$$h_p = \frac{827,37}{621,44}$$

$$h_p = 1,33 \leftarrow Ok$$


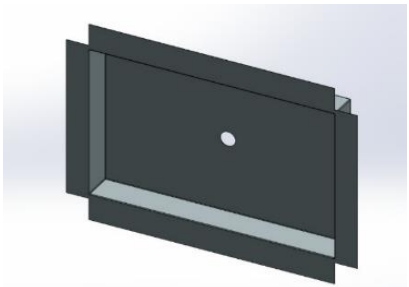
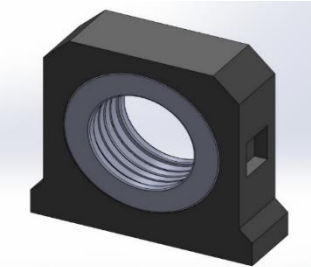


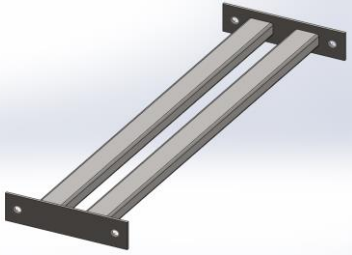
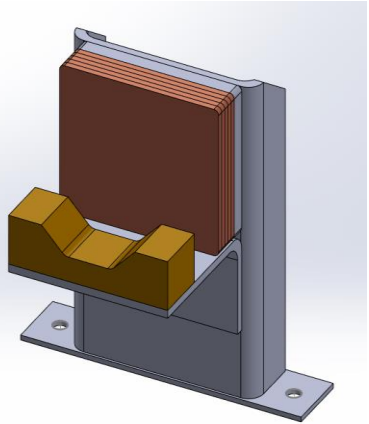
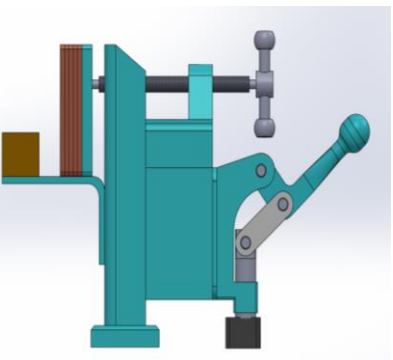
### 3.8. Prediseño del banco de pruebas (MT)

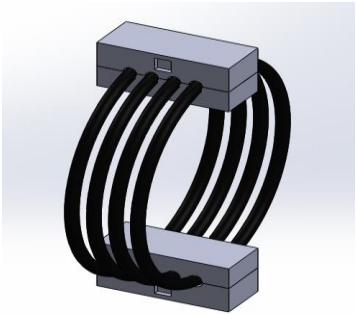
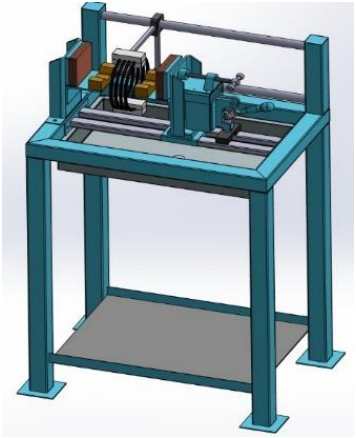
Para el prediseño del equipo se utilizó como base la información investigada en el punto 2.3.1. del presente documento, siendo este un aporte para poder modelar y establecer un primer diseño, sin embargo, este diseño sirve como base para modelo definitivo del banco de pruebas.

La tabla 39, muestra el detalle e ilustración de la estructura, así como, cada una de las partes y componentes del prediseño del banco de pruebas.

Tabla 39: Prediseño del banco de pruebas.

Prediseño de estructura y componentes de banco de pruebas MT		
N°	Detalle	Ilustración
1	<p>El modelado de la estructura está constituido por tubos estructurales cuadrados 75x2 mm con las siguientes dimensiones: 1000 mm L x 700 mm A x 1720 mm H.</p> <p>En adición posee 2 agujeros de 1 ½ pulgada para la colocación de los rieles de tubo estructural redondo sobre los cuales se desplazará la bobina magnética del banco.</p>	
2	<p>La zona de baño húmedo del banco de pruebas está conformada por una bandeja formada a partir de una plancha de acero galvanizada de 1 mm de espesor.</p>	
3	<p>El acople mecanizado, consta de un rodamiento axial 51108 de diámetro del agujero 40mm, 60 mm de y 13 mm de altura, el cual facilita el movimiento deslizante de la bobina a través de los 2 tubos estructurales redondos de 1 ½ de diámetro.</p>	

Prediseño de estructura y componentes de banco de pruebas MT		
Nº	Detalle	Ilustración
4	El cabezal móvil, realiza su desplazamiento por medio de 2 perfiles estructural rectangular 30 x 50 x 3 mm, los cuales presentan una separación de 44 mm, para la introducción del bloque y la placa deslizando del cabezal móvil del banco de pruebas.	
5	El cabezal fijo está conformado por 2 perfiles estructurales, un canal U 200 x 60 x 8 mm, con 320 mm de longitud y una L 150 x 8 mm y 170 mm de longitud, ambos soldados, en adición presenta una placa aislante de madera con dimensiones de 150 x 170 x 15 mm, 5 placas conductoras de cobre con dimensiones de 150 x 170 x 6 mm y una pieza de madera como soporte para las piezas a ensayar con las siguientes dimensiones 170 x 50 x 55 mm.	
6	El cabezal móvil del banco de pruebas presenta la misma estructura que el cabezal fijo, con la adición de un perfil C 150 X 50 X 3 mm, sobre el cual va montado el tornillo de fuerza para la sujeción de las piezas a ensayar colocadas entre los cabezales y un clamp de palanca para el bloqueo del movimiento del cabeza móvil sobre los rieles del banco de pruebas.	

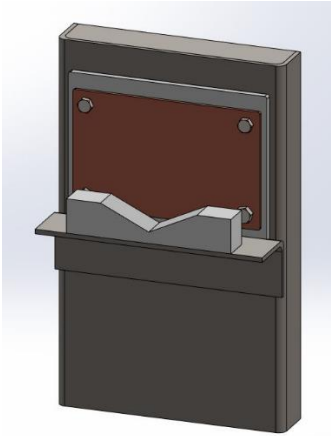
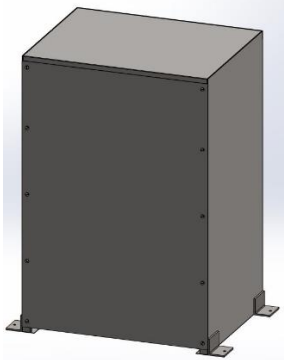
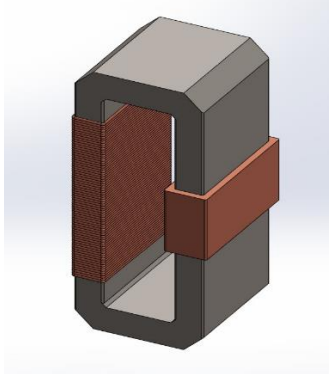
Prediseño de estructura y componentes de banco de pruebas MT		
N°	Detalle	Ilustración
7	<p>La bobina magnética del banco de pruebas tiene un diámetro interior de 250 mm, está conformada por 4 espiras de cable de 95 mm<sup>2</sup>, formada y soportada por medio de 2 soportes de madera, los cuales están anclados a los acoples mecanizados por medio de una varilla cuadrada lisa de 15 mm de lado.</p>	
8	<p>Se presenta el prediseño final del banco de pruebas para inspecciones por partículas magnéticas, en adición se muestran algunos parámetros de funcionamiento que determinaron el diseño:            Peso máximo de la pieza a ensayar: 124 kg            Longitud máxima de la pieza a ensayar: 500 mm            Diámetro o longitud de sección máxima de la pieza a ensayar: 2 pulgadas            Máxima salida de amperaje de la fuente: 1500 A            Peso aproximado de la fuente: 72 kg</p>	

### 3.9. Modelado CAD del banco de pruebas

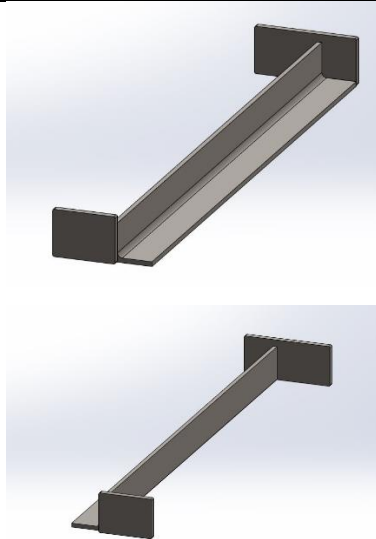

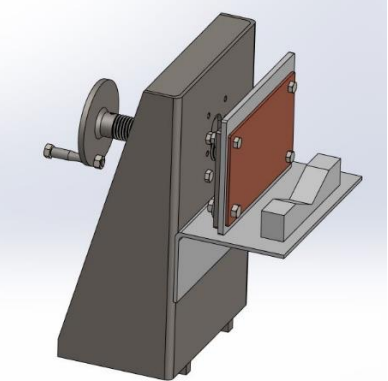
Para el modelado del banco de pruebas mediante partículas magnéticas fluorescentes se utilizó un software de diseño, el cual es una herramienta que nos permite dibujar y simular con facilidad acorde a los criterios de diseño establecidos. A continuación, se presenta un listado de cada una de las partes que conforman el equipo.

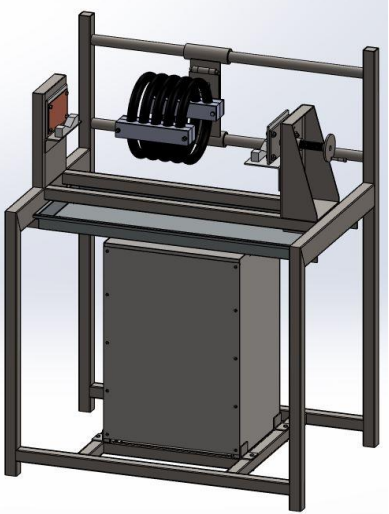
En la tabla 40, se muestra el detalle e ilustración del diseño de cada una de las partes y componentes, así como la estructura del banco de pruebas.

Tabla 40: Diseño de banco de pruebas.

Diseño de estructura y componentes de banco de pruebas		
N°	Detalle	Ilustración
1	El cabezal fijo está conformado por dos perfiles estructurales un canal en forma de U 200x40x4mm con 320mm de longitud y una L 50x50x4mm de longitud, ambos soldados, en adición presenta un soporte aislante de nylon con dimensiones de 145x30x25mm, una placa conductora de cobre con dimensiones de 165x103x3mm y por último una placa aislante de nylon con las siguientes dimensiones 175x130x6mm.	
2	El armario del transformador está diseñado con la finalidad de cubrir cualquier elemento peligroso que dañe o interrumpa el funcionamiento del transformador, las dimensiones de son 680x460x360mm con una chapa de espesor 1,1 mm.	
3	El transformador monofásico proporciona la intensidad de corriente (amperaje) que se requiere para realizar los ensayos en el banco pruebas. Consta de 95 vueltas en el devanado primario y 4 vueltas en el secundario.	

Diseño de estructura y componentes de banco de pruebas		
N°	Detalle	Ilustración
4	La bobina magnética está constituida por 5 espiras de conductor de cobre, y 2 sujetadores que fijan a esta, además tiene 2 bujes adheridos por medio de un tubo los cuales permiten el desplazamiento de la bobina, para elevar y bajar a la bobina se utiliza una bisagra.	
5	El sistema de bloqueo del cabezal móvil funciona por medio de una placa apoyada en la parte inferior de las guías de riel, y para fijar al cabezal se ajusta la rosca en el tornillo haciendo que la placa presione a las guías proporcionando así el bloqueo. El perno que se ocupa es de 5/8" UNC. Las dimensiones de la placa son: 190x90x8mm.	
6	En la parte inferior de la estructura del equipo se encuentra una plancha de acero en la cual se apoya el transformador. Está constituido por dos perfiles rectangulares ubicados de forma paralela y sus dimensiones son: 20x40x2mm con una longitud de 460mm, y el canal U doblado con las dimensiones de 320x30x3mm.	
7	La bandeja para la zona del baño está situada por debajo de las guías de riel, al momento de realizar el ensayo no se utiliza una cantidad significativa de partículas magnéticas por lo tanto la bandeja tiene una profundidad 50mm conformada con una chapa de acero inoxidable de 1mm de espesor. Además, es removible para poder hacer limpiezas y drenar el fluido de manera fácil.	

Diseño de estructura y componentes de banco de pruebas		
N°	Detalle	Ilustración
8	<p>Las guías para el apoyo de la bandeja para la zona del baño húmedo permiten el fácil montaje y desmontaje de la bandeja. Están conformadas por una placa de 40x30x4 mm y otra placa de 65x30x4 mm, además de un perfil L 25x3 con una longitud de 345 mm.</p>	
8	<p>La estructura está constituida por tubos cuadrados y rectangulares con medidas de 40x2mm; 40x3mm; y 80x40x3mm con las siguientes dimensiones: 1000 mm L x 700 mm A x 1350 mm H. Para el desplazamiento de la bobina se utiliza dos tubos redondos de cañería roscable galvanizada de 1 pulgada de diámetro nominal, se encuentra ubicadas en la parte superior de la estructura con una separación de 285mm al centro. La altura de trabajo es de 900 mm con respecto al piso.</p>	
9	<p>El cabezal móvil se desplaza a lo largo de las guías de riel, consta de una placa aislante de 175x130x6mm, una placa de cobre de 165x103x3mm, y un soporte aislante de 145x30x25mm, adicional constan de un perfil L de 120x80x4mm con longitud de 200mm. Para el ajuste de pieza se utiliza un tornillo de fuerza de 1 pulgada de diámetro con una pequeña manija para poder ajustar de forma manual. La forma del cabezal es tipo trapezoidal, esto para evitar que exista alguna dificultad al momento de desplazar la pieza.</p>	

Diseño de estructura y componentes de banco de pruebas		
N°	Detalle	Ilustración
10	<p>Se presenta el diseño final del banco de pruebas para inspecciones por partículas magnéticas, en adición se muestran algunos parámetros de funcionamiento que determinaron el diseño:</p> <p>Peso máximo de la pieza a ensayar: 110 kg  Longitud máxima de la pieza a ensayar: 625 mm  Diámetro o longitud de sección máxima de la pieza a ensayar: 1 ½ pulgada  Máxima salida de amperaje de la fuente: 1200 A  Peso aproximado de la fuente: 75 kg</p>	





### 3.10. Construcción del transformador

La tabla 41, describe cada una de las etapas del proceso de construcción del transformador del equipo de banco de pruebas.




Tabla 41: Proceso de construcción del transformador.

Proceso de construcción del transformador		
N°	Detalle	Ilustración
1	<p>Adquisición de los materiales para la construcción del transformador 220/8V, para la fuente de alimentación del banco de pruebas de ensayos no destructivos para inspecciones mediante partículas magnéticas fluorescentes (MT), descritos en la tabla de materiales y recursos.</p>	
2	<p>Preparar el mandril de acuerdo con las medidas del núcleo del transformador [480x200x195]mm.</p>	



<b>Proceso de construcción del transformador</b>		
<b>N°</b>	<b>Detalle</b>	<b>Ilustración</b>
3	Doblado del cartón base para la elaboración del bobinado primario y secundario.	
4	Realizar el bobinado del primario del transformador con el número de vueltas definido para cada tap con el conductor número 6. [1er tap – 95 vueltas] [2do tap – 90 vueltas] [3er tap – 85 vueltas]	
5	Para cada tap, envolver 4 capas de papel aislante Kraft 0-10, con la finalidad de proteger el bobinado.	
6	Realizar el doblado de papel aislante Nomex 0-30 (3 capas) sobre el cartón para el bobinado secundario	






<b>Proceso de construcción del transformador</b>		
<b>N°</b>	<b>Detalle</b>	<b>Ilustración</b>
7	Enrollar y cortar las láminas del bobinado secundario con el número definido de 4 vueltas y sacar los terminales del secundario.	
8	Terminar el bobinado del secundario colocando 2 vueltas de papel Nomex 0-30 y sobre estas colocar 3 vueltas de papel Kraft 0-10.	
9	Después de ensamblar completamente cada uno de los bobinados, armar el núcleo de chapas de acero, el cual consta de 5 legajos de chapa, los cuales se van insertando en bloques para formar la sección de 87,75 cm2.	



Proceso de construcción del transformador		
N°	Detalle	Ilustración
		
10	<p>Como último paso se barniza el núcleo, para los taps del primario se realiza un estañado para poder acoplar los terminales. De igual forma se coloca los terminales tipo talón para la salida del secundario y se coloca ángulos de acero para el soporte del transformador.</p>	

### 3.11. Construcción de banco de pruebas del banco de pruebas para partículas magnéticas fluorescentes (MT)

La tabla 42, describe cada una de las etapas del proceso de construcción de la estructura, partes y componentes del equipo de banco de pruebas.



Tabla 42: Construcción del banco de pruebas.



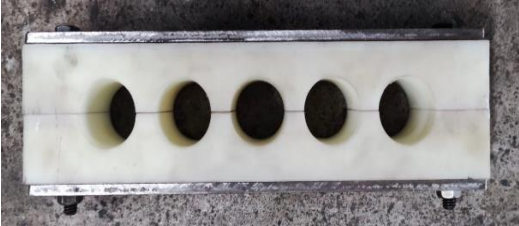

Proceso de construcción del banco de pruebas		
N°	Detalle	Ilustración
1	Para la estructura se escogió tubos cuadrados y rectangulares de 40x2; 40x3; 80x40x3 (mm). Tubo roscable de 1 pulgada.	
2	Una vez obtenida la materia prima se procedió a construir la estructura del banco de pruebas acorde a los planos.	
3	Tanto para el cabezal fijo como para el móvil se dobló una plancha de acero A36 en forma de U con las medidas correspondientes y adicional a esto se soldó unas tapas a los cabezales.	




Proceso de construcción del banco de pruebas		
N°	Detalle	Ilustración
4	El cabezal móvil consta de un sistema de movilización y bloqueo, para lo cual en las guías de riel se colocó una placa y un tornillo que pasa entre la placa y la base del cabezal, con la finalidad de poder bloquearlo al momento que se ajuste la rosca en el tornillo.	
5	El ajuste de los cabezales para realizar el ensayo se proporciona por medio de un tornillo de transmisión de fuerza ubicado en el cabezal móvil, en el inicio del tornillo de transmisión se colocó una rueda acompañada de una pequeña palanca para que el operador pueda movilizar el tornillo de forma fácil y rápida.	





**Proceso de construcción del banco de pruebas**

N°	Detalle	Ilustración
6	<p>Los dos cabezales constan de una placa aislante y un soporte para el conductor central hechos de nylon, y una placa de cobre para el contacto de la pieza sometida al ensayo.</p>	 <p>The illustration for item 6 consists of three vertically stacked photographs. The top photograph shows a rectangular copper plate with four circular holes, one in each corner. The middle photograph shows a white, rectangular insulating plate with two circular holes, one on the left and one on the right. The bottom photograph shows a white, V-shaped support structure made of nylon, designed to hold a central conductor.</p>
7	<p>Para el desplazamiento de la bobina magnética se utilizaron dos bujes colocados sobre los tubos redondos, y adicional dos placas soldadas en los extremos de cada uno de los bujes. Entre las placas está una bisagra para aperturar el movimiento de arriba hacia abajo de la bobina.</p>	 <p>The illustration for item 7 is a photograph showing a worker in a grey cap and dark work clothes. The worker is focused on adjusting a component on a metal frame. The component appears to be a sliding mechanism for a magnetic coil, consisting of two bushings on round tubes and two plates welded to the ends of the bushings, with a hinge in between.</p>

Proceso de construcción del banco de pruebas		
N°	Detalle	Ilustración
		
8	El conductor de cobre que se utiliza para la bobina es difícil de moldear por su grosor y rigidez, por lo tanto, se procedió a utilizar el torno con la ayuda de una tubería cercana al diámetro requerido de la bobina y se enroscó el conductor hasta obtener las cinco vueltas, obteniendo así la forma adecuada para el correcto funcionamiento de la bobina magnética.	
9	Para que la bobina no pierda su forma se utilizó dos soportes de nylon con cinco agujeros para que el agarre del conductor de cobre sea el mejor y se mantenga fijo.	
10	Una vez que la bobina está construida se usó un tubo cuadrado que actúa en forma de brazo para poder unir a la bobina con el sistema de movilización.	

Proceso de construcción del banco de pruebas		
N°	Detalle	Ilustración
11	En la parte inferior de las guías de riel se instaló la bandeja para la recolección del líquido producido a la hora de realizar el ensayo. El sistema de desmontaje es muy fácil y sencillo para facilitar las actividades de limpieza y mantenimiento correspondientes.	
12	Una vez instaladas las partes principales del equipo se procedió a lijar y aplicar dos capas de pintura para evitar corrosión ya que el equipo está ubicado en una zona exterior.	
13	Una vez terminado con la fase de pintura en los cabezales se colocan los accesorios de magnetización y aislantes, además se coloca la base para las conexiones entre los cabezales y la fuente de poder.	

Proceso de construcción del banco de pruebas		
N°	Detalle	Ilustración
		
14	<p>Adicionalmente se instaló la fuente de poder que corresponde al transformador en la parte inferior de la estructura, y el sistema de control ubicado en la parte lateral de este. Adicional se realizó las debidas conexiones y mediciones de voltaje y amperaje para verificar el buen funcionamiento de la fuente de poder, cabe mencionar que el ajuste de conexiones en el transformador debe ser el adecuado ya que si existe una conexión inadecuada puede generar puntos de calor haciendo que existan daños en la fuente de poder.</p>	 



Proceso de construcción del banco de pruebas		
N°	Detalle	Ilustración
15	Finalmente, el banco de pruebas de ensayos no destructivos para inspecciones mediante partículas magnéticas fluorescentes se encuentra listo para ser utilizado en el laboratorio de materiales de la carrera de Mecánica.	 

### 3.12. Sistema de Control

A continuación, se presenta la tabla 43, se especifican cada una de las partes y elementos que constituyen el sistema de control del equipo y también el funcionamiento del mismo.

Tabla 43: Sistema de Control del Equipo.

<b>Sistema de control del banco de pruebas</b>		
N°	Detalle	Ilustración
1	<p>El circuito de control consta de un sistema de elementos eléctricos y electrónicos, constituidos principalmente por la tarjeta de control de una soldadora de punto, que permite al equipo controlar el tiempo de disparo magnético, el tiempo de corte de corriente de magnetización y el número de disparos magnéticos por ciclo, a través de la modificación presentada por medio de la implementación de un interruptor DIP de 4 posiciones, el cual permite controlar los disparos por ciclo que puede generar, se estableció por defecto en base a lo especificado a la norma 2 disparos por ciclo ASTM E-709:21, sin embargo a través de esta implementación el equipo puede generar hasta 4 disparos por ciclo. En adición, a través del tiristor de alta corriente y voltaje se logra dar paso a la corriente eléctrica que se toma de la línea y que llega al bobinado primario del transformador y cortar el paso de la corriente que se va a emplear para la magnetización y que se toma del secundario del transformador y va hacia los dispositivos de bobina o contactos de los cabezales del equipo, dependiendo de la técnica de magnetización que se requiera para la inspección durante en el tiempo de disparo y de descanso establecido con una gran exactitud. Además, se implementó 2 con breaker de 60 A para cerrar de manera automática el flujo de corriente eléctrica hacia el sistema de control y al transformador para cuando exista una carga de amperaje mayor no se genere daño a estos dispositivos.</p>	

**Sistema de control del banco de pruebas**

N°	Detalle	Ilustración																																				
2	<p>Para el almacenamiento de los componentes del sistema de control destinados como parte de la botonera de manejo del equipo, se utilizó un gabinete metálico 40 x 30 x 20 cm, donde se ubicó el selector ON/OFF/RUN, los potenciómetros para la regulación del amperaje y de los tiempos de disparo magnético y de descanso, así como la lámpara led roja que se activa siempre durante el tiempo de disparo señalando su activación y duración, todos estos dispositivos mencionados están conectados a la placa de control, para regular así la cantidad de amperaje que esta ingresando al bobinado primario del transformador del equipo y por ende, el amperaje adecuado que se requiere para emplear para la magnetización.</p>																																					
3	<p>La botonera para el control del equipo de banco de pruebas, consta de dispositivos como 3 potenciómetros, una lampara led, un indicador digital de voltaje y amperaje y el selector, además se etiqueto las referencia para el uso de estos componentes, marcado el estado de posición para el accionamiento del selector, para el caso del potenciómetro de regulación de amperaje se marcó los valores de amperaje a la entrada del transformador para cada uno de los 10 pasos de regulación, del mismo modo, se marco los valores para el tiempo de disparo y descanso para cada uno de los 10 pasos de regulación, se marcó la ubicación de los indicadores led y digital y también se marco la equivalencia del amperaje selecto a la entrada que marca el indicador digital y su equivalencia al amperaje que se utiliza en la inspección.</p>	 <table border="1" data-bbox="941 1512 1104 1690"> <caption>EQUIVALENCIA DE AMPERAJE PARA CORRIENTE DE MAGNETIZACIÓN</caption> <thead> <tr> <th>INDICADOR DE POTENCIOMETRO</th> <th>AMPERAJE DE ENTRADA</th> <th>AMPERAJE DE SALIDA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0 A</td><td>0 A</td></tr> <tr><td>10</td><td>4 A</td><td>120 A</td></tr> <tr><td>20</td><td>9 A</td><td>240 A</td></tr> <tr><td>30</td><td>13 A</td><td>360 A</td></tr> <tr><td>40</td><td>17 A</td><td>480 A</td></tr> <tr><td>50</td><td>22 A</td><td>600 A</td></tr> <tr><td>60</td><td>26 A</td><td>720 A</td></tr> <tr><td>70</td><td>30 A</td><td>840 A</td></tr> <tr><td>80</td><td>35 A</td><td>960 A</td></tr> <tr><td>90</td><td>39 A</td><td>1080 A</td></tr> <tr><td>100</td><td>43 A</td><td>1200 A</td></tr> </tbody> </table>	INDICADOR DE POTENCIOMETRO	AMPERAJE DE ENTRADA	AMPERAJE DE SALIDA	0	0 A	0 A	10	4 A	120 A	20	9 A	240 A	30	13 A	360 A	40	17 A	480 A	50	22 A	600 A	60	26 A	720 A	70	30 A	840 A	80	35 A	960 A	90	39 A	1080 A	100	43 A	1200 A
INDICADOR DE POTENCIOMETRO	AMPERAJE DE ENTRADA	AMPERAJE DE SALIDA																																				
0	0 A	0 A																																				
10	4 A	120 A																																				
20	9 A	240 A																																				
30	13 A	360 A																																				
40	17 A	480 A																																				
50	22 A	600 A																																				
60	26 A	720 A																																				
70	30 A	840 A																																				
80	35 A	960 A																																				
90	39 A	1080 A																																				
100	43 A	1200 A																																				

Sistema de control del banco de pruebas																																								
N°	Detalle	Ilustración																																						
4	El sistema de control presenta la siguiente disposición, de acuerdo con el diagrama de conexión de la fuente de poder y los componentes de control del equipo de banco de pruebas.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>CÁTODO 1</td></tr> <tr><td>2</td><td>COMPUERTA 1</td></tr> <tr><td>3</td><td>CÁTODO 2</td></tr> <tr><td>4</td><td>COMPUERTA 2</td></tr> <tr><td>5</td><td>FASE 1</td></tr> <tr><td>6</td><td>FASE 2</td></tr> <tr><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>25AVC</td></tr> <tr><td>9</td><td>0V</td></tr> <tr><td>10</td><td>24VDC</td></tr> <tr><td>11</td><td>RUN</td></tr> <tr><td>12</td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>INDICADOR</td></tr> <tr><td>14</td><td>0V</td></tr> <tr><td>15</td><td>24VDC</td></tr> <tr><td>16</td><td>OFF</td></tr> <tr><td>17</td><td>CONTROL DE POTENCIA</td></tr> <tr><td>18</td><td>ON</td></tr> </tbody> </table>	ITEM	DESCRIPCIÓN	1	CÁTODO 1	2	COMPUERTA 1	3	CÁTODO 2	4	COMPUERTA 2	5	FASE 1	6	FASE 2	7		8	25AVC	9	0V	10	24VDC	11	RUN	12		13	INDICADOR	14	0V	15	24VDC	16	OFF	17	CONTROL DE POTENCIA	18	ON
ITEM	DESCRIPCIÓN																																							
1	CÁTODO 1																																							
2	COMPUERTA 1																																							
3	CÁTODO 2																																							
4	COMPUERTA 2																																							
5	FASE 1																																							
6	FASE 2																																							
7																																								
8	25AVC																																							
9	0V																																							
10	24VDC																																							
11	RUN																																							
12																																								
13	INDICADOR																																							
14	0V																																							
15	24VDC																																							
16	OFF																																							
17	CONTROL DE POTENCIA																																							
18	ON																																							

### 3.13. Costos del Proyecto

A continuación, la tabla 44, muestra los costos directos asociados a la construcción del banco de pruebas de Ensayos no Destructivos para inspecciones por partículas magnéticas.

Tabla 44: Costos directos del proyecto.

Costos directos de proyecto de Banco de Pruebas de Ensayos No Destructivos para Inspecciones por Partículas Magnéticas Fluorescentes				
Cantidad	Componente	Característica / Material	Costo Unitario	Costo Total
<b>Costos del sistema de magnetización</b>				
<b>Transformador</b>				
5	Legajo de chapa	Acero al silicio	\$ 30,00	\$ 150,00
10	Conductor de cobre N. 6	Longitud = 10 m	\$ 1,50	\$ 15,00
13	Láminas de cobre	sección 27,93 mm <sup>2</sup>	\$ 5,00	\$ 65,00
4	Papel Kraft 0 - 10	Capa de papel aislante	\$ 4,00	\$ 16,00
3	Papel Nomex 0 - 30	Capa de papel aislante	\$ 6,00	\$ 18,00

<b>Costos directos de proyecto de Banco de Pruebas de Ensayos No Destructivos para Inspecciones por Partículas Magnéticas Fluorescentes</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Componente</b>	<b>Característica / Material</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
4	Perfil estructural L	L 30 x 30 x 1000 mm	\$ 4,00	\$ 16,00
2	Talón tipo taco	Calibre 350 MCM	\$ 5,00	\$ 10,00
3	Terminal tipo talón largo	Calibre N. 6 AWG	\$ 1,00	\$ 3,00
-	Otros	-	\$ 50,00	\$ 50,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 106,50	\$ 343,00
<b>IVA 12%</b>			\$ 12,78	\$ 41,16
<b>TOTAL</b>			\$ 384,16	
<b>Bobina</b>				
5	Cable 700 MCM	Longitud = 5 m	\$ 59,50	\$ 297,50
1	Plancha de Nylon	Nylon 101	\$ 80,00	\$ 80,00
2	Terminal tipo talón largo	Calibre N. 700 AWG	\$ 7,00	\$ 14,00
-	Otros	-	\$ 5,00	\$ 5,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 151,50	\$ 396,50
<b>IVA 12%</b>			\$ 18,18	\$ 47,58
<b>TOTAL</b>			\$ 444,08	
<b>Contacto de cobre</b>				
2	Placa de cobre	150 x 170 x 3 mm	\$ 40,00	\$ 80,00
2	Terminal tipo talón largo	Calibre N. 350 MCM	\$ 6,00	\$ 12,00
-	Otros	-	\$ 5,00	\$ 5,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 51,00	\$ 97,00
			\$ 6,12	\$ 11,64

<b>Costos directos de proyecto de Banco de Pruebas de Ensayos No Destructivos para Inspecciones por Partículas Magnéticas Fluorescentes</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Componente</b>	<b>Característica / Material</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
<b>IVA 12%</b>				
<b>TOTAL</b>			\$	108,64
<b>Cable de conexión</b>				
3	Cable 350 MCM	Longitud = 3 m	\$ 38,00	\$ 114,00
4	Terminal tipo talón largo	Calibre N. 350 MCM	\$ 5,00	\$ 20,00
-	Otros	-	\$ 5,00	\$ 5,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 48,00	\$ 139,00
<b>IVA 12%</b>			\$ 5,76	\$ 16,68
<b>TOTAL</b>			\$	155,68
<b>Sistema de control</b>				
1	Tiristor doble de alta corriente y voltaje	Dispositivo interruptor de apagado rápido	\$ 70,00	\$ 70,00
1	Tarjeta de control de soldadora de punto	Dispositivo controlador	\$ 30,00	\$ 30,00
1	Transformador de 24 V	Dispositivo estático de CA	\$ 3,00	\$ 3,00
1	Breaker de 60 A	Interruptor 60 A	\$ 15,00	\$ 15,00
2	Borne de conexión	Dispositivo de conexión	\$ 3,00	\$ 6,00
1	Selector ON / OFF	Dispositivo de encendido	\$ 3,00	\$ 3,00
1	Lampara Led	Indicador de luz roja	\$ 3,00	\$ 3,00
3	Potenciómetro	Dispositivo variador	\$ 3,00	\$ 9,00
1	Indicador digital de voltaje – amperaje de CA	Dispositivo visualizador	\$ 3,00	\$ 3,00

<b>Costos directos de proyecto de Banco de Pruebas de Ensayos No Destructivos para Inspecciones por Partículas Magnéticas Fluorescentes</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Componente</b>	<b>Característica / Material</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	Gabinete metálico	Dispositivo de almacenamiento y protección	\$ 32,00	\$ 32,00
-	Otros	-	\$ 10,00	\$ 10,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 175,00	\$ 184,00
<b>IVA 12%</b>			\$ 21,00	\$ 22,08
<b>TOTAL</b>			\$ 206,08	
<b>Costos de estructura y componentes de banco de pruebas</b>				
2	Tubo estructural cuadrado 40 x 2 mm	Longitud = 900 mm	\$ 5,00	\$ 10,00
2	Tubo estructural rectangular 80 x40 x 3 mm	Longitud = 700 mm	\$ 8,00	\$ 16,00
2	Tubo estructural cuadrado 40 x 3 mm	Longitud = 1350 mm	\$ 5,00	\$ 10,00
2	Cañería galvanizada Ø = 1 in	Longitud = 920 mm	\$ 5,00	\$ 10,00
4	Tubo estructural cuadrado 40 x 2 mm	Longitud = 920 mm	\$ 5,00	\$ 20,00
2	Tubo estructural cuadrado 40 x 2 mm - Galvanizado	Longitud = 620 mm	\$ 5,00	\$ 10,00
1	Perfil estructural canal U 200 x 40 x 4 mm	Longitud = 320 mm	\$ 4,00	\$ 4,00
1	Perfil estructural canal U 200 x 125 x 4 mm	Longitud = 320 mm	\$ 4,00	\$ 4,00
1	Perfil estructural ángulo L 50 x 4 mm	Longitud = 200 mm	\$ 1,20	\$ 1,20
1	Perfil estructural ángulo L 120 x 4 mm	Longitud = 200 mm	\$ 3,25	\$ 3,25
2	Platina de Cobre	Espesor = 6 mm	\$ 24,00	\$ 48,00
2	Placa aislante	Nylon 101/ Espesor = 15 mm	\$ 43,50	\$ 87,00
2	Soporte aislante para pieza	Nylon 101	\$ 6,50	\$ 13,00

<b>Costos directos de proyecto de Banco de Pruebas de Ensayos No Destructivos para Inspecciones por Partículas Magnéticas Fluorescentes</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Componente</b>	<b>Característica / Material</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	Placa de acero 170 x 150	A-36 / Espesor = 6 mm	\$ 3,50	\$ 3,50
1	Placa de acero 190 x 90	A-36 / Espesor = 8 mm	\$ 5,50	\$ 5,50
1	Tornillo de transmisión Ø = 1 in	Acero A -36	\$ 3,75	\$ 3,75
1	Buje de acero Øe = 42 mm	Longitud = 147 mm / Espesor 4 mm	\$ 6,00	\$ 6,00
1	Buje de acero Øe = 42 mm	Longitud = 118 mm / Espesor 4 mm	\$ 7,00	\$ 7,00
3	Soporte aislante para bobina 245 x 60 x 50 mm	Nylon 101	\$ 12,00	\$ 36,00
4	Cojinetes de Nylon Øi = 32,7 mm	Nylon 101 / Espesor 40 mm	\$ 1,25	\$ 5,00
-	Accesorios de sujeción	-	\$ 15,00	\$ 15,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 173,45	\$ 318,20
<b>IVA 12%</b>			\$ 20,81	\$ 38,18
<b>TOTAL</b>			\$ 356,38	
<b>Costos de adquisición de consumible para inspecciones por partículas magnéticas fluorescentes</b>				
2	Suspensión de Partículas Magnéticas Fluorescentes Base Aceite	Aerosol	\$ 30,00	\$ 60,00
-	Otros	-	\$ 5,00	\$ 5,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 35,00	\$ 65,00
<b>IVA 12%</b>			\$ 4,20	\$ 7,80
<b>TOTAL</b>			\$ 72,80	

A continuación, la tabla 45, muestra los costos indirectos asociados a la construcción del banco de pruebas de Ensayos no Destructivos para inspecciones por partículas magnéticas.



Tabla 45: Costos indirectos del proyecto.

<b>Costos indirectos de proyecto de Banco de Pruebas de Ensayos No Destructivos para Inspecciones por partículas Magnéticas Fluorescentes</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo de uso (h)</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
<b>Costos indirectos del sistema de magnetización</b>				
<b>Transformador</b>				
1	Alquiler de mandril para bobinado	1	\$ 40,00	\$ <b>40,00</b>
1	Construcción de transformador	-	\$ 260,00	\$ 260,00
1	Transporte de equipo	-	\$ 10,00	\$ 10,00
-	Otros		\$ 5,00	\$ 5,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 275,00	\$ 275,00
<b>TOTAL</b>			\$ 275,00	
<b>Bobina</b>				
1	Alquiler del torno para el bobinado	1	\$ 10,00	\$ 10,00
1	Soporte de bobina	-	\$ 25,00	\$ 25,00
-	Otros	-	\$ 10,00	\$ 10,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 45,00	\$ 45,00
<b>TOTAL</b>			\$ 45,00	
<b>Accesorios para el sistema de magnetización</b>				
1	Maquinaria	1	\$ 20,00	\$ 20,00
1	Construcción de los accesorios	-	\$ 25,00	\$ 25,00
-	Otros	-	\$ 10,00	\$ 10,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 55,00	\$ 55,00

<b>Costos indirectos de proyecto de Banco de Pruebas de Ensayos No Destructivos para Inspecciones por partículas Magnéticas Fluorescentes</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo de uso (h)</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
<b>TOTAL</b>			\$ 55,00	
<b>Sistema de control</b>				
1	Transporte de componentes eléctricos - electrónicos de control	-	\$ 10,00	\$ 10,00
1	Construcción de sistema de control de banco de pruebas	-	\$ 80,00	\$ 80,00
-	Otros	-	\$ 5,00	\$ 5,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 95,00	\$ 95,00
<b>TOTAL</b>			\$ 95,00	
<b>Estructura y componentes de banco de pruebas</b>				
1	Alquiler de herramientas de corte (sierra - taladro - torno)	15	\$ 10,00	\$ 150,00
1	Alquiler de soldadora SMAW	5	\$ 10,00	\$ 50,00
1	Alquiler de herramientas de doblado (dobladora - prensa)	5	\$ 15,00	\$ 75,00
1	Construcción de estructura y componentes	-	\$ 80,00	\$ 80,00
-	Otros	-	\$ 20,00	\$ 20,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 135,00	\$ 375,00
<b>TOTAL</b>			\$ 375,00	

En la tabla 46, se detalla el costo total del proyecto asociado a la construcción del banco de pruebas de Ensayos no Destructivos para inspecciones por partículas magnéticas.

Tabla 46: Costo total del proyecto.

<b>Costo total de proyecto de Banco de Pruebas de Ensayos No Destructivos para Inspecciones por partículas Magnéticas Fluorescentes</b>	
Costos directos	\$ 1.727,82
Costos indirectos	\$ 845,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2.572,82</b>






### **3.14. Verificación del funcionamiento del banco de pruebas para partículas magnéticas fluorescentes.**

Para la verificación del funcionamiento del equipo se propuso a utilizar las piezas a ensayar detalladas en el punto 2.4 de este documento, por lo tanto, para cada una de las piezas destinadas al ensayo se realizó dos tipos de ensayos no destructivos los cuales son:







- Inspección Visual (VT)
- Inspección con Partículas Magnéticas mediante técnicas de magnetización seca (MT) y húmeda fluorescente (MTF)

Para el dimensionamiento de las probetas se utilizó la norma AWS D1.1/D1.1 M:2020 en el apartado número 5, el cual corresponde a junta soldada con soldadura en ranura con CJP precalificada, y para los criterios de aceptación de Inspección Visual la tabla 8.1 (ver anexo 11). En el apartado número 8 del presente documento en el punto 8.10, indica que las soldaduras sometidas al ensayo de partículas magnéticas (MT) e Inspección Visual (VT) se deben evaluar utilizando como base los criterios de aceptación de Inspección Visual, de este modo la tabla 8.1 se utilizó para la inspección de cada uno de los ensayos realizados [32].

### 3.14.1. Procedimiento del ensayo de Inspección Visual (VT)

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>	
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>	
	<b>CARRERA DE MECÁNICA</b>	
	<b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE INSPECCIÓN VISUAL (VT)</b>	
<b>1. Limpieza mecánica mediante cepillado</b>	<b>2. Aplicación del limpiador para END</b>	
		
<b>3. Remoción del exceso de limpiador para END - secado</b>	<b>4. Realización de la inspección y evaluación de discontinuidades</b>	
		

### 3.14.2. Procedimiento del ensayo con Partículas Magnéticas Secas

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE MECÁNICA</b> <b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS (MT) POR MÉTODO SECO</b>	
<b>1. Limpieza mecánica mediante cepillado</b>	<b>2. Aplicación del limpiador para END</b>	
		
<b>3. Remoción del exceso de limpiador para END - secado / Aplicación de pintura de contraste (opcional)</b>	<b>4. Montaje del elemento a inspeccionar en la unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT</b>	
		



3. Aplicación de partículas magnéticas para método seco



4. Magnetización del elemento de ensayo por cualquier técnica de magnetización disponible en el equipo de banco de pruebas MT





5. Desmontaje del elemento a inspeccionar en la unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT



6. Remoción del exceso de partículas magnéticas para método seco



7. Realización de la inspección y evaluación de discontinuidades	8. Limpieza posterior a inspección del elemento
	

### 3.14.3. Procedimiento del ensayo con Partículas Magnéticas Húmedas Fluorescentes

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE MECÁNICA</b> <b>PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS FLUORESCENTES (MT) POR MÉTODO HÚMEDO</b>	
1. Limpieza mecánica mediante cepillado	2. Aplicación del limpiador para END	
		



<p>3. Remoción del exceso de limpiador para END - secado / Aplicación de pintura de contraste (opcional)</p>	<p>4. Montaje del elemento a inspeccionar en la unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT</p>
	
<p>4. Magnetización del elemento de ensayo por cualquier técnica de magnetización disponible en el equipo de banco de pruebas MT</p>	<p>3. Aplicación del baño de partículas magnéticas fluorescentes para método húmedo durante el paso de corriente magnética</p>
	
<p>5. Desmontaje del elemento a inspeccionar en la unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT</p>	<p>6. Remoción del exceso de partículas magnéticas fluorescentes para método húmedo</p>

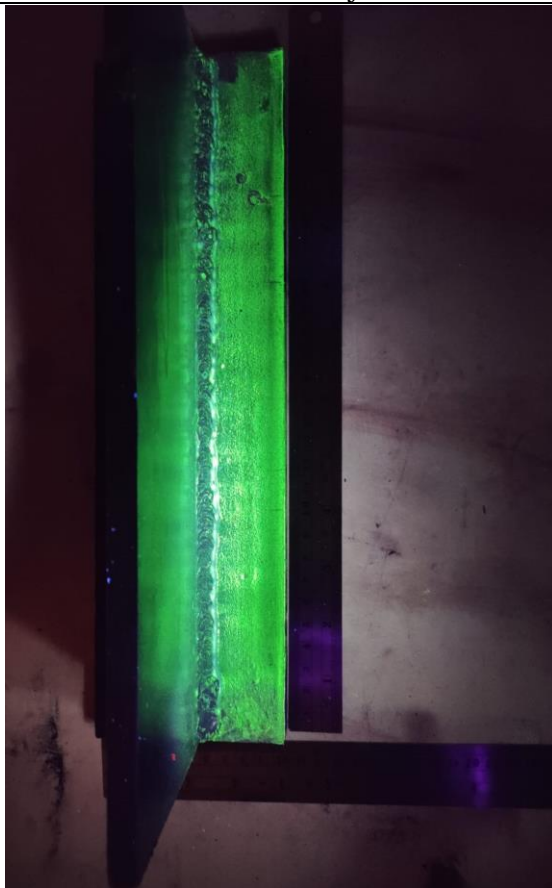




7. Realización de la inspección y evaluación de discontinuidades bajo luz UV



8. Limpieza posterior a inspección del elemento



**3.14.4. Ensayo de Inspección Visual y ensayo de Partículas Magnéticas Secas y Húmedas fluorescentes con junta a tope de ranura en V (380mm).**

INFORME DE INSPECCIÓN						
<b>Datos informativos</b>				<b>Código de informe:</b>	IN - P - 01A	
<b>Responsables:</b>	Fuentes Jose Luis, Núñez Jesús			<b>Fecha de informe:</b>		
<b>Solicitante:</b>	UTA - FICM			<b>Inspección:</b>	Fuentes J., Núñez J.	
<b>Tipo de junta de soldadura:</b>				Junta a tope (B)		
<b>Espesor:</b>	12 mm			<b>Procedimiento de soldadura</b>		
<b>Metal base:</b>	Acero ASTM A36			<b>Proceso:</b>	SMAW	
<b>Longitud:</b>	385 mm			<b>Electrodo:</b>	E 7018	
<b>Diametro / Ancho:</b>	55 mm			<b>Posición:</b>	1 G	
<b>Norma:</b>	AWS D1.1 - 2020			<b>Tipo:</b>	Mecanizado	
<b>Detalles de la junta (Bosquejo)</b>				<b>Detalles de la junta</b>		
				<b>Tipo de ranura:</b>	Ranura en V	
				<b>Ángulo de ranura:</b>	60 grados	
				<b>Abertura de raíz:</b>	2 mm	
				<b>Cara de la raíz:</b>	3 mm	
				<b>Otros:</b>		
<b>Tipo de pruebas NDT aplicadas en la inspección</b>						
<b>Inspección Visual (VT)</b>	X	<b>Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>				
		<b>Método seco</b>	X	<b>Método húmedo</b>	<b>Color</b>	
				<b>Fluorescente</b>	X	
<b>Equipo utilizado en la inspección por ensayo de partículas magnéticas</b>						
Unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT	X	Yugo magnético		Otros:		
<b>Propiedades clave de Unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT</b>						

<b>Voltaje de entrada</b>	<b>220 V</b>	<b>Voltaje de salida</b>	<b>8 V</b>	<b>Ciclo de trabajo máximo disparo /descanso</b>	<b>10 s ON / 10 s OFF</b>	<b>Amperaje máximo de salida</b>	<b>1200 A</b>
<b>Técnica de magnetización utilizada en el equipo de banco de pruebas MT para la inspección por ensayo de partículas magnéticas</b>							
<b>Magnetización Circular Directa</b>		<b>Magnetización Circular Inducida por un Conductor Central</b>		<b>Magnetización Longitudinal Inducida con una bobina de núcleo de aire</b>			X
		Ø conductor central					
		L conductor central					
Corriente utilizada		Corriente utilizada		Corriente utilizada			1145 A
Número de disparos por ciclo		Número de disparos por ciclo		Número de disparos por ciclo			2
Tiempo de disparo magnético		Tiempo de disparo magnético		Tiempo de disparo magnético			3
Tiempo de descanso/corte de corriente		Tiempo de descanso/corte de corriente		Tiempo de descanso/corte de corriente			5
Ciclos de magnetización utilizados		Ciclos de magnetización utilizados		Ciclos de magnetización utilizados			4
<b>Técnica de desmagnetización</b>		<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>Limpieza posterior a ensayo</b>		<b>SI</b>	<b>NO</b>
			X			X	
<b>Equipo y tecnología utilizada por el tipo de prueba NDT aplicada en la inspección</b>							
<b>Inspección Visual (VT)</b>	<b>Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>						
	<b>Método seco</b>			<b>Método húmedo (Color y Fluorescente)</b>			
<b>Equips de iluminación</b>							
Luz Natural		Luz Natural			Lámpara UV		
<b>Equipos de visión</b>							
Lupa		Lupa			N/A		

<b>Equipos de medida</b>			
Calibrador, Regla	Calibrador, Regla	Calibrador, Regla	
<b>Equipo y tecnología específica utilizada en el procedimiento de Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>			
<b>Aplicación de partículas</b>	<b>Método seco</b>	<b>Método húmedo</b>	
		<b>Color</b>	<b>Fluorescente</b>
<b>1</b>	<b>Limpieza inicial del elemento a inspeccionar</b>		
<b>Denominación</b>	Limpiador para END	-	Limpiador para END
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	SKC-S	-	SKC-S
<b>Aplicación</b>	Aerosol	-	Aerosol
<b>Tiempo de aplicación</b>	1 minuto	-	1 Minuto
<b>Tipo de secado</b>	A temperatura ambiente	-	A temperatura ambiente
<b>Tiempo de secado</b>	5 minutos	-	5 minutos
<b>Materiales extra de limpieza</b>	Cepillo, guaipe, grata		Cepillo, guaipe, grata
<b>Observaciones</b>			
<b>2</b>	<b>Aplicación de pintura de contraste</b>		
<b>Denominación</b>	N/A	-	Pintura de contraste blanca
<b>Marca</b>	N/A	-	Met - L - Check
<b>Modelo</b>	N/A	-	WCP - 81
<b>Aplicación</b>	N/A	-	Aerosol
<b>Distancia de aplicación</b>	N/A	-	20 cm
<b>Velocidad de aplicación</b>	N/A	-	Constante

<b>Observaciones</b>			
<b>3</b>	<b>Aplicación de partículas</b>		
<b>Denominación</b>	Partículas magnéticas para método seco	-	Suspensión de Partículas Magnéticas Fluorescentes Base Aceite
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	Met - L - Check
<b>Modelo</b>	8 -A RED	-	MPI - 1400 B
<b>Aplicación</b>	Polvo	-	Aerosol
<b>Distancia de aplicación</b>	2 cm	-	20 cm
<b>Velocidad de aplicación</b>	Constante	-	Constante
<b>Observaciones</b>			
<b>4</b>	<b>Equipo de inspección</b>		
<b>Denominación</b>	Banco de pruebas MT	-	Banco de pruebas MT
<b>Marca</b>	N/A	-	N/A
<b>Modelo</b>	N/A	-	N/A
<b>Observaciones</b>			

<b>5</b>	<b>Medio de inspección</b>		
<b>Denominación</b>	Luz natural	-	Lámpara UV
<b>Marca</b>	N/A	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	N/A	-	ZB 100F
<b>Aplicación</b>	N/A	-	Manual
<b>Observaciones</b>			
<b>6</b>	<b>Limpieza posterior a inspección del elemento</b>		
<b>Denominación</b>	Limpiador para END	-	Limpiador para END
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	SKC-S	-	SKC-S
<b>Aplicación</b>	Aerosol	-	Aerosol
<b>Tiempo de aplicación</b>	1 minuto	-	1 Minuto
<b>Tipo de secado</b>	A temperatura ambiente	-	A temperatura ambiente
<b>Tiempo de secado</b>	5 minutos	-	5 minutos
<b>Materiales extra de limpieza</b>	Cepillo, guaipe, grata		Cepillo, guaipe, grata
<b>Observaciones</b>			

## Visualización de discontinuidades

### Inspección visual



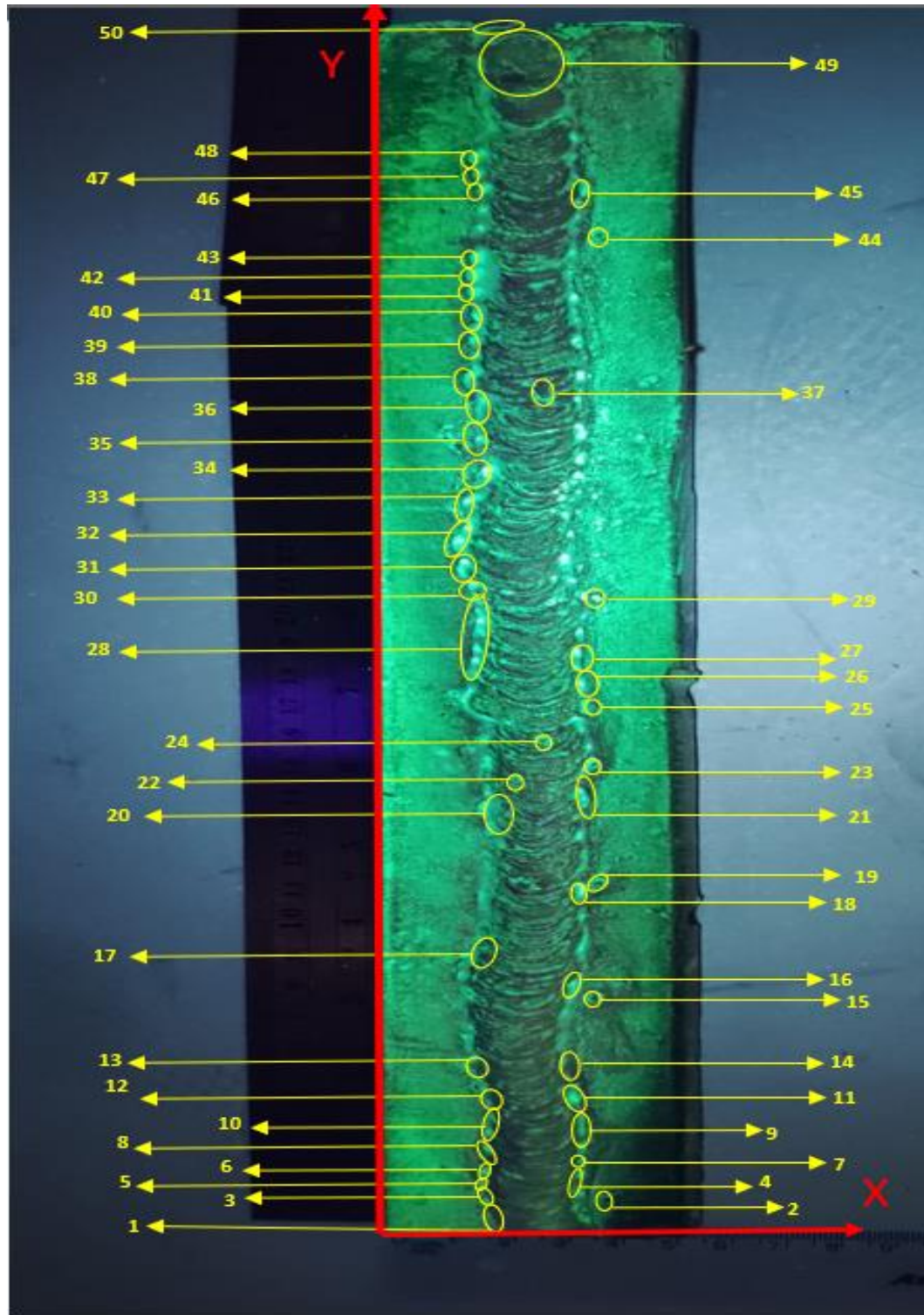


**Ensayo de Partículas Magnéticas (MT) - Método seco - Técnica de Magnetización Longitudinal Inducida con una bobina de núcleo de aire**





**Ensayo de Partículas Magnéticas (MT) - Método húmedo - Técnica de Magnetización Longitudinal Inducida con una bobina de núcleo de aire**



RESULTADOS OBTENIDOS								
Ensayo VT	Ensayo MT partículas magnéticas secas	Ensayo MT partículas magnéticas húmedas fluorescentes	Discontinuidad	Coordenadas de ubicación (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resultados AWS D1.1:2020 Tabla 8.1 Criterios de aceptación de la inspección visual	
				(X;Y)			Aceptación	Rechazo
Ítem								
-	-	1	Socavadura	(15;1)	4	N/A		X
1	1	2	Salpicadura	(39;10)	N/A	2	X	
-	-	3	Socavadura	(12;11)	6	N/A		X
-	-	4	Socavadura	(31;16)	5	N/A		X
-	-	5	Socavadura	(12;18)	5	N/A		X
-	-	6	Socavadura	(11;19)	3	N/A		
-	-	7	Socavadura	(31;19)	2	N/A	X	
-	-	8	Socavadura	(12;20)	3	N/A		X
-	-	9	Socavadura	(31;22)	5	N/A		X
-	-	10	Socavadura	(19;24)	3	N/A		X
-	-	11	Socavadura	(31;26)	6	N/A		X
-	2	12	Socavadura	(12;26)	3	N/A		X
-	3	13	Socavadura	(17;33)	2	N/A	X	
2	4	14	Socavadura	(35;38)	5	N/A		X
3	-	-	Salpicadura	(43;68)	N/A	1	X	
4	5	15	Salpicadura	(36;76)	N/A	3	X	
-	-	16	Socavadura	(31;82)	7	N/A		X
5	6	17	Socavadura	(12;87)	6	N/A		X
-	7	18	Socavadura	(33;110)	5	N/A		X
6	8	19	Salpicadura	(36;113)	N/A	2	X	
7	9	20	Socavadura	(18; 131)	6	N/A		X
-	10	21	Socavadura	(34; 139)	9	N/A		X

RESULTADOS OBTENIDOS								
Ensayo VT	Ensayo MT partículas magnéticas secas	Ensayo MT partículas magnéticas húmedas fluorescentes	Discontinuidad	Coordenadas de ubicación (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resultados AWS D1.1:2020 Tabla 8.1 Criterios de aceptación de la inspección visual	
				(X;Y)			Aceptación	Rechazo
Ítem								
-	11	22	Salpicadura	(22;151)	N/A	2	X	
8	12	23	Salpicadura	(36; 152)	N/A	2	X	
9	13	24	Salpicadura	(26;160)	N/A	1	X	
-	-	25	Socavadura	(34;172)	5	N/A		X
-	-	26	Socavadura	(33;178)	5	N/A		X
-	-	27	Socavadura	(36;184)	7	N/A		X
10	14	28	Socavadura	(19;177)	22	N/A		X
11	15	29	Salpicadura	(36;208)	N/A	2	X	
-	-	30	Socavadura	(18;206)	4	N/A		X
-	16	31	Socavadura	(16;209)	5	N/A		X
12	17	32	Socavadura	(12;212)	7	N/A		X
13	18	33	Socavadura	(11;222)	8	N/A		X
14	19	34	Socavadura	(19;226)	5	N/A		X
15	20	35	Socavadura	(15;240)	11	N/A		X
-	21	36	Socavadura	(18;258)	9	N/A		X
-	22	37	Socavadura	(19;269)	8	N/A		X
-	23	38	Salpicadura	(26;274)	N/A	3	X	
16	24	39	Socavadura	(13;276)	10	N/A		X
-	25	40	Socavadura	(17;290)	8	N/A		X
17	26	41	Socavadura	(15;304)	6	N/A		X
18	27	42	Socavadura	(14;310)	5	N/A		X
19	28	43	Socavadura	(15;316)	5	N/A		X

RESULTADOS OBTENIDOS								
Ensayo VT	Ensayo MT partículas magnéticas secas	Ensayo MT partículas magnéticas húmedas fluorescentes	Discontinuidad	Coordenadas de ubicación (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resultados AWS D1.1:2020 Tabla 8.1 Criterios de aceptación de la inspección visual	
				(X;Y)			Aceptación	Rechazo
Ítem								
-	-	44	Salpicadura	(35;326)	2	N/A	X	
-	-	45	Socavadura	(35;338)	7	N/A		X
-	29	46	Socavadura	(19;339)	4	N/A		X
-	30	47	Socavadura	(19;344)	3	N/A		X
-	31	48	Socavadura	(18;348)	3	N/A		X
20	32	49	Cráter	(16;376)	16	N/A	X	
-	-	50	Grieta transversal	(18;381)	9	N/A		X
Nota:	En total se han aceptado 13 discontinuidades y se han rechazado 37 discontinuidades							

**3.14.5. Ensayo de Inspección Visual y ensayo de Partículas Magnéticas Secas y Húmedas fluorescentes con junta a tope de ranura en V (180mm).**

INFORME DE INSPECCIÓN					
Datos informativos			Código de informe:	IN – P-02B	
Responsables:	Fuentes Jose Luis, Núñez Jesús		Fecha de informe:		
Solicitante:	UTA - FICM		Inspección:	Fuentes J., Núñez J.	
Tipo de junta de soldadura:			Junta a tope (B)		
Espesor:	12 mm		Procedimiento de soldadura		
Metal base:	Acero ASTM A36		Proceso:	SMAW	
Longitud:	180 mm		Electrodo:	E 7018	
Diametro / Ancho:	55 mm		Posición:	1 G	
Norma:	AWS D1.1 - 2020		Tipo:	Mecanizado	
Detalles de la junta (Bosquejo)			Detalles de la junta		
			Tipo de ranura:	Ranura en V	
			Ángulo de ranura:	60 grados	
			Abertura de raíz:	2 mm	
			Cara de la raíz:	3 mm	
			Otros:		
<b>Tipo de pruebas NDT aplicadas en la inspección</b>					
Inspección Visual (VT)	X	<b>Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>			
		Método seco	X	Método húmedo	Color
				Fluorescente	X
<b>Equipo utilizado en la inspección por ensayo de partículas magnéticas</b>					
Unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT	X	Yugo magnético		Otros:	
<b>Propiedades clave de Unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT</b>					

<b>Voltaje de entrada</b>	<b>220 V</b>	<b>Voltaje de salida</b>	<b>8 V</b>	<b>Ciclo de trabajo máximo disparo /descanso</b>	<b>10 s ON / 10 s OFF</b>	<b>Amperaje máximo de salida</b>	<b>1200 A</b>
<b>Técnica de magnetización utilizada en el equipo de banco de pruebas MT para la inspección por ensayo de partículas magnéticas</b>							
<b>Magnetización Circular Directa</b>	X	<b>Magnetización Circular Inducida por un Conductor Central</b>		<b>Magnetización Longitudinal Inducida con una bobina de núcleo de aire</b>			
		Ø conductor central					
		L conductor central					
Corriente utilizada	800 A	Corriente utilizada		Corriente utilizada			
Número de disparos por ciclo	2	Número de disparos por ciclo		Número de disparos por ciclo			
Tiempo de disparo magnético	4 s	Tiempo de disparo magnético		Tiempo de disparo magnético			
Tiempo de descanso/corte de corriente	2 s	Tiempo de descanso/corte de corriente		Tiempo de descanso/corte de corriente			
Ciclos de magnetización utilizados	3	Ciclos de magnetización utilizados		Ciclos de magnetización utilizados			
<b>Técnica de desmagnetización</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>Limpieza posterior a ensayo</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>		
		X			X		
<b>Equipo y tecnología utilizada por el tipo de prueba NDT aplicada en la inspección</b>							
<b>Inspección Visual (VT)</b>	<b>Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>						
		<b>Método seco</b>			<b>Método húmedo (Color y Fluorescente)</b>		
<b>Equips de iluminación</b>							
Luz Natural	Luz Natural			Lámpara UV			
<b>Equipos de visión</b>							
Lupa	Lupa			N/A			

<b>Equipos de medida</b>			
Calibrador, Regla	Calibrador, Regla	Calibrador, Regla	
<b>Equipo y tecnología específica utilizada en el procedimiento de Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>			
<b>Aplicación de partículas</b>	<b>Método seco</b>	<b>Método húmedo</b>	
		<b>Color</b>	<b>Fluorescente</b>
<b>1</b>	<b>Limpieza inicial del elemento a inspeccionar</b>		
<b>Denominación</b>	Limpiador para END	-	Limpiador para END
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	SKC-S	-	SKC-S
<b>Aplicación</b>	Aerosol	-	Aerosol
<b>Tiempo de aplicación</b>	1 minuto	-	1 Minuto
<b>Tipo de secado</b>	A temperatura ambiente	-	A temperatura ambiente
<b>Tiempo de secado</b>	5 minutos	-	5 minutos
<b>Materiales extra de limpieza</b>	Cepillo, guaipe, grata		Cepillo, guaipe, grata
<b>Observaciones</b>			
<b>2</b>	<b>Aplicación de pintura de contraste</b>		
<b>Denominación</b>	N/A	-	Pintura de contraste blanca
<b>Marca</b>	N/A	-	Met - L - Check
<b>Modelo</b>	N/A	-	WCP - 81
<b>Aplicación</b>	N/A	-	Aerosol
<b>Distancia de aplicación</b>	N/A	-	20 cm
<b>Velocidad de aplicación</b>	N/A	-	Constante

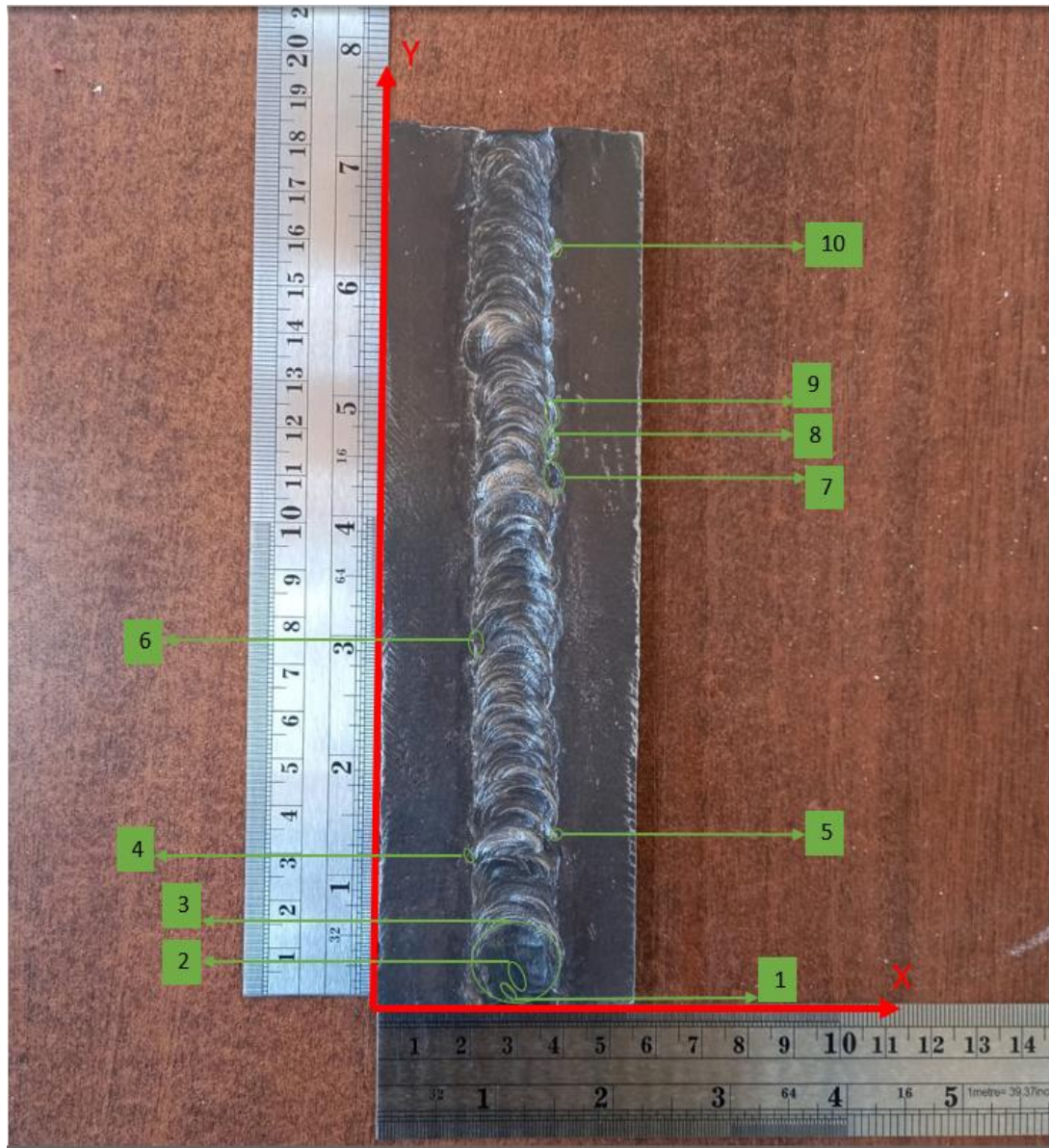
<b>Observaciones</b>			
<b>3</b>	<b>Aplicación de partículas</b>		
<b>Denominación</b>	Partículas magnéticas para método seco	-	Suspensión de Partículas Magnéticas Fluorescentes Base Aceite
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	Met - L - Check
<b>Modelo</b>	8 -A RED	-	MPI - 1400 B
<b>Aplicación</b>	Polvo	-	Aerosol
<b>Distancia de aplicación</b>	2 cm	-	20 cm
<b>Velocidad de aplicación</b>	Constante	-	Constante
<b>Observaciones</b>			
<b>4</b>	<b>Equipo de inspección</b>		
<b>Denominación</b>	Banco de pruebas MT	-	Banco de pruebas MT
<b>Marca</b>	N/A	-	N/A
<b>Modelo</b>	N/A	-	N/A
<b>Observaciones</b>			



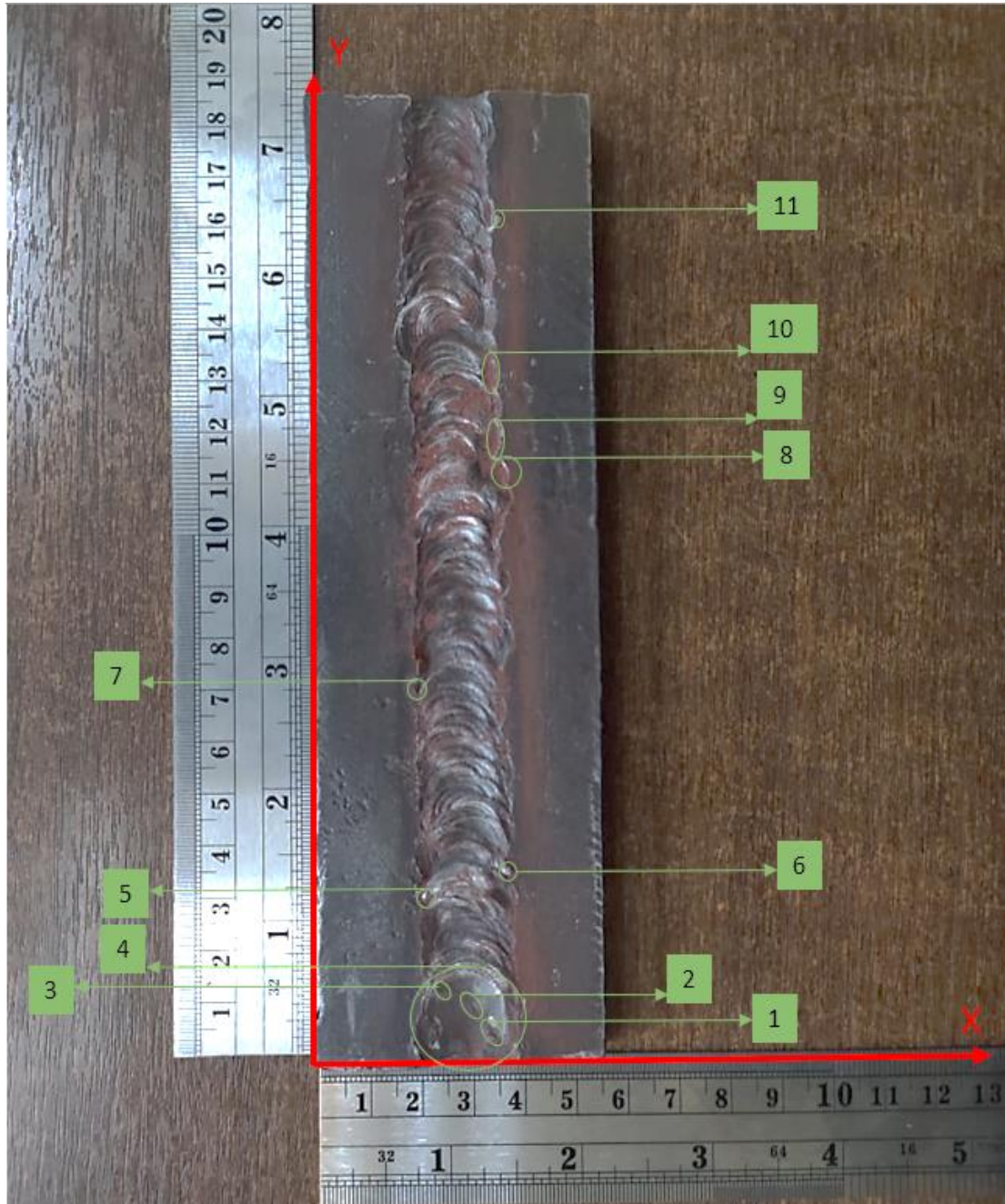
<b>5</b>	<b>Medio de inspección</b>		
<b>Denominación</b>	Luz natural	-	Lámpara UV
<b>Marca</b>	N/A	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	N/A	-	ZB 100F
<b>Aplicación</b>	N/A	-	Manual
<b>Observaciones</b>			
<b>6</b>	<b>Limpieza posterior a inspección del elemento</b>		
<b>Denominación</b>	Limpiador para END	-	Limpiador para END
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	SKC-S	-	SKC-S
<b>Aplicación</b>	Aerosol	-	Aerosol
<b>Tiempo de aplicación</b>	1 minuto	-	1 Minuto
<b>Tipo de secado</b>	A temperatura ambiente	-	A temperatura ambiente
<b>Tiempo de secado</b>	5 minutos	-	5 minutos
<b>Materiales extra de limpieza</b>	Cepillo, guaipe, grata		Cepillo, guaipe, grata
<b>Observaciones</b>			

## Visualización de discontinuidades

### Inspección visual

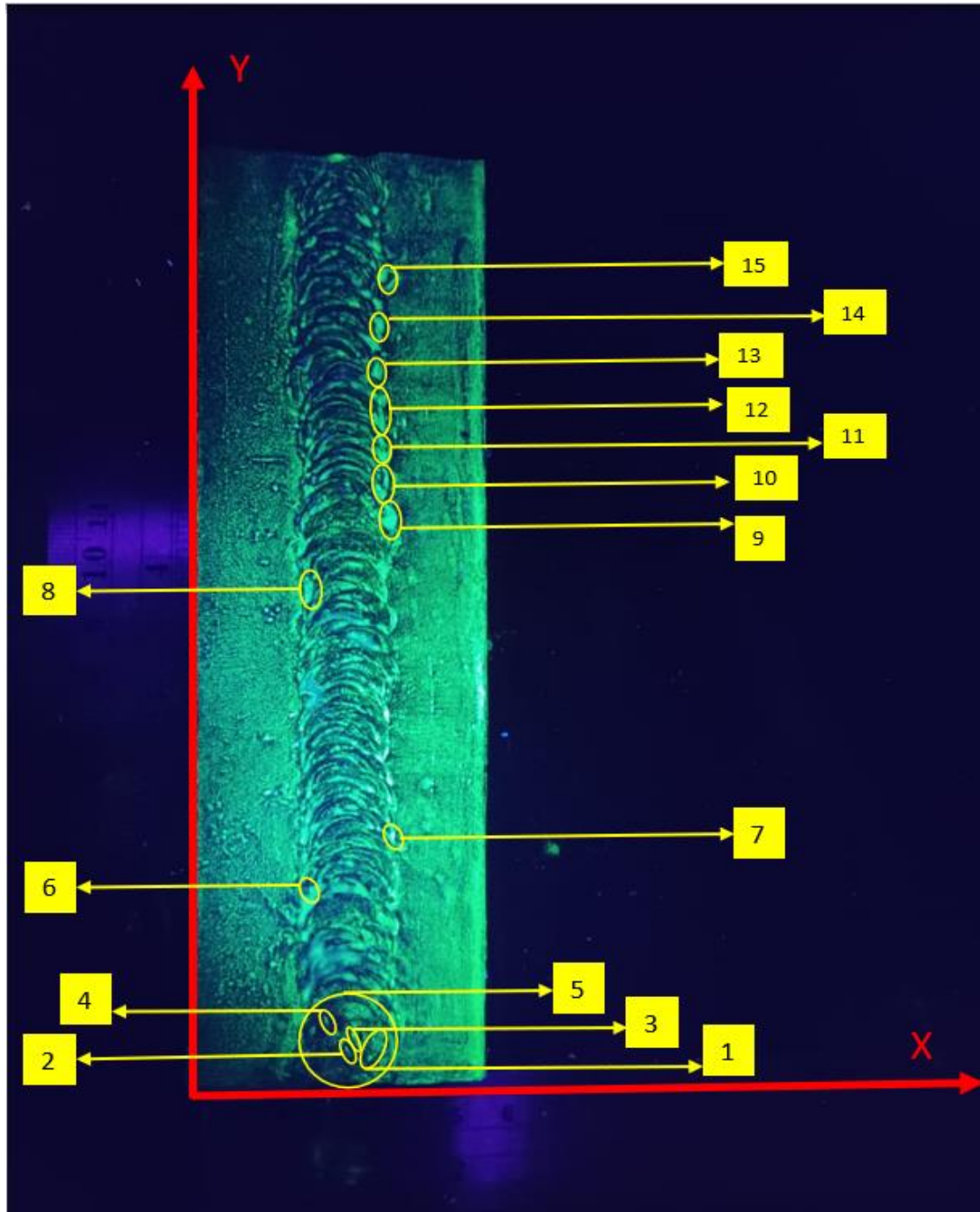


Ensayo de Partículas Magnéticas (MT) - Método seco - Técnica de Magnetización Circular Directa





Ensayo de Partículas Magnéticas (MT) - Método húmedo - Técnica de Magnetización Circular Directa



RESULTADOS OBTENIDOS								
Ensayo VT	Ensayo MT partículas magnéticas secas	Ensayo MT partículas magnéticas húmedas fluorescentes	Discontinuidad	Coordenadas de ubicación (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resultados AWS D1.1:2020 Tabla 8.1 Criterios de aceptación de la inspección visual	
				(X;Y)			Aceptación	Rechazo
Ítem								
1	-	-	Grieta longitudinal	(31;2)	3	N/A		X
-	1	1	Grieta de cráter	(35;6)	4	N/A		X
-	-	2	Grieta longitudinal	(29;5)	3	N/A		X
2	-	-	Grieta longitudinal	(32;2)	5	N/A		X
-	2	3	Grieta longitudinal	(31;12)	5	N/A		X
-	3	4	Grieta longitudinal	(25;14)	3	N/A		X
3	4	5	Cráter	(18; 0)	17	N/A	X	
4	5	6	Salpicadura	(21; 29)	N/A	3	X	
5	6	7	Salpicadura	(32;35)	N/A	2	X	
6	7	8	Socavado	(18;67)	4	N/A		X
7	8	9	Socavado	(35;110)	5	N/A		X
8	9	10	Socavado	(33;115)	8	N/A		X
9	-	11	Socavado	(36;121)	5	N/A		X
-	10	12	Socavado	(32;128)	7	N/A		X
	-	13	Socavado	(35;123)	6	N/A		X
	-	14	Socavado	(32;149)	5	N/A		X
10	11	15	Salpicadura	(34;160)	N/A	2	X	
<b>Nota:</b>	En total se han aceptado 4 discontinuidades y se han rechazado 13 discontinuidades							

**3.14.6. Ensayo de Inspección Visual y ensayo de Partículas Magnéticas Secas Húmedas fluorescentes con soldadura en ranura con bisel simple, junta en T (300mm).**

<b>INFORME DE INSPECCIÓN</b>					
<b>Datos informativos</b>			<b>Código de informe:</b>		IN - P - 02A
<b>Responsables:</b>	Fuentes Jose Luis, Núñez Jesús		<b>Fecha de informe:</b>		
<b>Solicitante:</b>	UTA - FICM		<b>Inspección:</b>	Fuentes J., Núñez J.	
<b>Tipo de junta de soldadura:</b>			Junta en T (T)		
<b>Espesor:</b>	12 mm		<b>Procedimiento de soldadura</b>		
<b>Metal base:</b>	Acero ASTM A36		<b>Proceso:</b>	SMAW	
<b>Longitud:</b>	300 mm		<b>Electrodo:</b>	E 7018	
<b>Diametro / Ancho:</b>	100 mm		<b>Posición:</b>	1 F	
<b>Norma:</b>	AWS D1.1 - 2020		<b>Tipo:</b>	Mecanizado	
<b>Detalles de la junta (Bosquejo)</b>			<b>Detalles de la junta</b>		
			<b>Tipo de ranura:</b>	Bisel simple	
			<b>Ángulo de ranura:</b>	45 grados	
			<b>Abertura de raíz:</b>	0 mm	
			<b>Cara de la raíz:</b>	3 mm	
			<b>Otros:</b>		
<b>Tipo de pruebas NDT aplicadas en la inspección</b>					
<b>Inspección Visual (VT)</b>	X	<b>Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>			
		<b>Método seco</b>	X	<b>Método húmedo</b>	<b>Color</b>
				<b>Fluorescente</b>	X
<b>Equipo utilizado en la inspección por ensayo de partículas magnéticas</b>					
Unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT	X	Yugo magnético		Otros:	
<b>Propiedades clave de Unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT</b>					

<b>Voltaje de entrada</b>	<b>220 V</b>	<b>Voltaje de salida</b>	<b>8 V</b>	<b>Ciclo de trabajo máximo disparo /descanso</b>	<b>10 s ON / 10 s OFF</b>	<b>Amperaje máximo de salida</b>	<b>1200 A</b>
<b>Técnica de magnetización utilizada en el equipo de banco de pruebas MT para la inspección por ensayo de partículas magnéticas</b>							
<b>Magnetización Circular Directa</b>		<b>Magnetización Circular Inducida por un Conductor Central</b>		<b>Magnetización Longitudinal Inducida con una bobina de núcleo de aire</b>			X
		Ø conductor central					
		L conductor central					
Corriente utilizada		Corriente utilizada		Corriente utilizada			1100 A
Número de disparos por ciclo		Número de disparos por ciclo		Número de disparos por ciclo			2
Tiempo de disparo magnético		Tiempo de disparo magnético		Tiempo de disparo magnético			4 s
Tiempo de descanso/corte de corriente		Tiempo de descanso/corte de corriente		Tiempo de descanso/corte de corriente			5 s
Ciclos de magnetización utilizados		Ciclos de magnetización utilizados		Ciclos de magnetización utilizados			4
<b>Técnica de desmagnetización</b>		<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>Limpieza posterior a ensayo</b>		<b>SI</b>	<b>NO</b>
			X			X	
<b>Equipo y tecnología utilizada por el tipo de prueba NDT aplicada en la inspección</b>							
<b>Inspección Visual (VT)</b>	<b>Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>						
		<b>Método seco</b>			<b>Método húmedo (Color y Fluorescente)</b>		
<b>Equips de iluminación</b>							
Luz Natural	Luz Natural			Lámpara UV			
<b>Equipos de visión</b>							
Lupa	Lupa			N/A			

<b>Equipos de medida</b>			
Calibrador, Regla	Calibrador, Regla	Calibrador, Regla	
<b>Equipo y tecnología específica utilizada en el procedimiento de Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>			
<b>Aplicación de partículas</b>	<b>Método seco</b>	<b>Método húmedo</b>	
		<b>Color</b>	<b>Fluorescente</b>
<b>1</b>	<b>Limpieza inicial del elemento a inspeccionar</b>		
<b>Denominación</b>	Limpiador para END	-	Limpiador para END
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	SKC-S	-	SKC-S
<b>Aplicación</b>	Aerosol	-	Aerosol
<b>Tiempo de aplicación</b>	1 minuto	-	1 Minuto
<b>Tipo de secado</b>	A temperatura ambiente	-	A temperatura ambiente
<b>Tiempo de secado</b>	5 minutos	-	5 minutos
<b>Materiales extra de limpieza</b>	Cepillo, guaipe, grata		Cepillo, guaipe, grata
<b>Observaciones</b>			
<b>2</b>	<b>Aplicación de pintura de contraste</b>		
<b>Denominación</b>	N/A	-	Pintura de contraste blanca
<b>Marca</b>	N/A	-	Met - L - Check
<b>Modelo</b>	N/A	-	WCP - 81
<b>Aplicación</b>	N/A	-	Aerosol
<b>Distancia de aplicación</b>	N/A	-	20 cm
<b>Velocidad de aplicación</b>	N/A	-	Constante

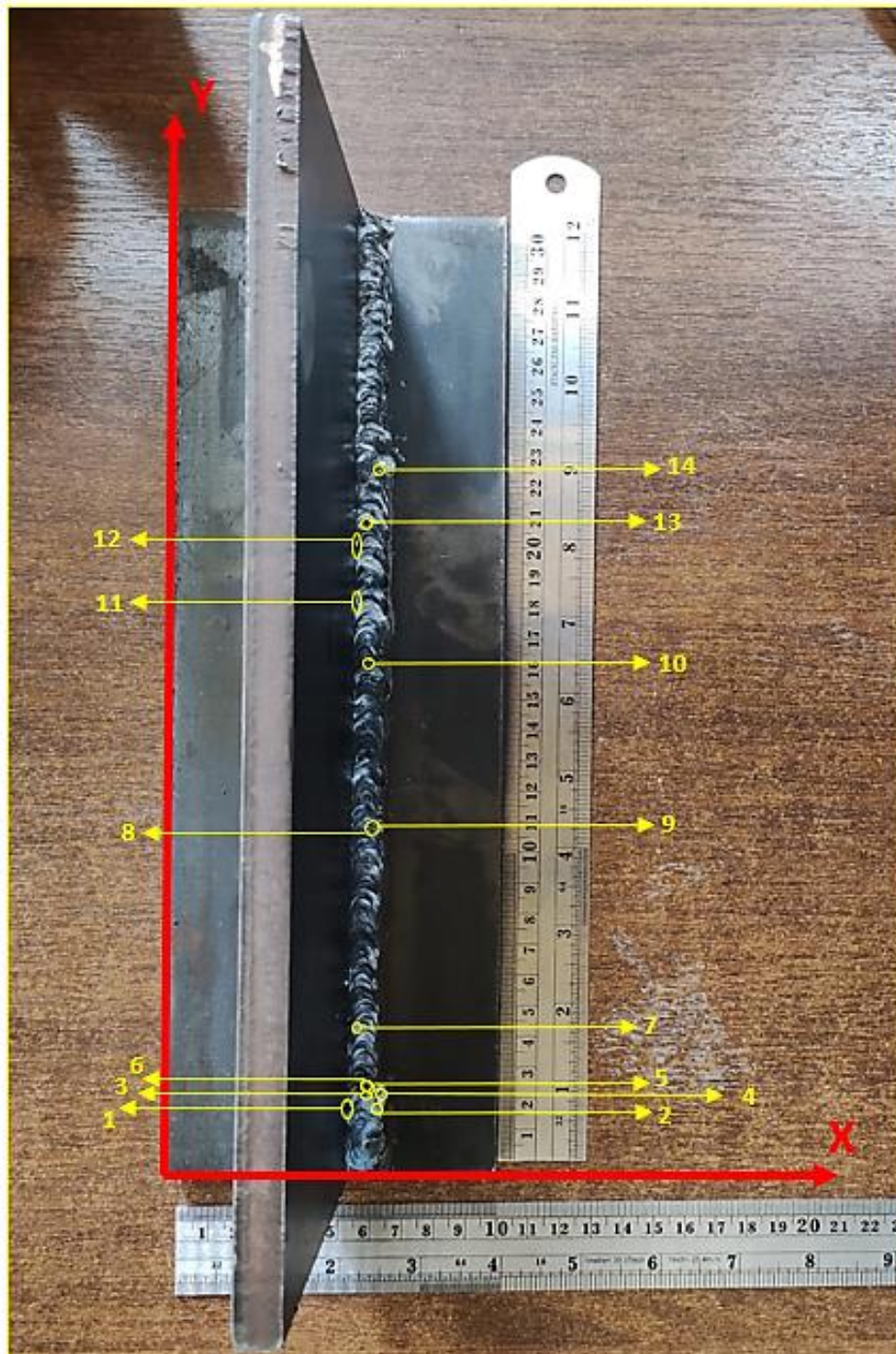


<b>Observaciones</b>			
<b>3</b>	<b>Aplicación de partículas</b>		
<b>Denominación</b>	Partículas magnéticas para método seco	-	Suspensión de Partículas Magnéticas Fluorescentes Base Aceite
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	Met - L - Check
<b>Modelo</b>	8 -A RED	-	MPI - 1400 B
<b>Aplicación</b>	Polvo	-	Aerosol
<b>Distancia de aplicación</b>	2 cm	-	20 cm
<b>Velocidad de aplicación</b>	Constante	-	Constante
<b>Observaciones</b>			
<b>4</b>	<b>Equipo de inspección</b>		
<b>Denominación</b>	Banco de pruebas MT	-	Banco de pruebas MT
<b>Marca</b>	N/A	-	N/A
<b>Modelo</b>	N/A	-	N/A
<b>Observaciones</b>			

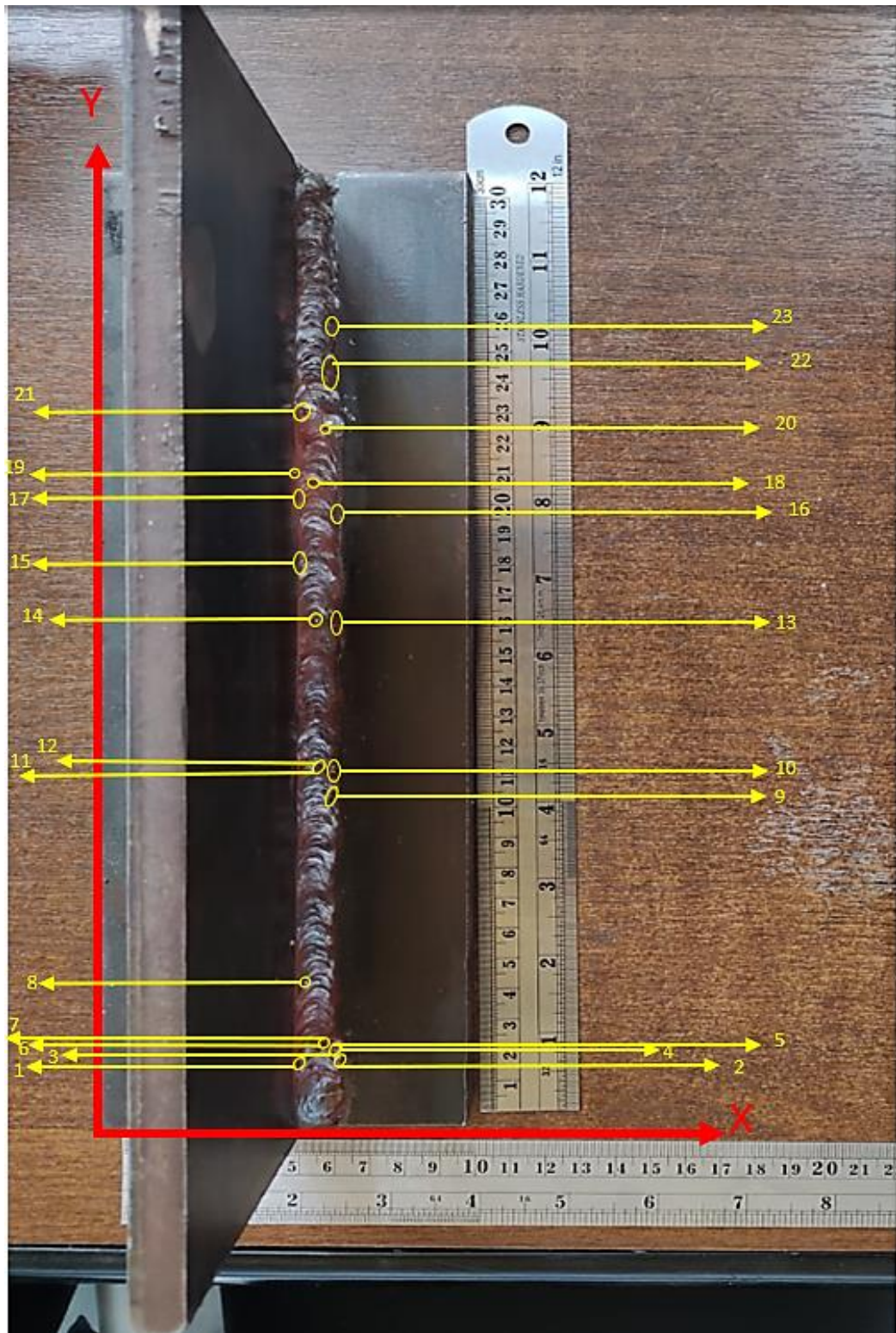
<b>5</b>	<b>Medio de inspección</b>		
<b>Denominación</b>	Luz natural	-	Lámpara UV
<b>Marca</b>	N/A	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	N/A	-	ZB 100F
<b>Aplicación</b>	N/A	-	Manual
<b>Observaciones</b>			
<b>6</b>	<b>Limpieza posterior a inspección del elemento</b>		
<b>Denominación</b>	Limpiador para END	-	Limpiador para END
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	SKC-S	-	SKC-S
<b>Aplicación</b>	Aerosol	-	Aerosol
<b>Tiempo de aplicación</b>	1 minuto	-	1 Minuto
<b>Tipo de secado</b>	A temperatura ambiente	-	A temperatura ambiente
<b>Tiempo de secado</b>	5 minutos	-	5 minutos
<b>Materiales extra de limpieza</b>	Cepillo, guaipe, grata		Cepillo, guaipe, grata
<b>Observaciones</b>			

## Visualización de discontinuidades

### Inspección visual

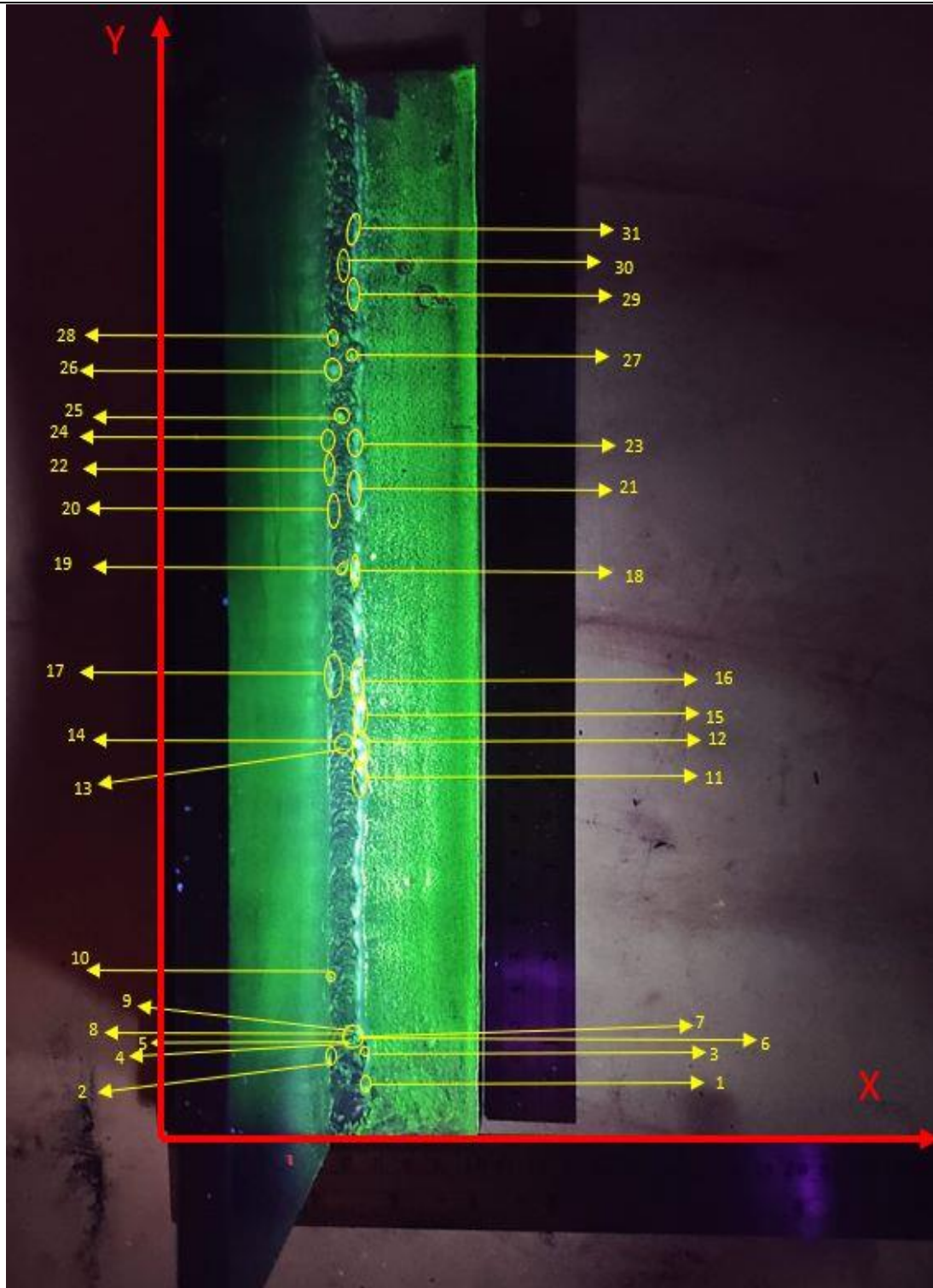


**Ensayo de Partículas Magnéticas (MT) - Método seco - Técnica de Magnetización Longitudinal Inducida con una bobina de núcleo de aire**





**Ensayo de Partículas Magnéticas (MT) - Método húmedo - Técnica de Magnetización Longitudinal Inducida con una bobina de núcleo de aire**



RESULTADOS OBTENIDOS								
Ensayo VT	Ensayo MT partículas magnéticas secas	Ensayo MT partículas magnéticas húmedas fluorescentes	Discontinuidad	Coordenadas de ubicación (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resultados AWS D1.1:2020 Tabla 8.1 Criterios de aceptación de la inspección visual	
				(X;Y)			Aceptación	Rechazo
Ítem								
-	-	1	Socavadura	(60;6)	4	N/A		X
1	1	2	Socavadura	(52;15)	5	N/A		X
2	2	3	Porosidad	(62;17)	N/A	1	X	
-	3	4	Porosidad	(59;17)	N/A	1	X	
3	-	5	Porosidad	(57; 20)	N/A	1	X	
4	4	6	Porosidad	(63; 21)	N/A	0,5	X	
-	5	7	Porosidad	(59;21)	N/A	0,5	X	
5	6	8	Porosidad	(60;23)	N/A	1	X	
6	7	9	Porosidad	(58;23)	N/A	1	X	
7	8	10	Salpicadura	(56;44)	N/A	1	X	
-	9	11	Socavadura	(58;100)	5	N/A		X
-	10	12	Socavadura	(58;110)	6	N/A		X
8	11	13	Porosidad	(61;112)	N/A	1	X	
9	12	14	Porosidad	(62;113)	N/A	1	X	
-	-	15	Socavadura	(62;116)	5	N/A		X
-	-	16	Socavadura	(59;122)	7	N/A		X
-	-	17	Socavadura	(52;124)	7	N/A		X
-	13	18	Socavadura	(60;156)	10	N/A		X
10	14	19	Salpicadura	(59;163)	N/A	2	X	
11	15	20	Socavadura	(56;179)	6	N/A		X

RESULTADOS OBTENIDOS								
Ensayo VT	Ensayo MT partículas magnéticas secas	Ensayo MT partículas magnéticas húmedas fluorescentes	Discontinuidad	Coordenadas de ubicación (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resultados AWS D1.1:2020 Tabla 8.1 Criterios de aceptación de la inspección visual	
				(X;Y)			Aceptación	Rechazo
Ítem								
-	-	21	Socavadura	(59;183)	5	N/A		X
-	-	22	Socavadura	(55;189)	5	N/A		X
-	16	23	Socavadura	(60;194)	5	N/A		X
12	17	24	Socavadura	(57;199)	5	N/A		X
13	18	25	Porosidad	(58;208)	N/A	2	X	
-	19	-	Salpicadura	(48;210)	N/A	2		X
-	-	26	Socavadura	(57;215)	7	N/A		X
14	20	27	Porosidad	(63;225)	N/A	1,5	X	
-	21	28	Socavadura	(53;227)	4	N/A		X
-	22	29	Socavadura	(57;238)	10	N/A		X
-	-	30	Socavadura	(57;249)	6	N/A		X
-	23	31	Socavadura	(58;256)	6	N/A		X
<b>Nota:</b>	En total se han aceptado 13 discontinuidades y se han rechazado 19 discontinuidades							

**3.14.7. Ensayo de Inspección Visual y ensayo de Partículas Magnéticas Secas Húmedas fluorescentes con soldadura en ranura con bisel simple, junta en T (180 mm).**

<b>INFORME DE INSPECCIÓN</b>					
<b>Datos informativos</b>			<b>Código de informe:</b>		IN – P-02B
<b>Responsables:</b>	Fuentes Jose Luis, Núñez Jesús		<b>Fecha de informe:</b>		
<b>Solicitante:</b>	UTA - FICM		<b>Inspección:</b>	Fuentes J., Núñez J.	
<b>Tipo de junta de soldadura:</b>			Junta en T (T)		
<b>Espesor:</b>	10 mm		<b>Procedimiento de soldadura</b>		
<b>Metal base:</b>	Acero ASTM A36		<b>Proceso:</b>	SMAW	
<b>Longitud:</b>	180 mm		<b>Electrodo:</b>	E 7018	
<b>Diametro / Ancho:</b>	50 mm		<b>Posición:</b>	1 F	
<b>Norma:</b>	AWS D1.1 - 2020		<b>Tipo:</b>	Mecanizado	
<b>Detalles de la junta (Bosquejo)</b>			<b>Detalles de la junta</b>		
			<b>Tipo de ranura:</b>	Bisel simple	
			<b>Ángulo de ranura:</b>	45 grados	
			<b>Abertura de raiz:</b>	0 mm	
			<b>Cara de la raiz:</b>	3 mm	
			<b>Otros:</b>		
<b>Tipo de pruebas NDT aplicadas en la inspección</b>					
<b>Inspección Visual (VT)</b>	X	<b>Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>			
		<b>Método seco</b>	X	<b>Método húmedo</b>	<b>Color</b>
				<b>Fluorescente</b>	X
<b>Equipo utilizado en la inspección por ensayo de partículas magnéticas</b>					
Unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT	X	Yugo magnético		Otros:	



Propiedades clave de Unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT							
Voltaje de entrada	220 V	Voltaje de salida	8 V	Ciclo de trabajo máximo disparo /descanso	10 s ON / 10 s OFF	Amperaje máximo de salida	1200 A
Técnica de magnetización utilizada en el equipo de banco de pruebas MT para la inspección por ensayo de partículas magnéticas							
Magnetización Circular Directa	X	Magnetización Circular Inducida por un Conductor Central		Magnetización Longitudinal Inducida con una bobina de núcleo de aire			
		Ø conductor central					
		L conductor central					
Corriente utilizada	800 A	Corriente utilizada		Corriente utilizada			
Número de diapos por ciclo	2	Número de diapos por ciclo		Número de diapos por ciclo			
Tiempo de disparo magnético	4 s	Tiempo de disparo magnético		Tiempo de disparo magnético			
Tiempo de descanso/corte de corriente	5 s	Tiempo de descanso/corte de corriente		Tiempo de descanso/corte de corriente			
Ciclos de magnetización utilizados	3	Ciclos de magnetización utilizados		Ciclos de magnetización utilizados			
Técnica de desmagnetización	SI	NO	Limpieza posterior a ensayo	SI	NO	X	
		X					
Equipo y tecnología utilizada por el tipo de prueba NDT aplicada en la inspección							
Inspección Visual (VT)	Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)						
		Método seco	Método húmedo (Color y Fluorescente)				
Equipos de iluminación							
Luz Natural	Luz Natural			Lámpara UV			
Equipos de visión							

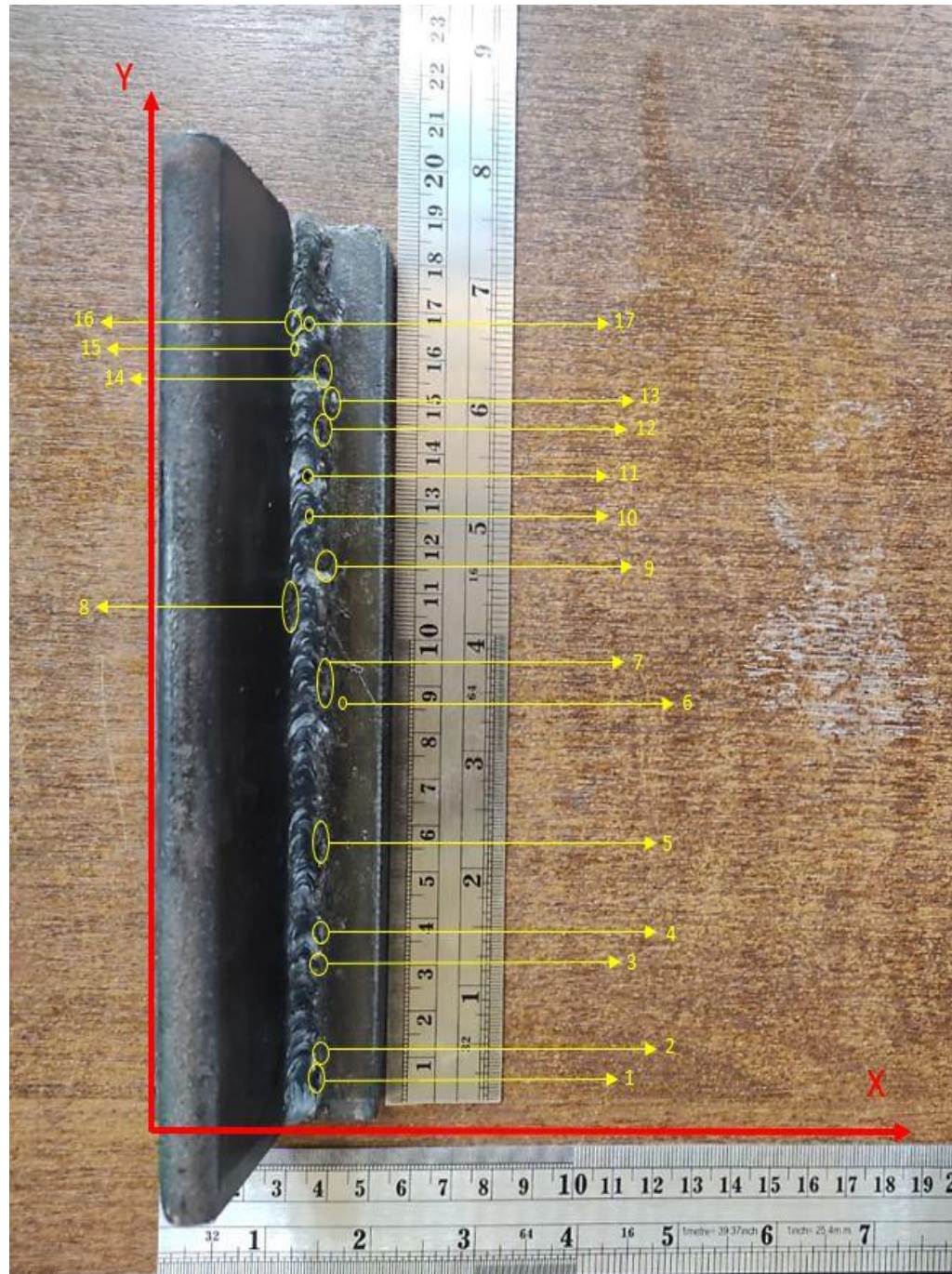
Lupa	Lupa	N/A	
<b>Equipos de medida</b>			
Calibrador, Regla	Calibrador, Regla	Calibrador, Regla	
<b>Equipo y tecnología específica utilizada en el procedimiento de Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>			
Aplicación de partículas	Método seco	Método húmedo	
		Color	Fluorescente
<b>1</b>	<b>Limpieza inicial del elemento a inspeccionar</b>		
<b>Denominación</b>	Limpiador para END	-	Limpiador para END
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	SKC-S	-	SKC-S
<b>Aplicación</b>	Aerosol	-	Aerosol
<b>Tiempo de aplicación</b>	1 minuto	-	1 Minuto
<b>Tipo de secado</b>	A temperatura ambiente	-	A temperatura ambiente
<b>Tiempo de secado</b>	5 minutos	-	5 minutos
<b>Materiales extra de limpieza</b>	Cepillo, guaípe, grata		Cepillo, guaípe, grata
<b>Observaciones</b>			
<b>2</b>	<b>Aplicación de pintura de contraste</b>		
<b>Denominación</b>	N/A	-	Pintura de contraste blanca
<b>Marca</b>	N/A	-	Met - L - Check
<b>Modelo</b>	N/A	-	WCP - 81
<b>Aplicación</b>	N/A	-	Aerosol
<b>Distancia de aplicación</b>	N/A	-	20 cm
<b>Velocidad de aplicación</b>	N/A	-	Constante

<b>Observaciones</b>			
<b>3</b>	<b>Aplicación de partículas</b>		
<b>Denominación</b>	Partículas magnéticas para método seco	-	Suspensión de Partículas Magnéticas Fluorescentes Base Aceite
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	Met - L - Check
<b>Modelo</b>	8 -A RED	-	MPI - 1400 B
<b>Aplicación</b>	Polvo	-	Aerosol
<b>Distancia de aplicación</b>	2 cm	-	20 cm
<b>Velocidad de aplicación</b>	Constante	-	Constante
<b>Observaciones</b>			
<b>4</b>	<b>Equipo de inspección</b>		
<b>Denominación</b>	Banco de pruebas MT	-	Banco de pruebas MT
<b>Marca</b>	N/A	-	N/A
<b>Modelo</b>	N/A	-	N/A
<b>Observaciones</b>			

<b>5</b>	<b>Medio de inspección</b>		
<b>Denominación</b>	Luz natural	-	Lámpara UV
<b>Marca</b>	N/A	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	N/A	-	ZB 100F
<b>Aplicación</b>	N/A	-	Manual
<b>Observaciones</b>			
<b>6</b>	<b>Limpieza posterior a inspección del elemento</b>		
<b>Denominación</b>	Limpiador para END	-	Limpiador para END
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	SKC-S	-	SKC-S
<b>Aplicación</b>	Aerosol	-	Aerosol
<b>Tiempo de aplicación</b>	1 minuto	-	1 Minuto
<b>Tipo de secado</b>	A temperatura ambiente	-	A temperatura ambiente
<b>Tiempo de secado</b>	5 minutos	-	5 minutos
<b>Materiales extra de limpieza</b>	Cepillo, guaípe, grata		Cepillo, guaípe, grata
<b>Observaciones</b>			

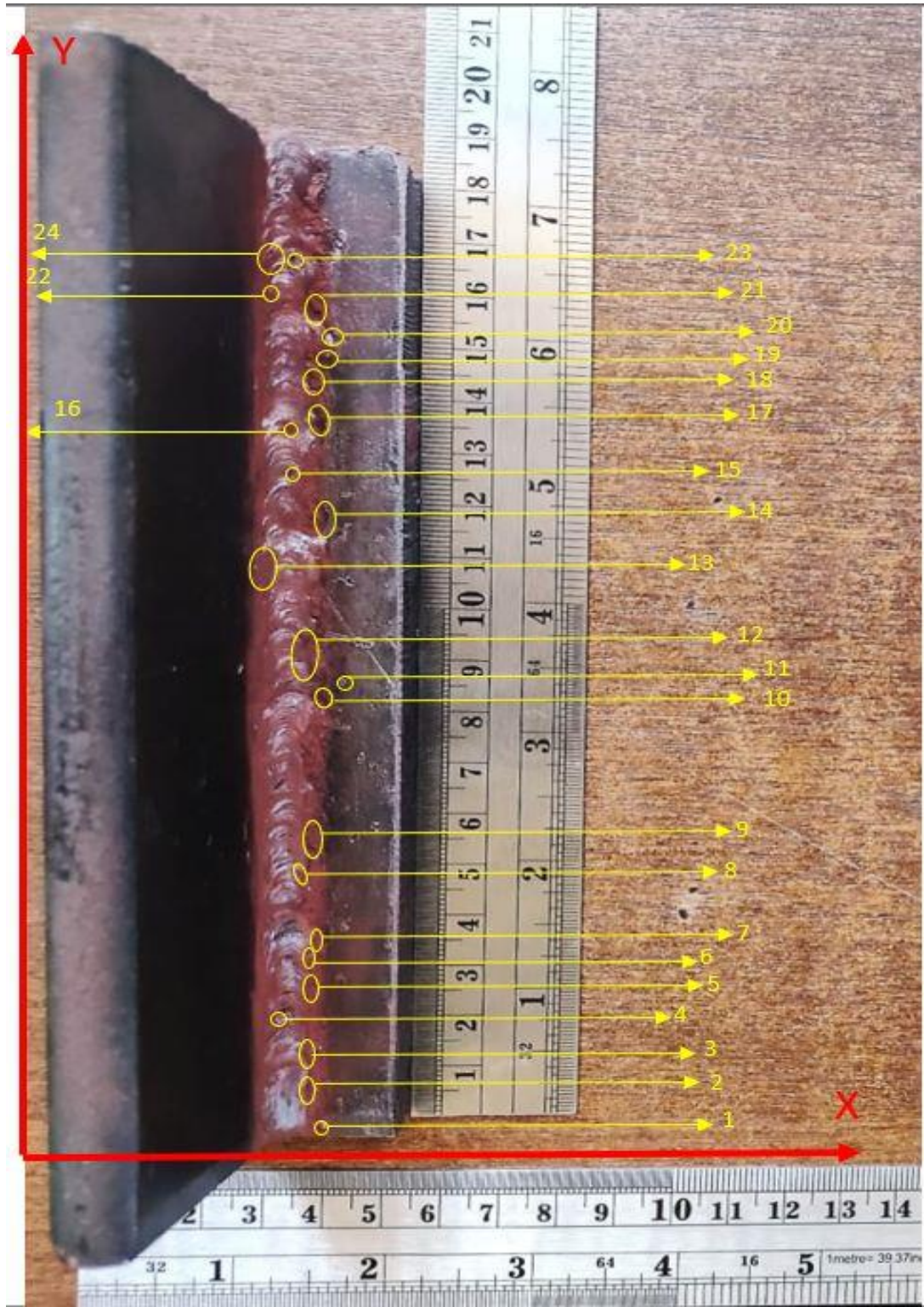
## Visualización de discontinuidades

### Inspección visual

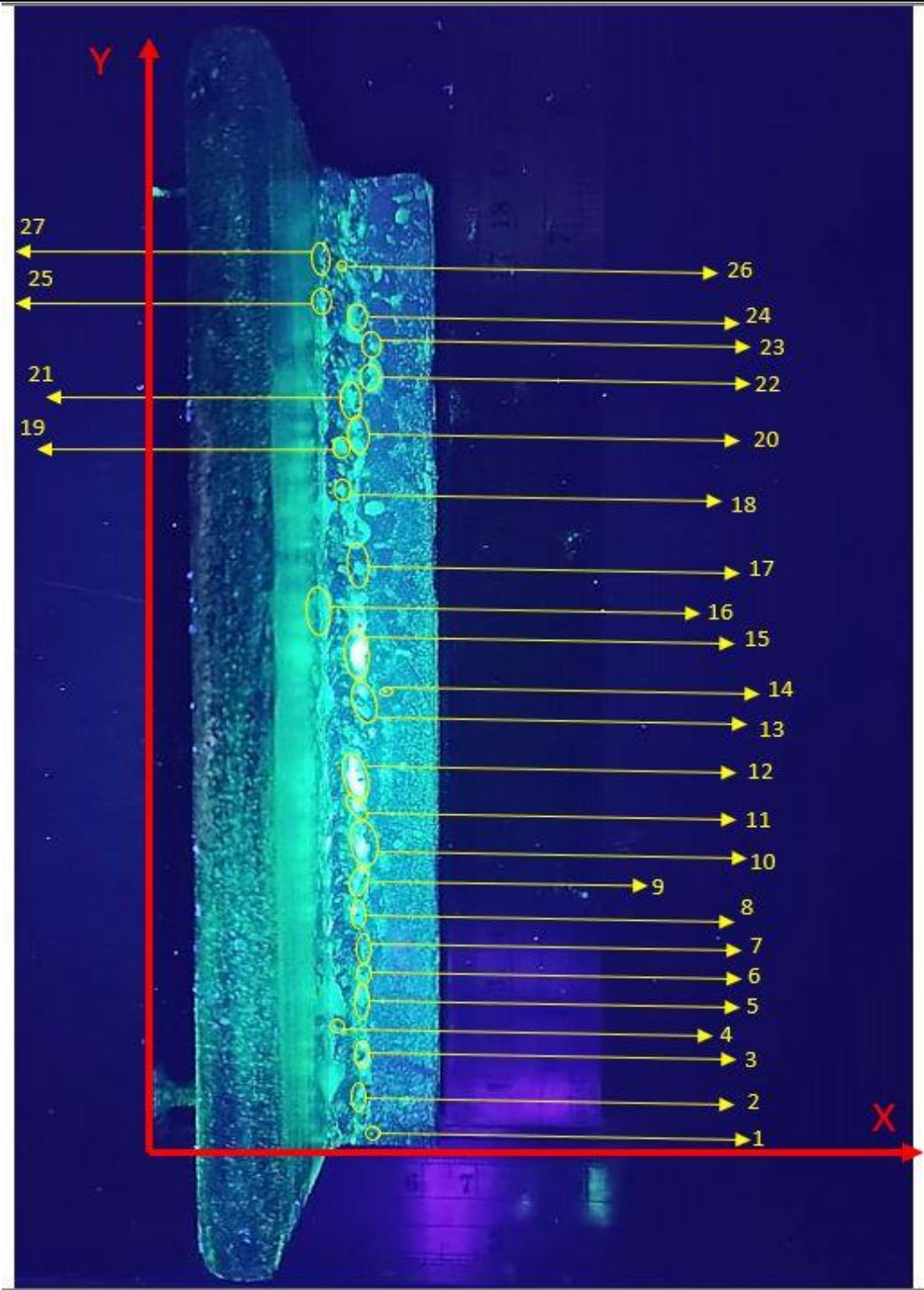




Ensayo de Partículas Magnéticas (MT) - Método seco - Técnica de Magnetización Circular Directa



Ensayo de Partículas Magnéticas (MT) - Método húmedo - Técnica de Magnetización Circular Directa



RESULTADOS OBTENIDOS								
Ensayo VT	Ensayo MT partículas magnéticas secas	Ensayo MT partículas magnéticas húmedas fluorescentes	Discontinuidad	Coordenadas de ubicación (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resultados AWS D1.1:2020 Tabla 8.1 Criterios de aceptación de la inspección visual	
				(X;Y)			Aceptación	Rechazo
Ítem								
-	1	1	Salpicadura	(39;1)	N/A	2	X	
1	2	2	Socavadura	(36;3)	5	N/A		X
2	3	3	Socavadura	(38;9)	4	N/A		X
-	4	4	Salpicadura	(32;18)	N/A	2	X	
-	5	5	Socavadura	(36;23)	4	N/A		X
3	6	6	Socavadura	(37;28)	4	N/A		X
4	7	7	Socavadura	(37;35)	5	N/A		X
-	-	8	Socavadura	(35;39)	5	N/A		X
-	-	9	Socavadura	(35;45)	3	N/A		X
-	8	10	Socavadura	(35;46)	3	N/A		X
5	9	11	Socavadura	(37; 53)	7	N/A		X
-	-	12	Socavadura	(36; 69)	11	N/A		X
-	10	13	Socavadura	(39; 81)	4	N/A		X
6	11	14	Salpicadura	(42; 86)	N/A	2	X	
7	12	15	Socavadura	(38;86)	10	N/A		X
8	13	16	Socavadura	(34;102)	10	N/A		X
9	14	17	Socavadura	(39;113)	5	N/A		X
10	15	18	Porosidad	(35;126)	N/A	1	X	
11	16	19	Porosidad	(34;134)	N/A	2	X	
12	17	20	Socavadura	(38;142)	5	N/A		X



RESULTADOS OBTENIDOS								
Ensayo VT	Ensayo MT partículas magnéticas secas	Ensayo MT partículas magnéticas húmedas fluorescentes	Discontinuidad	Coordenadas de ubicación (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resultados AWS D1.1:2020 Tabla 8.1 Criterios de aceptación de la inspección visual	
				(X;Y)			Aceptación	Rechazo
Ítem								
-	18	21	Socavadura	(37;141)	4	N/A		X
-	19	22	Socavadura	(39;147)	2	N/A		X
13	20	23	Socavadura	(40;148)	6	N/A		X
14	21	24	Socavadura	(37;154)	6	N/A		X
15	22	25	Salpicadura	(32;161)	N/A	2	X	
16	23	26	Socavadura	(34;165)	4	N/A		X
17	24	27	Porosidad	(35;166)	1,5	N/A	X	
<b>Nota:</b>	En total se han aceptado 7 discontinuidades y se han rechazado 20 discontinuidades							

**3.14.8. Ensayo de Inspección Visual y ensayo de Partículas Magnéticas Secas Húmedas fluorescentes con soldadura en ranura con bisel simple, junta a tope en tubería cilíndrica (180 mm).**

<b>INFORME DE INSPECCIÓN</b>					
<b>Datos informativos</b>			<b>Código de informe:</b>		IN – P-03
<b>Responsables:</b>	Fuentes Jose Luis, Núñez Jesús		<b>Fecha de informe:</b>		
<b>Solicitante:</b>	UTA - FICM		<b>Inspección:</b>	Fuentes J., Núñez J.	
<b>Tipo de junta de soldadura:</b>			Junta en T (T)		
<b>Espesor:</b>	10 mm		<b>Procedimiento de soldadura</b>		
<b>Metal base:</b>	Acero ASTM A36		<b>Proceso:</b>	SMAW	
<b>Longitud:</b>	333 mm		<b>Electrodo:</b>	E 7018	
<b>Diametro / Ancho:</b>	115 mm		<b>Posición:</b>	1 G - Rotada	
<b>Norma:</b>	AWS D1.1 - 2020		<b>Tipo:</b>	Mecanizado	
<b>Detalles de la junta (Bosquejo)</b>			<b>Detalles de la junta</b>		
			<b>Tipo de ranura:</b>	Bisel simple	
			<b>Ángulo de ranura:</b>	45 grados	
			<b>Abertura de raíz:</b>	0 mm	
			<b>Cara de la raíz:</b>	3 mm	
			<b>Otros:</b>		
<b>Tipo de pruebas NDT aplicadas en la inspección</b>					
<b>Inspección Visual (VT)</b>	X	<b>Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>			
		<b>Método seco</b>	X	<b>Método húmedo</b>	<b>Color</b>
				<b>Fluorescente</b>	X
<b>Equipo utilizado en la inspección por ensayo de partículas magnéticas</b>					
Unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT	X	Yugo magnético		Otros:	
<b>Propiedades clave de Unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT</b>					

<b>Voltaje de entrada</b>	<b>220 V</b>	<b>Voltaje de salida</b>	<b>8 V</b>	<b>Ciclo de trabajo máximo disparo /descanso</b>	<b>10 s ON / 10 s OFF</b>	<b>Amperaje máximo de salida</b>	<b>1200 A</b>
<b>Técnica de magnetización utilizada en el equipo de banco de pruebas MT para la inspección por ensayo de partículas magnéticas</b>							
<b>Magnetización Circular Directa</b>		<b>Magnetización Circular Inducida por un Conductor Central</b>	X	<b>Magnetización Longitudinal Inducida con una bobina de núcleo de aire</b>			
		Ø conductor central	1 pulgada				
		L conductor central	500 mm				
Corriente utilizada		Corriente utilizada	800 A	Corriente utilizada			
Número de disparos por ciclo		Número de disparos por ciclo	2	Número de disparos por ciclo			
Tiempo de disparo magnético		Tiempo de disparo magnético	6 s	Tiempo de disparo magnético			
Tiempo de descanso/corte de corriente		Tiempo de descanso/corte de corriente	5 s	Tiempo de descanso/corte de corriente			
Ciclos de magnetización utilizados		Ciclos de magnetización utilizados	4	Ciclos de magnetización utilizados			
<b>Técnica de desmagnetización</b>		<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>Limpieza posterior a ensayo</b>		<b>SI</b>	<b>NO</b>
			X			X	
<b>Equipo y tecnología utilizada por el tipo de prueba NDT aplicada en la inspección</b>							
<b>Inspección Visual (VT)</b>	<b>Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>						
		<b>Método seco</b>			<b>Método húmedo (Color y Fluorescente)</b>		
<b>Equips de iluminación</b>							
Luz Natural	Luz Natural			Lámpara UV			
<b>Equipos de visión</b>							
Lupa	Lupa			N/A			

<b>Equipos de medida</b>			
Calibrador, Regla	Calibrador, Regla	Calibrador, Regla	
<b>Equipo y tecnología específica utilizada en el procedimiento de Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)</b>			
<b>Aplicación de partículas</b>	<b>Método seco</b>	<b>Método húmedo</b>	
		<b>Color</b>	<b>Fluorescente</b>
<b>1</b>	<b>Limpieza inicial del elemento a inspeccionar</b>		
<b>Denominación</b>	Limpiador para END	-	Limpiador para END
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	SKC-S	-	SKC-S
<b>Aplicación</b>	Aerosol	-	Aerosol
<b>Tiempo de aplicación</b>	1 minuto	-	1 Minuto
<b>Tipo de secado</b>	A temperatura ambiente	-	A temperatura ambiente
<b>Tiempo de secado</b>	5 minutos	-	5 minutos
<b>Materiales extra de limpieza</b>	Cepillo, guaipe, grata		Cepillo, guaipe, grata
<b>Observaciones</b>			
<b>2</b>	<b>Aplicación de pintura de contraste</b>		
<b>Denominación</b>	N/A	-	Pintura de contraste blanca
<b>Marca</b>	N/A	-	Met - L - Check
<b>Modelo</b>	N/A	-	WCP - 81
<b>Aplicación</b>	N/A	-	Aerosol
<b>Distancia de aplicación</b>	N/A	-	20 cm
<b>Velocidad de aplicación</b>	N/A	-	Constante

<b>Observaciones</b>			
<b>3</b>	<b>Aplicación de partículas</b>		
<b>Denominación</b>	Partículas magnéticas para método seco	-	Suspensión de Partículas Magnéticas Fluorescentes Base Aceite
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	Met - L - Check
<b>Modelo</b>	8 -A RED	-	MPI - 1400 B
<b>Aplicación</b>	Polvo	-	Aerosol
<b>Distancia de aplicación</b>	2 cm	-	20 cm
<b>Velocidad de aplicación</b>	Constante	-	Constante
<b>Observaciones</b>			
<b>4</b>	<b>Equipo de inspección</b>		
<b>Denominación</b>	Banco de pruebas MT	-	Banco de pruebas MT
<b>Marca</b>	N/A	-	N/A
<b>Modelo</b>	N/A	-	N/A
<b>Observaciones</b>			

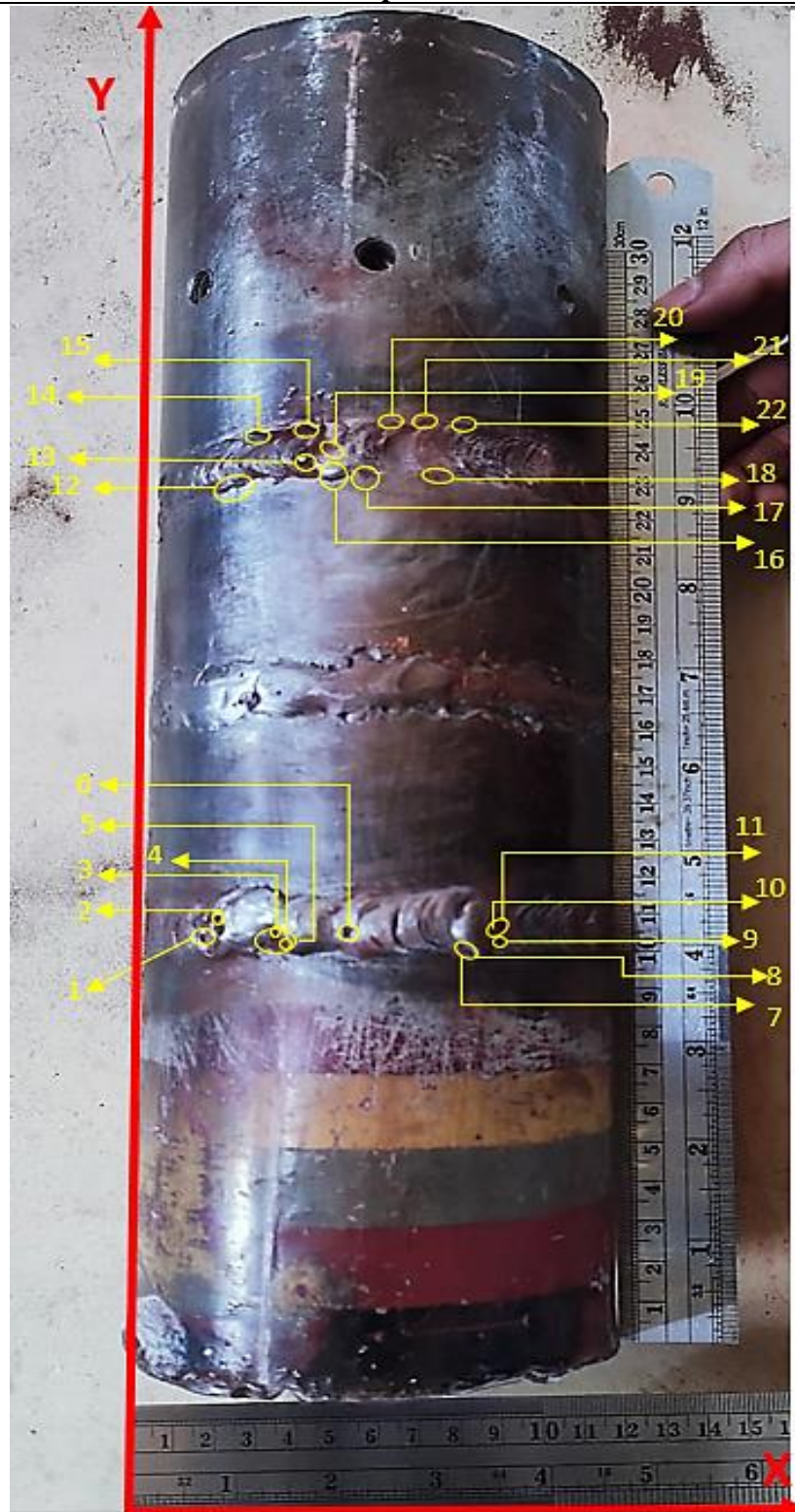
<b>5</b>	<b>Medio de inspección</b>		
<b>Denominación</b>	Luz natural	-	Lámpara UV
<b>Marca</b>	N/A	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	N/A	-	ZB 100F
<b>Aplicación</b>	N/A	-	Manual
<b>Observaciones</b>			
<b>6</b>	<b>Limpieza posterior a inspección del elemento</b>		
<b>Denominación</b>	Limpiador para END	-	Limpiador para END
<b>Marca</b>	MAGNAFLUX	-	MAGNAFLUX
<b>Modelo</b>	SKC-S	-	SKC-S
<b>Aplicación</b>	Aerosol	-	Aerosol
<b>Tiempo de aplicación</b>	1 minuto	-	1 Minuto
<b>Tipo de secado</b>	A temperatura ambiente	-	A temperatura ambiente
<b>Tiempo de secado</b>	5 minutos	-	5 minutos
<b>Materiales extra de limpieza</b>	Cepillo, guaipe, grata		Cepillo, guaipe, grata
<b>Observaciones</b>			

## Visualización de discontinuidades

### Inspección visual

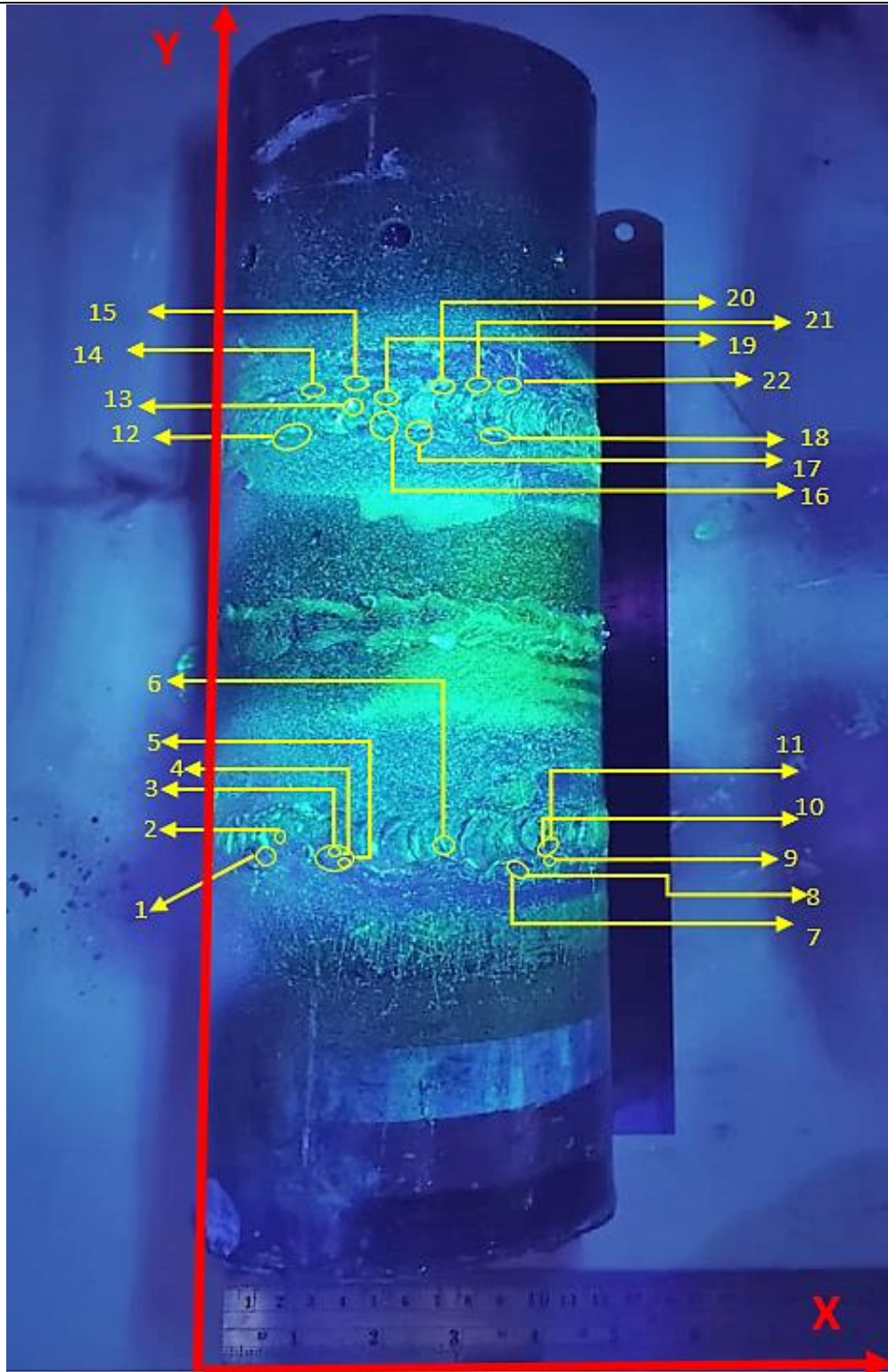


**Ensayo de Partículas Magnéticas (MT) - Método seco - Técnica de Magnetización Circular Inducida por Conductor Central**





**Ensayo de Partículas Magnéticas (MT) - Método húmedo - Técnica de Magnetización Circular Inducida por Conductor Central**



RESULTADOS OBTENIDOS								
Ensayo VT	Ensayo MT partículas magnéticas secas	Ensayo MT partículas magnéticas húmedas fluorescentes	Discontinuidad	Coordenadas de ubicación (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resultados AWS D1.1:2020 Tabla 8.1 Criterios de aceptación de la inspección visual	
				(X;Y)			Aceptación	Rechazo
Ítem								
1	1	1	Porosidad	(15;108)	N/A	1,5		X
2	2	2	Porosidad	(19;113)	N/A	2		X
3	3	3	Porosidad	(34;109)	N/A	2		X
4	4	4	Porosidad	(35;106)	N/A	2,5		X
5	5	5	Socavadura	(30;111)	8	N/A		X
6	6	6	Porosidad	(50;108)	N/A	2,5		X
7	7	7	Porosidad	(76;104)	N/A	2		X
8	8	8	Porosidad	(78;103)	N/A	2		X
9	9	9	Porosidad	(85;106)	N/A	2		X
10	10	10	Porosidad	(89;109)	N/A	1,5		X
11	11	11	Porosidad	(85;110)	N/A	2		X
12	12	12	Socavadura	(21;244)	6	N/A		X
13	13	13	Salpicadura	(44;250)	N/A	2	X	
14	14	14	Socavadura	(26;261)	5	N/A		X
15	15	15	Socavadura	(39;264)	7	N/A		X
16	16	16	Socavadura	(44;247)	6	N/A		X
17	17	17	Socavadura	(53;246)	5	N/A		X
18	18	18	Socavadura	(63;250)	6	N/A		X
19	19	19	Porosidad	(45;256)	N/A	2	X	
-	20	20	Socavadura	(60;250)	6	N/A		X

RESULTADOS OBTENIDOS								
Ensayo VT	Ensayo MT partículas magnéticas secas	Ensayo MT partículas magnéticas húmedas fluorescentes	Discontinuidad	Coordenadas de ubicación (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Resultados AWS D1.1:2020 Tabla 8.1 Criterios de aceptación de la inspección visual	
				(X;Y)			Aceptación	Rechazo
Ítem								
-	21	21	Socavadura	(69;250)	5	N/A		X
-	22	22	Socavadura	(79;249)	4	N/A		X
<b>Nota:</b>	En total se han aceptado 2 discontinuidades y se han rechazado 20 discontinuidades							

Como se describe en el punto 3.14, se realizó la verificación del funcionamiento del equipo de banco de pruebas, mediante su uso en las inspecciones de las probetas establecidas, bajo los procedimientos para realizar el ensayo de inspección visual y el procedimiento de inspección por partículas magnéticas por medio de la técnica seca y húmeda fluorescente. En adición se desarrolló una ficha para el informe de inspección de cada una de estas, resaltando su utilidad para el registro de las especificaciones del elemento a inspeccionar y del tipo de prueba NDT a aplicar en la inspección, así como también del equipo utilizado en el desarrollo del ensayo de partículas magnéticas, las propiedades clave de la unidad horizontal húmeda de banco de pruebas MT, la técnica de magnetización utilizada en el equipo, el equipo y tecnología específica utilizada en el procedimiento de Ensayo de Partículas Magnéticas (MT) por cualquiera de sus técnicas y el registro de fotografías a escala para el desarrollo de la visualización de discontinuidades y su evaluación bajo los criterios establecidos según AWS D1.1:2020.



Del mismo modo se desarrolló la ficha de registro de discontinuidades para cada una de las probetas examinadas, esta presenta el número de discontinuidades encontradas al realizar la inspección por procedimientos de inspección visual, procedimiento de inspección por partículas magnéticas secas y por el procedimiento de inspección por partículas magnéticas húmedas fluorescentes, el tipo de discontinuidad encontrada, las coordenadas de ubicación en el plano XY, la longitud o diámetro de las discontinuidades y los resultados de aceptación o rechazo según los criterios establecidos en la tabla 8.1 de AWS D1.1:2020.

A partir de la culminación de las inspecciones y de su posterior evaluación bajo los criterios de aceptación utilizados para cada una de las probetas y bajo la utilización de las técnicas de magnetización circular directa e inducida a través de pasar la corriente eléctrica por medio de los contactos de cobre de los cabezales fijo y móvil y por el conductor central utilizado respectivamente y magnetización longitudinal inducida por la bobina de núcleo de aire del equipo, se establece, que el mejor método para la realización de las inspecciones en el equipo de banco de prueba, es el la utilización del procedimiento de inspección por partículas magnéticas bajo la técnica húmeda mediante la utilización de partículas fluorescentes suspendidas en un vehículo base aceite y aplicada en aerosol, ya

que para cada una de las probetas inspeccionadas bajo este procedimiento, se logró encontrar mayor número de discontinuidades, debido a que las partículas de menor tamaño que presenta este tipo de suspensión muestra mayor sensibilidad y alta dispersión durante su aplicación sobre la superficie de las probetas durante la magnetización, que el polvo de partículas que se utilizó en la inspección por método seco, pudiendo encontrar discontinuidades más finas que no se pudo encontrar con la inspección visual y con el uso de las partículas secas, sin embargo, mediante la utilización de la técnica seca, se encontró unas cuantas discontinuidades que la técnica húmeda fluorescente no, y en la mayoría de los casos encontrados, corroborando las discontinuidades que si se encontraron entre método seco y húmedo e inclusive con el procedimiento de inspección visual, estableciendo que el equipo tiene alta funcionalidad con cualquier tipo de técnica de magnetización y tipo de partícula magnética.

**3.15. Desarrollo de instructivos de manejo y mantenimiento de la bancada magnética y de uso, almacenamiento, preparación y mantenimiento de las partículas magnéticas fluorescentes de Método Húmedo.**

**3.15.1. Instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de partículas magnéticas fluorescentes base aceite**

	<b>Universidad Técnica de Ambato</b>	
	<b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>	
	<b>Carrera de Mecánica</b>	
	<b>Instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de suspensión de Partículas Magnéticas Fluorescentes Base Aceite</b>	
<b>Descripción del sistema de Partículas Magnéticas Húmedas</b>		
<p>De acuerdo con [1] ASTM E 709, este tipo de sistema de partículas magnéticas se ha diseñado para usarse en suspensión de un vehículo como agua o destilado de petróleo en una concentración para probar sobre la superficie de las piezas sometidas a ensayo, ya sea vertiéndola directamente o con aerosol, están disponibles en concentrados fluorescentes y no-fluorescentes. Estas suspensiones deben ser usadas en un equipo horizontal para partículas magnéticas húmedas.</p>		
<b>Uso principal</b>		
<p>Debido a la naturaleza de las partículas, las cuales son más pequeñas, la aplicación del método húmedo se emplea para localizar discontinuidades de menor tamaño que en el método seco, si este, presenta dificultades para encontrar dichas discontinuidades.</p>		



**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Mecánica**



**Instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de suspensión de Partículas Magnéticas  
 Fluorescentes Base Aceite**

Principalmente, la inspección por partículas magnéticas se emplea para localizar discontinuidades en o cerca de la superficie de materiales ferromagnéticos sobre la cual se induce un campo magnético en la pieza a examinar, para así atraer y concentrar las partículas sobre cualquier discontinuidad, formando indicaciones y cartografiando las discontinuidades. Por ende, el método húmedo fluorescente debe ser usado en interiores o en áreas donde el ambiente y el nivel de iluminación puede ser controlado y donde haya equipos disponibles para su aplicación [1].

<b>Imagen de referencia de consumible</b>		<b>Suspensión de Partículas Magnéticas Fluorescentes Base Aceite</b>	
		<b>Descripción</b>	
		<p>El consumible [1400B] es un líquido aerosol de alta sensibilidad para baño de partículas magnéticas premezclado y listo para su aplicación en suspensión de base aceite, diseñado y utilizado para encontrar discontinuidades y ensayar diversos tipos de piezas a partir de una inspección con método húmedo, de acuerdo con los requisitos establecidos por ASTM E-1444.</p>	
<b>Datos informativos</b>			
<b>Fabricante</b>	MET-L-CHECK	<b>Modelo</b>	1400B
<b>Tipo</b>	Suspensión de Partículas Magnéticas Fluorescentes Base Aceite		



Universidad Técnica de Ambato  
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica  
Carrera de Mecánica



Instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de suspensión de Partículas Magnéticas  
Fluorescentes Base Aceite

### Propiedades

<b>Forma</b>	Líquido verde oscuro cuando las partículas están suspendidas
<b>Sensibilidad SAE</b>	7 - 8
<b>Densidad</b>	832 g/L
<b>Viscosidad</b>	2,4 mm <sup>2</sup> /s
<b>Punto de inflamabilidad</b>	> 93 °C
<b>Tamaño de las partículas</b>	1 - 12 μ
<b>Color de Fluorescencia</b>	Amarillo verdoso
<b>Corrosión del acero</b>	Ninguno
<b>Uso</b>	Aerosol

### Características

Suspensión lista para usarse	Vehículo de suspensión base aceite
Alto contraste fluorescente y sensibilidad	Alta durabilidad y estabilidad en dispersión
Método húmedo (Aceite)	Alto punto de inflamación
Tamaño de aerosol de 400 mL	Partículas duraderas

### Aplicaciones





**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Mecánica**



**Instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de suspensión de Partículas Magnéticas  
 Fluorescentes Base Aceite**

1. Ubicación de defectos superficiales y subsuperficiales
2. Detección de interrupciones finas
3. Desarrollo de inspecciones en servicio y con menor grado de limpieza
4. Aplicable en inspecciones sobre piezas con películas de pintura y galvanizados, ya que no afectan a los resultados del ensayo.

**Ejemplos de defectos o discontinuidades aplicables**

Defectos de soldadura	Defectos inherentes del material
Inclusiones	Roturas
Grietas por encogimiento	Grietas por amolado
Grietas por enfriamiento rápido	Grietas por enfriamiento rápido
Escamas y costuras	Grietas por fatiga
<b>Instrucciones de preparación</b>	No aplica (1400B en aerosol)

**Instrucciones de uso**

1. Limpiar y secar la superficie de las piezas o áreas sometidas a inspección, mediante el uso de algún solvente o desengrasante, para garantizar una superficie de prueba óptima para la aplicación de la suspensión de las partículas magnéticas fluorescentes y reducir su contaminación.
2. Agitar bien la lata antes de usarla para asegurar una suspensión adecuada de las partículas
3. Sostener la lata a una distancia entre 7 y 9 pulgadas [18 y 24 cm] del área o superficie a inspeccionar
4. Magnetizar la pieza mientras se aplica el método de magnetización [residual o continuo], seguido pulverizar y aplicar por medio del aerosol la suspensión de las partículas sobre el área de examinación hasta que esta, este completamente cubierta.



**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Mecánica**



**Instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de suspensión de Partículas Magnéticas  
Fluorescentes Base Aceite**

5. Inspeccionar el área de aplicación de las partículas y registrar las indicaciones bajo luz ultravioleta

6. Discontinuar la aplicación de la corriente

**Recomendaciones de uso**

**Ensayo NDT**

Prueba de Partículas Magnéticas Fluorescentes

**Método**

Húmedo

**Equipos requeridos**

Equipo magnetizante [ Banco de pruebas], Lámpara de luz ultravioleta

**Vehículo de suspensión de partículas magnéticas**

Carrier II [ destilado de petróleo]

**Temperatura de uso**

50 a 86°F / 10 a 30°C

1. Usar la suspensión de partículas magnéticas fluorescentes base aceite en aerosol en un área bien ventilada

2. Realizar una comprobación de la sensibilidad de la suspensión mediante una prueba de acuerdo con la norma establecida antes de la inspección

**Eliminación de las partículas**

Esperar a que todas las piezas, áreas y/o componentes inspeccionados estén desmagnetizados antes de realizar la limpieza, para así asegurar la fácil eliminación de las partículas

**Instrucciones de almacenamiento**

1. Almacenar el consumible de suspensión de partículas magnéticas fluorescentes base aceite tipo aerosol en un área bien ventilada



**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Mecánica**



**Instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de suspensión de Partículas Magnéticas  
Fluorescentes Base Aceite**

2. Mantener el consumible de suspensión de partículas magnéticas fluorescentes base aceite tipo aerosol lejos de los equipos de magnetización y otras fuentes de calor

**Recomendaciones de almacenamiento**

**Temperatura de almacenamiento**

42 a 120°F / 6 a 48 °C

1. Evitar la antigüedad del consumible y su exposición a temperaturas elevadas o un campo magnético fuerte, estos factores afectan negativamente a la redistribución de las partículas, mantener protegido el consumible de la luz directa del sol en un área seca, fresca y bien ventilada.

2. Consultar la ficha técnica y/o hoja de datos de seguridad del producto para obtener instrucciones adicionales de almacenamiento

**Instrucciones de mantenimiento**

1. Revisar la concentración de la suspensión de las partículas fluorescentes base aceite y su nivel de contaminación al menos una vez por día.

2. Reemplazar las suspensiones contaminadas o las que estén en uso durante mucho tiempo

3. Limpiar correctamente todas las piezas, componentes y áreas de inspección antes de la realización de las pruebas para reducir de manera considerable la contaminación de la suspensión de las partículas

4. Determinar y verificar la concentración de partículas adecuada después de la preparación inicial del baño al menos una vez por día, con la finalidad de mantener un nivel correcto de partículas en la suspensión.

5. Controlar el nivel de concentración de partículas mediante el método de medición de volumen de asentamiento en tubo graduado, de acuerdo con las normas respectivas [ASTM].



**Universidad Técnica de Ambato**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica**  
**Carrera de Mecánica**

**Instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de suspensión de Partículas Magnéticas  
Fluorescentes Base Aceite**

**Salud y seguridad**



**Primeros auxilios y medidas necesarias**

**Medidas de primeros auxilios tras inhalación**

En caso de inhalación, transportar a la persona a un lugar ventilado o al aire libre, mantenerla cómoda para facilitar la respiración.

**Medidas de primeros auxilios tras contacto con la piel**

En caso de irritación, lavar la zona de la piel afectada con abundante agua, obtener atención médica si el efecto persiste.

**Medidas de primeros auxilios tras contacto con los ojos**

En caso de contacto con los ojos, enjuagar la zona de los ojos afectada con abundante agua, obtener atención médica si se produce irritación.

**Medidas de primeros auxilios tras ingestión**

En caso de ingestión, llamar a un médico o centro toxicológico, NO provocar el vómito

**Medidas contra incendios**

**Peligro de incendio**

Aerosol inflamable

**Peligro de explosión**

El calor puede incrementar la presión, romper el recipiente del consumible, expandir el fuego y aumentar el riesgo de quemaduras y heridas

**Medio de extinción apropiado**

Espuma, agua pulverizada, dióxido de carbono

**Material de extinción inadecuado**



No utilizar chorros de agua

**Medidas en caso de derrame o fuga accidental**

**Medidas generales**

Eliminar las fuentes de ignición, evitar cargas de electricidad estática, no permitir el ingreso de personal innecesario y sin protección

**Manejo y almacenamiento**

	<b>Universidad Técnica de Ambato</b>		
	<b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>		
	<b>Carrera de Mecánica</b>		
	<b>Instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de suspensión de Partículas Magnéticas Fluorescentes Base Aceite</b>		
<b>Precauciones durante el proceso</b>	Mantener el consumible alejado de fuentes de ignición, no fumar, no perforar ni quemar el recipiente		
<b>Precauciones durante la manipulación</b>	No vaporizar el consumible sobre una llama o cualquier fuente de ignición, evitar respirar el aerosol, evitar el contacto con la piel y los ojos, no ingerir.		
<b>Medidas de higiene</b>	Lavar la ropa usada y/o contaminada antes de volver a usarla, lavar las manos antes de comer, beber o fumar.		
<b>Condiciones de almacenamiento</b>	Mantener bajo llave y fuera del alcance de niños, almacenar el contenedor del aerosol protegido de la luz directa del sol en un área fresca, seca y bien ventilada		
	No exponer a temperaturas superiores a los 50 °C/122 °F		
<b>Medidas de exposición, control y protección personal</b>			
<b>Controles de exposición ambiental</b>	Usar ventilación adecuada		
<b>Controles de manipulación</b>	No comer, fumar, beber donde los materiales son manipulados, procesados o almacenados, manejar dichos materiales de acuerdo a normas de higiene y seguridad		
<b>Protección de las manos</b>	Usar guantes de protección resistentes a productos químicos		
<b>Protección ocular</b>	Usar gafas de seguridad con protección lateral		
<b>Protección de la piel y el cuerpo</b>	Usar ropa de protección adecuada		
<b>Protección de las vías respiratorias</b>	En caso de ventilación insuficiente, usar equipo respiratorio adecuado		

**3.15.2. Hoja de datos del equipo de inspección por partículas magnéticas**

Ver Anexo 14

**3.15.3. Manual de Operación del equipo de inspección por partículas magnéticas**

Ver Anexo 15

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

Se estableció los parámetros específicos para el equipo de banco de pruebas para inspecciones mediante partículas magnéticas fluorescentes, como la disposición, dimensiones, parámetros de funcionamiento y demás propiedades clave para el equipo de banco de pruebas en base a los estándares a los que se rige la construcción específica de las bancadas magnéticas por medio de la Guía Estándar para Examen con Partículas Magnéticas (ASTM E-709), corroborando su aplicación por medio de equipos existentes en el mercado internacional, específicamente en los modelos Minimag y Mag Kit de los fabricantes ATG (República Checa) y MAGNAFLUX (EE. UU).

Se diseñó y modeló en un software el equipo de banco de pruebas (estructura y componentes), mediante el cálculo de diseño de partes como: cabezal fijo y móvil, tornillo de transmisión de fuerza, pernos de sujeción de placas, perno de bloqueo de cabezal móvil, seguido de la simulación estática de la estructura del equipo, obteniendo resultados de desplazamiento estático, tensión axial y deflexión en la estructura del equipo, los cuales no superan el límite elástico del material, aprobando el diseño de manera factible para su construcción.

Se estableció que el sistema de magnetización del banco de pruebas comprenda las técnicas de magnetización Circular y Longitudinal, por lo tanto, el diseño del sistema de magnetización fundamentado en la Guía Estándar ASTM E1444/E1444M -15 y ASTM E 709 – 21, definió el amperaje requerido para desarrollar las técnicas de magnetización establecidas en el equipo a un valor máximo de 1200 Amperios, como se detalla en el punto 2.6 de este proyecto técnico. La fuente de poder del equipo, un transformador monofásico, opera a 220 V en la entrada y 8 V en la salida, a una frecuencia de 60 Hz y una potencia aproximada de 10 kVA, estos resultados obtenidos, precisaron los parámetros de diseño del sistema de magnetización para su posterior construcción.

Los materiales para la estructura y los componentes del banco de pruebas cumplieron satisfactoriamente los parámetros de diseño establecidos, como resultado se construyó la bancada y sus componentes en acero A 500 Gr D y acero ASTM A 36 respectivamente, bajo procesos de construcción como doblado, torneado, fresado, taladrado y soldadura SMAW.

Se construyó el sistema de magnetización y el sistema de control bajo los criterios y estándares de la Guía Estándar para Examen con Partículas Magnéticas ASTM E 709:21, se requirió de materiales como placas de cobre de 3 mm de espesor y de cable conductor de cobre 700 MCM en la bobina, necesarios para la técnica de magnetización circular y longitudinal respectivamente, así mismo, el control del sistema de magnetización requirió de una tarjeta de control de soldadora de punto, con ligeras modificaciones acorde a los requerimientos del equipo, al final del proceso de construcción, se obtuvo un equipo completamente funcional, el cual cumple con los parámetros establecidos para el correcto funcionamiento del equipo.

Mediante AWS D1.1:2020, se construyó probetas con diferente diámetro/sección transversal y longitud, en juntas A tope (B), En T (T) y una probeta de tubería cilíndrica con junta a tope (B), se realizó la inspección usando el equipo de banco de pruebas bajo la aplicación del método seco y húmedo fluorescente, para las técnicas de Magnetización Circular, Magnetización Longitudinal y Magnetización Circular Inducida por un Conductor, demostrando así el funcionamiento efectivo del equipo de banco de pruebas.

Se concluye que, el manual de uso del equipo de inspección por partículas magnéticas y del instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de la suspensión de partículas magnéticas fluorescentes base aceite, brinda la información fundamental requerida para la instalación, utilización y mantenimiento del equipo de banco de pruebas, así como el uso de los consumibles y demás equipos requeridos, los cuales, deben utilizarse para realizar los ensayos requeridos bajo cualquiera de las técnicas que posee el equipo, para el desarrollo de las inspecciones por partículas magnéticas secas, húmedas de color o húmedas fluorescentes.



## **4.2.Recomendaciones**

Se recomienda al operario del equipo de banco de pruebas leer los documentos del manual de uso del equipo y el instructivo de uso, almacenamiento y mantenimiento de la suspensión de partículas magnéticas fluorescentes antes de usarlo para la realización de las inspecciones y no operar el equipo hasta estar familiarizado con el funcionamiento de los componentes mecánicos y eléctricos que presenta y mantener a cualquier personal no autorizado lejos del área de uso del equipo.

Proporcionar el tipo de probeta, pieza o elemento mecánico a analizar, de material ferromagnético y con dimensiones adecuadas, dentro del rango de peso y longitud que admite el equipo de banco de pruebas, en adición, la limitación del grosor (espesor) y dimensión es sólo aproximada, ya que la limitación de la inspección bajo la generación del campo magnético en CA que proporciona el equipo, depende de las propiedades físicas específicas del material del elemento a inspeccionar. Además, se debe considerar los parámetros de funcionalidad que se propuso para el equipo y los criterios establecidos en ASTM E 709:2, para las consideraciones del método aplicado en el banco de pruebas, como principal el diámetro exterior o sección transversal de la pieza (por pulgada o milímetro de mayor ancho en un plano), debido a que este parámetro marca la capacidad del equipo, ya que en este se rige el nivel de amperaje a utilizar para el desarrollo de la inspección.

Para la realización de las pruebas de inspección en el equipo, se recomienda utilizar partículas magnéticas húmedas de color o fluorescentes, debido a su naturaleza presentan mayor sensibilidad, reflejando una alta ventaja y utilidad sobre las partículas secas, por ende, mayor facilidad para localizar las discontinuidades superficiales y subsuperficiales.

Se recomienda seguir realizando investigaciones en el equipo de banco de pruebas, para aumentar su utilidad y facilitar el manejo por parte de los operarios, para mejorar el sistema manual de conexión de los terminales de los cabezales y bobina que emplea el equipo con las conexiones de los cables que alimentan a estos elementos desde el transformador, por uno más óptimo, que permita intercambiarlos con mayor facilidad y rapidez entre sí cuando se requiera emplear las técnicas que permiten realizar el banco de pruebas.

## MATERIALES DE REFERENCIA

### Referencias Bibliográficas

- [1] ASTM, ASTM E709 - Standard Guide for Magnetic Particle Testing. West Conshohocken, 2021. doi: 10.1520/E0709-08.2.
- [2] J. Antonio and M. Martínez, “Arduino y los ensayos no destructivos,” 2018. <http://hdl.handle.net/2117/120348> (accessed May 27, 2022).
- [3] American Society for Nondestructive Testing, Nondestructive testing handbook volumen 8 Magnetic, 3th editio., vol. 8. Columbus, OH: American Society for Nondestructive Testing, Incorporated, 2008.
- [4] C. Hellier, Handbook of nondestructive evaluation, 3 th. New York: McGraw-Hill, 2020.
- [5] American Welding Society (AWS), “Guide for the Nondestructive Examination of Welds - AWS B1.10/B1.10:2016,” 2016. <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGNEWEBM5/guide-nondestructive/guide-nondestructive> (accessed Jun. 12, 2022).
- [6] R. Echevarria, “Defectologia,” pp. 1–55, 2002.
- [7] A. Raman, “Materials Selection and Applications in Mechanical Engineering,” 2007. [https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpMSAME004/cid:kt008VY3B1/viewerType:khtml//root\\_slug:materials-selection-applications/url\\_slug:materials-maintenance?jsp=/content/pdf/4239/32873\\_24.pdf&ekey=f2q1DefnB0s0wRtvOb4lFcTirCyhYQbJsM2p4CPEv67SvAo](https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpMSAME004/cid:kt008VY3B1/viewerType:khtml//root_slug:materials-selection-applications/url_slug:materials-maintenance?jsp=/content/pdf/4239/32873_24.pdf&ekey=f2q1DefnB0s0wRtvOb4lFcTirCyhYQbJsM2p4CPEv67SvAo) (accessed Jun. 22, 2022).
- [8] R. Prakash, “Non-Destructive Testing Techniques,” 2012. <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpNDTT0001/non-destructive-testing/non-destructive-testing> (accessed Jun. 28, 2022).
- [9] American Welding Society (AWS), “Design and Planning Manual for Cost-Effective Welding,” 1999. <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDPMCEW0M/design-planning->

- manual/design-planning-manual (accessed Jul. 02, 2022).
- [10] American Welding Society (AWS), Structural Welding Code - Steel - AWS D1.1/D1.1M:2015, 23rd Editi. Danvers, MA: American Welding Society, 2015.
- [11] E. Gómez de León, “Fundamentos,” Partículas magnéticas. Nivel II, 2014. <https://elibro.net/es/ereader/uta/114077?page=7%0A> (accessed Jul. 03, 2022).
- [12] E. Gómez de León, “Magnetismo,” Corrientes Inducidas: nivel II, 2009. <https://elibro.net/es/ereader/uta/114209?page=37%0A> (accessed Jul. 03, 2022).
- [13] M. Wang, “Magnetism and electromagnetism,” Understandable Electric Circuits - Key Concepts (2nd Edition), 2019. <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011RPEN3/understandable-electric/magnetism-magnetism> (accessed Jul. 08, 2022).
- [14] American Welding Society (AWS), “Nondestructive Examination Methods,” Welding Inspection Handbook (4th Edition), 2015. <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UBXDD2/welding-inspection-handbook/magnetic-particle-examination> (accessed Jul. 12, 2022).
- [15] L. Cartz, “Magnetic Particle Inspection,” in Nondestructive Testing, Milwaukee: ASM International, 1995, pp. 141–172. doi: 10.1361/n.
- [16] Magnaflux, “Cómo Hacer Inspecciones con Partícula Magnética Fluorescentes,” 2021. <https://magnaflux.mx/Recursos/Blog/Video-Fluorescent-Mag-Particle-Inspection> (accessed Jul. 18, 2022).
- [17] A. Pimienta Dueñas, “Transformadores,” in Conceptos básicos de máquinas eléctricas, El Cid Edi., Buenos Aires, 2007, p. 40. [Online]. Available: <https://0110o2ypn-y-https-elibro-net.uta.metaproxy.org/es/ereader/uta/34441?page=40>
- [18] A. Torresi, “Transformadores de Corriente,” Ensayo de Transformadores, 2020. <https://elibro.net/es/ereader/uta/174830?page=3%0A> (accessed Aug. 01, 2022).
- [19] S. Amalfa, “Transformadores: Fundamentos y Construcción,” 2009. <https://elibro.net/es/ereader/uta/66555?page=3%0A> (accessed Aug. 01, 2022).
- [20] Mat Web material property data, “Mat Web material property data.” <https://www.matweb.com/> (accessed Aug. 25, 2022).

- [21] R. Foundry, “Reliance Foundry.” <https://www.reliance-foundry.com/blog/acero-inoxidable-304-vs-316-es> (accessed Aug. 26, 2022).
- [22] M. Betancur, “Ingeniería Inversa Aplicada: metodología y aplicaciones industriales.,” 2011. [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/9080/Mario\\_BetancurRodriguez\\_2011.pdf?sequence=2](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/9080/Mario_BetancurRodriguez_2011.pdf?sequence=2) (accessed Aug. 28, 2022).
- [23] Magnaflux, “‘Mag Kit’ Sistema de Inspección Modular por Partículas Magnéticas,” 2022. <https://magnaflux.mx/Productos/Inspeccion-por-Particulas-Magneticas/Accesorios/Mag-Kit.htm> (accessed Aug. 28, 2022).
- [24] ATG, “‘Minimag 500’ Estación de trabajo de partículas magnéticas.” <https://www.atg.cz/ndt-202&display=MT> (accessed Aug. 28, 2022).
- [25] C. R. Romeva, *Diseño Concurrente*, Primera ed. Barcelona, 2002.
- [26] I. Kosow, “Transformadores,” *Máquinas eléctricas y transformadores*, 1972. <https://elibro.net/es/ereader/uta/172175?page=613%0A> (accessed Sep. 01, 2022).
- [27] J. Manzano, “Construcción de transformadores eléctricos de pequeña potencia,” *Máquinas eléctricas*, 2014.
- [28] General Cable, *General Cable Catalogo de productos comerciales*. Quito, 2021.
- [29] R. L. Mott, “Centroides y momentos de inercia de áreas,” in *Resistencia de Materiales*. Quinta edición., Pearson Ed., México D.F., 2009, p. 319,327.
- [30] R. Budynas and J. Keith Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, McGraw Hi. México D.F., 2011.
- [31] Bohman, “Bohman Catalogo,” <https://medium.com/>, 2020. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf> (accessed Sep. 20, 2022).
- [32] AWS, *Código de soldadura estructural - acero AWS D1.1/D1.1M*, Sociedad A. Estados Unidos, 2020.

## ANEXOS

### Anexo 1. Bancada Magnética Minimag 1500 A

#### MINIMAG + MAGMAN 1500 A

MT

##### Horizontální magnetické defektoskopy – montážní sestava

##### POPIS PRODUKTU

Horizontální defektoskopy řady MINIMAG jsou zařízení pro nedestruktivní zkoušení feromagnetických ocelí a litin magnetickou metodou práškovou. Zařízení jsou konstruována k připojení zdrojů proudu řady MAGMAN typu A (AC proud) nebo H (HW proud). Stolní provedení lavice a přenosný generátor umožňují snadnou přepravu.



Pracovní stanice v provedení „Table Top“

##### MINIMAG UMOŽŇUJE MAGNETOVAT

- cirkulární magnetizaci přímým průchodem proudu zkoušeným výrobkem nebo pomocným vodičem
- podélnou magnetizaci cívkou

##### SPECIFIKACE ZÁKLADNÍHO PŘÍSLUŠENSTVÍ

- provedení pracovní stanice stolní (Table Top) nebo stacionární s polici pro zdroj
- upínací délka 50 - 520 mm
- nosnost 50 kg (25 kg na upínač)
- rozměry 1000 x 700 x 550
- hmotnost 85 kg
- zdroj proudu MAGMAN 1500 A
- AC cirkulární magnetizace max. 1100 A
- pojízdná cívka 4 závity 95 mm<sup>2</sup> /  $\varnothing$  250 mm
- H ve středu cívky = 7,4 kA/m při 600 A cívkou (2,4 kAz)
- jednoduché přepínání cívka/proud přepojením konektoru
- napájení 1+N+PE 230 V – 50 Hz

##### PŘÍSLUŠENSTVÍ

- UV lampy, UV metry, luxmetry, Gauss-Tesla metry, měrky, sedimentační baňka
- výměnné kontakty pro cirkulární magnetizaci, pomocné vodiče laminované
- prášky, koncentráty a suspenze CHEMETALL, ARDROX, FRAMAGNETO
- SPRINKMAN, nádrž na 15 nebo 40 l suspenze, čerpadlo 90 VA, napájení 3+PE 400 V-50 Hz

## Anexo 2. Designación de tamaño de diámetros y áreas de roscas de tornillo UNC y UNF

Designación de tamaño	Diámetro mayor nominal	Serie gruesa-UNC			Serie fina-UNF		
		Roscas por pulgada, $N$	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , pulg <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , pulg <sup>2</sup>	Roscas por pulgada, $N$	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , pulg <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , pulg <sup>2</sup>
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	20	0.118 7	0.109 0
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	20	0.159 9	0.148 6
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
$\frac{5}{8}$	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240
$\frac{3}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
$\frac{7}{8}$	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
$1\frac{1}{4}$	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
$1\frac{1}{2}$	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

## Anexo 3. Pasos preferidos para roscas tipo Acme.

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

#### Anexo 4. Coeficiente de fricción de tornillo

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

#### Anexo 4.1. Coeficiente de fricción de collarín

Combinación	En operación	Arranque
Acero suave sobre hierro fundido	0.12	0.17
Acero duro sobre hierro fundido	0.09	0.15
Acero suave sobre bronce	0.08	0.10
Acero duro sobre bronce	0.06	0.08

#### Anexo 5. Pernos cabeza hexagonal grado 8 del catálogo de Boman

D Diámetro (pulg)	Hilos por pulg		F Distancia entre caras	H Altura de la cabeza	
	Hilo grueso UNC	Hilo fino UNF			
1/4	0,250	20	28	7/16	5/32
5/16	0,312	18	24	1/2	13/64
3/8	0,375	16	24	9/16	15/64
7/16	0,437	14	20	5/8	9/32
1/2	0,500	13	20	3/4	5/16
9/16	0,562	12	18	1 3/16	23/64
5/8	0,625	11	18	1 5/16	25/64
3/4	0,750	10	16	1 1/8	15/32
7/8	0,875	9	14	1 5/16	35/64
1	1,000	8	14 UNS	1 1/2	39/64
1 1/8	1,125	7	12	1 11/16	11/16
1 1/4	1,250	7	12	1 7/8	25/32
1 1/2	1,500	6	12	2 1/4	1 5/16

## Anexo 6. Dimensiones de arandelas

Tamaño del sujetador	Tamaño de la arandela	Diámetro		Espesor
		DI	DE	
#6	0.138	0.156	0.375	0.049
#8	0.164	0.188	0.438	0.049
#10	0.190	0.219	0.500	0.049
#12	0.216	0.250	0.562	0.065
$\frac{1}{4}$ N	0.250	0.281	0.625	0.065
$\frac{1}{4}$ W	0.250	0.312	0.734	0.065
$\frac{5}{16}$ N	0.312	0.344	0.688	0.065
$\frac{5}{16}$ W	0.312	0.375	0.875	0.083
$\frac{3}{8}$ N	0.375	0.406	0.812	0.065
$\frac{3}{8}$ W	0.375	0.438	1.000	0.083
$\frac{7}{16}$ N	0.438	0.469	0.922	0.065
$\frac{7}{16}$ W	0.438	0.500	1.250	0.083
$\frac{1}{2}$ N	0.500	0.531	1.062	0.095
$\frac{1}{2}$ W	0.500	0.562	1.375	0.109
$\frac{9}{16}$ N	0.562	0.594	1.156	0.095
$\frac{9}{16}$ W	0.562	0.625	1.469	0.109
$\frac{5}{8}$ N	0.625	0.656	1.312	0.095
$\frac{5}{8}$ W	0.625	0.688	1.750	0.134
$\frac{3}{4}$ N	0.750	0.812	1.469	0.134
$\frac{3}{4}$ W	0.750	0.812	2.000	0.148
$\frac{7}{8}$ N	0.875	0.938	1.750	0.134
$\frac{7}{8}$ W	0.875	0.938	2.250	0.165
1 N	1.000	1.062	2.000	0.134
1 W	1.000	1.062	2.500	0.165

### Anexo 6.1. Longitud del sujetador

Fracción de pulgadas
$\frac{1}{64}, \frac{1}{32}, \frac{1}{16}, \frac{3}{32}, \frac{1}{8}, \frac{5}{32}, \frac{3}{16}, \frac{1}{4}, \frac{5}{16}, \frac{3}{8}, \frac{7}{16}, \frac{1}{2}, \frac{9}{16}, \frac{5}{8}, \frac{11}{16}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1, 1\frac{1}{4}, 1\frac{1}{2}, 1\frac{3}{4}, 2, 2\frac{1}{4}, 2\frac{1}{2}, 2\frac{3}{4}, 3,$ $3\frac{1}{4}, 3\frac{1}{2}, 3\frac{3}{4}, 4, 4\frac{1}{4}, 4\frac{1}{2}, 4\frac{3}{4}, 5, 5\frac{1}{4}, 5\frac{1}{2}, 5\frac{3}{4}, 6, 6\frac{1}{2}, 7, 7\frac{1}{2}, 8, 8\frac{1}{2}, 9, 9\frac{1}{2}, 10, 10\frac{1}{2}, 11, 11\frac{1}{2}, 12,$ $12\frac{1}{2}, 13, 13\frac{1}{2}, 14, 14\frac{1}{2}, 15, 15\frac{1}{2}, 16, 16\frac{1}{2}, 17, 17\frac{1}{2}, 18, 18\frac{1}{2}, 19, 19\frac{1}{2}, 20$



## Anexo 6.2. Especificaciones SAE para pernos de acero.

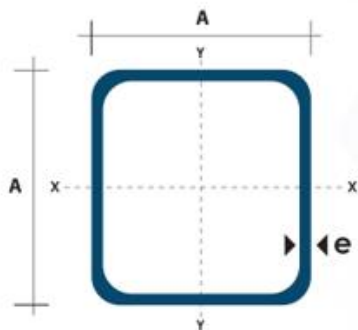
Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	55 33	74 60	57 36	Acero de bajo o medio carbono	
4	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ a 1 $1\frac{1}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Acero de medio carbono, T y R	
5.2	$\frac{1}{4}$ a 1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ a 1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

## Anexo 7. Dimensiones de roscas hexagonales

Tamaño nominal, pulg	Ancho W	Altura H		
		Hexagonal regular	Gruesa ranurada	Contra-tuerca
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{9}{32}$	$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{17}{64}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{16}$
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{13}{32}$	$\frac{7}{32}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{29}{64}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{31}{64}$	$\frac{39}{64}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{35}{64}$	$\frac{23}{32}$	$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{41}{64}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{27}{64}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{5}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{29}{32}$	$\frac{31}{64}$
1	$1\frac{1}{2}$	$\frac{55}{64}$	1	$\frac{35}{64}$
$1\frac{1}{8}$	$1\frac{11}{16}$	$\frac{31}{32}$	$1\frac{5}{32}$	$\frac{39}{64}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{23}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$2\frac{1}{16}$	$1\frac{11}{64}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{25}{32}$
$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	$1\frac{9}{32}$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{27}{32}$

## Anexo 8. Tubo estructural cuadrado

<b>Norma:</b>	NTE INEN 2415
<b>Calidad:</b>	SAE J 403 1008
<b>Acabado:</b>	Acero negro o Galvanizado
<b>Largo Normal:</b>	6.00m y medidas especiales
<b>Dimensiones:</b>	Desde 20mm a 100mm
<b>Espesores:</b>	Desde 1,20mm a 5,00mm



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

## Anexo 9. Tubo estructural redondo

### CAÑERÍAS NEGRA/GALVANIZADA



#### Especificaciones Generales:

Calidad:	ISO-65 SERIE LIVIANA II
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6.00m
Dimensiones:	Desde 1/2" a 4"
Espesores:	Desde 2,00mm a 3,6mm

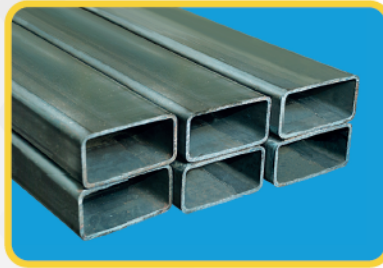
#### NOMENCLATURA

- A**= Área de la sección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>
- I**= Momento de inercia de la sección, cm<sup>4</sup>
- W**= Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>
- r**= Radio de giro de la sección, cm

Nominal	Dimensiones			Propiedades			
	Diámetro D Exterior	Espesor e	Peso P	Área A	I	W	i
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
1/2	21,35	2,00	0,99	1,22	0,57	0,59	0,98
3/4	26,90	2,30	1,45	1,78	1,34	1,09	0,87
1	33,70	2,50	1,96	2,45	2,98	1,91	1,10
1 1/4	42,40	2,50	2,55	3,13	6,24	3,13	1,41
1 1/2	48,30	2,65	3,02	3,87	10,05	4,41	1,61
2	60,30	2,65	3,79	4,89	20,26	7,04	2,04
2 1/2	73,00	3,20	5,65	7,02	42,73	12,24	2,47
3	88,90	3,20	6,81	8,62	79,09	18,46	3,03
4	114,30	3,60	9,92	12,52	191,78	34,65	3,91

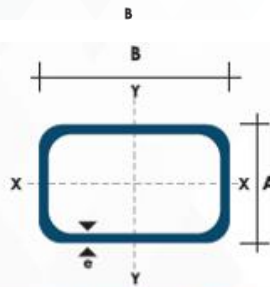
## Anexo 10. Tubo estructural rectangular

### TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR



#### Especificaciones Generales:

Norma	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o galvanizado
Largo normal:	6.00 m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm x 40mm a 50mm x 150mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 3,00mm



Dimensiones				Área	Ejes Y-Y			Ejes X-X		
A mm	B mm	Espesor (e) mm	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
20	40	1.2	1.09	1.32	2.61	1.30	1.12	0.88	0.88	0.83
20	40	1.5	1.35	1.65	3.26	1.63	1.40	1.09	1.09	0.81
20	40	2.0	1.78	2.14	4.04	2.02	1.37	1.33	1.33	0.79
25	50	1.5	1.71	2.10	6.39	2.56	1.74	2.19	1.75	1.02
25	50	2.0	2.25	2.74	8.37	3.35	1.75	2.80	2.24	1.01
25	50	3.0	3.30	4.14	12.56	5.02	1.74	3.99	3.19	0.99
30	50	1.5	1.88	2.25	7.27	2.91	1.80	3.32	2.21	1.21
30	50	2.0	2.41	2.94	9.52	3.81	1.80	4.28	2.85	1.21
30	50	3.0	3.30	4.21	12.78	5.11	1.74	5.66	3.77	1.16
30	70	2.0	3.03	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.48	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	60	1.5	2.29	2.91	14.90	4.97	2.26	7.94	3.97	1.65
40	60	2.0	3.03	3.74	18.08	6.13	2.22	9.81	4.90	1.62
40	60	3.0	4.48	5.41	25.31	8.44	2.16	13.37	6.69	1.57
30	70	1.5	2.34	2.91	18.08	5.17	2.49	4.76	3.17	1.28
30	70	2.0	2.93	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.25	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	80	1.5	2.76	3.74	31.75	7.94	2.91	10.77	5.39	1.70
40	80	2.0	3.66	4.54	37.32	9.33	2.87	12.70	6.35	1.67
40	80	3.0	5.42	6.61	52.16	13.04	2.81	17.49	8.75	1.63
50	100	2.0	4.52	5.74	74.94	14.99	3.61	25.65	10.26	2.11
50	100	3.0	6.71	8.41	106.34	21.27	3.56	35.97	14.39	2.07
50	150	2.0	6.17	7.74	207.45	27.66	5.18	37.17	14.87	2.19
50	150	3.0	9.17	11.41	298.35	39.78	5.11	52.54	21.02	2.15

## Anexo 11. Criterios de Aceptación y rechazo de Inspección Visual

**Tabla 8.1**  
**Criterios de aceptación de la inspección visual (ver 8.9)**

Categorías de discontinuidad y criterios de inspección	Conexiones no tubulares cargadas estáticamente	Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente										
<b>(1) Prohibición de grietas</b> No se deberá aceptar grieta alguna, independientemente del tamaño o la ubicación.	X	X										
<b>(2) Fusión del metal de soldadura/metal base</b> Deberá existir fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.	X	X										
<b>(3) Sección transversal del cráter</b> Se deberá llenar todos los cráteres para proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto en los extremos de soldaduras en filete intermitentes fuera de su longitud efectiva.	X	X										
<b>(4) Perfiles de soldadura</b> Los perfiles de soldadura deberán cumplir con 7.23.	X	X										
<b>(5) Tiempo de inspección</b> La inspección visual de las soldaduras en todos los aceros puede comenzar inmediatamente después de que se hayan enfriado las soldaduras finalizadas a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para aceros ASTM A514, A517 y A709 Grado HPS 100W [HPS 690W] deberán estar basados en inspecciones visuales realizadas en un lapso no menor a 48 horas después de la finalización de la soldadura.	X	X										
<b>(6) Soldaduras de tamaño inferior al nominal</b> El tamaño de una soldadura en filete en cualquier soldadura continua puede ser inferior al tamaño nominal especificado (L) sin corrección por las siguientes cantidades (U): <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">L,</td> <td style="text-align: center;">U,</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm]</td> <td style="text-align: center;">disminución admisible de L, pulg. [mm]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\leq 3/16</math> [5]</td> <td style="text-align: center;"><math>\leq 1/16</math> [2]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>1/4</math> [6]</td> <td style="text-align: center;"><math>\leq 3/32</math> [2.5]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\geq 5/16</math> [8]</td> <td style="text-align: center;"><math>\leq 1/8</math> [3]</td> </tr> </table> En todos los casos, la parte de la soldadura con tamaño menor del nominal no deberá exceder del 10% de la longitud de la soldadura. En las soldaduras de alma a ala en vigas, se deberá prohibir la reducción en los extremos de una longitud igual al doble del ancho del ala.	L,	U,	tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm]	disminución admisible de L, pulg. [mm]	$\leq 3/16$ [5]	$\leq 1/16$ [2]	$1/4$ [6]	$\leq 3/32$ [2.5]	$\geq 5/16$ [8]	$\leq 1/8$ [3]	X	X
L,	U,											
tamaño nominal especificado de la soldadura, pulg. [mm]	disminución admisible de L, pulg. [mm]											
$\leq 3/16$ [5]	$\leq 1/16$ [2]											
$1/4$ [6]	$\leq 3/32$ [2.5]											
$\geq 5/16$ [8]	$\leq 1/8$ [3]											
<b>(7) Socavación</b> (A) En el caso de materiales de menos de 1 pulg. [25 mm] de espesor, la socavación no deberá exceder de 1/32 pulg. [1 mm], con la siguiente excepción: la socavación no deberá exceder de 1/16 pulg. [2 mm] en cualquier longitud acumulada de hasta 2 pulg. [50 mm] en cualquier tramo de 12 pulg. [300 mm]. En el caso de materiales con espesor igual o mayor de 1 pulg. [25 mm], la socavación no deberá exceder de 1/16 pulg. [2 mm], cualquiera sea la longitud de la soldadura. (B) En miembros principales, la socavación no deberá ser mayor de 0,01 pulg. [0,25 mm] de profundidad cuando la soldadura es transversal al esfuerzo de tracción en cualquier condición de carga. La socavación no deberá ser superior a 1/32 pulg. [1 mm] de profundidad en ningún caso.	X											
<b>(8) Porosidad</b> (A) Las soldaduras en ranura con CJP en juntas a tope transversales a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad vermicular visible. En todas las demás soldaduras en ranura y soldaduras en filete, la suma de la porosidad vermicular visible de 1/32 pulg. [1 mm] o más de diámetro no deberá exceder de 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier tramo lineal de soldadura de una pulgada y no deberá exceder de 3/4 pulg. [20 mm] en cualquier tramo de soldadura de 12 pulg. [300 mm] de longitud. (B) La frecuencia de la porosidad vermicular en las soldaduras en filete no deberá exceder de una en cada 4 pulg. [100 mm] de longitud de soldadura y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2,5 mm]. Excepción: en el caso de soldaduras en filete que conectan rigidizadores al ala, la suma de los diámetros de la porosidad vermicular no deberá exceder de 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier tramo lineal de soldadura de una pulgada y no deberá exceder de 3/4 pulg. [20 mm] en cualquier tramo de soldadura de 12 pulg. [300 mm] de longitud. (C) Las soldaduras en ranura con CJP en juntas a tope transversales a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad vermicular. En todas las demás soldaduras en ranura la frecuencia de la porosidad vermicular no deberá exceder de una en 4 pulg. [100 mm] de longitud y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2,5 mm].	X											
		X										

Nota: Una "X" indica la aplicabilidad para el tipo de conexión, un área sombreada indica no aplicabilidad.



## Anexo 12. Guía Estándar para Examen con Partículas Magnéticas.

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: E709 – 21

### Standard Guide for Magnetic Particle Testing<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E709; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

#### 1. Scope<sup>2</sup>

1.1 This guide<sup>2</sup> covers techniques for both dry and wet magnetic particle testing, a nondestructive method for detecting cracks and other discontinuities at or near the surface in ferromagnetic materials. Magnetic particle testing may be applied to raw material, semifinished material (billets, blooms, castings, and forgings), finished material and welds, regardless of heat treatment or lack thereof. It is useful for preventive maintenance testing.

1.1.1 This guide is intended as a reference to aid in the preparation of specifications/standards, procedures and techniques.

1.2 This guide is also a reference that may be used as follows:

1.2.1 To establish a means by which magnetic particle testing, procedures recommended or required by individual organizations, can be reviewed to evaluate their applicability and completeness.

1.2.2 To aid in the organization of the facilities and personnel concerned in magnetic particle testing.

1.2.3 To aid in the preparation of procedures dealing with the examination of materials and parts. This guide describes magnetic particle testing techniques that are recommended for a great variety of sizes and shapes of ferromagnetic materials and widely varying examination requirements. Since there are many acceptable differences in both procedure and technique, the explicit requirements should be covered by a written procedure (see Section 21).

1.3 This guide does not indicate, suggest, or specify acceptance standards for parts/pieces examined by these techniques. It should be pointed out, however, that after indications have been produced, they must be interpreted or classified and then evaluated. For this purpose there should be a separate code, specification, or a specific agreement to define the type, size, location, degree of alignment and spacing, area concentration,

and orientation of indications that are unacceptable in a specific part versus those which need not be removed before part acceptance. Conditions where rework or repair is not permitted should be specified.

1.4 This guide describes the use of the following magnetic particle method techniques.

1.4.1 Dry magnetic powder (see 8.4).

1.4.2 Wet magnetic particle (see 8.5).

1.4.3 Magnetic slurry/paint magnetic particle (see 8.5.7), and

1.4.4 Polymer magnetic particle (see 8.5.8).

1.5 *Personnel Qualification*—Personnel performing examinations in accordance with this guide should be qualified and certified in accordance with ASNT Recommended Practice No. SNT-TC-1A, ANSI/ASNT Standard CP-189, NAS 410, or as specified in the contract or purchase order.

1.6 *Nondestructive Testing Agency*—If a nondestructive testing agency as described in Specification E543 is used to perform the examination, the nondestructive testing agency should meet the requirements of Specification E543.

1.7 *Units*—The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are mathematical conversions to SI units that are provided for information only and are not considered standard.

1.8 **Warning**—Mercury has been designated by many regulatory agencies as a hazardous material that can cause serious medical issues. Mercury, or its vapor, has been demonstrated to be hazardous to health and corrosive to materials. Caution should be taken when handling mercury and mercury containing products. See the applicable product Safety Data Sheet (SDS) for additional information. Users should be aware that selling mercury or mercury containing products, or both, into your state or country may be prohibited by law.

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

1.10 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the*

<sup>1</sup>This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee 317 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee 317.03 on Liquid Penetrant and Magnetic Particle Methods.

Current edition approved June 1, 2021. Published July 2021. Originally approved in 1980. Last previous edition approved in 2015 as E709 – 15. DOI: 10.1520/E0709-21.

<sup>2</sup>For ASME Bolt and Pressure Vessel Code Applications, see related Guide SE-709 in Section II of that Code.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-0200, United States.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved). This file is for individual use and distribution only.

Downloaded from

on 05/15/2024 10:10:10 AM. See www.astm.org for copyright information. No further reproduction allowed.

# Anexo 13. Práctica Estándar para Pruebas con Partículas Magnéticas.



Designation: E1444/E1444M - 16<sup>e1</sup>

## Standard Practice for Magnetic Particle Testing<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E1444/E1444M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.*

<sup>e1</sup> NOTE—Summary of Changes updated editorially in July 2016.

### 1. Scope\*

1.1 This practice establishes minimum requirements for magnetic particle testing used for the detection of surface or slightly subsurface discontinuities in ferromagnetic material. Guide E709 can be used in conjunction with this practice as a tutorial.

NOTE 1—This Practice replaces MIL-STD-1949.

1.2 The magnetic particle testing method is used to detect cracks, laps, seams, inclusions, and other discontinuities on or near the surface of ferromagnetic materials. Magnetic particle testing may be applied to raw material, billets, finished and semi-finished materials, welds, and in-service parts. Magnetic particle testing is not applicable to non-ferromagnetic metals and alloys such as austenitic stainless steels. See Appendix XI for additional information.

1.3 All areas of this Practice may be open to agreement between the Cognizant Engineering Organization and the supplier, or specific direction from the Cognizant Engineering Organization.

1.4 This standard is a combined standard, an ASTM standard in which rationalized SI units and inch-pound units are included in the same standard, with each system of units to be regarded separately as standard.

1.4.1 *Units*—The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appro-*

*prate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

2.1 The following documents form a part of this standard practice to the extent specified herein.

2.2 *ASTM Standards*:<sup>2</sup>

A275/A275M Practice for Magnetic Particle Examination of Steel Forgings

A456/A456M Specification for Magnetic Particle Examination of Large Crankshaft Forgings

E543 Specification for Agencies Performing Nondestructive Testing

E709 Guide for Magnetic Particle Testing

E1316 Terminology for Nondestructive Examinations

E2297 Guide for Use of UV-A and Visible Light Sources and Meters used in the Liquid Penetrant and Magnetic Particle Methods

E3022 Practice for Measurement of Emission Characteristics and Requirements for LED UV-A Lamps Used in Fluorescent Penetrant and Magnetic Particle Testing

2.3 *ASNT Documents*:<sup>3</sup>

SNT-TC-1A Recommended Practice No. "Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing

ANSI/ASNT CP-189 Standard for Qualification and Certification of NDT Personnel

2.4 *Society of Automotive Engineers (SAE)-AMS Documents*:<sup>4,5</sup>

AMS 2641 Magnetic Particle Inspection Vehicle

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> Available from American Society for Nondestructive Testing (ASNT), P.O. Box 28518, 1711 Arlinggate Ln., Columbus, OH 43228-0518, <http://www.asnt.org>.

<sup>4</sup> Copies of standards, specifications, drawings, and publications required by manufacturers in connection with specification acquisition should be obtained from the contracting activity or as directed by the contracting officer.

<sup>5</sup> Available from SAE International (SAE), 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096-0001, <http://www.sae.org>.

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E07 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.03 on Liquid Penetrant and Magnetic Particle Methods.

Current edition approved June 1, 2016. Published June 2016. Originally approved in 1991. Last previous edition approved in 2012 as E1444 - 12. DOI: 10.1520/E1444\_E1444M-16e1.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2950, United States

**Anexo 14. Hoja de datos del equipo de inspección por partículas magnéticas**





## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO HOJA DE DATOS DEL EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

### BANCO DE PRUEBAS (MT)

El equipo de banco de pruebas MT, corresponde a un sistema de inspección por partículas magnéticas para la realización de ensayos no destructivos por medio del principio de un equipo de bancada húmeda horizontal.

### DESCRIPCIÓN

El banco de pruebas MT proporciona 1200 A de magnetización en corriente alterna (AC), para detectar defectos superficiales y subsuperficiales en diferentes tipos de piezas a partir de la inspección por partículas magnéticas fluorescentes a través del método húmedo. El equipo utiliza un transformador 220/8 V, a manera de generador de energía para el disparo de corriente magnetizadora, un sistema de control fácil de usar capaz de regular y ajustar la corriente a utilizar en el ensayo, el tiempo de disparo y el tiempo de descanso o corte de la corriente entre ciclos de disparo, dando a la pieza 2 disparos por ciclo, una bancada de acero y dos sistemas de salida de corriente ajustables a la inspección y de forma independiente, los cuales se utilizan para establecer un campo magnético circular o longitudinal por medio del sistema cabezal/contrapunto y el de bobina solenoide de 5 espiras [Ø 25 cm] respectivamente.

En adición el equipo incluye un sistema de recolección del desperdicio del consumible de suspensión de partículas magnéticas fluorescentes base aceite en aerosol por medio de una bandeja de acero inoxidable removible del equipo para facilitar la limpieza.

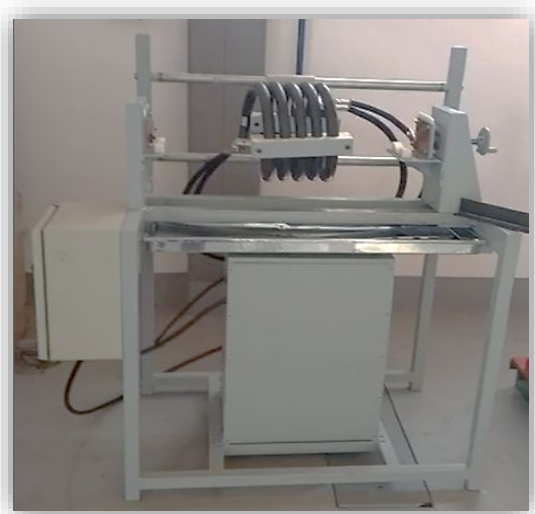


Figura 1: Banco de pruebas MT.

### CARACTERÍSTICAS GENERALES

- Diseño de bancada versátil y cómodo para garantizar la efectividad de los sistemas de magnetización circular y longitudinal y la facilidad de la inspección.
- Sistema de control fácil de operar.
- Sistema de depósito de partículas removible.
- Sistemas de magnetización circular y longitudinal ajustables.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO HOJA DE DATOS DEL EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

- Capacidad de detectar defectos en cualquier sentido a través de las técnicas de magnetización de partes definidas en el equipo (magnetización por contacto directo y magnetización indirecta por conductor central o bobina).
- Requiere una fuente energía de 220 V para alimentar al circuito de control y el transformador.
- El sistema de control usa un selector ON/OFF, el cual permite el encendido del equipo, seguido del encendido del ciclo de servicio de disparos magnetizadores, a su vez emplea 3 potenciómetros de 10 pasos para regular la corriente y los tiempos de disparo y descanso.
- El ciclo de servicio del equipo se ajusta desde 1 s hasta el máximo 10s tanto para el tiempo de disparo magnético y descanso.
- Salida de voltaje bajo de 8 V para minimizar el riesgo de exposición eléctrica y garantizar la seguridad del operador/es del equipo.
- Posee una luz indicadora activada durante la entrega de corriente magnética encendida durante la duración del disparo magnético
- Posee un indicador digital de amperaje y voltaje de medición a la entrada.
- Fácil intercambio de las conexiones para la corriente de magnetización de los sistemas cabezal/contrapunto o bobina.

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO

Tabla 1: Especificaciones técnicas del equipo de banco de pruebas MT.

<b>Dimensiones de la bancada (largo x ancho x altura)</b>	1000 x 700 x 1350 mm
<b>Altura de la mesa de trabajo del banco</b>	900 mm
<b>Peso total del Equipo</b>	185 kg
<b>Longitud máxima de sujeción</b>	625 mm
<b>Capacidad máxima de piezas a ensayo</b>	<b>Largo:</b> 625 mm <b>Peso:</b> 110 kg
<b>Diámetro interno de la bobina</b>	250 mm
<b>Dimensión de placas de contacto de cabezal / contrapunto</b>	165 x 103 mm <b>Espesor:</b> 3 mm
<b>Peso del transformador</b>	75 kg
<b>Dimensiones del transformador (largo x ancho x altura)</b>	460 x 360 x 680 mm
<b>Corriente de línea requerida a capacidad máxima</b>	42 A
<b>Voltaje de entrada</b>	220 V AC
<b>Voltaje de salida</b>	8 V
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Amperaje máximo de salida</b>	1200 A



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO HOJA DE DATOS DEL EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

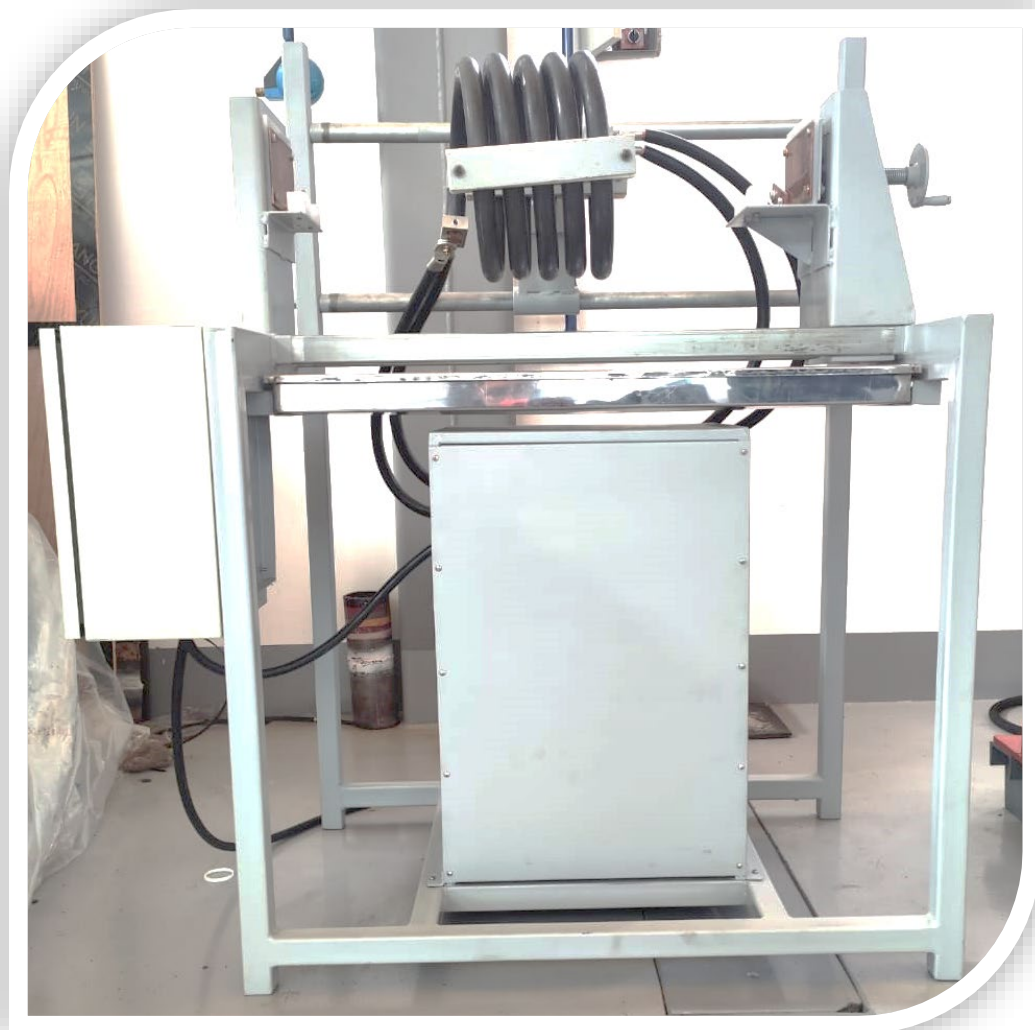
<b>Capacidad de corriente magnetizada</b>	De 0 a 1200 A en CA
<b>Peso del gabinete y componentes del sistema de control</b>	8 kg
<b>Dimensiones del gabinete del sistema de control (largo x ancho x altura)</b>	300 x 200 x 400 mm
<b>Control de corriente y tiempo de disparo/descanso</b>	Regulable (10 pasos)
<b>Ciclo de trabajo máximo (disparo/descanso)</b>	10 segundos ON 10 segundos OFF

### RECOMENDACIONES DE USO DEL EQUIPO

Tabla 2: Recomendaciones para el uso del equipo de banco de pruebas MT.

<b>Ensayo NDT</b>	Inspección por partículas magnéticas (MT)
<b>Método recomendado</b>	Método húmedo
<b>Equipo requerido</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lámpara UV</li><li>• Suspensión de Partículas Magnéticas Fluorescentes Base Aceite</li></ul>
<b>Accesorios Recomendados</b>	-Polvo de partículas magnéticas (método seco) -Baño de partículas magnéticas negras visibles (método húmedo) -Pintura de contraste blanca

**Anexo 15. Manual de Operación del equipo de inspección por partículas magnéticas**



# **BANCO DE PRUEBAS MT**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

## MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

### **1. Alcance del manual de operación del equipo**

El presente manual de operación del equipo de banco de pruebas MT, brinda la información fundamental requerida para la instalación, operación y mantenimiento del equipo de inspección por partículas magnéticas fluorescentes.

### **2. Propósito del equipo**

El equipo de banco de pruebas MT, fue diseñado y construido bajo el principio de funcionalidad de una bancada húmeda horizontal y debe utilizarse para realizar ensayos no destructivos por la técnica de inspección por partículas magnéticas (MT), con la finalidad de encontrar discontinuidades superficiales y sub superficiales en piezas y elementos de material ferromagnético.

Por ende, el equipo consta de los siguientes parámetros de funcionalidad determinados:

- a. Aplicación de partículas magnéticas húmedas fluorescentes
- b. Establecimiento de campos magnéticos circulares y longitudinales adecuados
- c. Inspección y evaluación de las discontinuidades reflejadas en la acumulación de partículas, bajo criterios de inspección establecidos por normas y estándares reglamentados y mediante el uso del equipamiento necesario.

### **3. Instrucciones generales de seguridad**

- Leer este manual antes de operar el equipo de banco de pruebas MT para inspección por partículas magnéticas fluorescentes.
- No operar el equipo hasta estar familiarizado con el funcionamiento de los componentes mecánicos y eléctricos que presenta.
- No usar ropa suelta o estar equipado de equipamiento/bisutería de metal mientras opera el equipo o realiza su mantenimiento
- Inspeccionar el equipo de manera diaria en busca de condiciones inseguras como la mala conexión o falta de ajuste de los cables de corriente eléctrica.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

- Mantener a cualquier personal no autorizado lejos del área de uso del equipo
- Verificar antes de operar el equipo que todos los controles funcionan correctamente
- Al finalizar la operación del equipo desconectar toda la energía

**Nota:** El equipo de banco de pruebas MT fue diseñado y construido en base a los parámetros especificados en las normas ASTM E 709 – 21 y ASTM E 1444 – 16, la frecuencia de ajuste de los amperajes empleado para los métodos de magnetización que posee el equipo, el número de disparos magnéticos por ciclo y los tiempos de magnetización para el uso del equipo se rigen por este estándar.

#### 4. Especificaciones técnicas del equipo

El banco de pruebas MT, consiste de cuatro zonas de procesamiento principales, sobre las cuales se compone el sistema de magnetización circular, magnetización longitudinal, el sistema de depósito de la suspensión de partículas magnéticas fluorescentes base aceite en aerosol y una fuente de energía por medio de un transformador que proporciona 1200 Amperios de magnetización a bajo voltaje (8 V) en corriente alterna (AC), para detectar defectos superficiales y subsuperficiales en diferentes tipos de piezas a partir de la inspección por partículas magnéticas fluorescentes a través del método húmedo.

Tabla 1: Especificaciones técnicas del equipo de banco de pruebas MT.

<b>Dimensiones de la bancada (largo x ancho x altura)</b>	1000 x 700 x 1350 mm
<b>Altura de la mesa de trabajo del banco</b>	900 mm
<b>Peso total del Equipo</b>	185 kg
<b>Longitud máxima de sujeción</b>	625 mm
<b>Capacidad máxima de piezas a ensayo</b>	<b>Largo:</b> 625 mm <b>Peso:</b> 110 kg
<b>Diámetro interno de la bobina</b>	250 mm



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE  
INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

<b>Dimensión de placas de contacto de cabezal / contrapunto</b>	165 x 103 mm <b>Espesor: 3 mm</b>
<b>Peso del transformador</b>	75 kg
<b>Dimensiones del transformador (largo x ancho x altura)</b>	460 x 360 x 680 mm
<b>Corriente de línea requerida a capacidad máxima</b>	42 A 220 V AC
<b>Voltaje de entrada</b>	220 V
<b>Voltaje de salida</b>	8 V
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Amperaje máximo de salida</b>	1200 A
<b>Capacidad de corriente magnetizada</b>	De 0 a 1200 A en CA
<b>Peso del gabinete y componentes del sistema de control</b>	8 kg
<b>Dimensiones del gabinete del sistema de control (largo x ancho x altura)</b>	300 x 200 x 400 mm
<b>Control de corriente y tiempo de disparo/descanso</b>	Regulable (10 pasos)
<b>Ciclo de trabajo máximo (disparo/descanso)</b>	10 segundos ON 10 segundos OFF

## 5. Instalación y ubicación del equipo

Para la instalación del equipo de banco de pruebas MT, se debe considerar los siguientes parámetros previo a la selección de la ubicación permanente del equipo de inspección por partículas magnéticas:

- Una fuente de alimentación con el voltaje, frecuencia y fase adecuados para el correcto funcionamiento del equipo detallados en el apartado de especificaciones técnicas.





## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

- b. Un espacio mínimo de 1/2 metro en ambos extremos del equipo y en la parte trasera, para así, garantizar el espacio adecuado para su uso durante la realización del ensayo y la posterior inspección por parte del operario/s.

Así mismo por propósitos de ventilación y enfriamiento del equipo, facilitar el mantenimiento y el acceso, movimiento y almacenamiento del equipo requerido y demás materiales.

- c. Un piso nivelado y solido capaz de soportar el peso del equipo de banco de pruebas y de las piezas o materiales a inspeccionar.

### 6. Instalación y conexiones eléctricas del equipo

El equipo de banco de pruebas MT se encuentra cableado internamente con el propósito de suministrar energía al sistema de control y al transformador a partir de una misma conexión derivada, lo que permite controlar con mayor eficacia la energización del transformador y su posterior disparo de energía eléctrica para generar el campo magnético y el cableado exterior desde la fuente de alimentación bifásica que provee la instalación eléctrica hacia el sistema de control según el voltaje designado para alimentación del equipo 220 Voltios y 42 Amperios.

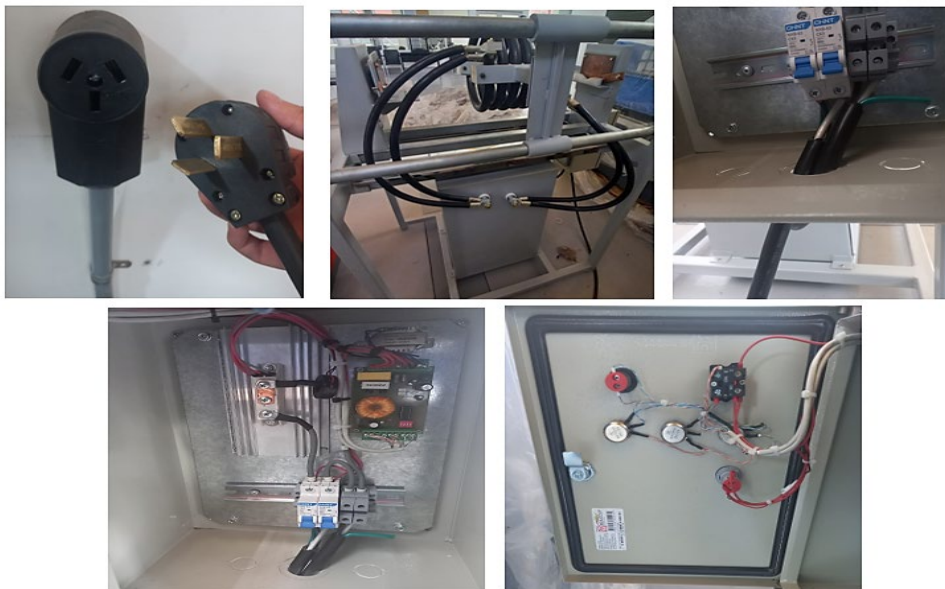


Figura 1: Conexiones eléctricas y del sistema de control de banco de pruebas MT.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

1. Conectar/Desconectar el enchufe del equipo de banco de pruebas MT al tomacorriente de la fuente de alimentación de la instalación eléctrica previamente a la inspección y posterior al uso del equipo respectivamente.
2. Abrir el panel del gabinete del sistema de control ubicado en el lateral izquierdo del equipo para abrir o cerrar los breakers de 60 Amperios para permitir/cortar la energización del sistema de control y el transformador.

**NOTA:** La tarjeta de control de soldadora de punto empleada por el sistema de control para regular la corriente de magnetización, el tiempo de disparo magnético, y el corte de corriente del sistema de control, implementa un switch que permite controlar los pulsos (número de disparos por ciclo), por defecto el switch (interruptor DIP de 4 posiciones) está fijado para realizar 2 disparos magnéticos (pulsos), dicha disposición emplea el equipo de banco de pruebas. Sin embargo, el equipo tiene la capacidad de generar hasta 4 disparos por ciclo de acuerdo a la siguiente disposición:

- A. **Dos pulsos:** Cuando la palanca 3 esta levantada y la palanca 2 bajada, el equipo podrá generar 2 disparos magnéticos por ciclo, (la palanca 1 no tiene funcionalidad).
- B. **Tres pulsos:** Cuando la palanca 3 este bajada y la palanca 2 levantada, el equipo podrá generar 3 disparos magnéticos por ciclo, (la palanca 1 no tiene funcionalidad).
- C. **Cuatro pulsos:** Cuando las palancas 3 y 2 estén levantadas, el equipo podrá generar 4 disparos magnéticos por ciclo, (la palanca 1 no tiene funcionalidad).

### 7. Instrucciones de operación

Todos los indicadores acerca del funcionamiento del equipo y del sistema de control se muestran en las Figuras 1 y 2.

#### 7.1. Partes del equipo y elementos del sistema de control



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE  
INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Tabla 2: Componentes del equipo de banco de pruebas MT.

Lista de partes/componentes de equipo banco de pruebas MT	
1. Estructura	2. Sistema de soporte - movimiento de bobina
3. Sistema de control	4. Bobina de núcleo de aire
5. Cabezal fijo	6. Cabezal móvil – sistema de bloqueo
7. Sistema de depósito de suspensión de partículas magnéticas fluorescentes	8. Transformador

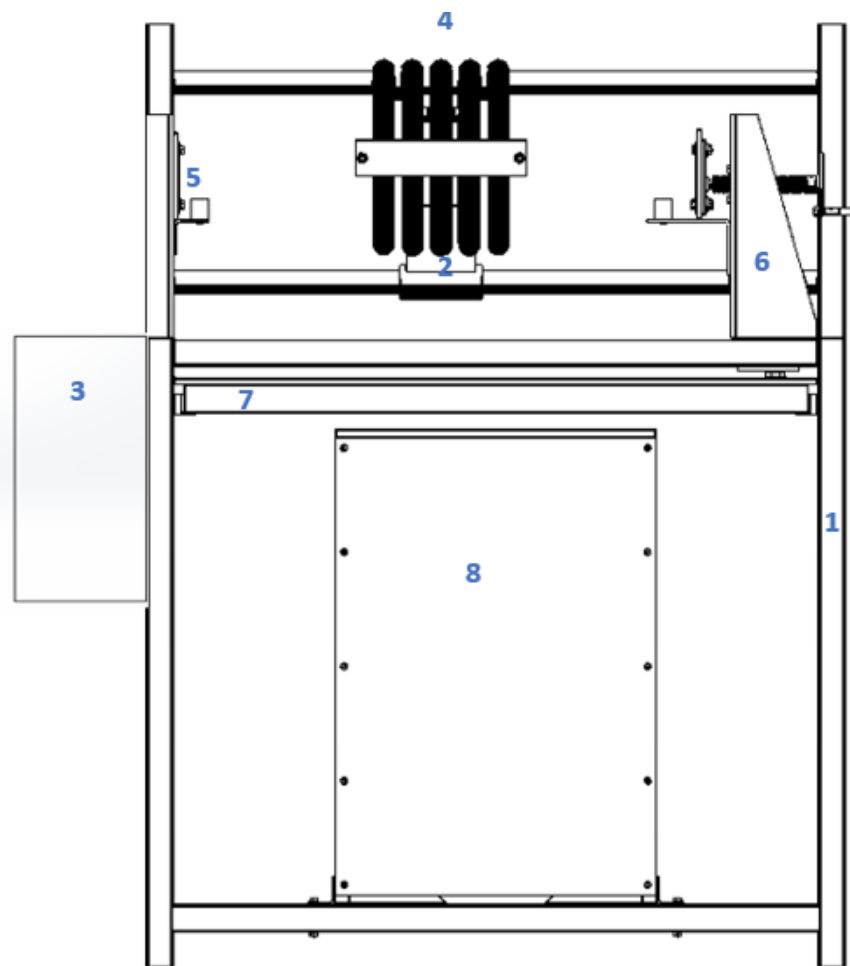


Figura 2: Diagrama de componentes de equipo de banco de pruebas MT.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE  
INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Tabla 3: Componentes del sistema de control de banco de pruebas MT.

Partes/componentes de sistema de control de banco de pruebas MT	
9. Selector ON/OFF	10. Lámpara LED
11. Potenciómetro de control de corriente	12. Potenciómetro de control de tiempo de magnetización
13. Potenciómetro de control de tiempo de descanso/ corte de corriente	14. Indicador digital de voltaje – amperaje de CA

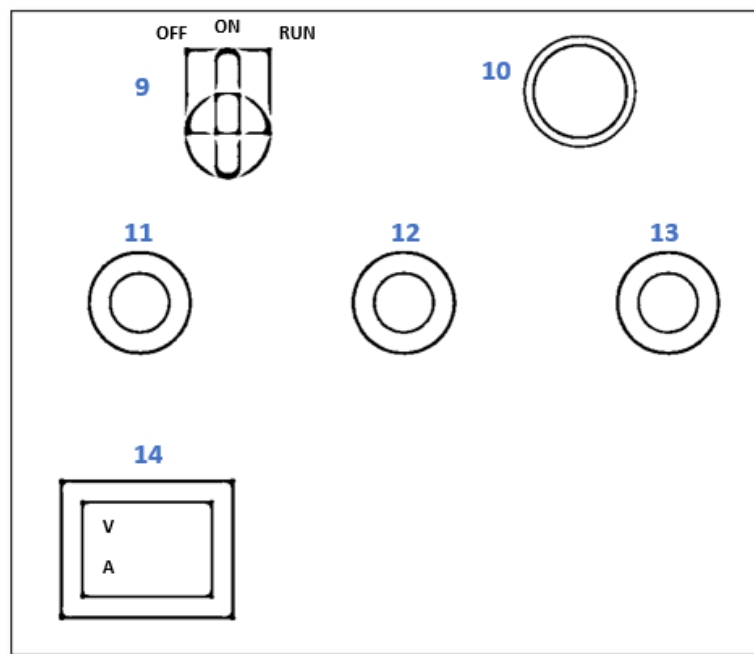


Figura 3: Diagrama de componentes de equipo de banco de pruebas MT.

**Nota:** Para el equipo de banco de pruebas MT, la duración del tiempo de disparo y descanso, se ha establecido con una configuración de 1 segundo hasta un máximo de 10 segundos en pasos de 1 segundo.

**1.1.Descripción del funcionamiento de las partes del equipo y elementos del sistema de control**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE  
INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

De acuerdo con la Figura 2 - 3:

- a. **Selector ON/OFF/RUN:** Enciende el equipo y activa la magnetización del equipo.
  - Girar una vez a la derecha enciende el equipo
  - Girar nuevamente a la derecha, activa el ciclo de disparo magnético
  - Girar a la izquierda, setea el equipo para activa un nuevo ciclo
  - Girar nuevamente a la izquierda, apaga el equipo
  
- b. **Lámpara Led:** Enciende un indicador de luz roja para indicar el ciclo de disparo magnético.
  - Se enciende una vez durante la activación y duración del tiempo del primer disparo magnético
  - Se apaga durante la activación y duración del tiempo de descanso/corte de corriente
  - Se enciende nuevamente durante la activación y duración del tiempo de disparo magnético subsecuente
  
- c. **Indicador digital de voltaje – amperaje de CA:** Muestra la cantidad de voltaje de entrada del equipo medido en el bobinado primario del transformador y la cantidad de corriente que pasa por este bobinado.
  
- d. **Potenciómetro de control de corriente:** Permite regular el amperaje deseado desde 0 hasta 1200 A.
  
- e. **Potenciómetro de control de tiempo de magnetización:** Permite regular la duración del tiempo de disparo magnético deseado desde 1 hasta 10 s.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

- f. Potenciómetro de control de tiempo de descanso / corte de corriente:** Permite regular la duración del tiempo de descanso deseado desde 1 hasta 10 s.
- g. Sistema de control:** Contiene todas las conexiones, controles manipulables por el operador/es, botones e indicadores.
- h. Cabezal fijo:** Componente que proporciona sujeción y contacto magnético (magnetización circular directa, magnetización indirecta por conductor central) a la pieza de ensayo.
- i. Cabezal móvil (Contrapunto):** Componente que proporciona sujeción y contacto magnético, este se desplaza a lo largo de dos rieles en la estructura a través de un sistema de placas y rieles, puede ajustarse para adaptarse a la longitud de la pieza de ensayo, este componente incorpora un sistema de ajuste a la pieza para garantizar la sujeción y el contacto magnético (magnetización circular directa, magnetización indirecta por conductor central) por medio de un sistema de tornillo de transmisión, el contrapunto debe bloquearse por medio del sistema de placa de bloqueo al ajustar el perno, para así impedir lesiones o daños en el operador u operadores del equipo.
- j. Sistema de soporte – movimiento de bobina:** El sistema de soporte de bobina consiste en un elemento de sujeción conformado por 2 placas de Nylon agujeradas con el diámetro exterior del conductor que conforma la bobina, 2 placas metálicas y pernos que sujetan y aprietan para garantizar el ajuste, forma y diámetro de la bobina. A su vez, el sistema de movimiento de la bobina está conformado por un conjunto de bujes, placas, perfil estructural cuadrado soldados al sistema de soporte de bobina para permitir su movimiento a través de los perfiles de la estructura, así mismo, un sistema de perno y placa permite ajustar la altura y la inclinación de la bobina respecto a la altura del cabezal/contrapunto.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

- k. **Bobina de núcleo de aire:** Componente de 5 espiras que proporciona magnetización longitudinal.
- l. **Transformador:** Este componente convierte el voltaje de entrada de 220 a 8 Voltios de salida, transformando los 42 A que provee y toma de la línea de alimentación a los 1200 que requiere para generar el disparo de corriente magnetizante a su capacidad máxima.
- m. **Sistema de depósito de suspensión de partículas magnéticas fluorescentes:** Consiste en un sistema de guía y una bandeja de acero inoxidable removible del equipo para facilitar la limpieza, sobre la cual se recolecta el desperdicio del consumible de suspensión de partículas magnéticas fluorescentes base aceite en aerosol aplicado sobre las piezas de ensayo.

### 7.2. Instrucciones de verificación diaria de puesta en marcha y operación del equipo

#### a. Verificación diaria

1. Verificar el estado del cable de conexión y del enchufe externo del equipo, seguido conectar el enchufe al toma corriente de la línea de alimentación de 220 V.
3. Abrir el gabinete metálico ubicado al lado izquierdo del equipo, verificar el estado de las conexiones del circuito de control y de las conexiones eléctricas de la línea de alimentación al sistema de control y al transformador, seguido levantar los breakers de 60 Amperios para permitir la energización de ambos componentes.
4. Girar una vez a la derecha el selector para cambiar de posición a ONN y encender el sistema de control del banco de pruebas.
5. Verificar en el indicador digital de voltaje – amperaje de CA posterior al encendido la cantidad de voltaje que entra al bobinado primario del transformador (220 V).
6. Verificar si el cabezal móvil (contrapunto) se encuentra desbloqueado para su libre movimiento antes de colocar las piezas a ensayar.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

### **b. Colocación de la pieza de ensayo**

7. Mover y ajustar el cabezal móvil (contrapunto) a una posición adecuada para que la pieza pueda ser sostenida por los soportes o entre las placas de cobre del cabezal fijo y móvil
8. Ubicar y alinear la pieza a ensayar en la posición adecuada para que la corriente fluya en la dirección a la que se quiere analizar los defectos y así encontrar de mejor manera las indicaciones.
9. Bloquear el cabezal móvil ajustando el perno del sistema de bloqueo.
10. En caso de ser necesario ajustar la pieza mediante el sistema de ajuste que posee el cabezal móvil girando el tornillo de transmisión para desplazar las placas y hacer más presión sobre la pieza a ensayar y así garantizar un contacto adecuado para la magnetización.

### **c. Procedimientos de magnetización**

11. Colocar, empernar y ajustar los terminales de los cuatro cables de conexión, dos cables a cada uno los terminales de cobre de las placas del cabezal fijo y móvil, si se requiere utilizar los CONTACTOS DE COBRE del cabezal/contrapunto para realizar magnetización circular directa sobre la pieza o indirecta por medio de conductor central.
12. Si se requiere utilizar el otro método de magnetización aflojar la tuerca, retirar el perno y extraer cada uno de los terminales de los cables de conexión.
13. Colocar, empernar y ajustar los terminales de los cuatro cables de conexión, dos cables a cada uno los terminales de la bobina, si se requiere utilizar BONINA para realizar magnetización longitudinal directa sobre la pieza a inspeccionar.
14. Configurar el nivel de corriente adecuado para cada uno de los métodos de magnetización circular o longitudinal de acuerdo a los especificado por el apartado X3 de la norma ASTM E 709 – 21.





## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

**NOTA 1:** Si se utiliza el método de MAGNETIZACIÓN CIRCULAR DIRECTA por contacto directo con la pieza magnetizada, retirar la bobina hacia arriba y colocarla al tope de los rieles de tubería redonda en la parte superior de la estructura banco de pruebas, para así generar mayor espacio y comodidad al momento de inspeccionar la pieza por medio de este método, seguido colocar la pieza a inspeccionar entre los contactos de cobre de acuerdo a los especificado en los pasos 7 - 10.

**NOTA 2:** Si se utiliza el método de MAGNETIZACIÓN CIRCULAR INDUCIDA POR UN CONDUCTOR CENTRAL, de igual forma, retirar la bobina hacia arriba y colocarla al tope de los rieles de tubería redonda en la parte superior de la estructura banco de pruebas, seguido colocar el conductor central ( $\varnothing \frac{1}{2}$  ",  $\varnothing 1$  " o  $\varnothing 1 \frac{1}{2}$  ") entre los contactos de cobre, siguiente colocar la pieza (hueca) de forma que el conductor central pase por el interior de la pieza a inspeccionar, seguido bloquear el cabezal móvil como se especifica en los pasos 7 – 10.

**Para este método, la región de la circunferencia efectiva aproximada de examen en la pieza, cuando se usa un conductor central es de cuatro veces el diámetro del conductor central.**

**NOTA 3:** Si se utiliza el método de MAGNETIZACIÓN LONGITUDINAL INDUCIDA CON UNA BOBINA DE NÚCLEO DE AIRE, una vez conectados los cables a los terminales de la bobina, desplazarla a un espacio libre mientras se introduce la pieza a inspeccionar entre los contactos desconectados de los cabezales para que pueda ser sostenida por los soportes o entre las placas de cobre del cabezal fijo y móvil, seguido desplazar la bobina al centro de la longitud de la pieza a inspeccionar, siguiente bloquear el cabezal móvil como se especifica en los pasos 7 – 10. Si es necesario desplace la bobina a una posición deseada.

**Para este método, la región longitudinal efectiva aproximada de examen en la pieza, cuando se usa una bobina de núcleo de aire, es equivalente al radio de la bobina a cada lado de la bobina (125 mm).**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE  
INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

15. Configurar el tiempo de disparo y de corte de corriente adecuado entre 1 a 10 segundos.
16. Verificar en el indicador digital de voltaje – amperaje, dividir el amperaje que se requiere a la salida por la relación de transformación para ajustar el valor de amperaje que se está introduciendo en el equipo; y multiplicar el valor del amperaje a la entrada del transformador por la relación de transformación para conocer el valor de amperaje que se está introduciendo a la pieza mediante la magnetización por cualquiera de los métodos empleados.

**NOTA 1:** Para ajustar el valor de corriente magnetizante a utilizar en el equipo, es necesario dividir el valor de corriente que se requiere para realizar la inspección por la relación de transformación como se muestra a continuación:

- Voltaje de entrada: 220 V
- Voltaje de salida: 8 V

$$\alpha = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$\alpha = \text{Relación de transformación} = \frac{220 \text{ V}}{8 \text{ V}} = 27,5$$

Donde:

$I_1$  = Corriente que se ajusta en el equipo, entra al primario del transformador

$\alpha$  = Relación de transformación = 27,5

$I_2$  = Corriente que sale del secundario del transformador (corriente requerida de magnetización)

$$I_1 = \frac{I_2}{27,5}$$



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

**NOTA 2:** Para conocer y/o comprobar el valor de corriente que sale del bobinado secundario del transformador para magnetizar a la pieza, es necesario multiplicar el valor de corriente que marca el indicador digital medido en el primario del transformador por la relación de transformación como se muestra a continuación:

$$\alpha = \text{Relación de transformación} = 27,5$$

Donde:

$I_1$  = Corriente que entra al primario del transformador (Corriente marcada por el indicador digital)

$$\alpha = \text{Relación de transformación} = 27,5$$

$I_2$  = Corriente que sale del secundario del transformador (corriente de magnetización)

$$I_2 = I_1 * 27,5$$

17. Girar otra vez a la derecha el selector para cambiar de posición a RUN y dar paso al ciclo de disparos magnéticos (configuración por defecto 2 disparos por ciclo).
18. Mientras se genera el campo magnético generado por los disparos esta activo, aplicar el baño húmedo de partículas magnéticas (fluorescentes - color).

**NOTA:** La suspensión de partículas magnéticas fluorescentes base aceite en aerosol debe ser aplicada sobre la pieza mientras se desarrolla el disparo de magnetización antes de finalizar el ciclo.

19. Repetir el ciclo de magnetización si es necesario.

**NOTA:** Colocar el selector en la posición de ON para reiniciar el ciclo, girar nuevamente a la posición de RUN para repetir los disparos de magnetización.

### **d. Procedimientos de paro del equipo**

20. Finalizado el proceso de magnetización, girar el selector hasta la posición de OFF para detener la operación y energización del equipo.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

21. Desbloquear y desplazar el cabezal móvil (contrapunto), retirar la pieza para su posterior inspección con la luz de la lámpara UV.
22. Inspeccionar la pieza en busca de indicaciones.
23. Retirar y limpiar la bandeja con el residuo de la suspensión de partículas magnéticas si es necesario.

### 8. Mantenimiento del equipo

A continuación, se detallan acciones de mantenimiento diarias, semanales y mensuales a ser desarrolladas en el equipo con el motivo de prevenir o descubrir daños o averías.

#### 8.1. Mantenimiento diario

Tabla 4: Mantenimiento diario de equipo de banco de pruebas MT.

<b>Parte del equipo / Elementos</b>	<b>Acción a realizar</b>
<b>Conexiones de cables</b>	Verificar las conexiones de alimentación del equipo y de las conexiones a los terminales de la bobina y los contactos, ajustar si es necesario, controlar el estado de los conectores y cables.
<b>Dispositivos de bloqueo del cabezal móvil</b>	Comprobar la acción de sujeción del cabezal móvil, revisar el estado de la placa de bloqueo y del perno, lubricar si es necesario.
<b>Dispositivos de ajuste del cabezal móvil</b>	Comprobar la acción de apriete del tornillo de transmisión del cabezal móvil, revisar el estado de la placa de empuje y del tornillo, lubricar si es necesario.
<b>Bandeja de depósito de sistema de recolección del desperdicio del consumible de suspensión de partículas magnéticas</b>	Revisar el estado de las guías acopladas a la estructura donde se ubica la bandeja, verificar el estado de la bandeja en busca de defectos que causen fugas del líquido de suspensión.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE  
INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

<b>Parte del equipo / Elementos</b>	<b>Acción a realizar</b>
<b>Dispositivo indicador - lámpara led</b>	Verificar que el indicador de la luz roja de la lámpara led se encienda cuando se suministre corriente a la pieza durante el ciclo y la duración de los disparos magnéticos. Revise las conexiones del sistema de control si es necesario.
<b>Indicador digital de voltaje – amperaje de CA</b>	Verificar que el indicador digital de voltaje – amperaje de CA se ilumine acorde al encendido del equipo, revisar si los valores de voltaje y corriente mostrados son correctos. Revisar las conexiones del sistema de control y del bobinado primario del transformador si es necesario.
<b>Selector ON/OFF - Potenciómetros de amperaje y tiempos de disparo/descanso</b>	Verificar que el selector y los potenciómetros funcionen correctamente, verificar el giro de la perilla del selector y potenciómetros. Revisar las conexiones del sistema de control si es necesario.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE  
INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

## 8.2. Mantenimiento semanal

Tabla 5: Mantenimiento semanal de equipo de banco de pruebas MT.

<b>Parte del equipo / Elementos</b>	<b>Acción a realizar</b>
<b>Placas de contacto</b>	<p>El uso del baño húmedo de la suspensión de partículas magnéticas fluorescentes base aceite en aerosol puede generar oxidación en las placas de contacto de cobre. Eliminar la oxidación de las placas de contacto con un cepillo de alambre.</p> <p>Limpiar la zona donde se ubica el contacto y los terminales de conexión del cabezal/contrapunto.</p>
<b>Gabinete metálico y sistema de control</b>	<p>Verificar que el equipo se encuentre apagado y el enchufe desconectado de la toma de corriente, verificar el estado del interior del panel del sistema de control, revisar el estado de los breakers y borneras. Comprobar el estado de las conexiones eléctricas. Limpiar la acumulación de polvo con un soplete de aire comprimido en los componentes con mayor riesgo a daño como la tarjeta de control de soldadora de punto y el tiristor.</p>



### 8.3. Mantenimiento mensual

Tabla 6: Mantenimiento mensual de equipo de banco de pruebas MT.

<b>Parte del equipo / Elementos</b>	<b>Acción a realizar</b>
<b>Bandeja de depósito de sistema de recolección del desperdicio del consumible de suspensión de partículas magnéticas</b>	Retirar la bandeja de depósito, limpiar y lubricar las guías de la bandeja si es necesario. Verificar la bandeja en busca de defectos que causen fugas de líquido hacia el transformador o acumulaciones de suspensión que cause oxidación. Limpiar la zona interior de la bandeja, retirar acumulaciones de la suspensión y enjuagar con una solución adecuada de limpieza para acero inoxidable.
<b>Transformador</b>	Revisar el transformador en busca de olor a acre (quemado) en los bobinados y sus conexiones. Verificar si el trabajo del transformador es adecuado escuchando su funcionamiento por medio del disparo magnético. Abrir la tapa frontal del armario del transformador y limpiar la suciedad acumulada en el núcleo y los bobinados mediante el uso soplete de aire comprimido. Verificar el estado de las conexiones de alimentación y al sistema de control.
<b>Conexiones de cables</b>	Verificar el estado de los cables de conexión eléctrica de los contactos de cobre y a la bobina. Revisar el estado del cable que conforma la bobina. Apretar todas las conexiones. Revisar el cableado externo y del sistema de control en busca de aislamiento quemado o conectores dañados.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
MANUAL DE OPERACIÓN DE EQUIPO DE  
INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

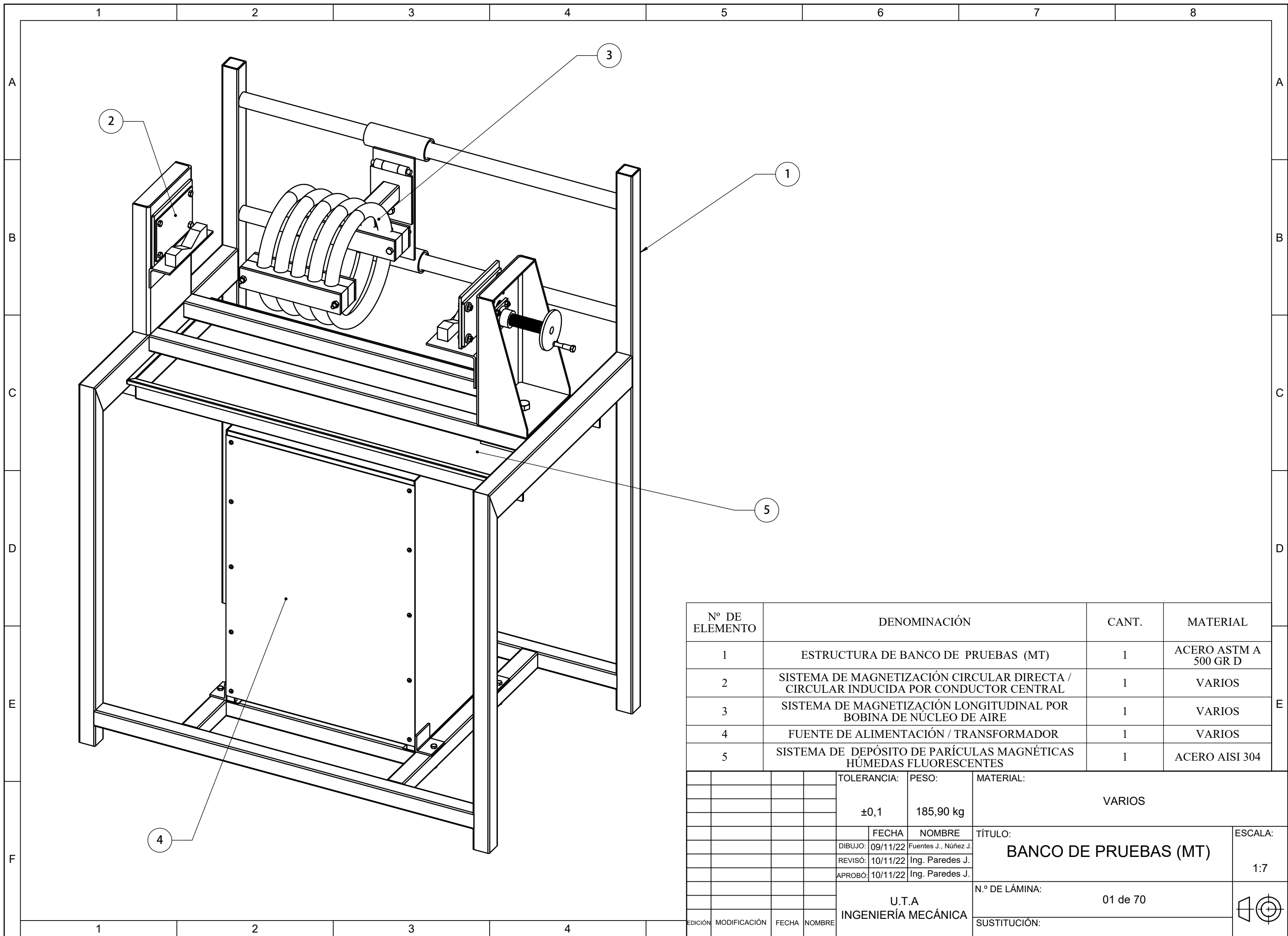
<b>Parte del equipo / Elementos</b>	<b>Acción a realizar</b>
<b>Indicador digital de voltaje – amperaje de CA</b>	Comprobar la precisión de la medición del voltaje y el amperaje en la entrada del bobinado primario del transformador. Revisar el estado de la conexión si es necesario.



**Anexo 16. Evidencia de entrega del equipo a la Universidad Técnica de Ambato**



**Anexo 17. Planos de Construcción**



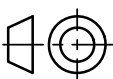
Nº DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	CANT.	MATERIAL
1	ESTRUCTURA DE BANCO DE PRUEBAS (MT)	1	ACERO ASTM A 500 GR D
2	SISTEMA DE MAGNETIZACIÓN CIRCULAR DIRECTA / CIRCULAR INDUCIDA POR CONDUCTOR CENTRAL	1	VARIOS
3	SISTEMA DE MAGNETIZACIÓN LONGITUDINAL POR BOBINA DE NÚCLEO DE AIRE	1	VARIOS
4	FUENTE DE ALIMENTACIÓN / TRANSFORMADOR	1	VARIOS
5	SISTEMA DE DEPÓSITO DE PARÍCULAS MAGNÉTICAS HÚMEDAS FLUORESCENTES	1	ACERO AISI 304

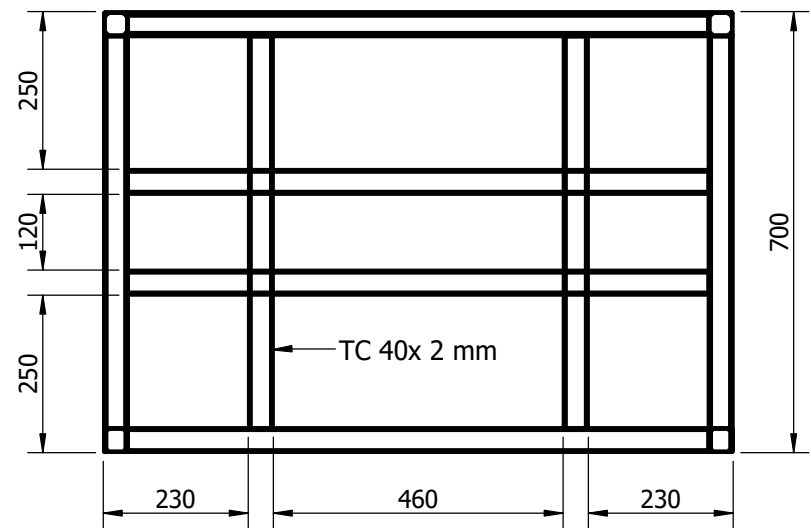
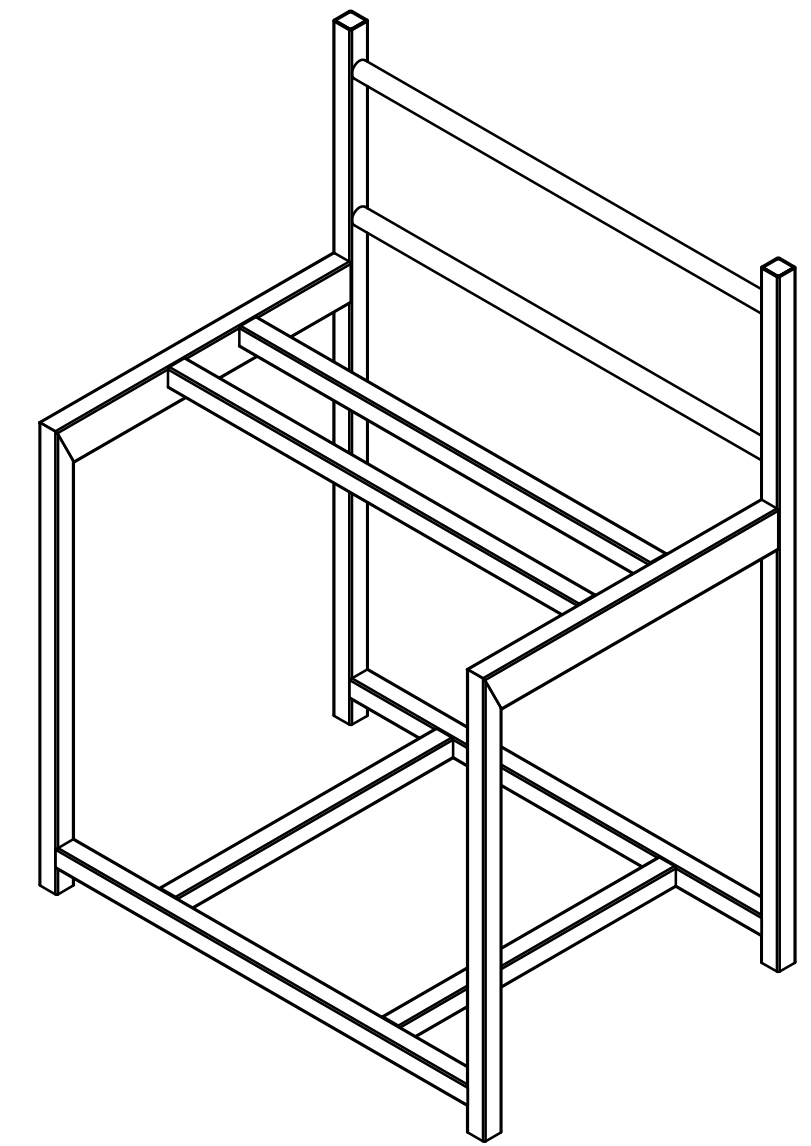
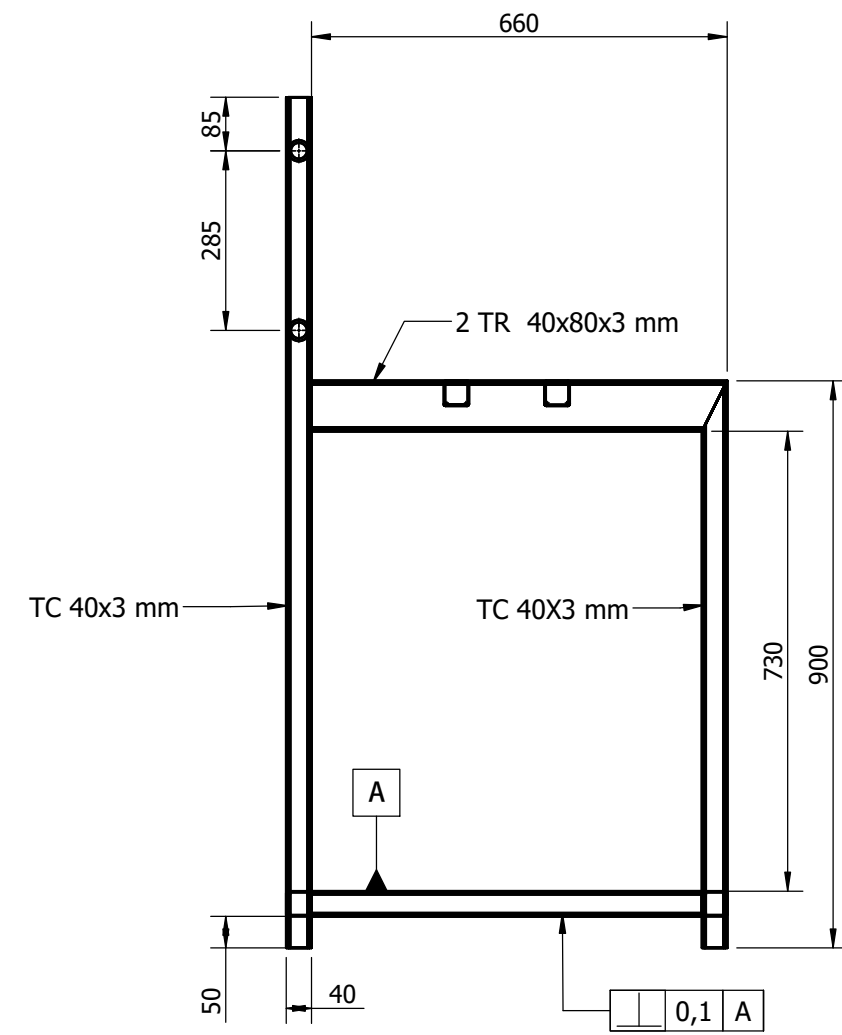
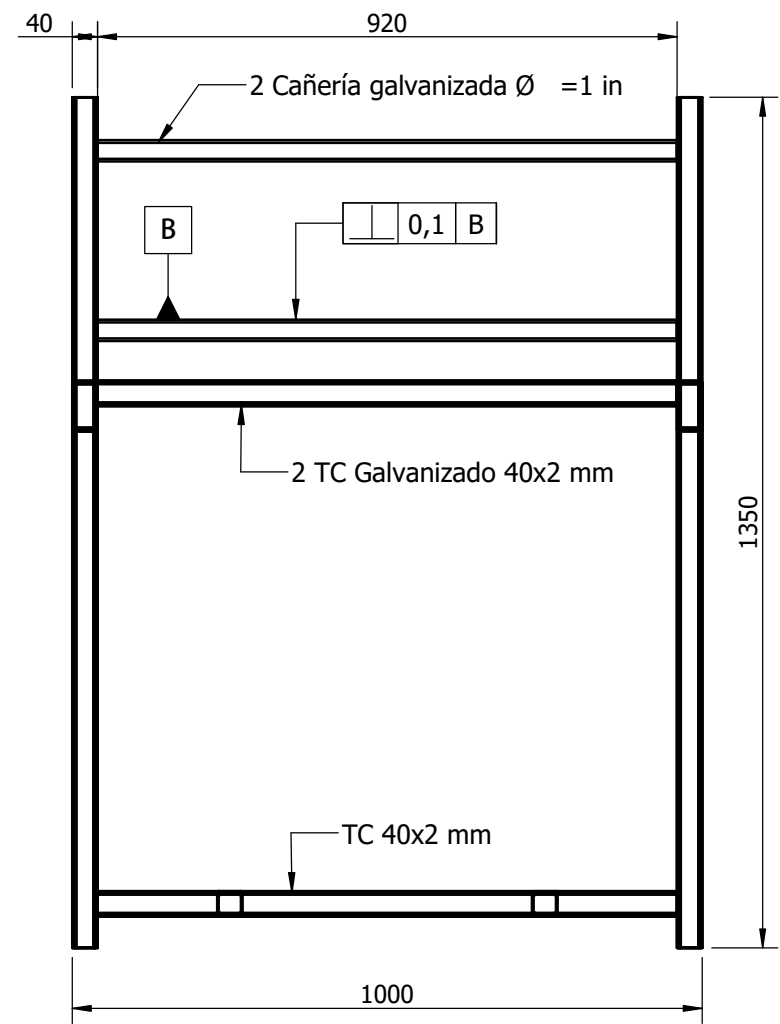
  

TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
±0,1	185,90 kg	VARIOS	
FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
DIBUJO: 09/11/22	Fuentes J., Núñez J.	<b>BANCO DE PRUEBAS (MT)</b>	
REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	ESCALA:
		01 de 70	1:7
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE
		SUSTITUCIÓN:	

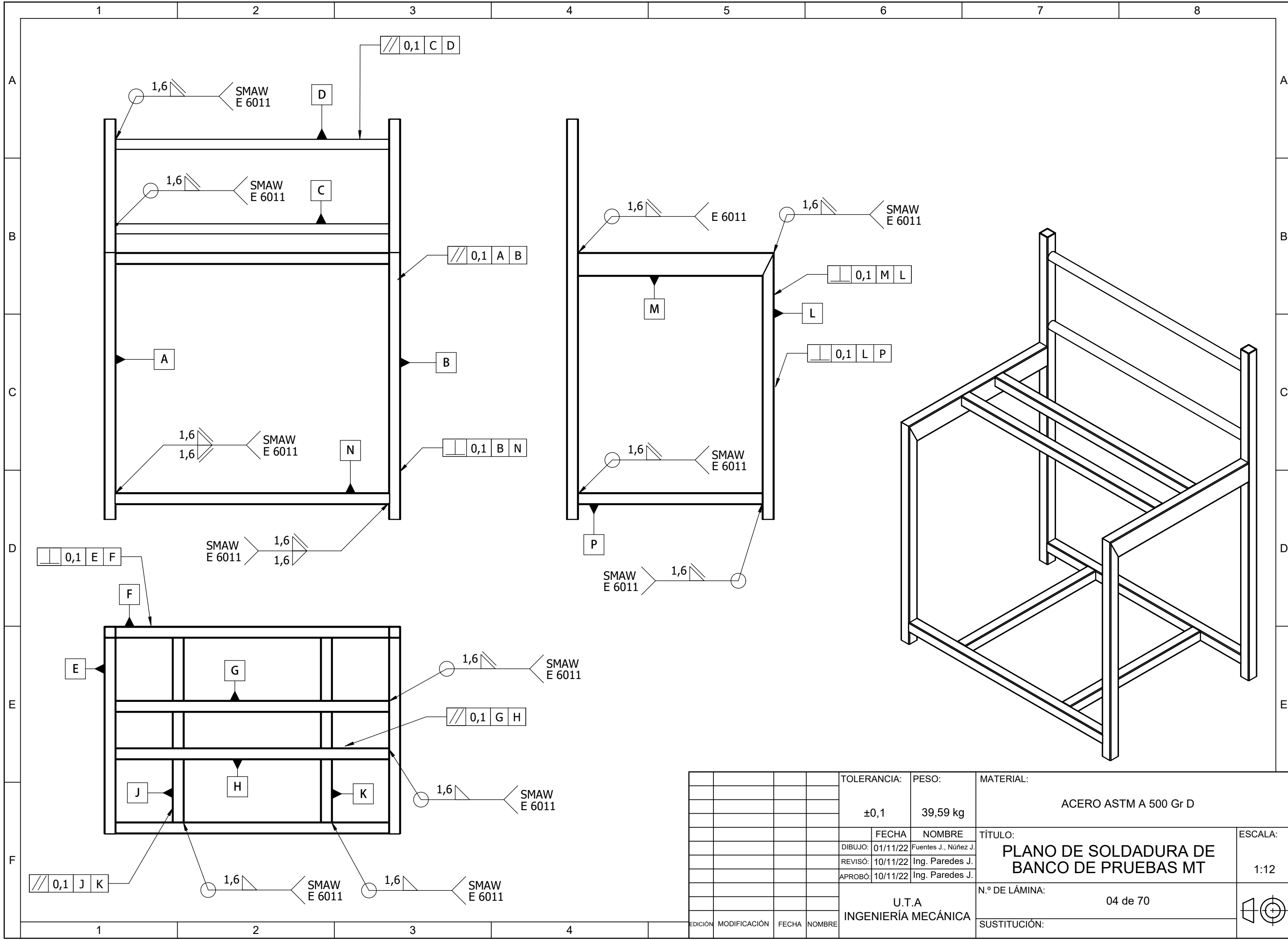


	1	2	3	4
A				
B				
	N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
	1	ESTRUCTURA BANCO DE PRUEBAS (MT)	ACERO ASTM A 500 Gr D	1
	2	CABEZAL FIJO	VARIOS	1
	3	CABEZAL MÓVIL	VARIOS	1
C	4	SISTEMA DE MOVIMIENTO BOBINA	VARIOS	1
	5	SISTEMA DE BLOQUEO DE CABEZAL MÓVIL	ACERO ASTM A 36	1
	6	BASE DE TRANSFORMADOR	ACERO ASTM A 500 Gr D	1
	7	GUÍA IZQUIERDA DE BANDEJA DE BAÑO HÚMEDO	ACERO ASTM A 36	1
	8	GUÍA DERECHA DE BANDEJA DE BAÑO HÚMEDO	ACERO ASTM A 36	1
D	9	BANDEJA DE DEPÓSITO DE BAÑO HÚMEDO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS FLUORESCENTES	ACERO AISI 304	1
	10	TRANSFORMADOR 220 / 8V 1200 A	VARIOS	1
	11	ARMARIO DE TRANSFORMADOR	ACERO AISI 1020	1
	12	HBOLT 0.2500-20x2x0.75-N	ACERO MEDIO CARBONO ALEADO TRATADO TERMICAMENTE	4
E	13	HNUT 0.2500-20-D-N	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	4

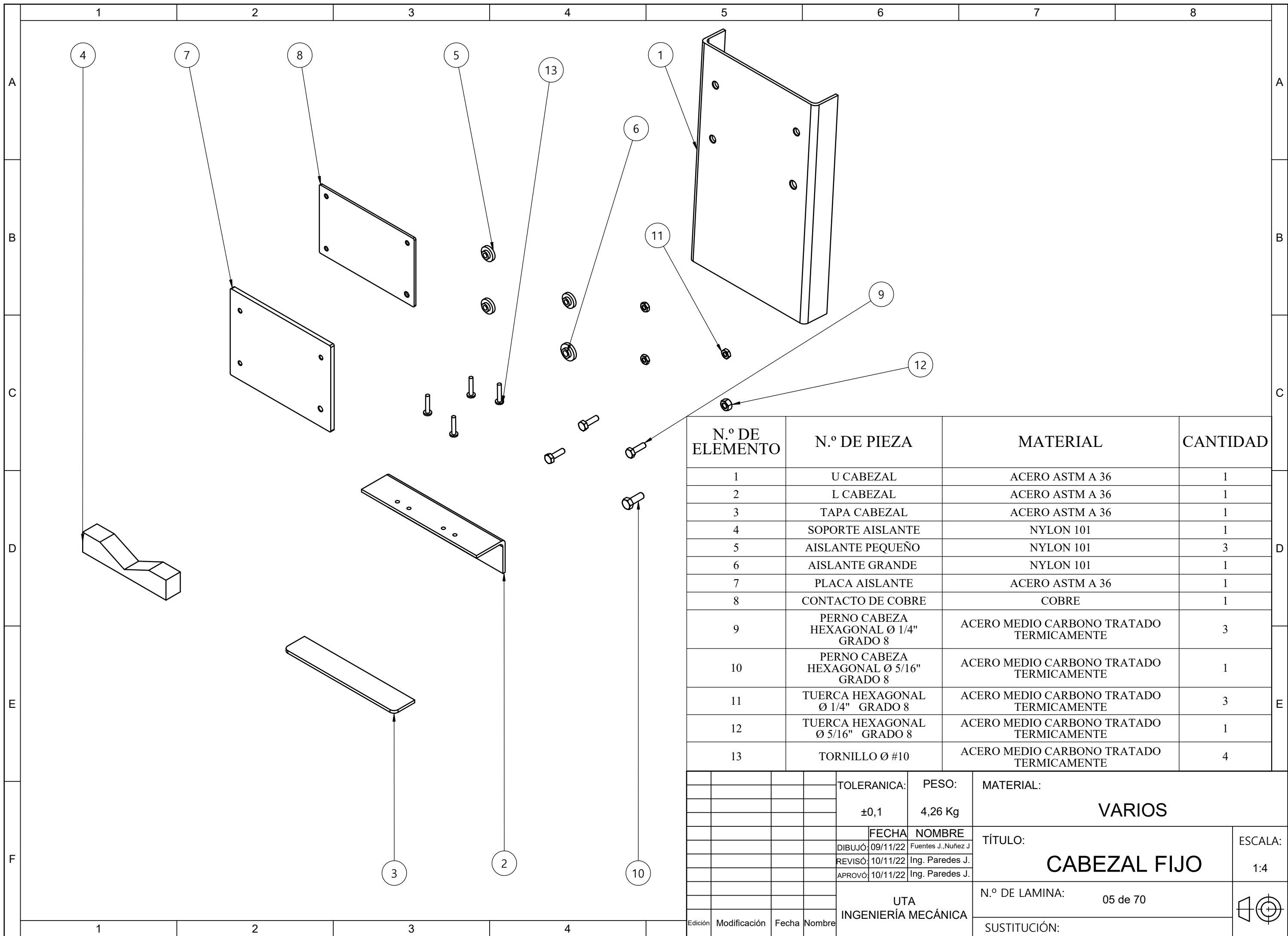
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	185,90 kg	VARIOS	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 06/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	LISTA DE COMPONENTES BANCO DE PRUEBAS MT	
				REVISÓ: 06/11/22	ING. PAREDES J.		
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	ESCALA:
						Continuación (02 de 70)	1:7
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	39,59 kg	ACERO A 500 Gr D		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJO: 01/11/22	Fuentes J., Núñez J.	ESTRUCTURA		1:12
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	BANCO DE PRUEBAS MT		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:		
						03 de 70		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUCIÓN:		

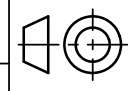


				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	39,59 kg	ACERO ASTM A 500 Gr D	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJO: 01/11/22	Fuentes J., Núñez J.	PLANO DE SOLDADURA DE	
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	BANCO DE PRUEBAS MT	
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	ESCALA:	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	1:12
						04 de 70	
						SUSTITUCIÓN:	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				

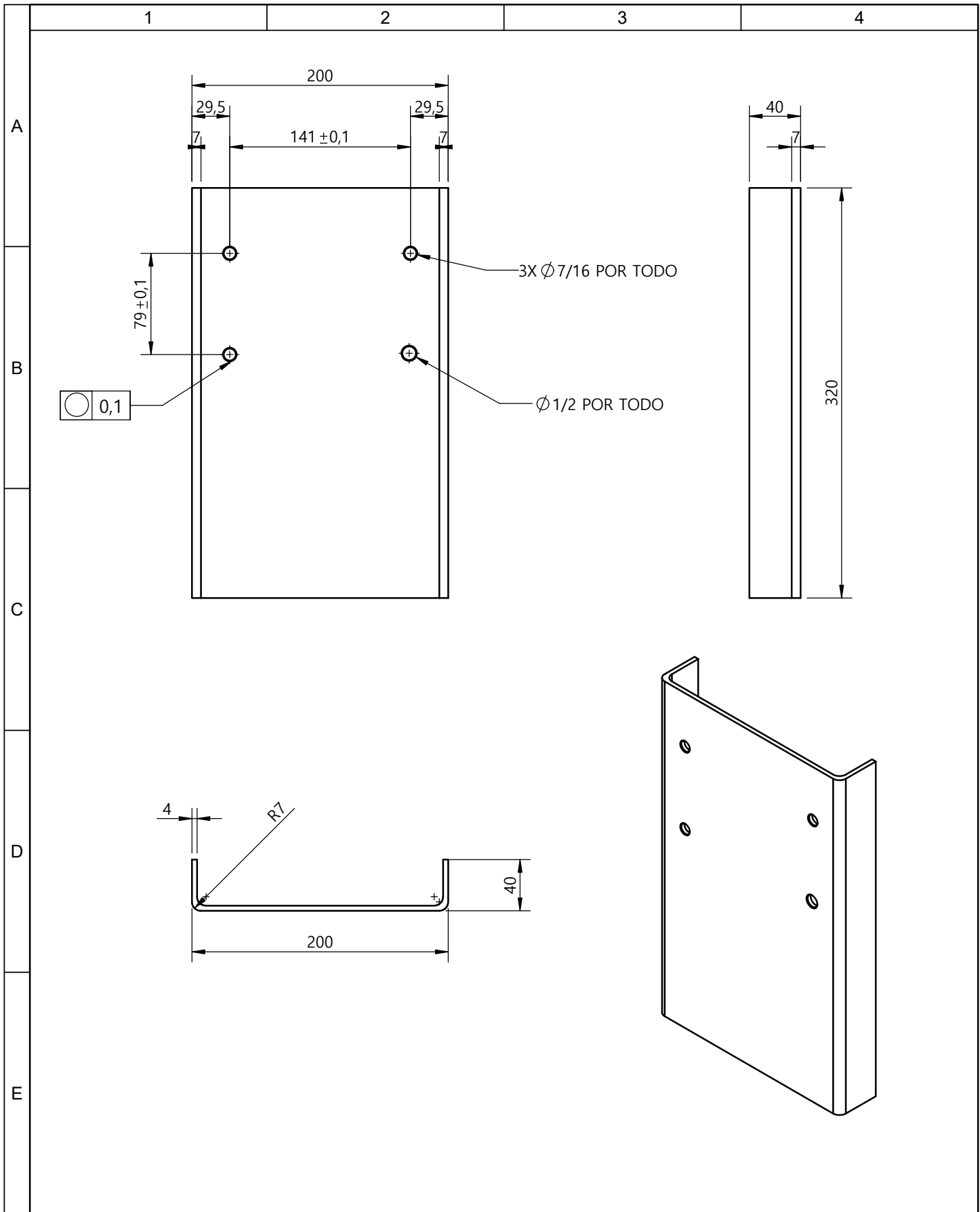


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	U CABEZAL	ACERO ASTM A 36	1
2	L CABEZAL	ACERO ASTM A 36	1
3	TAPA CABEZAL	ACERO ASTM A 36	1
4	SOPORTE AISLANTE	NYLON 101	1
5	AISLANTE PEQUEÑO	NYLON 101	3
6	AISLANTE GRANDE	NYLON 101	1
7	PLACA AISLANTE	ACERO ASTM A 36	1
8	CONTACTO DE COBRE	COBRE	1
9	PERNO CABEZA HEXAGONAL Ø 1/4" GRADO 8	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	3
10	PERNO CABEZA HEXAGONAL Ø 5/16" GRADO 8	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	1
11	TUERCA HEXAGONAL Ø 1/4" GRADO 8	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	3
12	TUERCA HEXAGONAL Ø 5/16" GRADO 8	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	1
13	TORNILLO Ø #10	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	4

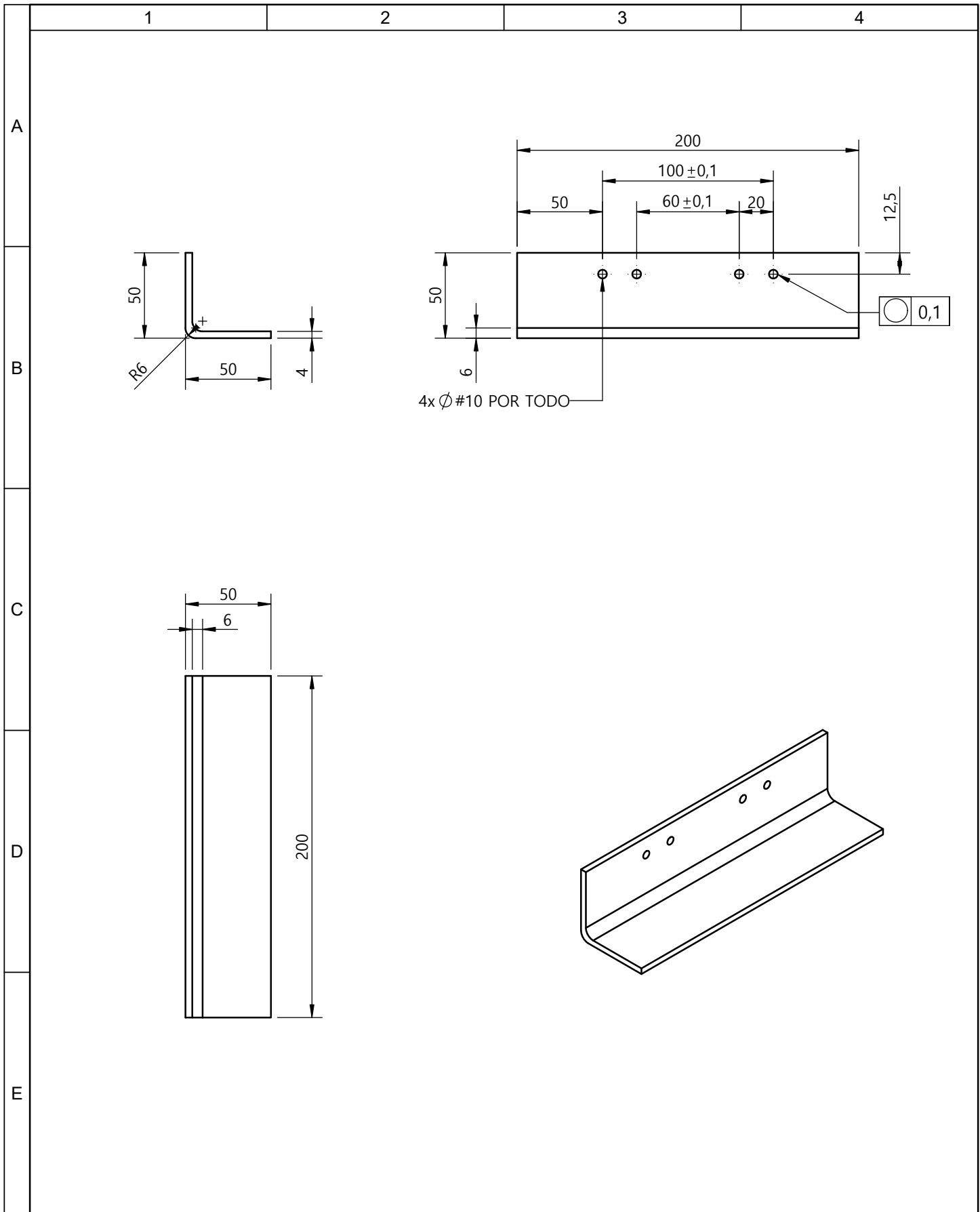
TOLERANICA:		PESO:	MATERIAL:	
±0,1		4,26 Kg	VARIOS	
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:
DIBUJÓ: 09/11/22		Fuentes J., Nuñez J.		
REVISÓ: 10/11/22		Ing. Paredes J.		
APROVÓ: 10/11/22		Ing. Paredes J.		
INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LAMINA: 05 de 70	
Edición		Modificación		Fecha
Nombre		SUSTITUCIÓN:		ESCALA: 1:4



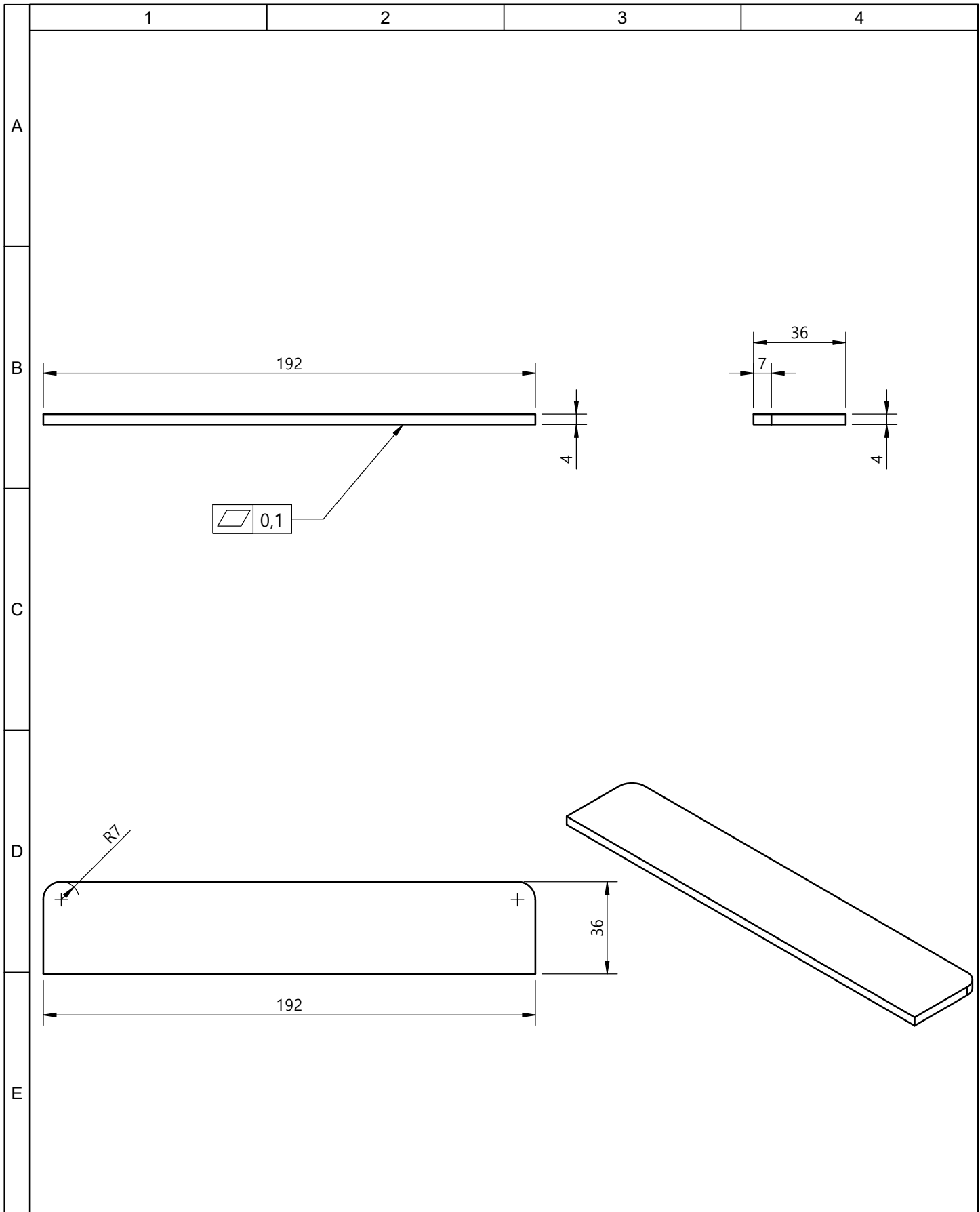




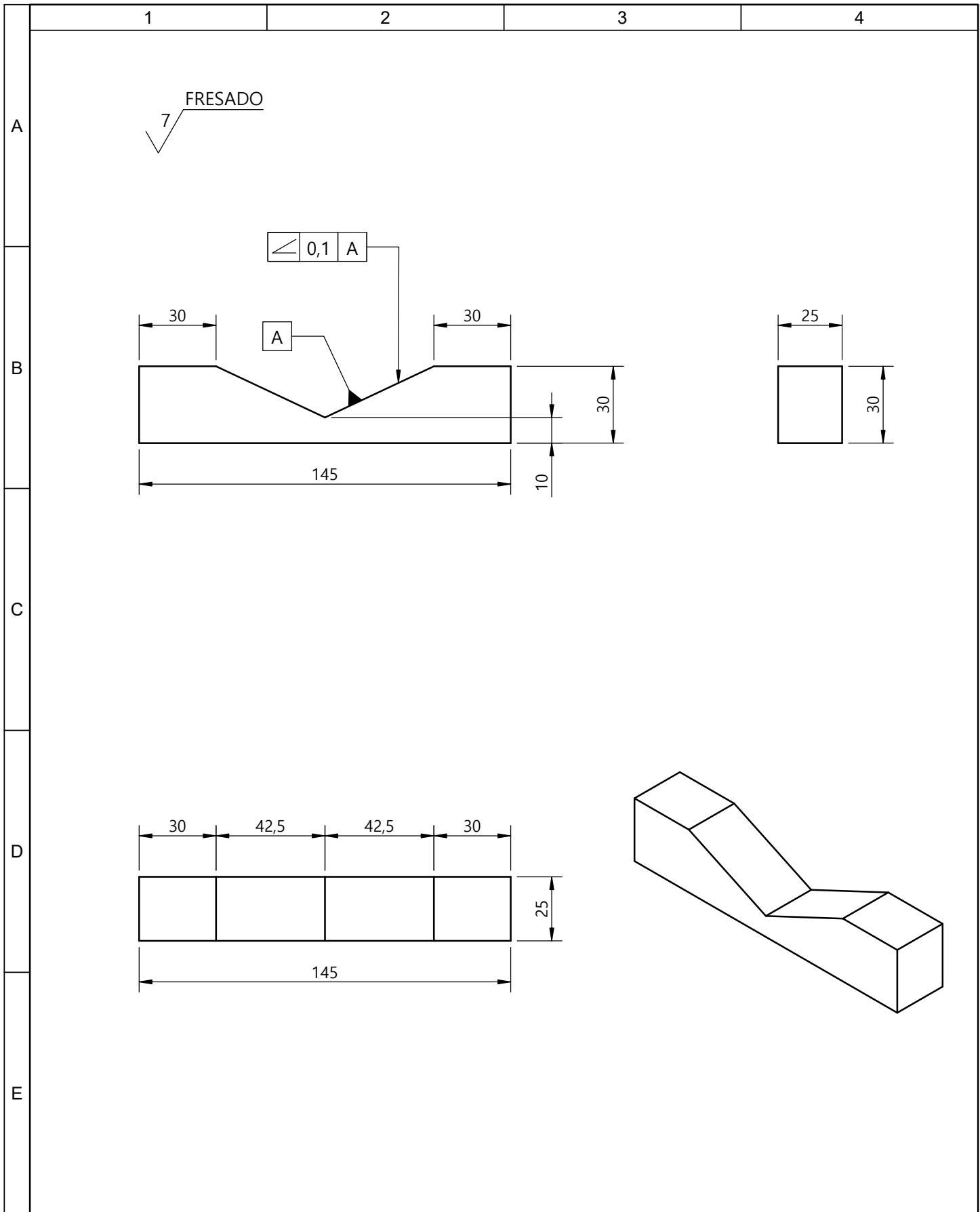
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	2,7 kg	ACERO ASTM A-36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 02/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	U CABEZAL	1:4
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
						06 de 70	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	



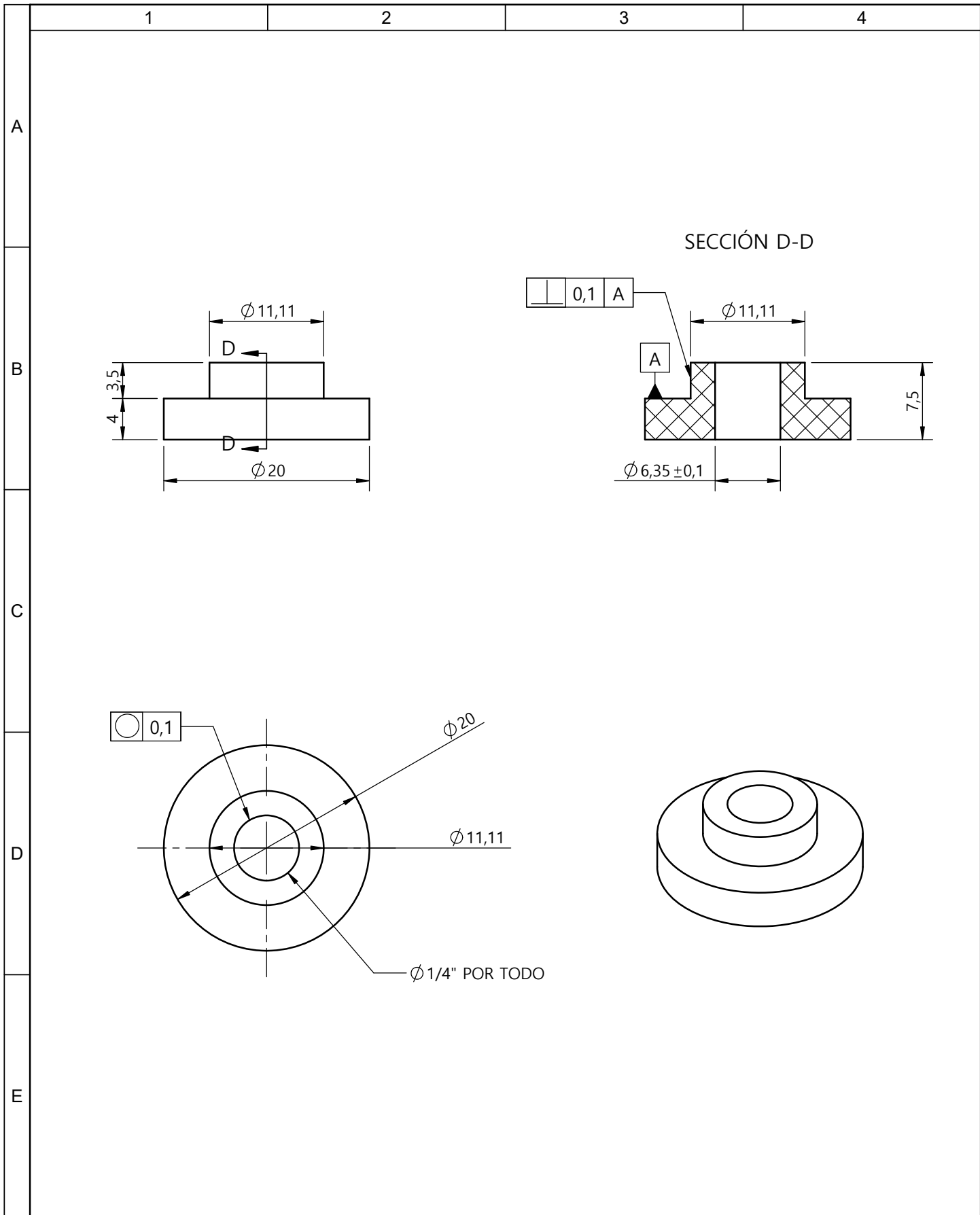
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,6 kg	ACERO ASTM A-36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
			DIBUJÓ:	02/11/22	Fuentes J. Nuñez J.		
			REVISÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.	1:3
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			07 de 70	
						SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0.21 kg	ACERO ASTM A-36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 02/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	TAPA CABEZAL	1:2
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
						08 de 70	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	SUSTITUCIÓN			

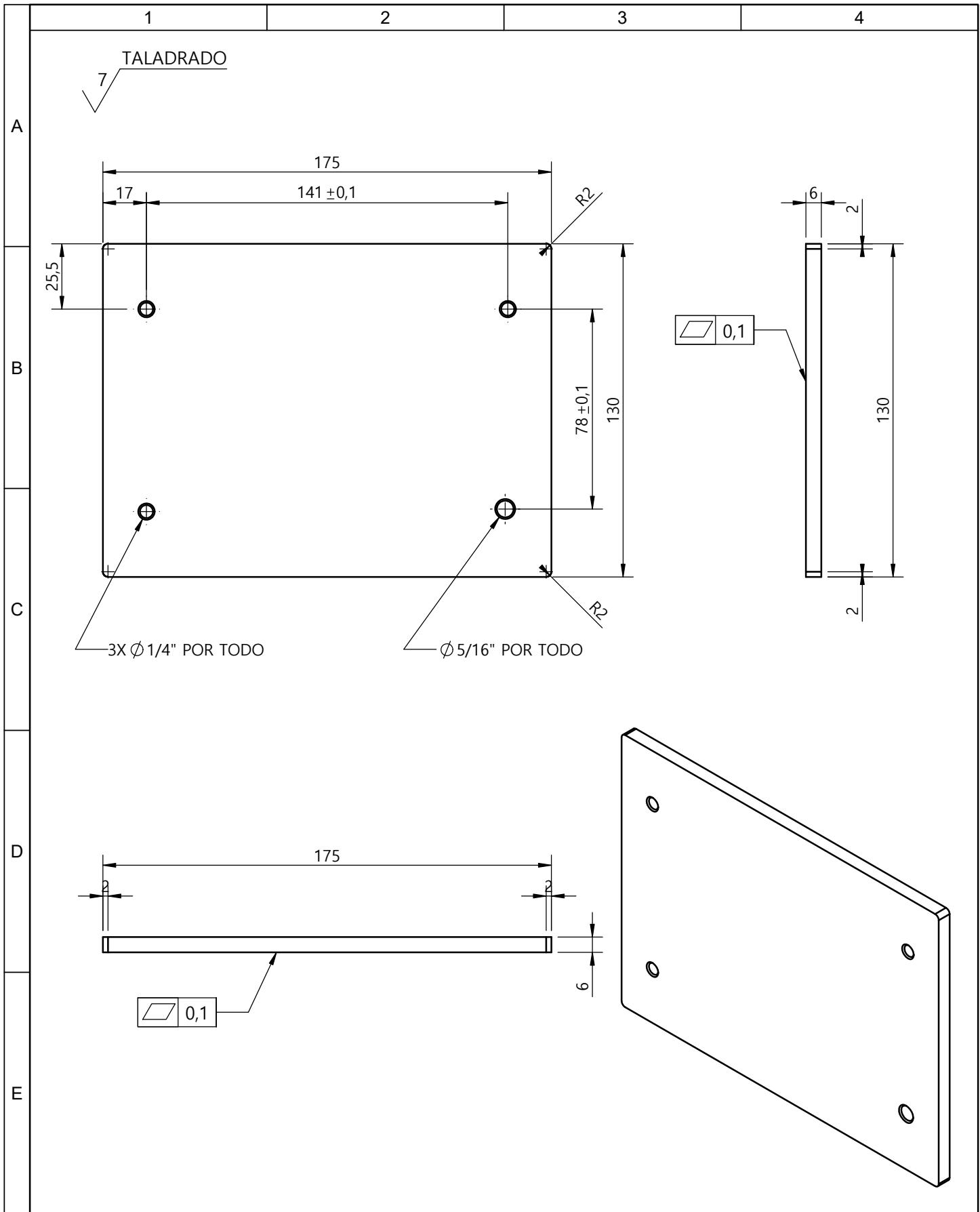


				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0.098 kg	NAYLON 101	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
			DIBUJÓ:	02/11/22	Fuentes J. Nuñez J.		
			REVISÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.	1:2
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			09 de 70	
						SUSTITUCIÓN:	

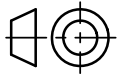


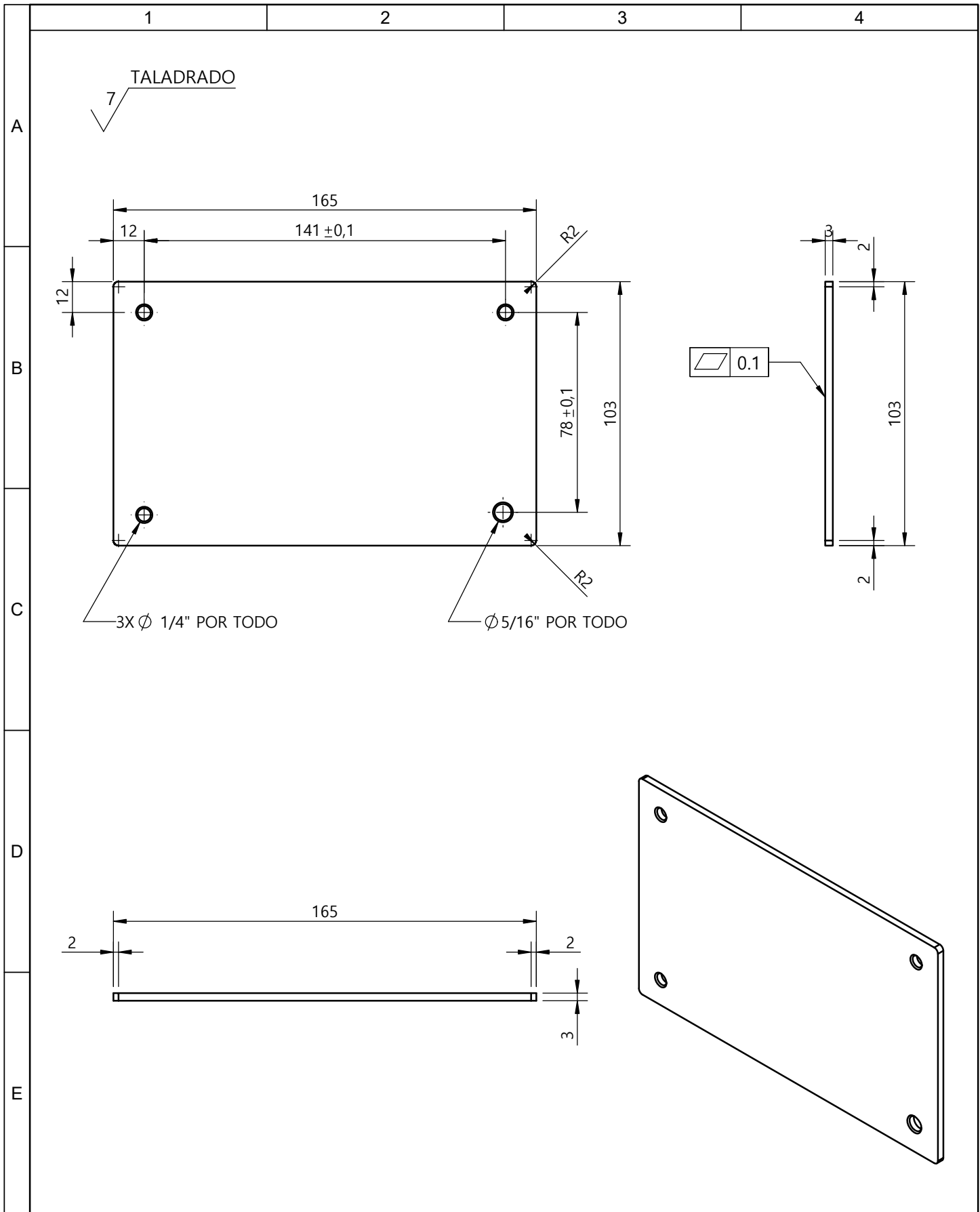
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				$\pm 0,1$	0,0015 kg	ACERO ASTM A 36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 02/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	AISLANTE PEQUEÑO	2:1
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
						10 de 70	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	SUSTITUCIÓN:			





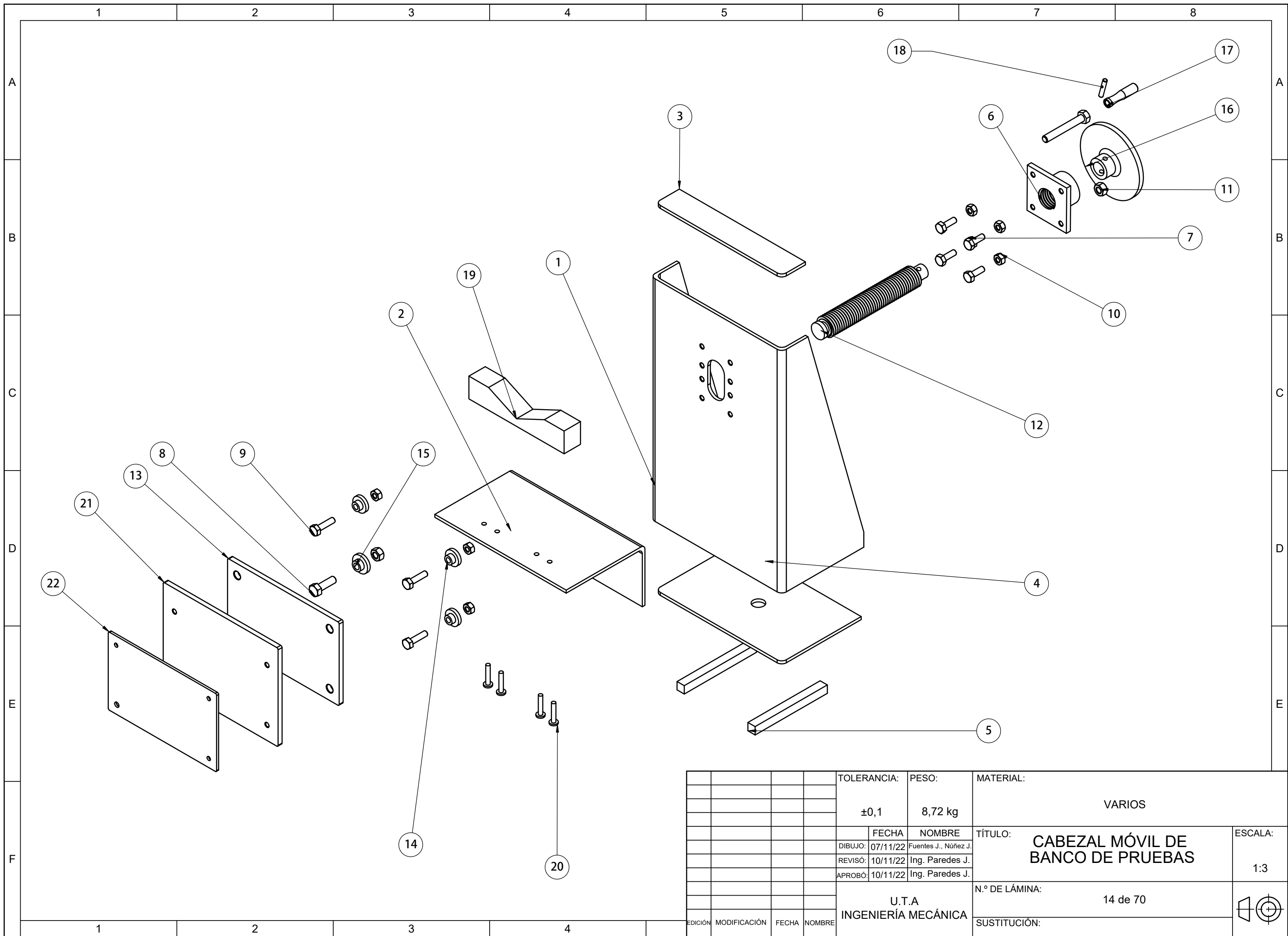
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	1 kg	NYLON 101	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 02/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	PLACA AISLANTE	1:2
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
						12 de 70	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	





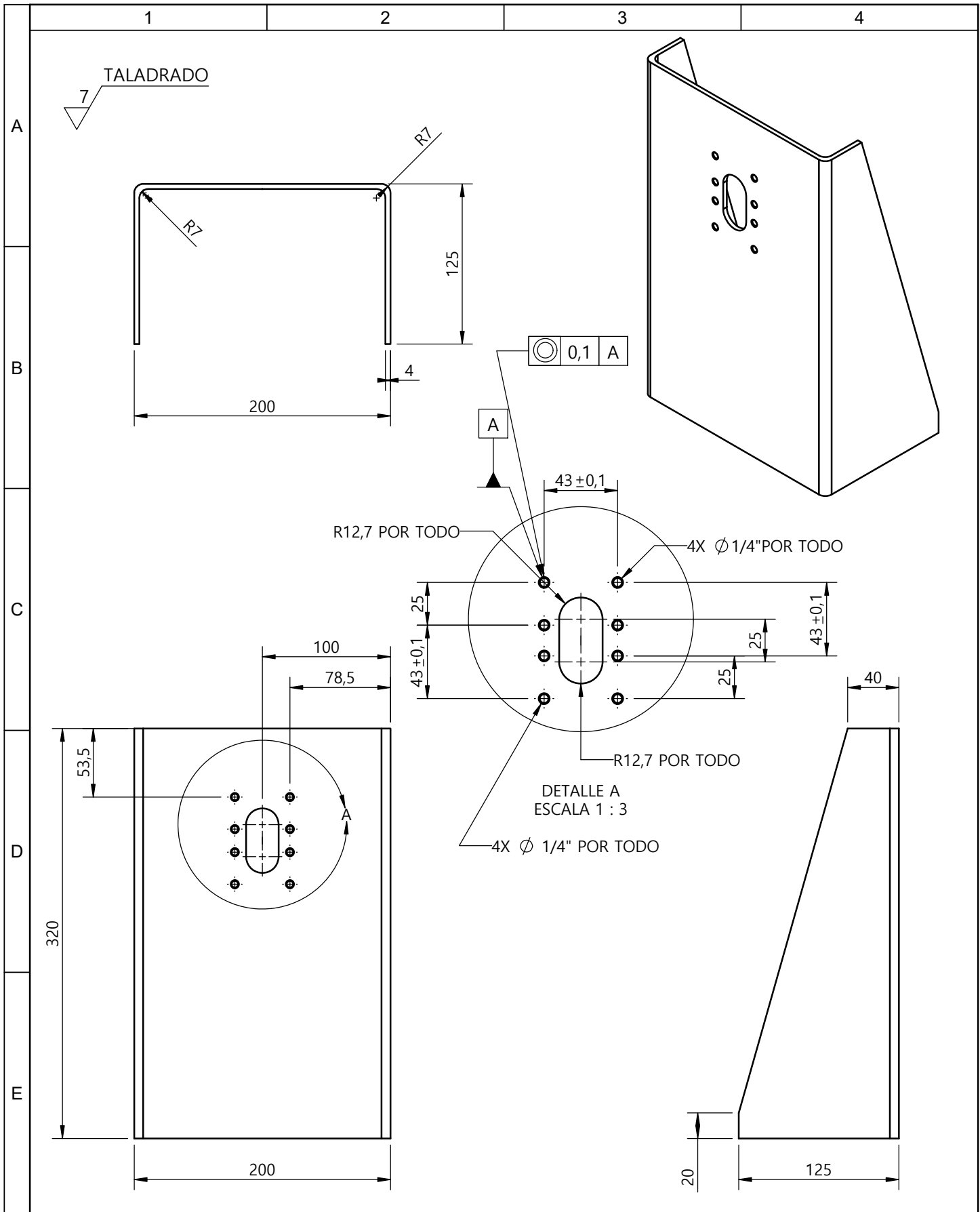
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,45 kg	COBRE	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 02/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	CONTACTO DE COBRE	1:2
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	13 de 70
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	



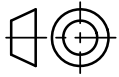


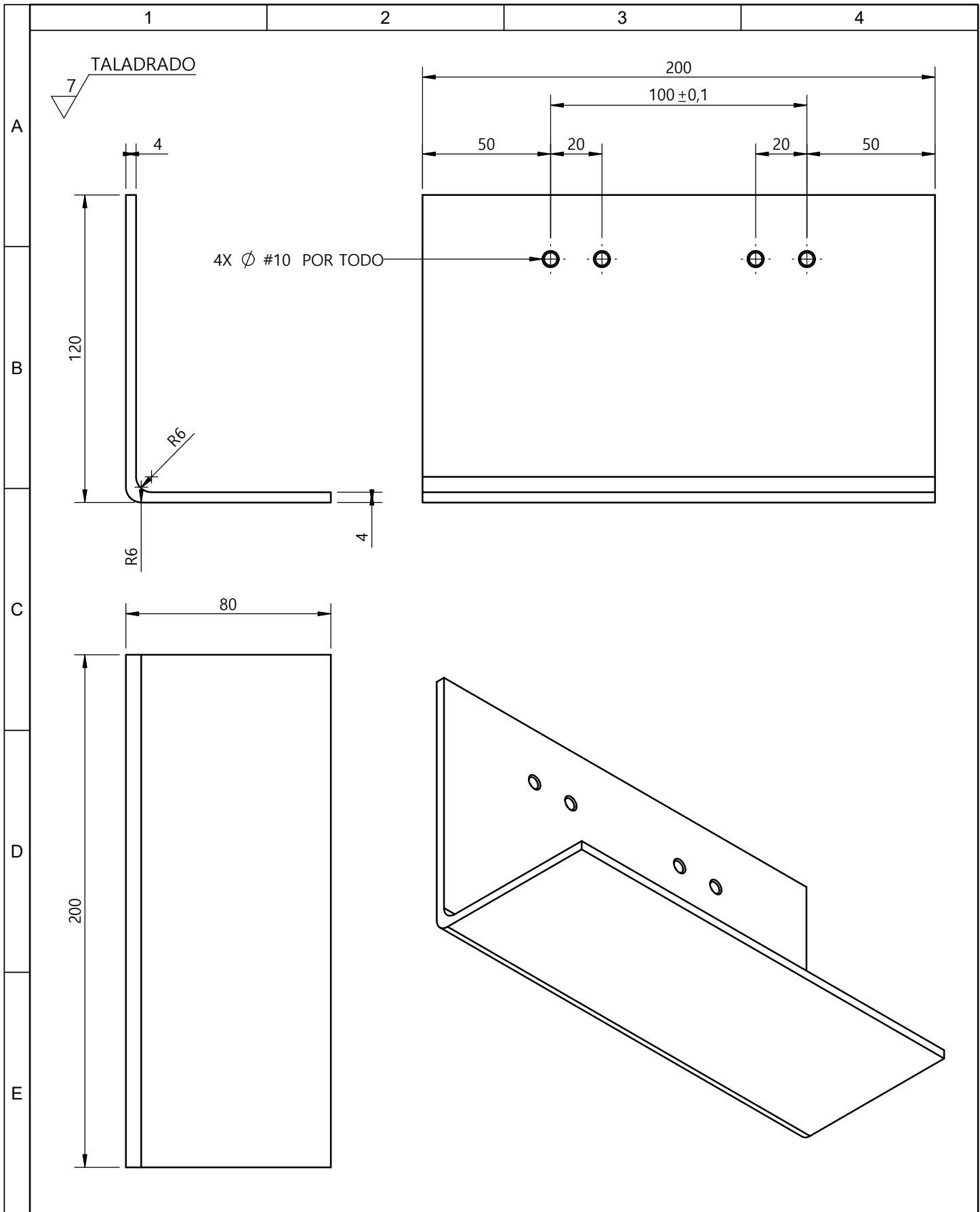
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	8,72 kg	VARIOS		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:	
				DIBUJO: 07/11/22	Fuentes J., Núñez J.	<b>CABEZAL MÓVIL DE BANCO DE PRUEBAS</b>	1:3	
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.			
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:		
						14 de 70		
						SUSTITUCIÓN:		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE					

				1	2	3	4
A							
	<b>N.º DE ELEMENTO</b>	<b>N.º DE PIEZA</b>			<b>MATERIAL</b>		<b>CANTIDAD</b>
B	1	U CONTRAPUNTO			ACERO ASTM A 36		1
	2	L CONTRAPUNTO			ACERO ASTM A 36		1
	3	TAPA SUPERIOR CONTRAPUNTO			ACERO ASTM A 36		1
	4	TAPA INFERIOR CONTRAPUNTO			ACERO ASTM A 36		1
	5	RIEL CONTRAPUNTO INFERIOR			ACERO ASTM A 36		2
	6	ROSCA DE TORNILLO DE TRANSMISIÓN - 1"			ACERO ASTM A 36		1
C	7	PERNO CABEZA HEXAGONAL Ø 1/4" GRADO 8			ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE		4
	8	PERNO CABEZA HEXAGONAL Ø 5/16" GRADO 8			ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE		1
	9	PERNO CABEZA HEXAGONAL Ø 1/4" GRADO 8			ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE		3
	10	TUERCA HEXAGONAL Ø 1/4" GRADO 8			ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE		7
	11	TUERCA HEXAGONAL Ø 1/4" GRADO 8			ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE		2
D	12	TORNILLO DE TRANSMISIÓN Ø 1 "Y SOPORTE			ACERO ASTM A 36		1
	13	PLACA DE EMPUJE			ACERO ASRM A 36		1
	14	AISLANTE GRANDE CABEZAL MOVIL - PLACA DE EMPUJE			NYLON 101		3
	15	AISLANTE PEQUEÑO DE CABEZAL MOVIL - PLACA DE EMPUJE			NYLON 101		1
	16	DISCO MANIVELA			ACERO ASTM A 36		1
	17	PALANCA DE MANIVELA			ACERO ASTM A 36		1
E	18	PASADOR DE DISCO MANIVELA			ACERO AISI 304		1
	19	SOPORTE DE PIEZA DE CABEZAL MÓVIL			NYLON 101		1
	20	TORNILLO Ø # 10			ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE		4
	21	PORTAPLACAS AISLANTE DE CABEZAL MÓVIL			NYLON 101		1
	22	CONTACTO DE COBRE DE CABEZAL MÓVIL			COBRE		1
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	8,72 kg	VARIOS	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 06/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	LISTA DE COMPONENTES DE CABEZAL MÓVIL	
				REVISÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.	ESCALA:	
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.	1:3	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	
						Continuación (14 de 70)	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:			

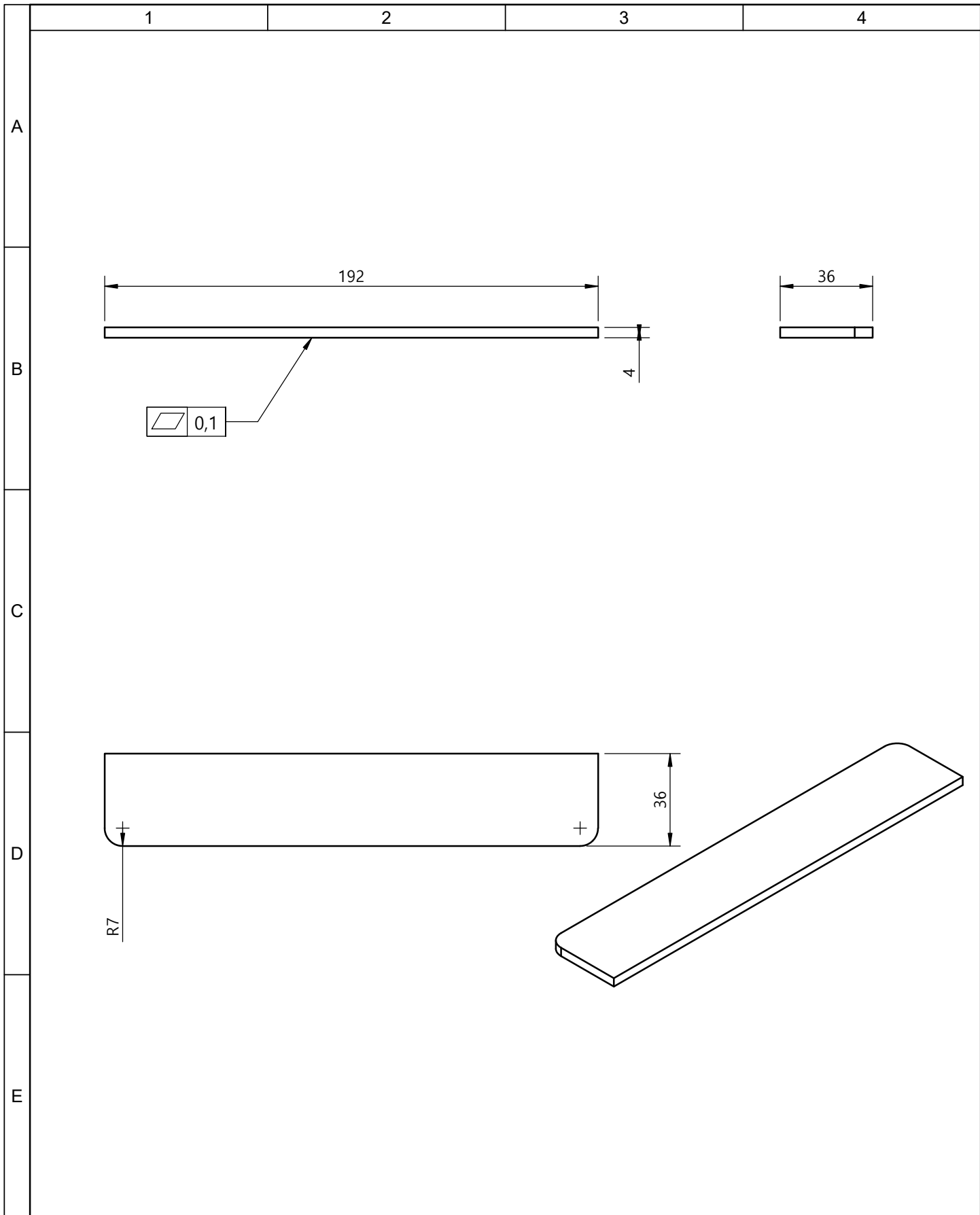


				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	3,62 kg	Acero ASTM A 36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 01/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	PERFIL ESTRUCTURAL U DE CABEZAL FIJO	
				REVISÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.	ESCALA:	
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.	1:4	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	
						15 de 70	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:			

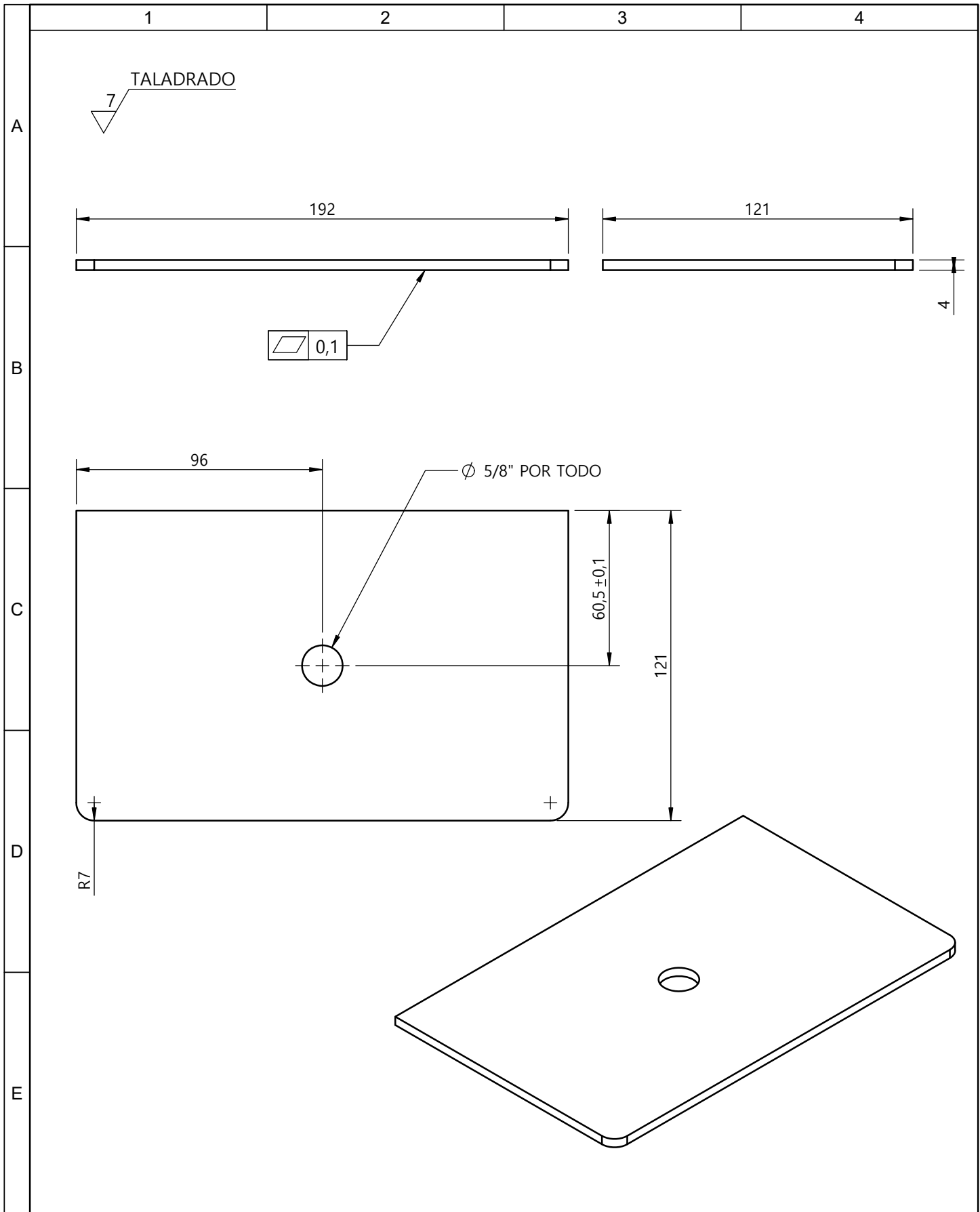




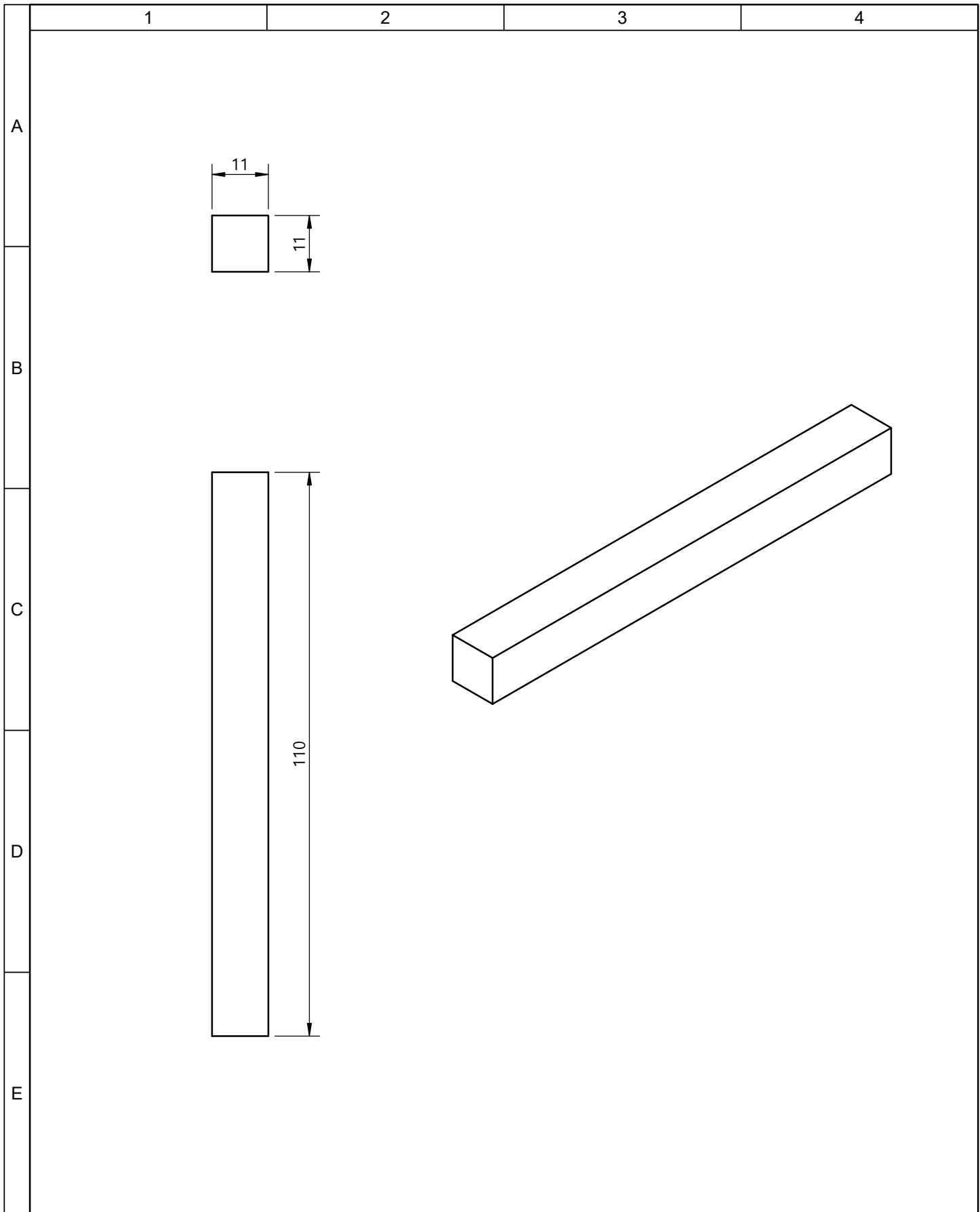
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	1,23 kg	ACERO ASTM 36		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		
				DIBUJÓ: 01/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	<b>PERFIL L DE CABEZAL MÓVIL</b>		
				REVISÓ: 01/11/22	ING. PAREDES J.			ESCALA:
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.			1:2
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			16 de 70		
						SUSTITUCIÓN:		



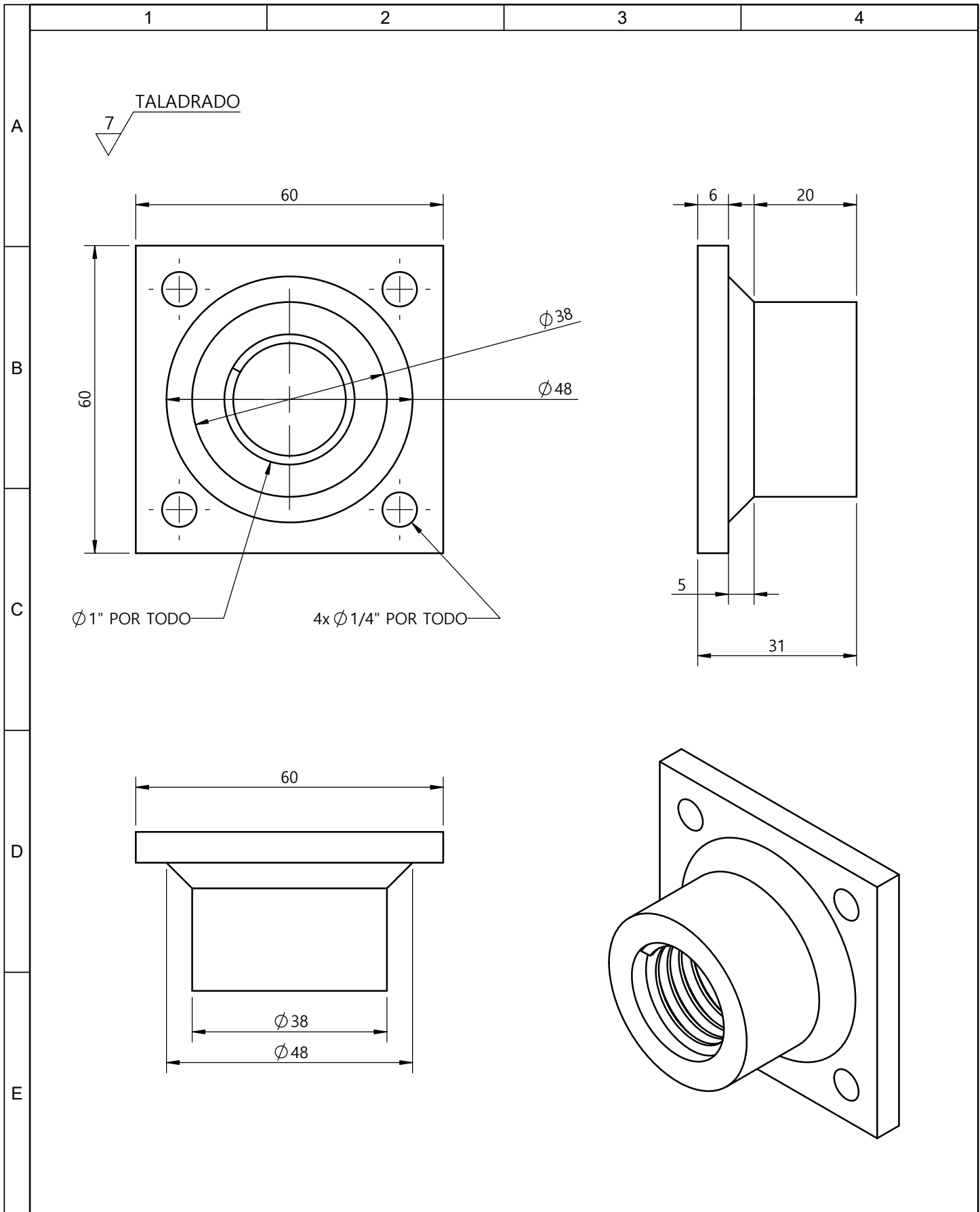
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	0,22 kg	ACERO ASTM A36		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		
				DIBUJÓ: 01/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	<b>TAPA SUPERIOR DE CABEZAL MÓVIL</b>		
				REVISÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.			ESCALA:
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.			1:2
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			17 de 70		
						SUSTITUCIÓN:		



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,72 kg	ACERO ASTM A 36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 01/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	<b>TAPA INFERIOR DE CABEZAL MÓVIL</b>	1:2
				REVISÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.		
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	
						18 de 70	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:			

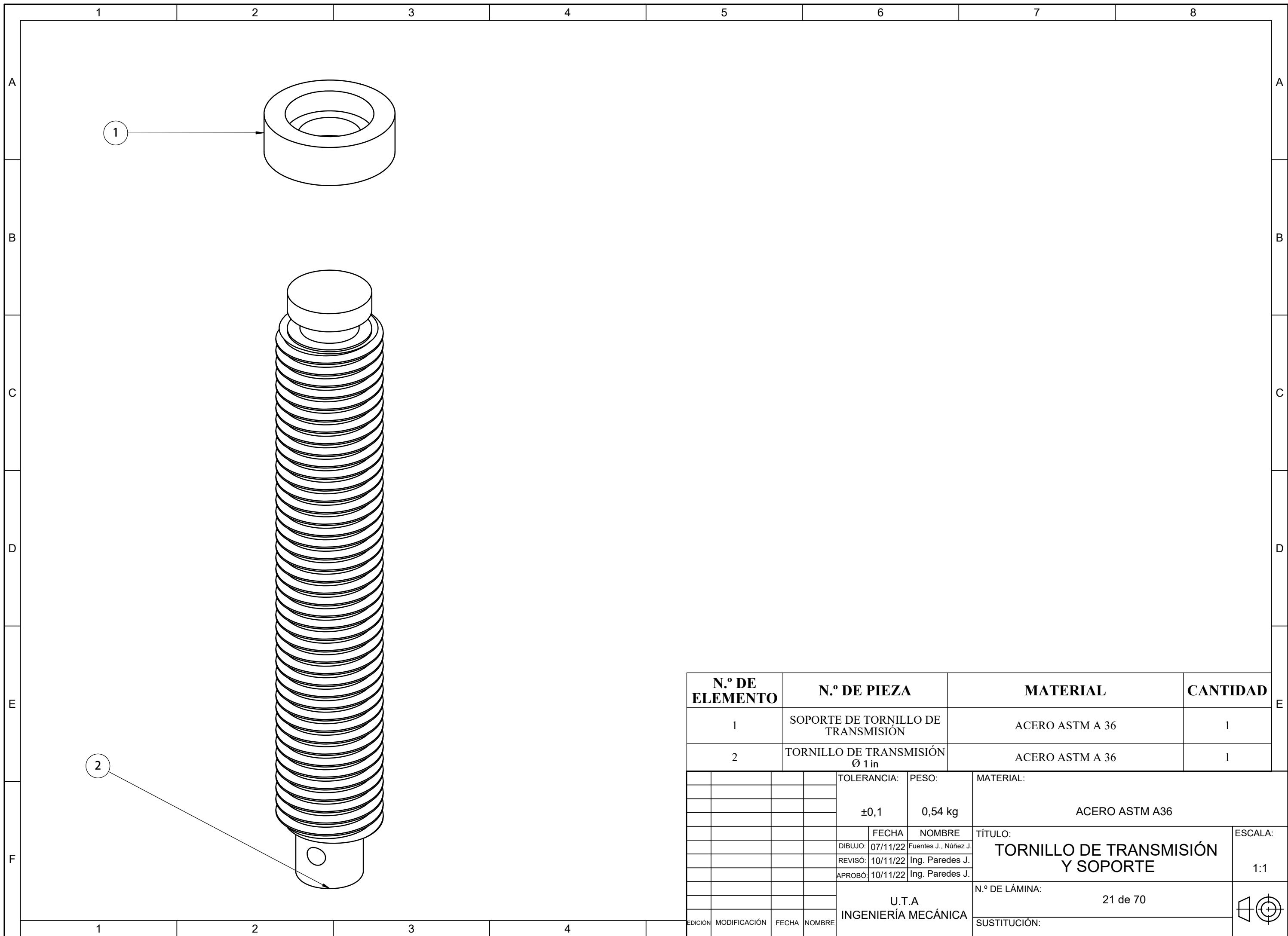


				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				±0,1	0,10 kg	ACERO ASTM A36			
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:		
			DIBUJÓ:	01/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.			<b>RIEL INFERIOR CONTRAPUNTO</b>	1:1
			REVISÓ:	01/11/22	ING. PAREDES J.				
			APROBÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.	N.º DE LÁMINA:			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		19 de 70			
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:					



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,29 kg	Acero ASTM A-36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 07/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	ROSCA DE TORNILLO DE TRANSMISIÓN	1:1
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
						20 de 70	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	

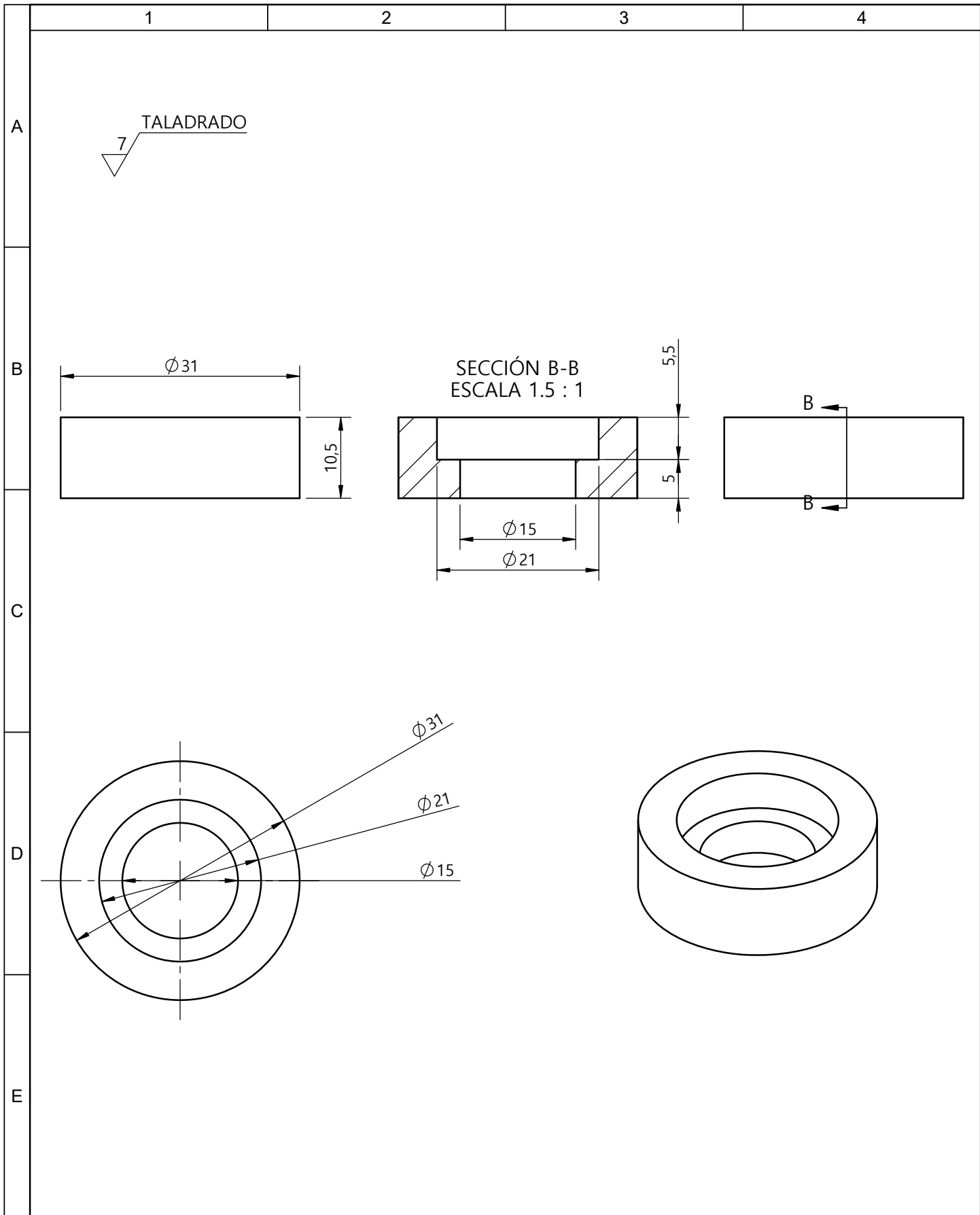




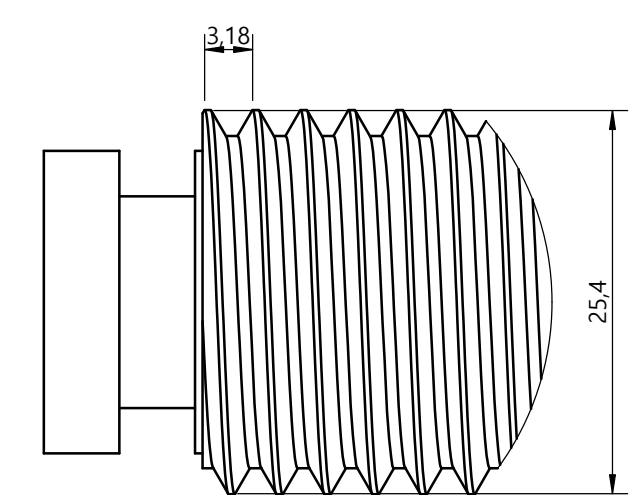
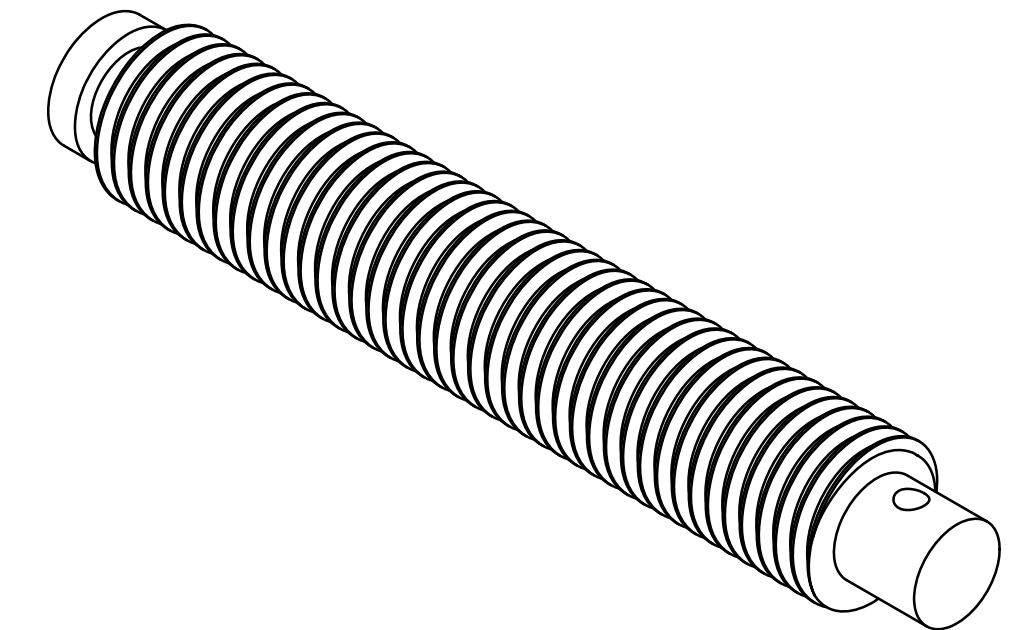
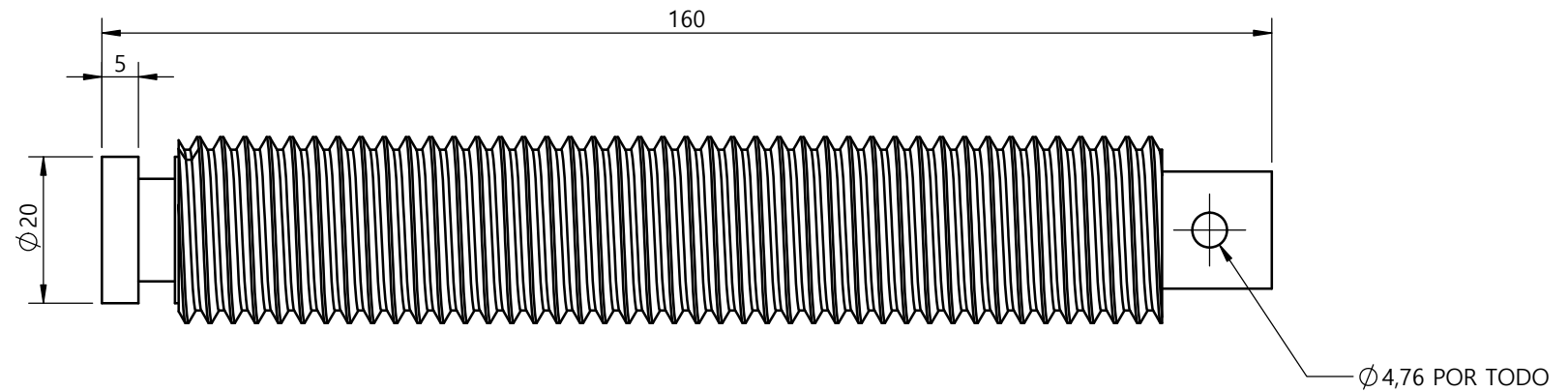
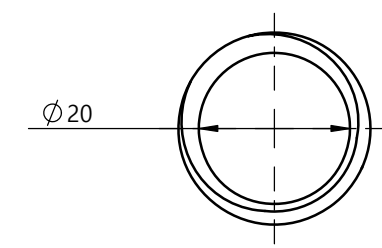
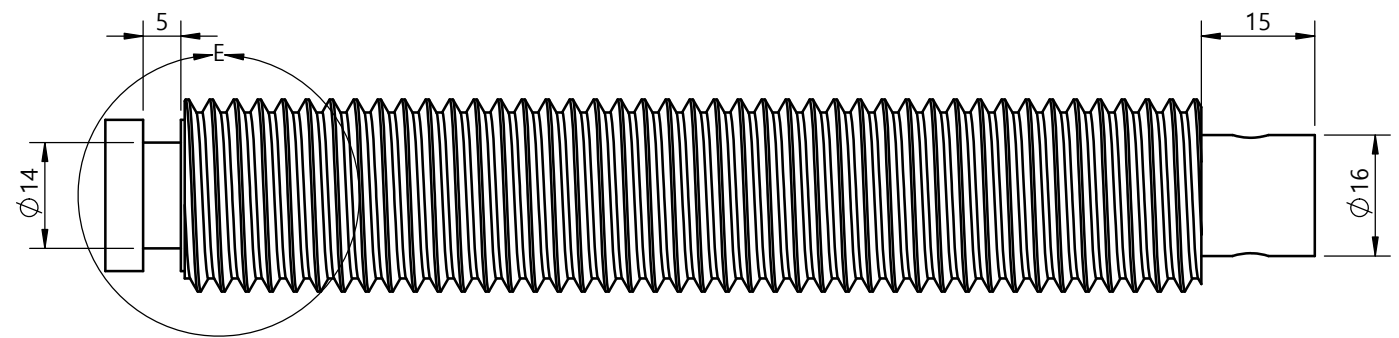
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	SOPORTE DE TORNILLO DE TRANSMISIÓN	ACERO ASTM A 36	1
2	TORNILLO DE TRANSMISIÓN Ø 1 in	ACERO ASTM A 36	1

TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
±0,1	0,54 kg	ACERO ASTM A36	
FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:	
DIBUJO: 07/11/22	Fuentes J., Núñez J.	TORNILLO DE TRANSMISIÓN Y SOPORTE	
REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	ESCALA:
		21 de 70	1:1
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE
SUSTITUCIÓN:			

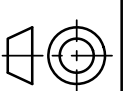


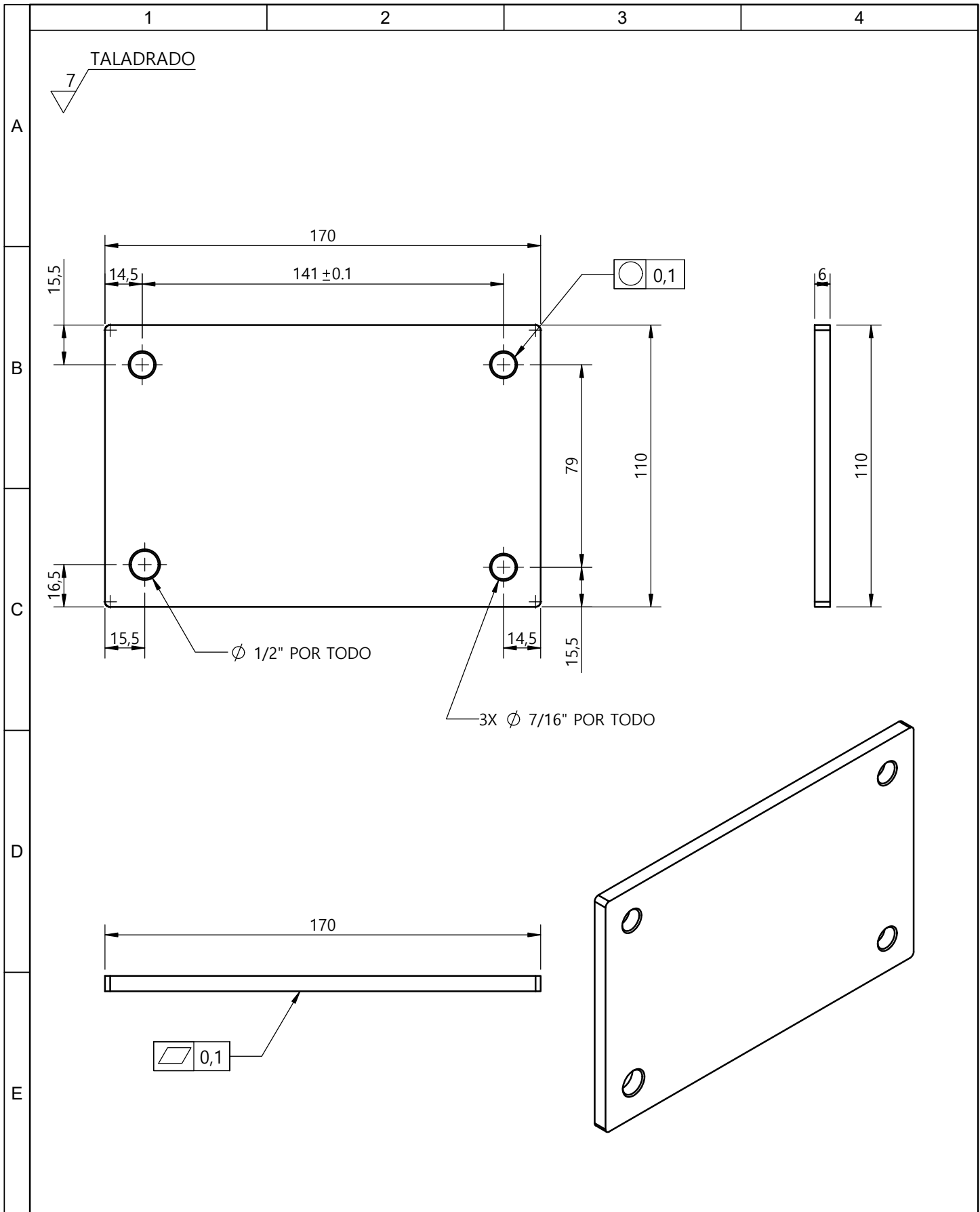
				TOLERANCIA: ±0,1	PESO: 0,04 kg	MATERIAL: ACERO ASTM A-36	
				Fecha	Nombre	TÍTULO:	ESCALA:
				Dibujó: 07/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	SOPORTE TORNILLO DE TRANSMISIÓN	3:2
				Revisó: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				Aprobó: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA: 22 de 70	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	



DETALLE E  
ESCALA 2 : 1

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,49 Kg	ACERO ASTM A-36	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJÓ:	07/11/22	Fuentes J., Nuñez J	TORNILLO DE TRANSMISIÓN
				REVISÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.	
				APROBÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.	
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	23 de 70
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre
							SUSTITUCIÓN:
							ESCALA: 1:1





				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	0,87 kg	ACERO ASTM A 36		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		
				DIBUJÓ: 01/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	<b>PLACA DE EMPUJE CABEZAL MÓVIL</b>		
				REVISÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.			ESCALA:
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.			1:2
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:		
						24 de 70		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:				

1

2

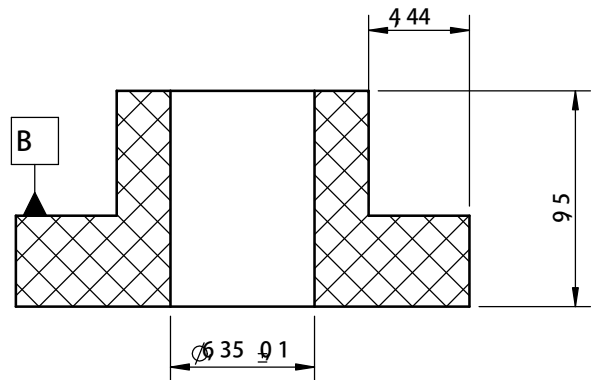
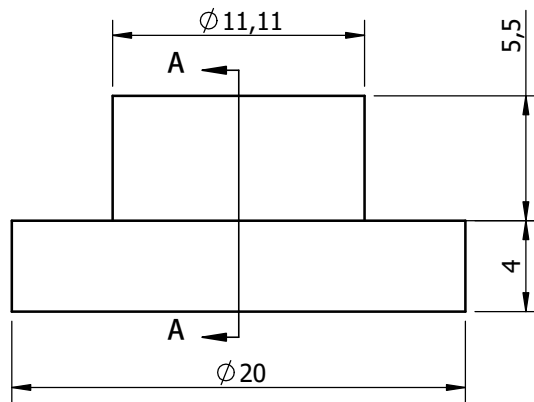
3

4

A

SECCIÓN A-A  
ESCALA 3 : 1

01	A
----	---

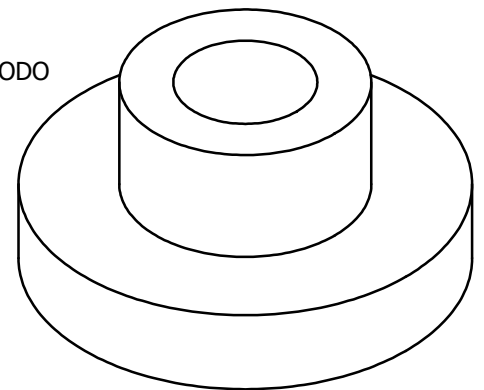
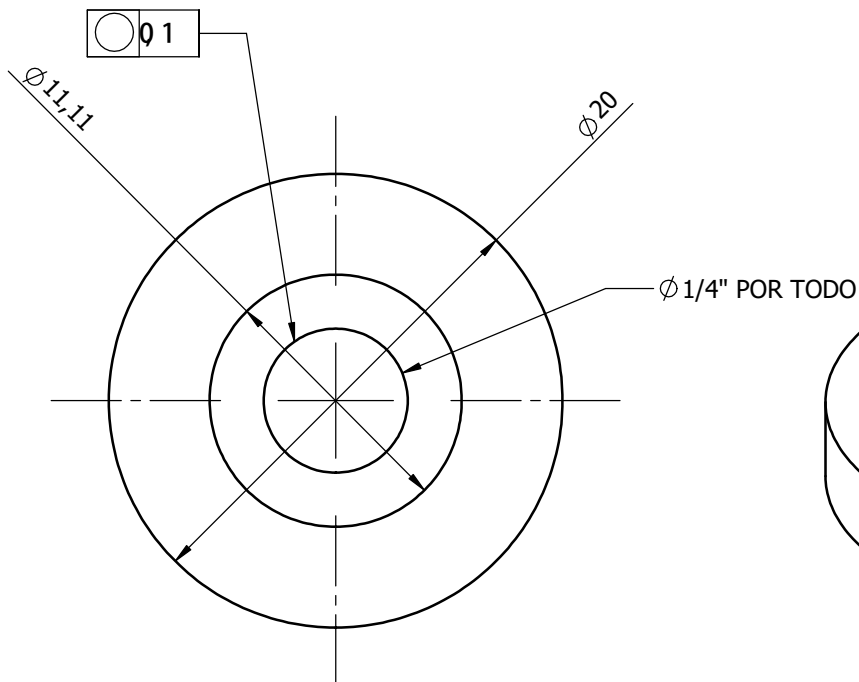


B

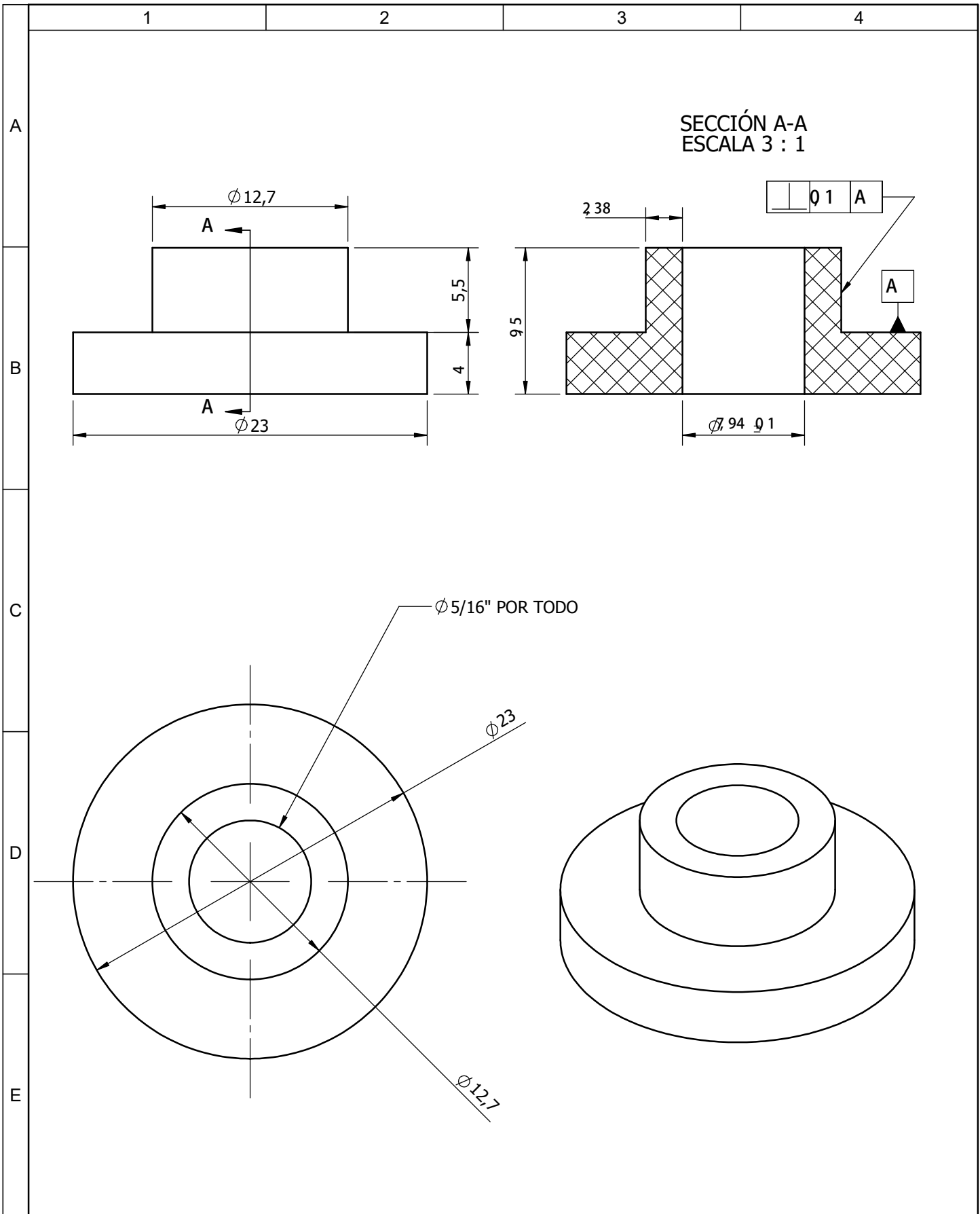
C

D

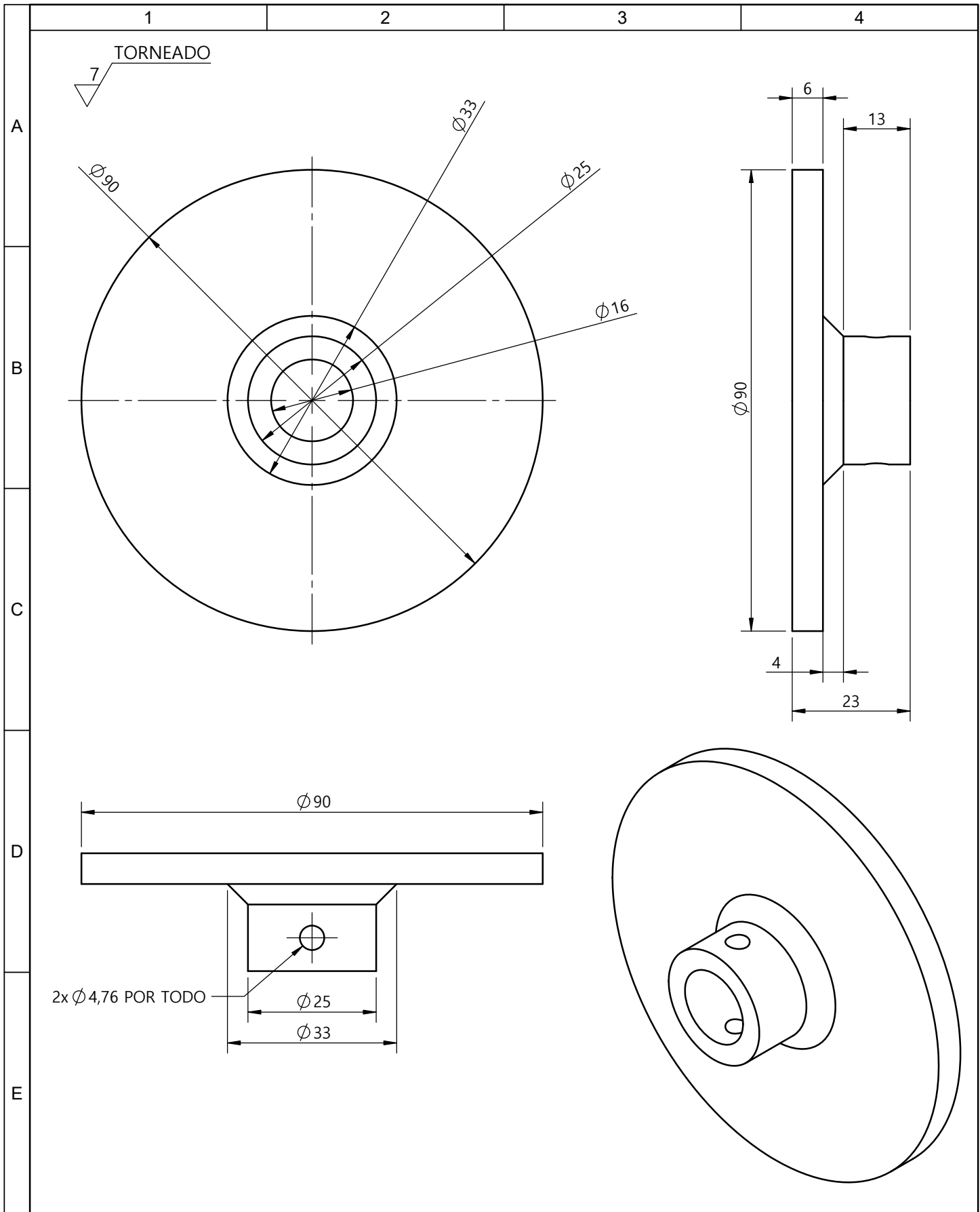
E



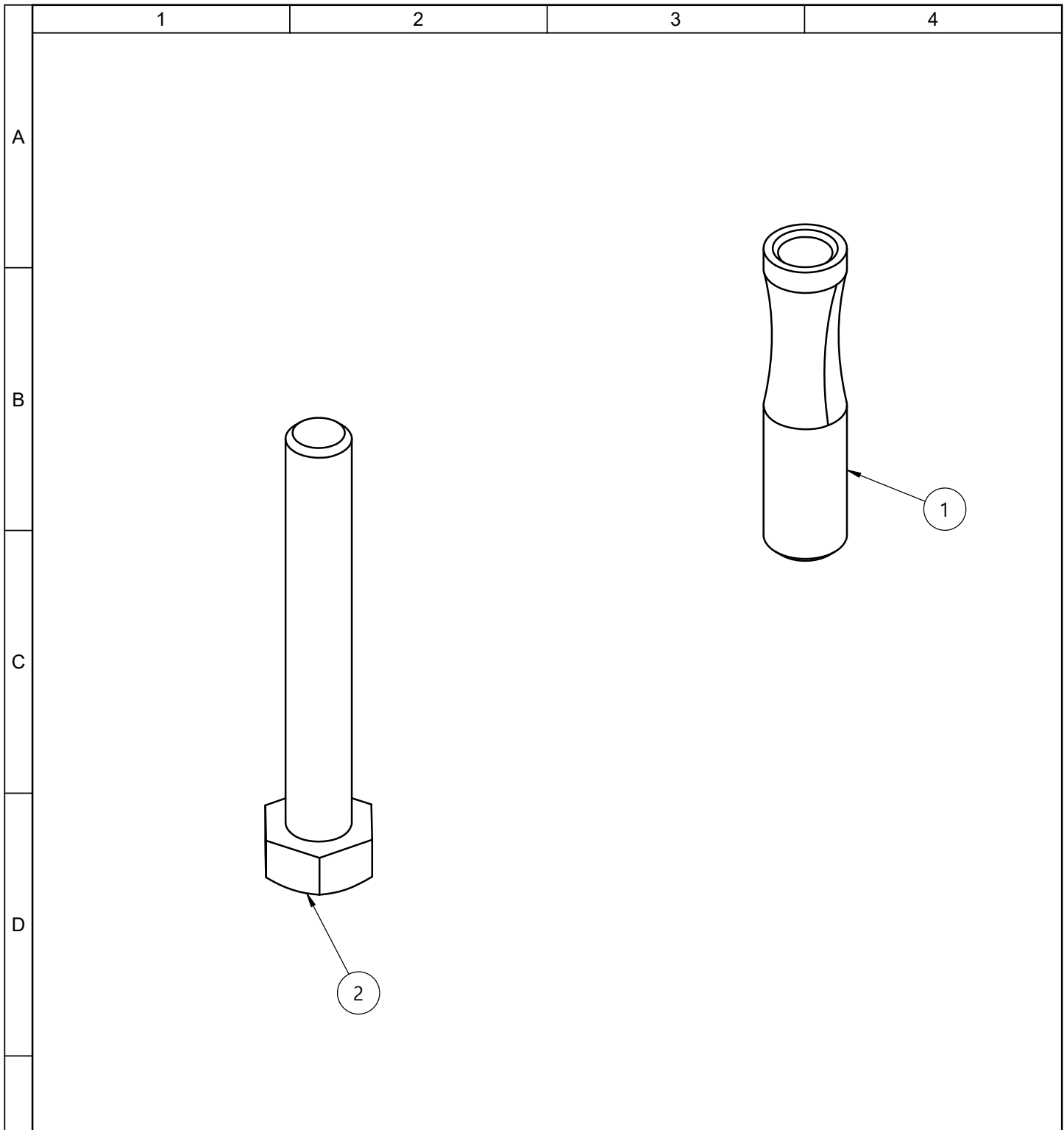
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	0,017 kg	NYLON 101		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		
				DIBUJÓ: 06/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	<b>AISLANTE PEQUEÑO DE PLACA DE EMPUJE</b>		
				REVISÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.			ESCALA:
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.			3:1
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:		
						25 de 70		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:				



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	0,002 kg	NYLON 101		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		
				DIBUJÓ: 06/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	AISLANTE GRANDE DE PLACA DE EMPUJE		
				REVISÓ: 06/11/22	ING. PAREDES			ESCALA:
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.			3:1
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:		
						26 de 70		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:				



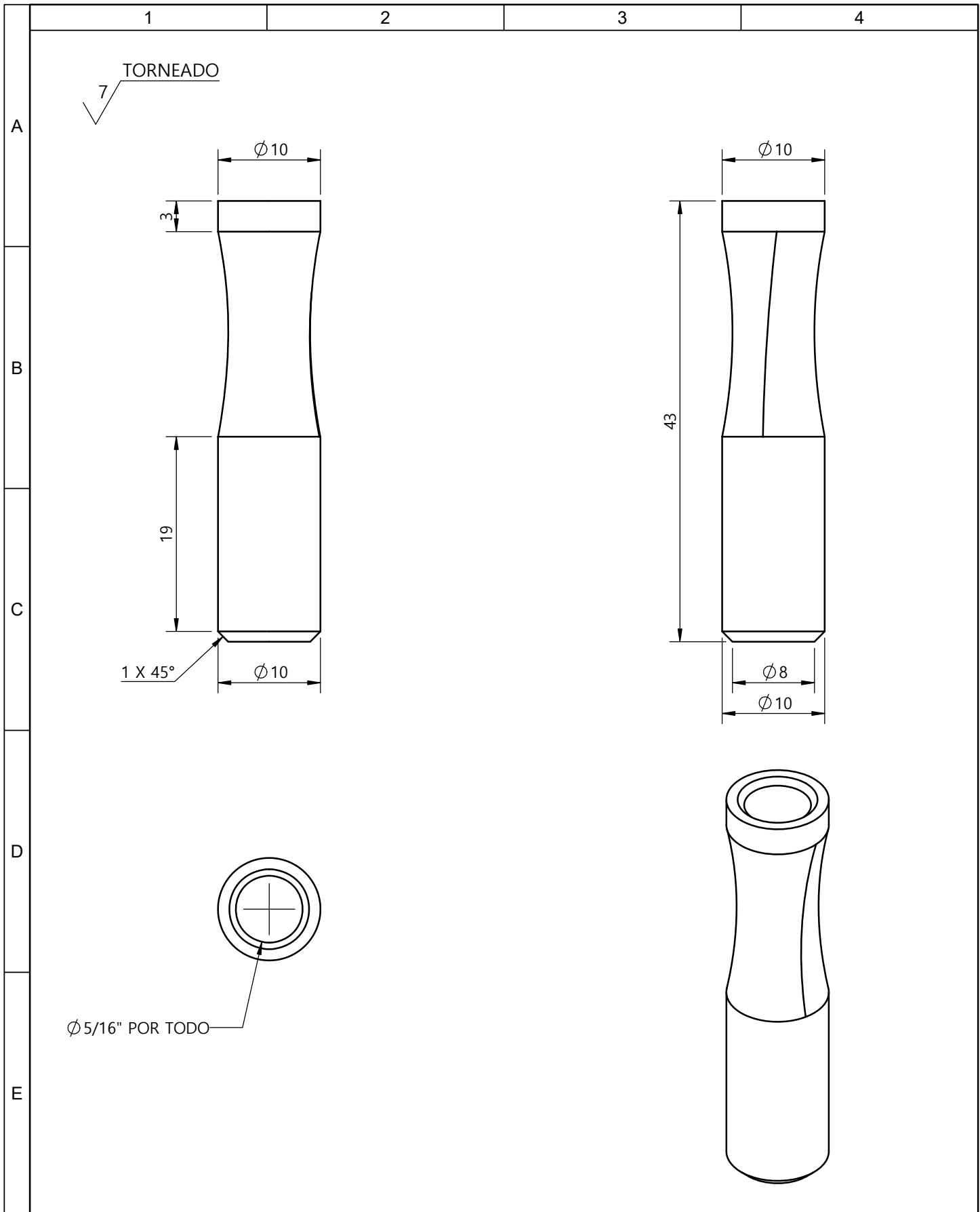
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				$\pm 0,1$	0,33 kg	ACERO ASTM A-36	
				Fecha	Nombre	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 07/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	DISCO MANIVELA	
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	ESCALA:	
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	1:1	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			27 de 70	
						SUSTITUCIÓN:	



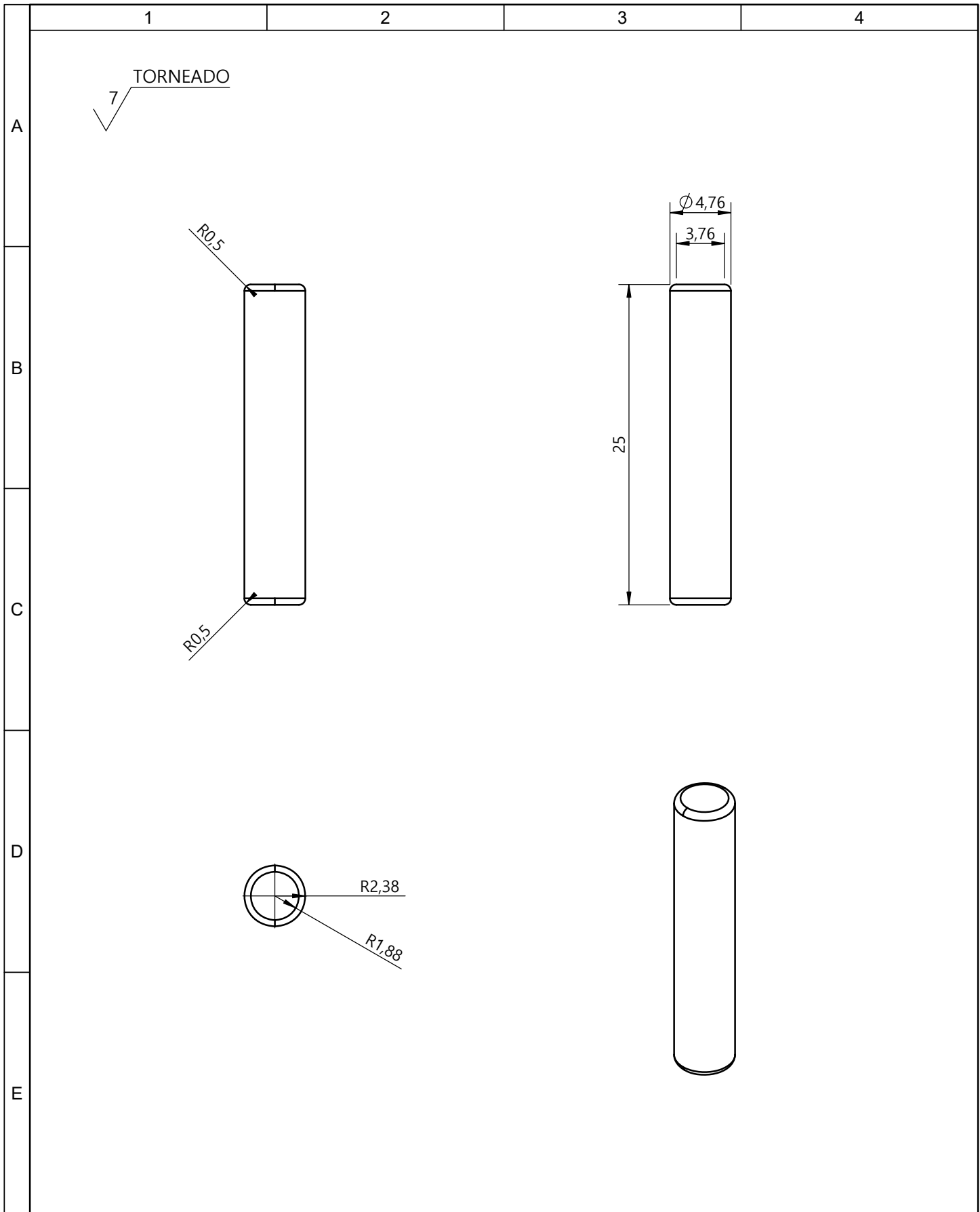
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	PALANCA MANIVELA	ACERO ASTM A 36	1
2	PERNO CABEZA HEXAGONAL Ø 5/16" GRADO 8	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	1

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	0,04 kg	VARIOS		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: <b>PALANCA MANIVELA</b>		ESCALA:
				DIBUJÓ: 08/11/22	Fuentes J.Nuñez J.			3:2
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.			
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	N.º DE LAMINA: 28 de 70		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA			SUSTITUCIÓN:	





				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,012 kg	ACERO ASTM A-36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 07/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	<b>MANGO PALANCA MANIVELA</b>	2:1
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			29 de 70	
						SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,003 kg	ACERO ASTM A-36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 07/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	<b>PASADOR DE DISCO MANIVELA</b>	5:2
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			30 de 70	
						SUSTITUCIÓN:	

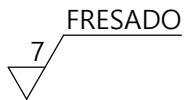
1

2

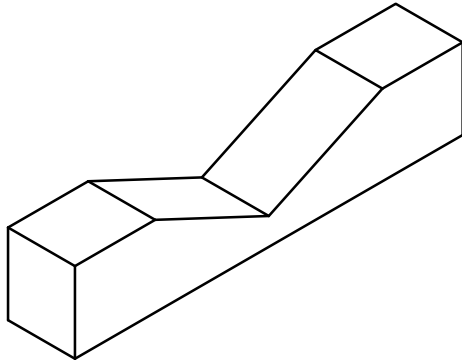
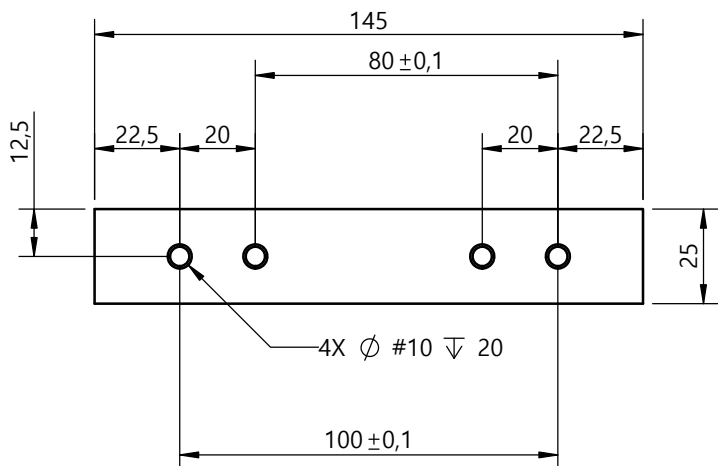
3

4

A

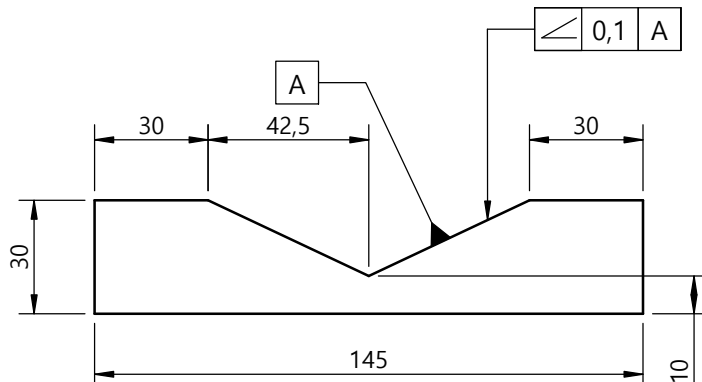


B



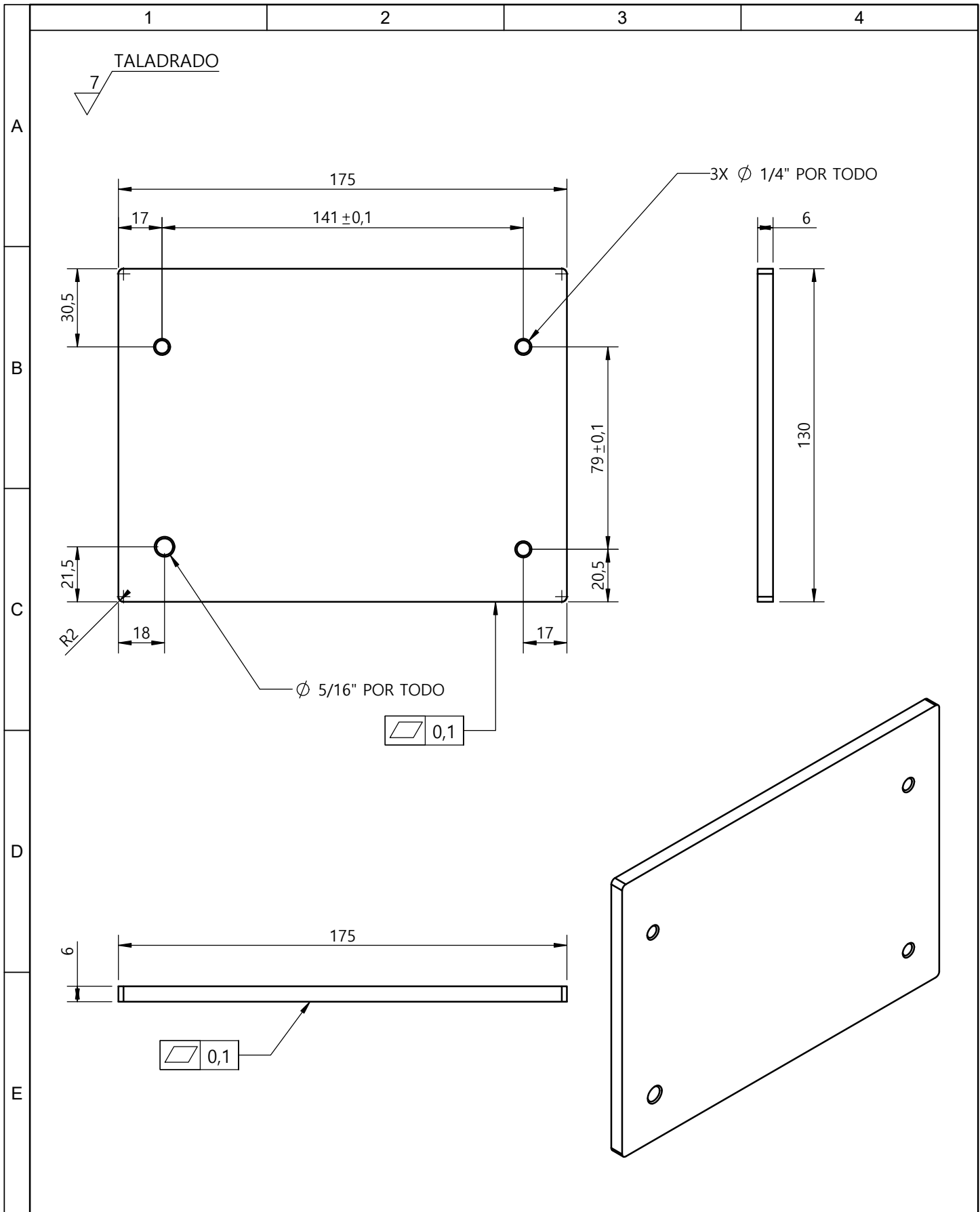
C

D

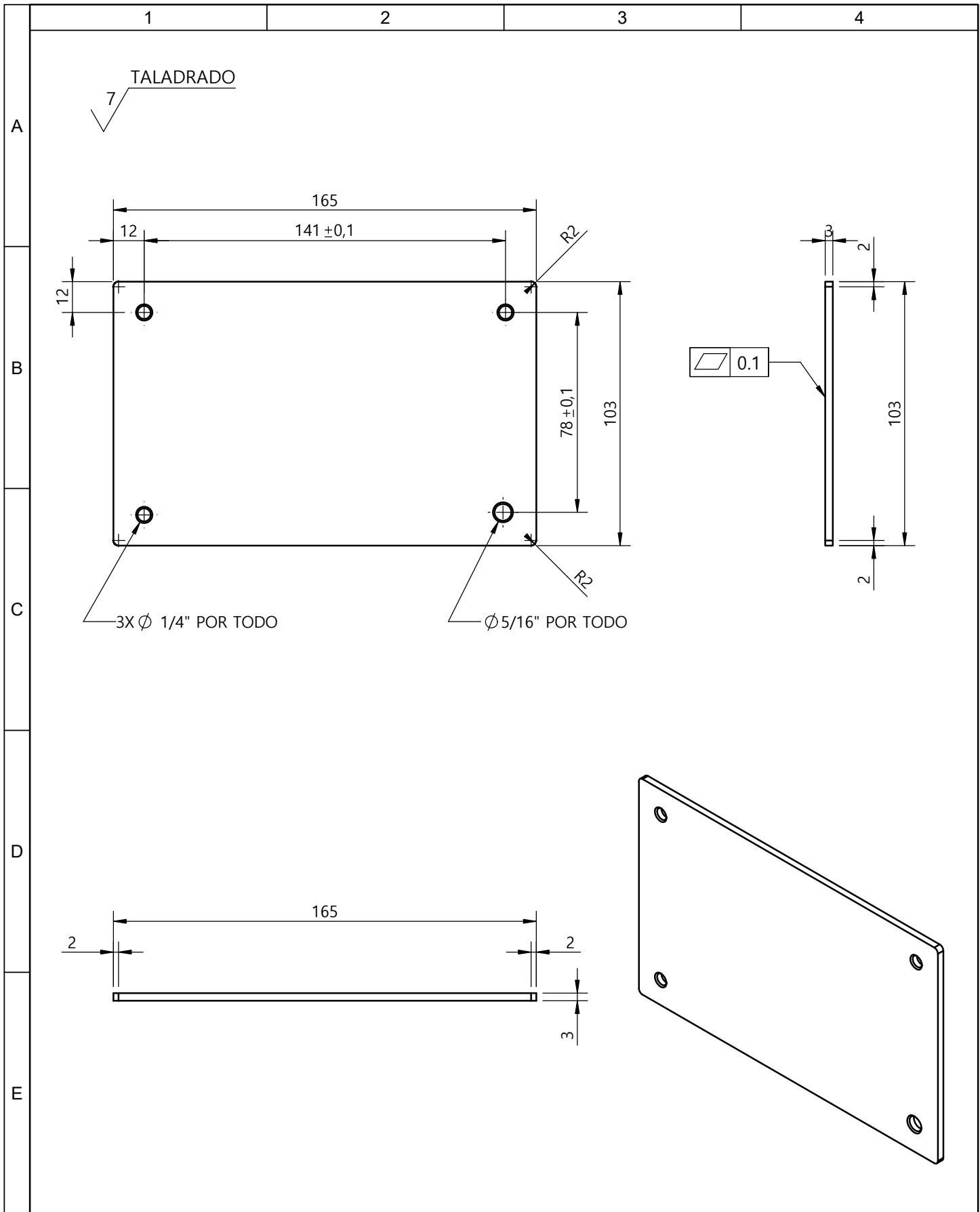


E

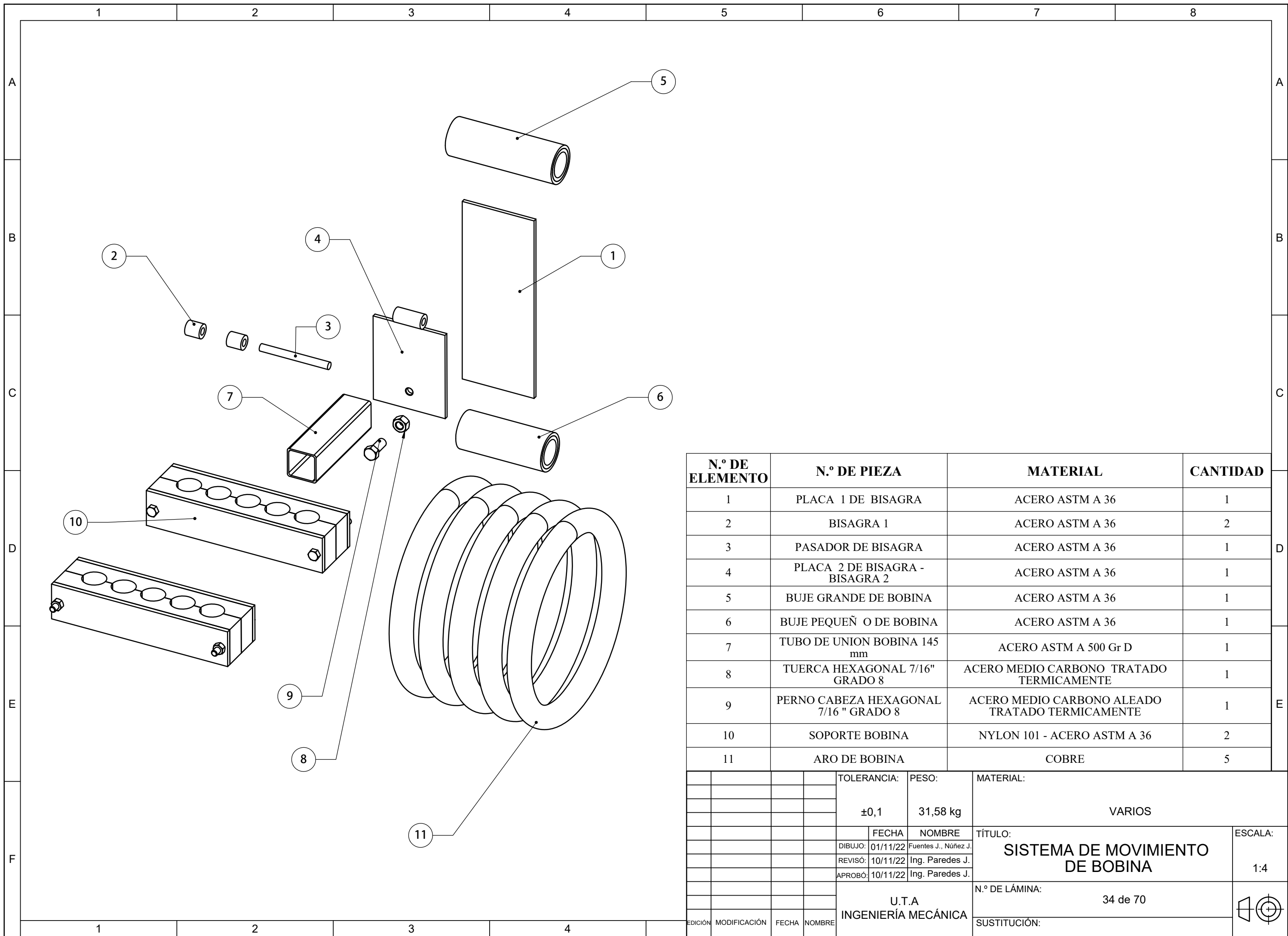
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,11 kg	NYLON 101	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJÓ:	01/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	<b>SOPORTE DE PIEZA DE CABEZAL MÓVIL</b>
				REVISÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.	
				APROBÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	ESCALA:
						31 de 70	1:2
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,17 kg	NYLON 101	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 01/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	PORTAPLACAS AISLANTE DE CABEZAL MÓVIL	
				REVISÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.	ESCALA:	
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.	1:2	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	
						32 de 70	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:			



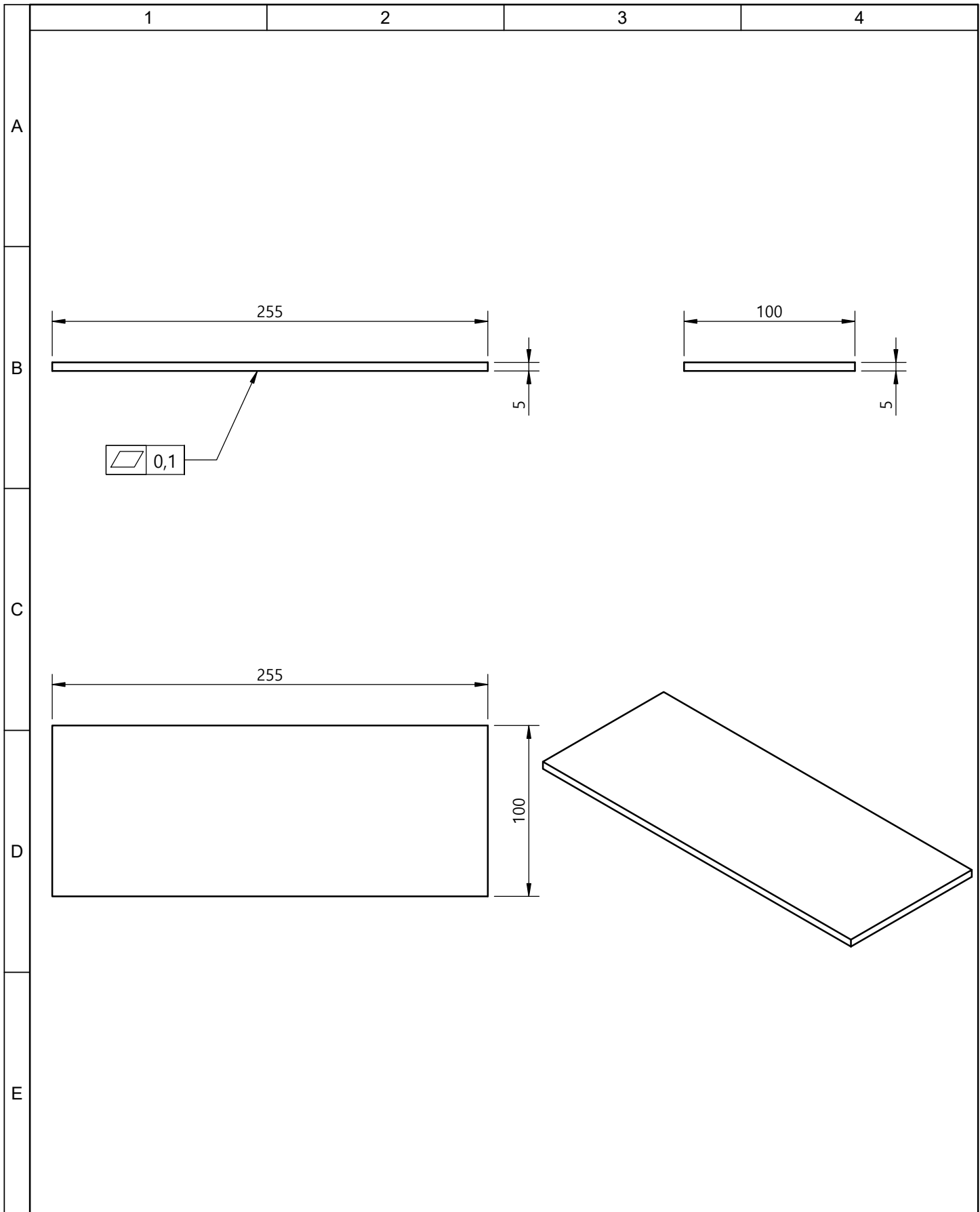
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,45 kg	COBRE	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 02/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	CONTACTO DE COBRE DE CABEZAL MÓVIL	1:2
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	33 de 70
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	



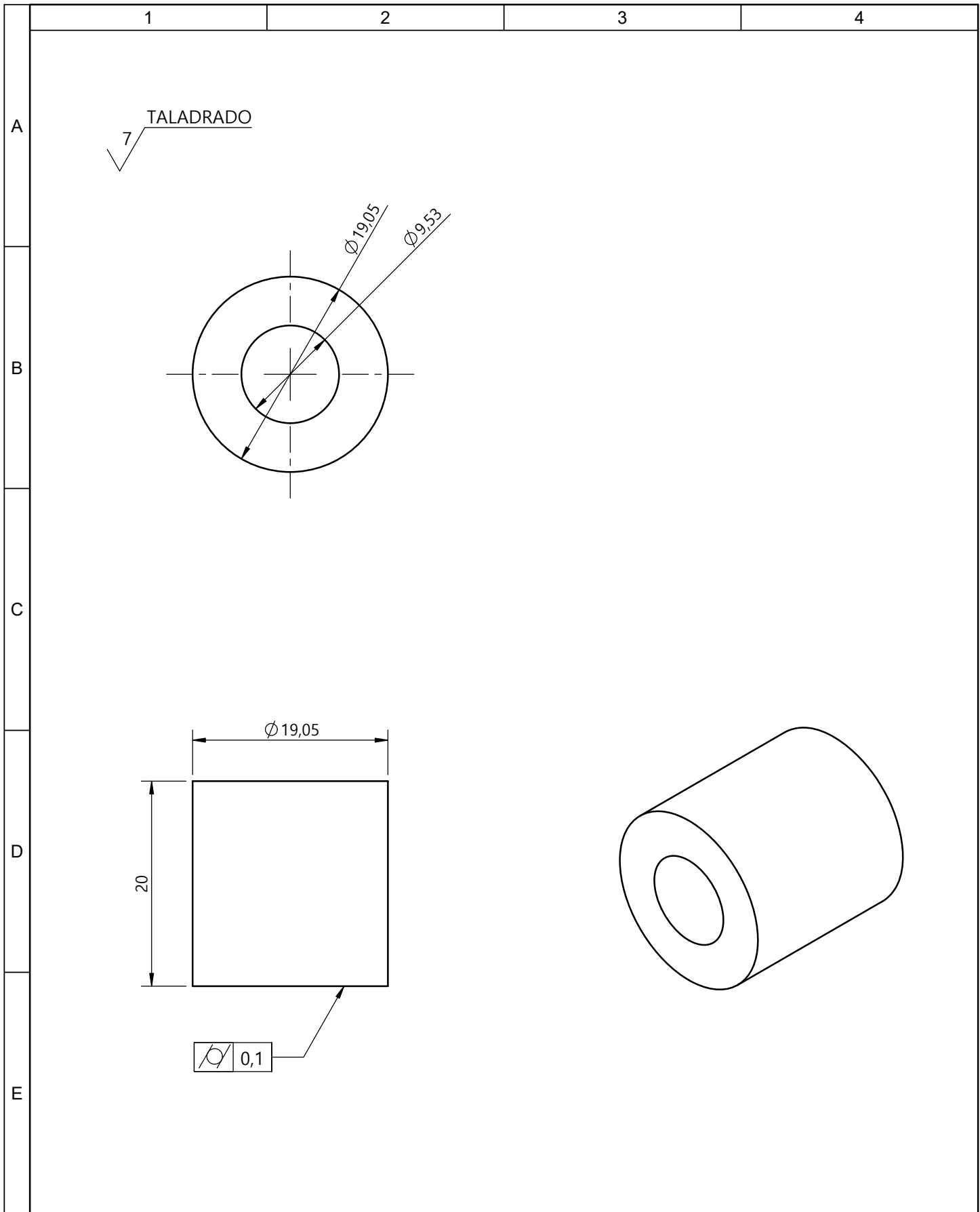
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	PLACA 1 DE BISAGRA	ACERO ASTM A 36	1
2	BISAGRA 1	ACERO ASTM A 36	2
3	PASADOR DE BISAGRA	ACERO ASTM A 36	1
4	PLACA 2 DE BISAGRA - BISAGRA 2	ACERO ASTM A 36	1
5	BUJE GRANDE DE BOBINA	ACERO ASTM A 36	1
6	BUJE PEQUEÑO DE BOBINA	ACERO ASTM A 36	1
7	TUBO DE UNION BOBINA 145 mm	ACERO ASTM A 500 Gr D	1
8	TUERCA HEXAGONAL 7/16" GRADO 8	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	1
9	PERNO CABEZA HEXAGONAL 7/16 " GRADO 8	ACERO MEDIO CARBONO ALEADO TRATADO TERMICAMENTE	1
10	SOPORTE BOBINA	NYLON 101 - ACERO ASTM A 36	2
11	ARO DE BOBINA	COBRE	5

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
±0,1		31,58 kg		VARIOS	
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:	
DIBUJO: 01/11/22		Fuentes J., Núñez J.		<b>SISTEMA DE MOVIMIENTO DE BOBINA</b>	
REVISÓ: 10/11/22		Ing. Paredes J.			
APROBÓ: 10/11/22		Ing. Paredes J.			
U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA				N.º DE LÁMINA:	
				34 de 70	
EDICIÓN MODIFICACIÓN FECHA NOMBRE				SUSTITUCIÓN:	

ESCALA:  
1:4

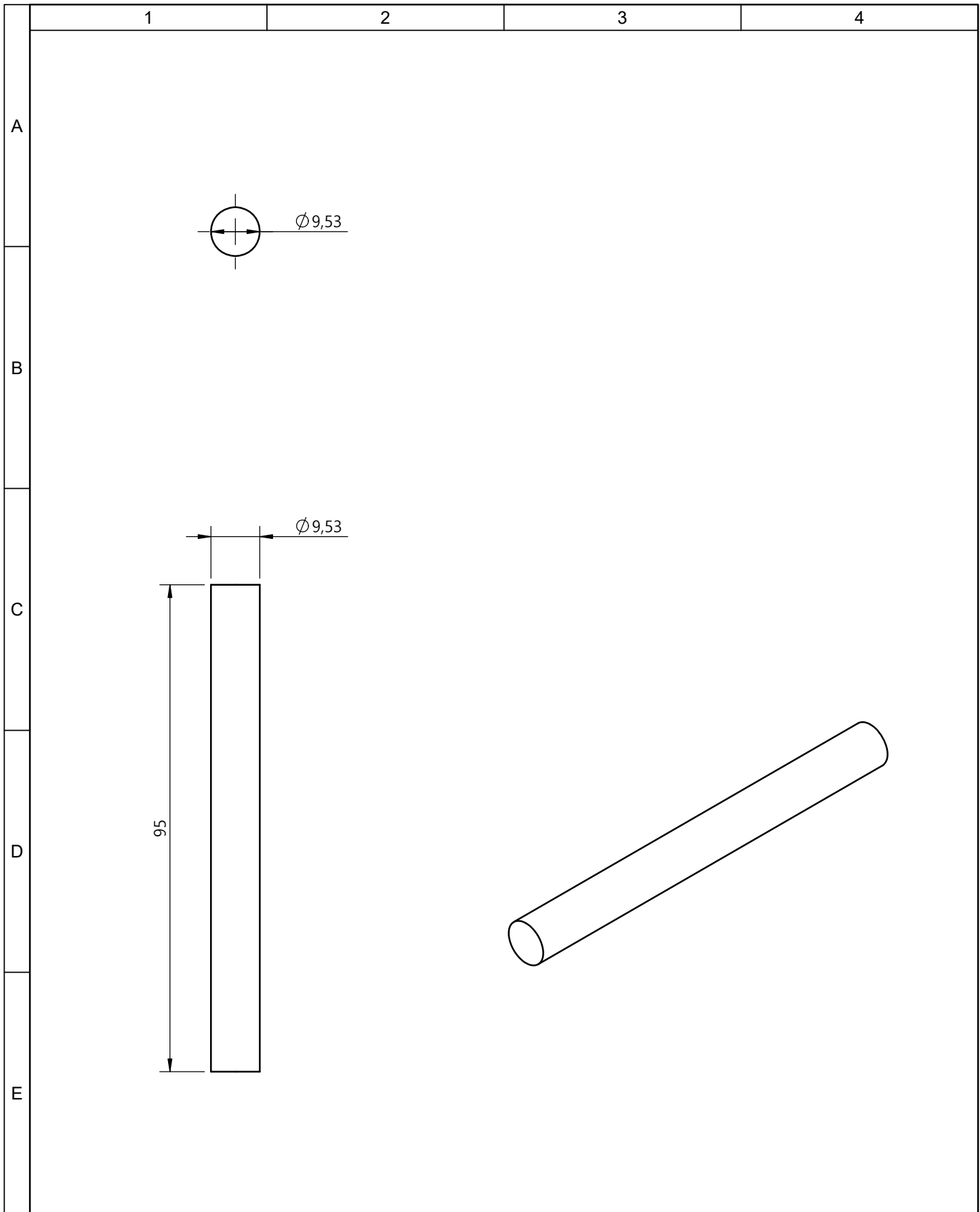


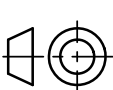
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	1 kg	ACERO ASTM A-36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
			DIBUJÓ:	03/11/22	Fuentes J. Nuñez J.		
			REVISÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.	1:3
				U.T.A.		N.º DE LAMINA:	
				INGENIERÍA MECÁNICA		35 de 70	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	

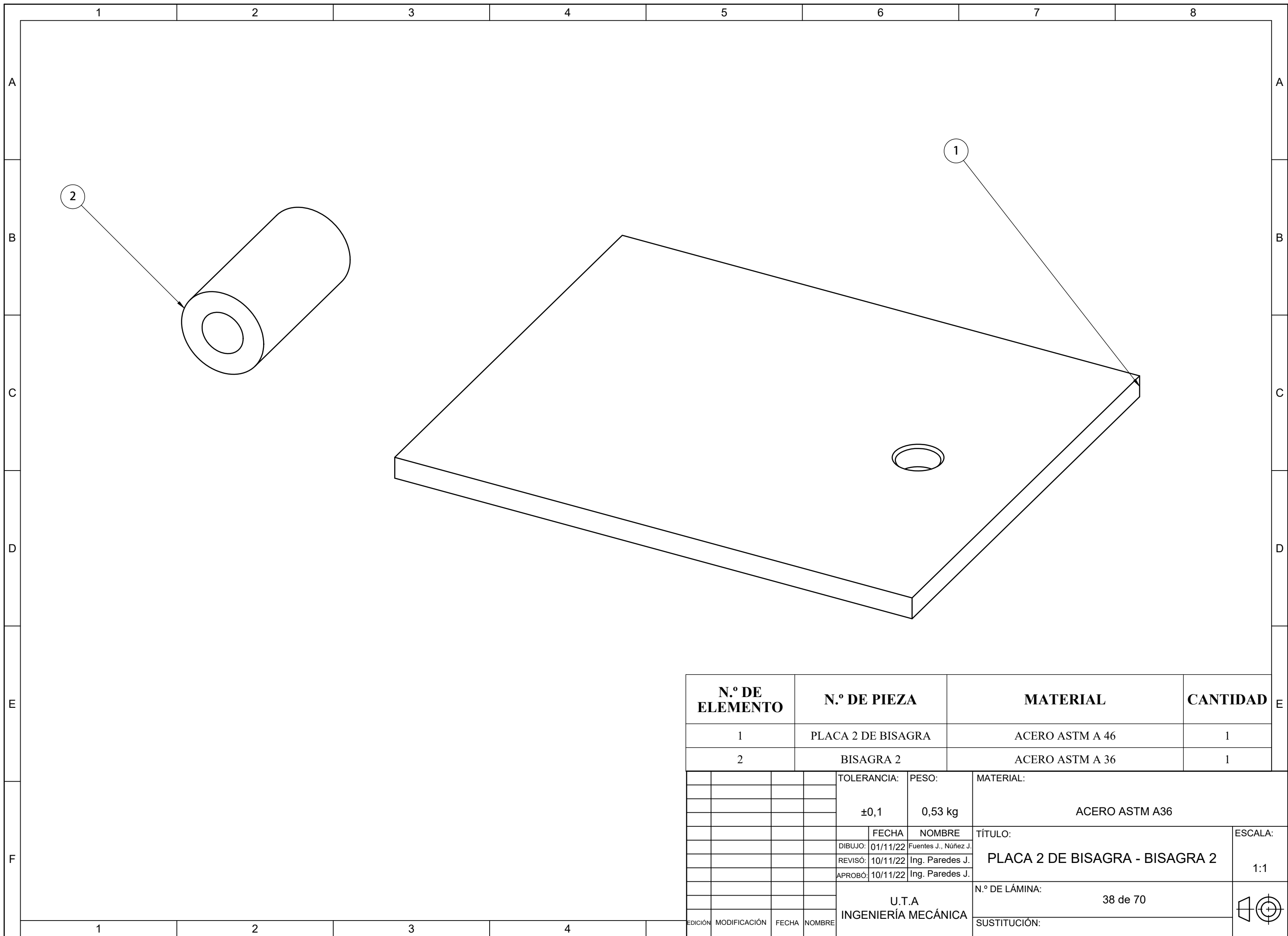


				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,033 kg	ACERO ASTM A-36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
			DIBUJÓ:	03/11/22	Fuentes J. Nuñez J.		
			REVISÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.	2:1
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			36 de 70	
						SUSTITUCIÓN:	

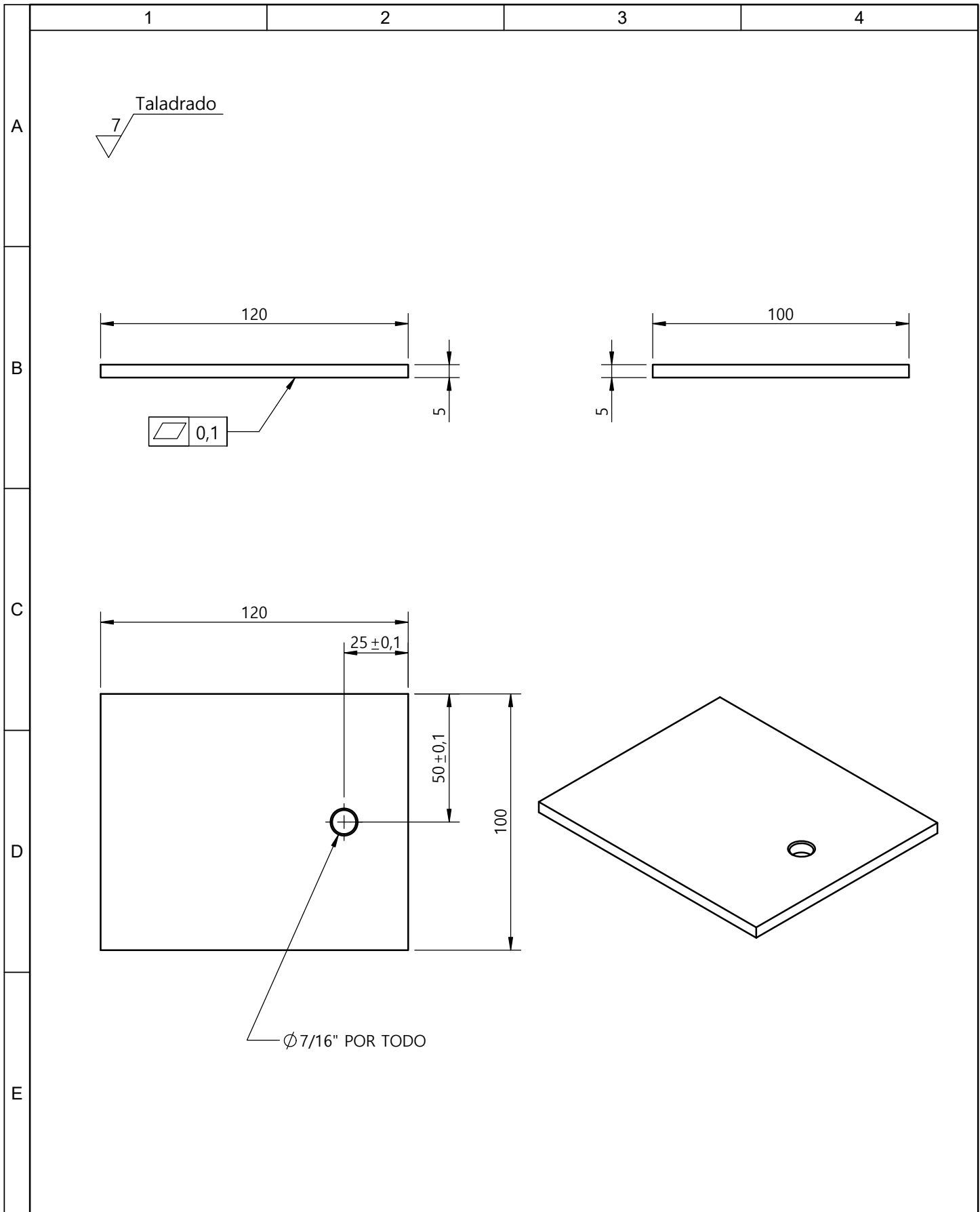




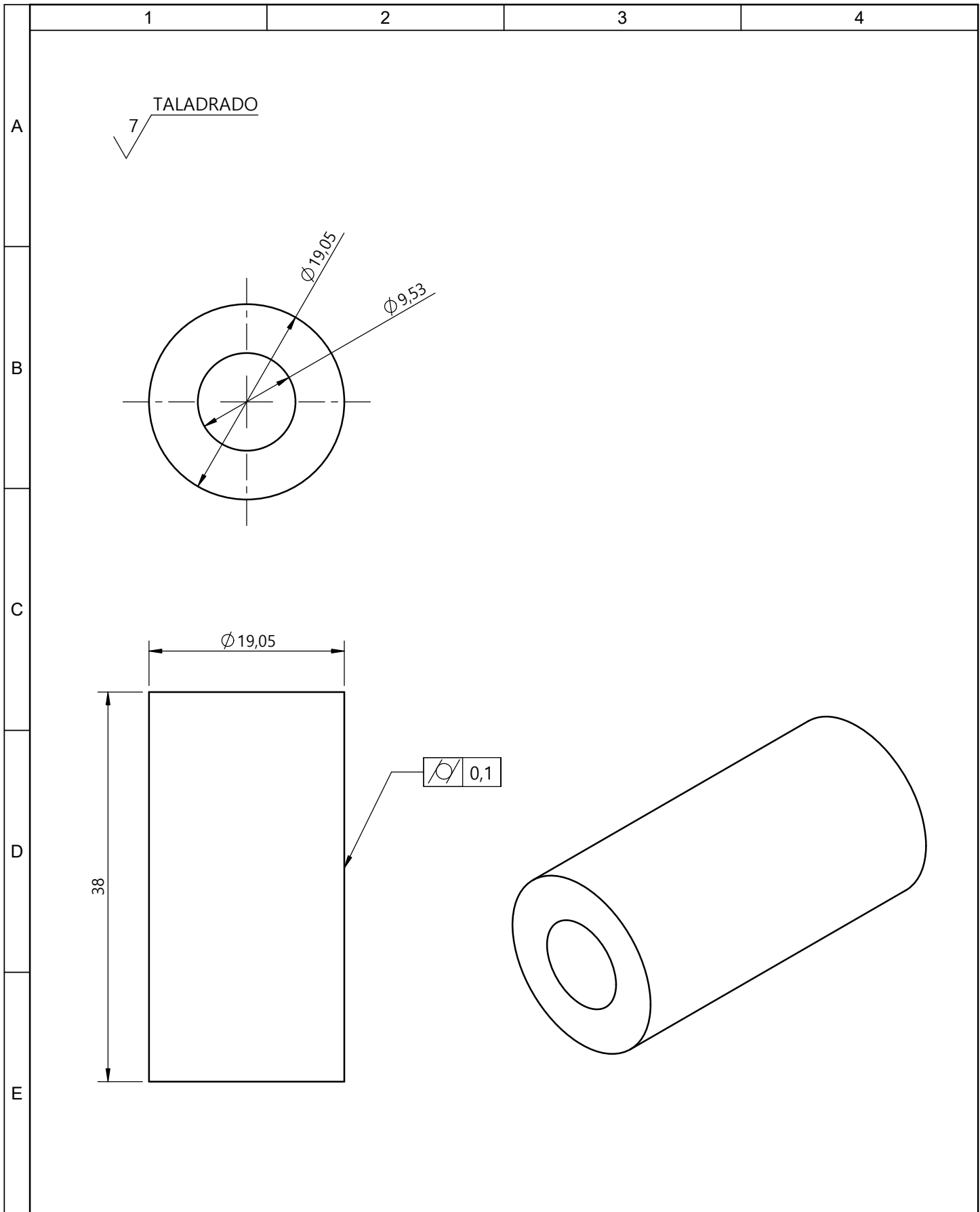
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	0,053 kg	ACERO ASTM A-36		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJÓ: 03/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	<b>PASADOR DE BISAGRA</b>		1:1
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.			
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	37 de 70	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:		



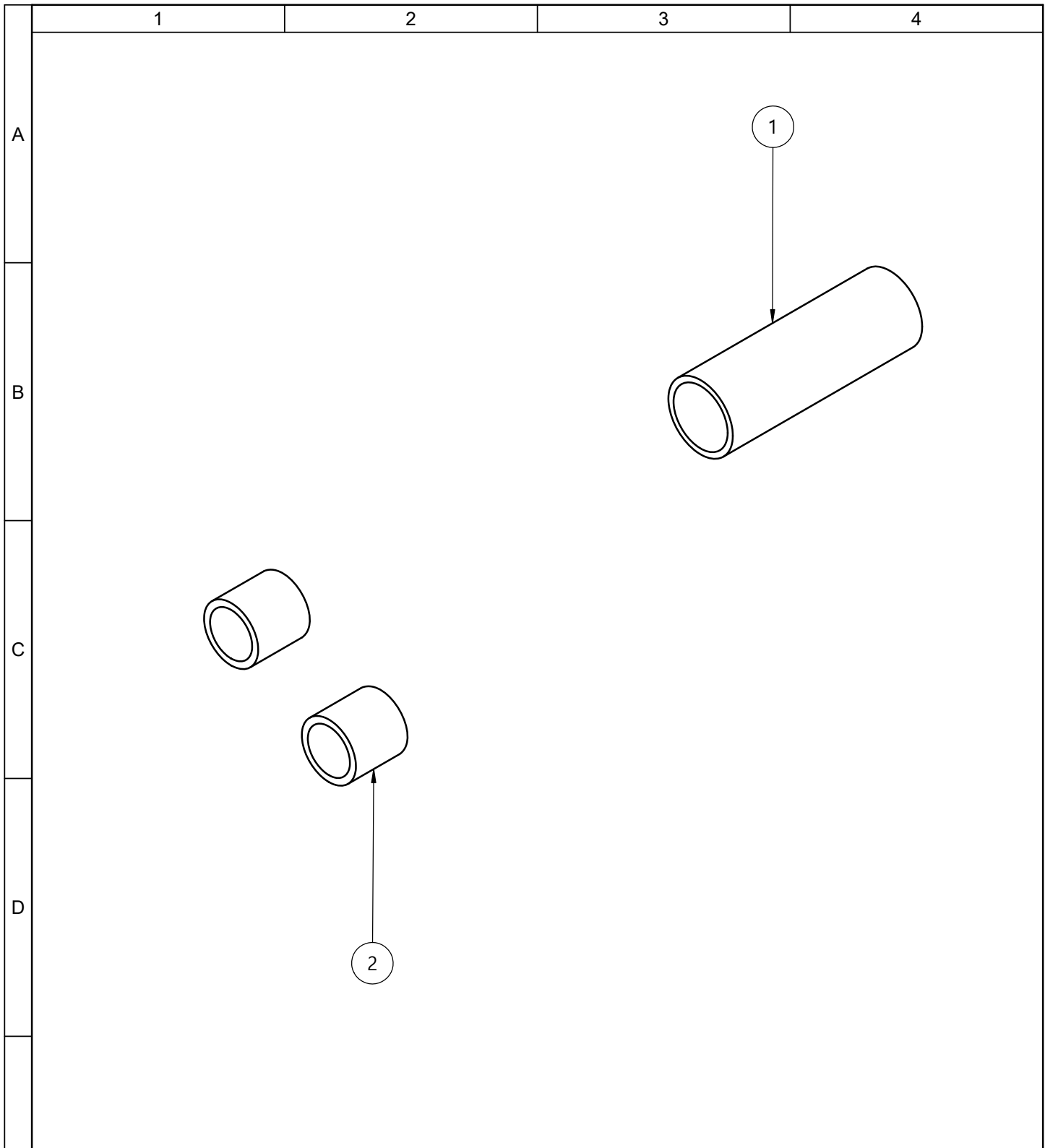
N.º DE ELEMENTO		N.º DE PIEZA		MATERIAL		CANTIDAD	
1		PLACA 2 DE BISAGRA		ACERO ASTM A 46		1	
2		BISAGRA 2		ACERO ASTM A 36		1	
		TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
		±0,1		0,53 kg		ACERO ASTM A36	
		FECHA		NOMBRE		TÍTULO:	
		DIBUJO: 01/11/22		Fuentes J., Núñez J.		PLACA 2 DE BISAGRA - BISAGRA 2	
		REVISÓ: 10/11/22		Ing. Paredes J.		ESCALA:	
		APROBÓ: 10/11/22		Ing. Paredes J.		1:1	
		EDICIÓN		MODIFICACIÓN		FECHA	
		NOMBRE		U.T.A		N.º DE LÁMINA:	
				INGENIERÍA MECÁNICA		38 de 70	
						SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,46 kg	ACERO ASTM A-36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 03/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	PLACA 2 BISAGRA	
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	ESCALA:	
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	1:2	
				U.T.A.		N.º DE LAMINA:	
				INGENIERÍA MECÁNICA		39 de 70	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	SUSTITUCIÓN:			

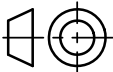


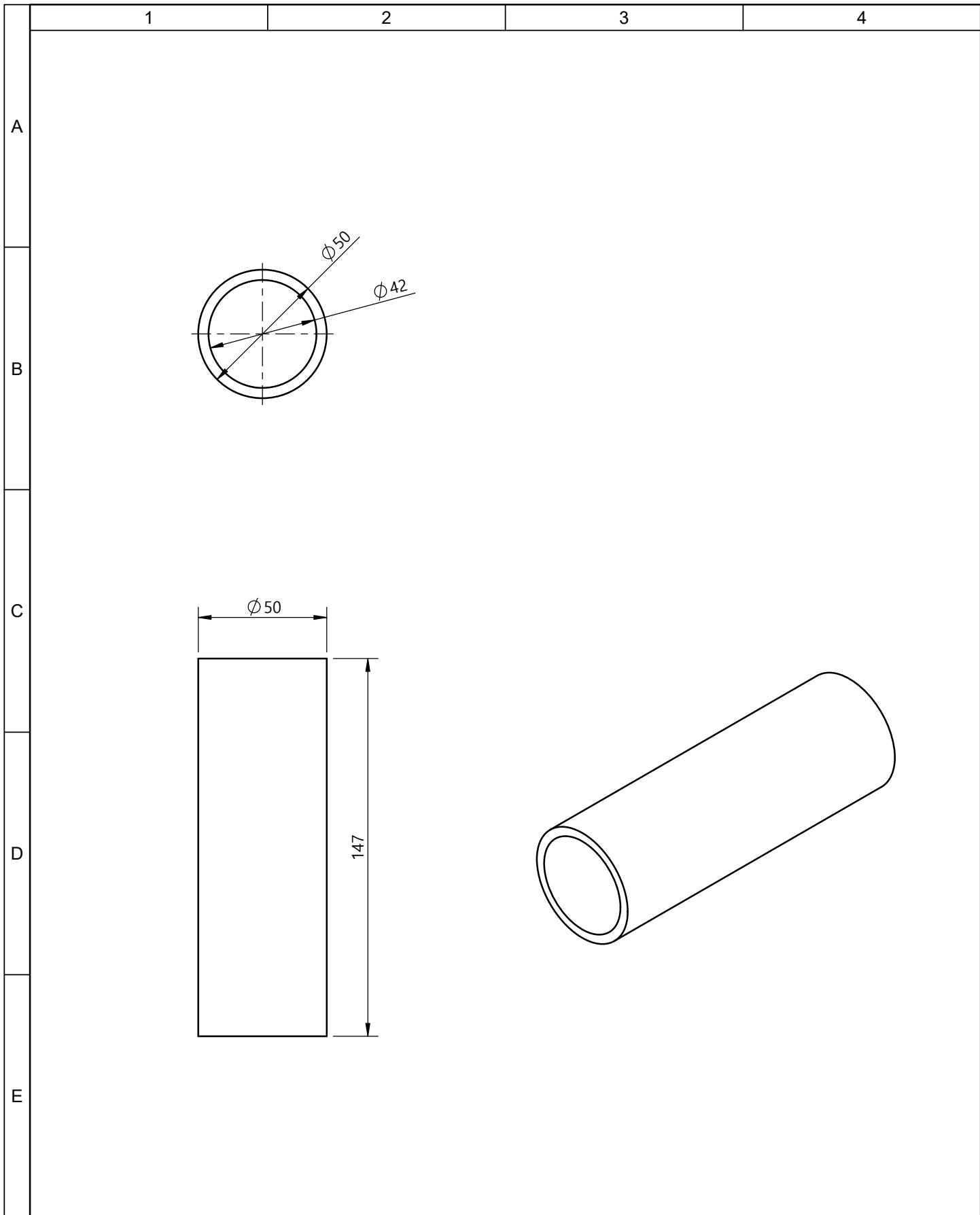
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,063 kg	ACERO ASTM A-36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 03/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	ESCALA:	
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	2:1	
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	N.º DE LAMINA:	
				U.T.A.		40 de 70	
				INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

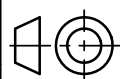


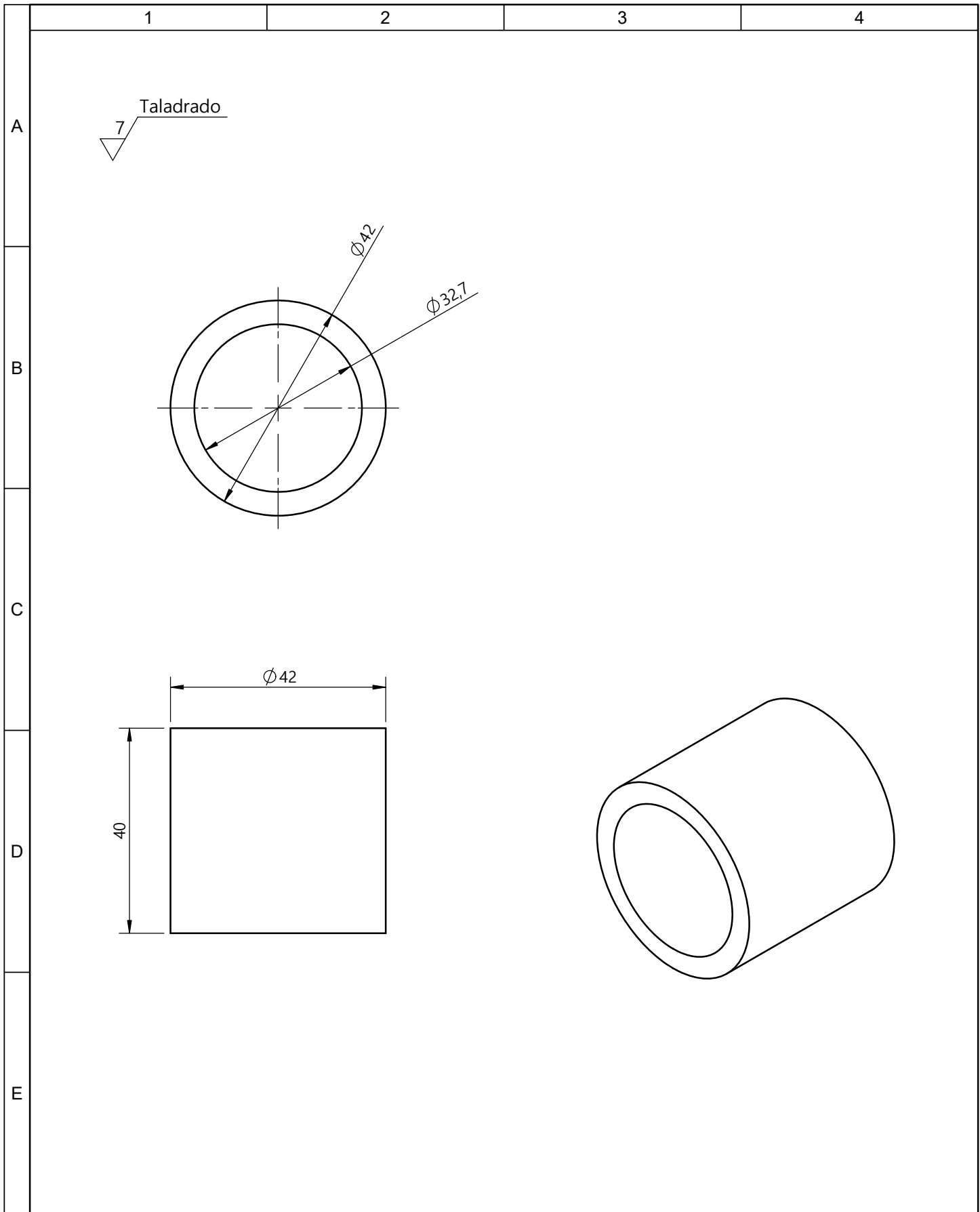
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	TUBO DE BUJE GRANDE	ACERO ASTM A 36	1
2	COJINETE DE NYLON	NYLON 101	2

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	0,72 kg	VARIOS		
						TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJÓ:	08/11/22	FUENTES J. NUÑEZ J.		1:3
				REVISÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.		
				APROBÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LAMINA:	41 de 70
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				SUSTITUCIÓN:	

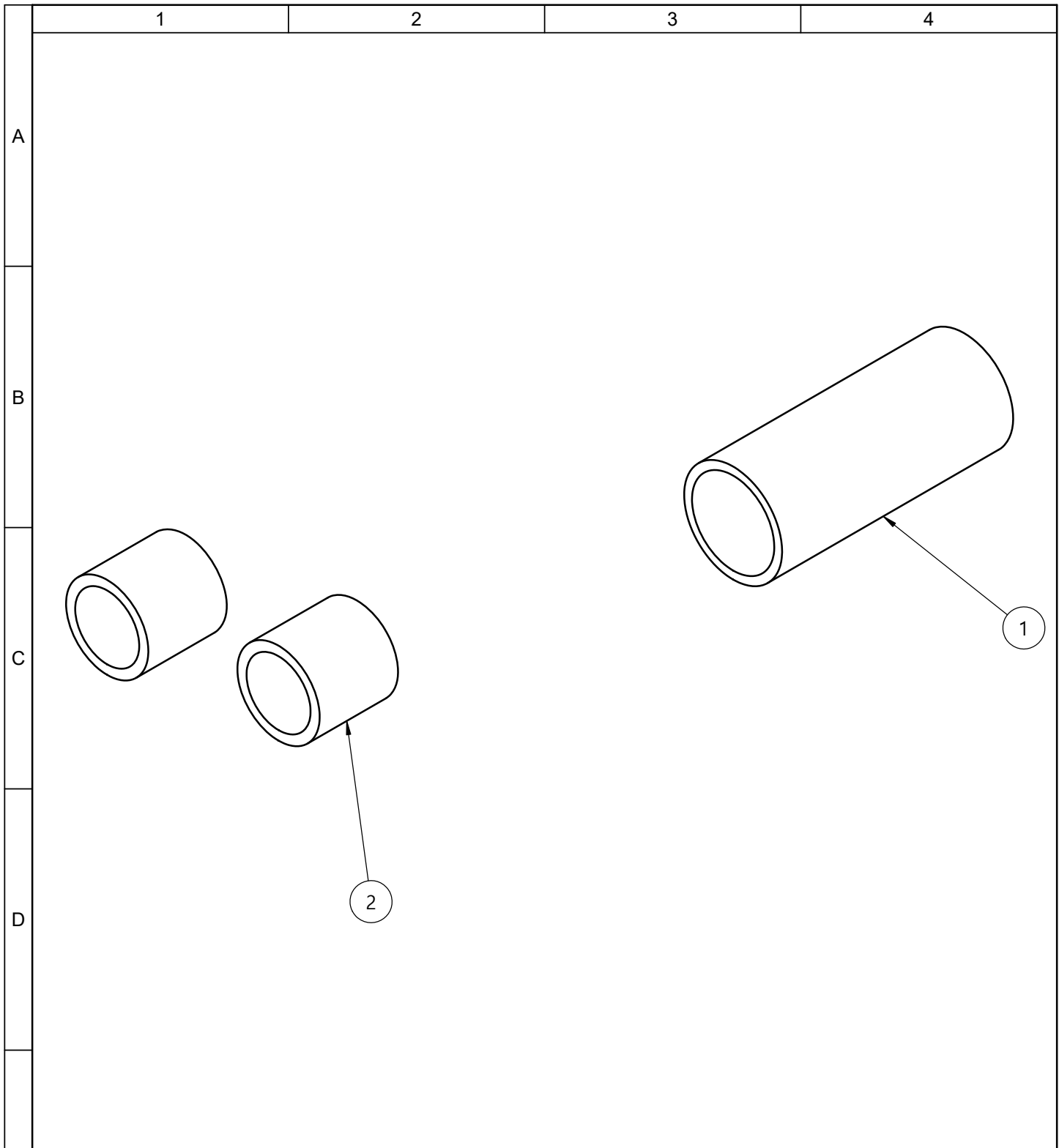




				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:				
				±0,1	0,66 kg	ACERO ASTM A-36				
				FECHA	NOMBRE	<b>TUBO BUJE GRANDE</b>				
				DIBUJÓ: 04/11/22	Fuentes J.Nuñez J.				TÍTULO:	ESCALA:
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.					1:2
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.					
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	42 de 70			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:				



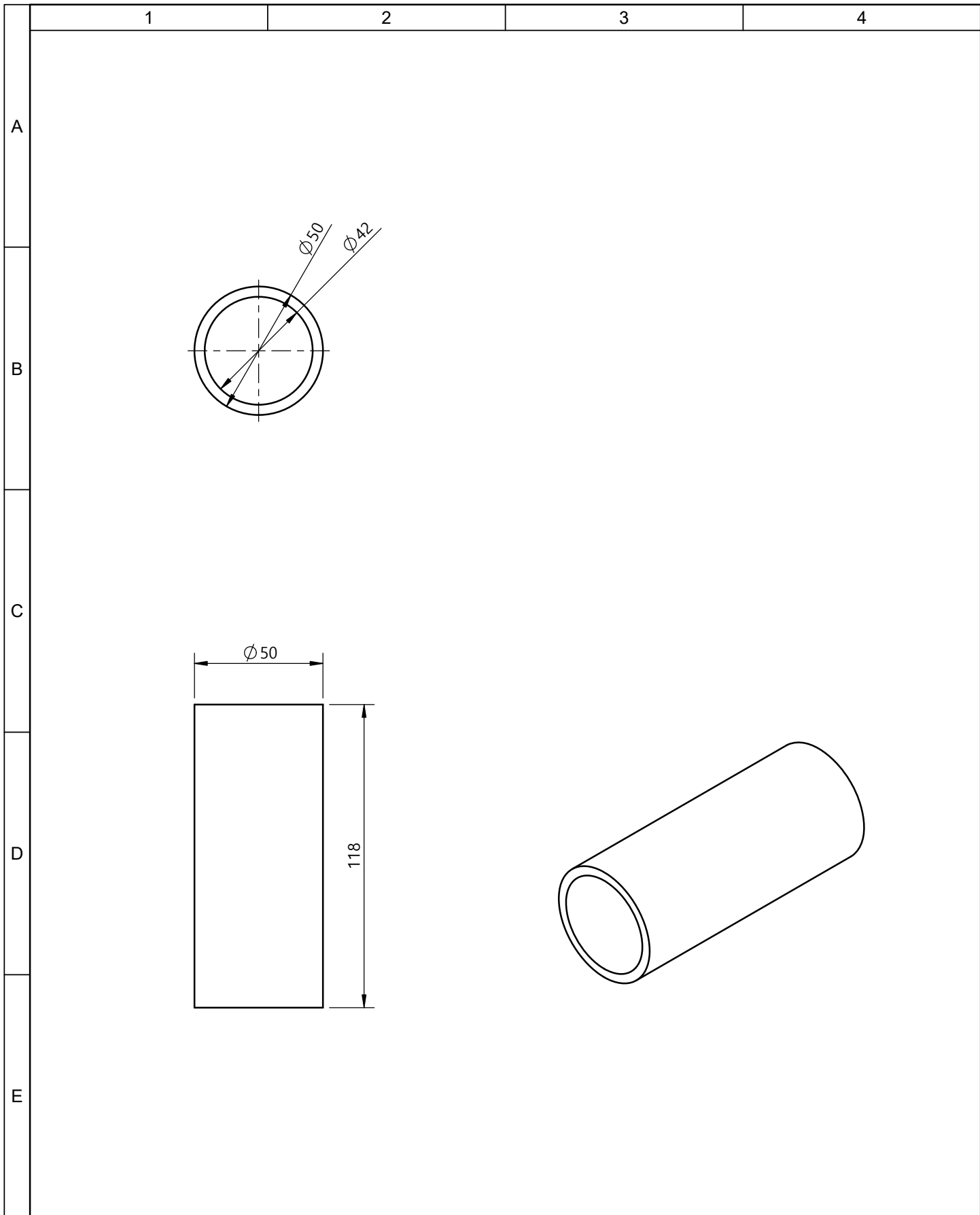
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				$\pm 0,1$	0,025kg	NAYLON 101	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 03/11/22	Fuentes J.Nuñez J.	COJINETE GRANDE	
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	ESCALA:	
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	1:1	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			43 de 70	
						SUSTITUCIÓN:	

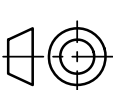


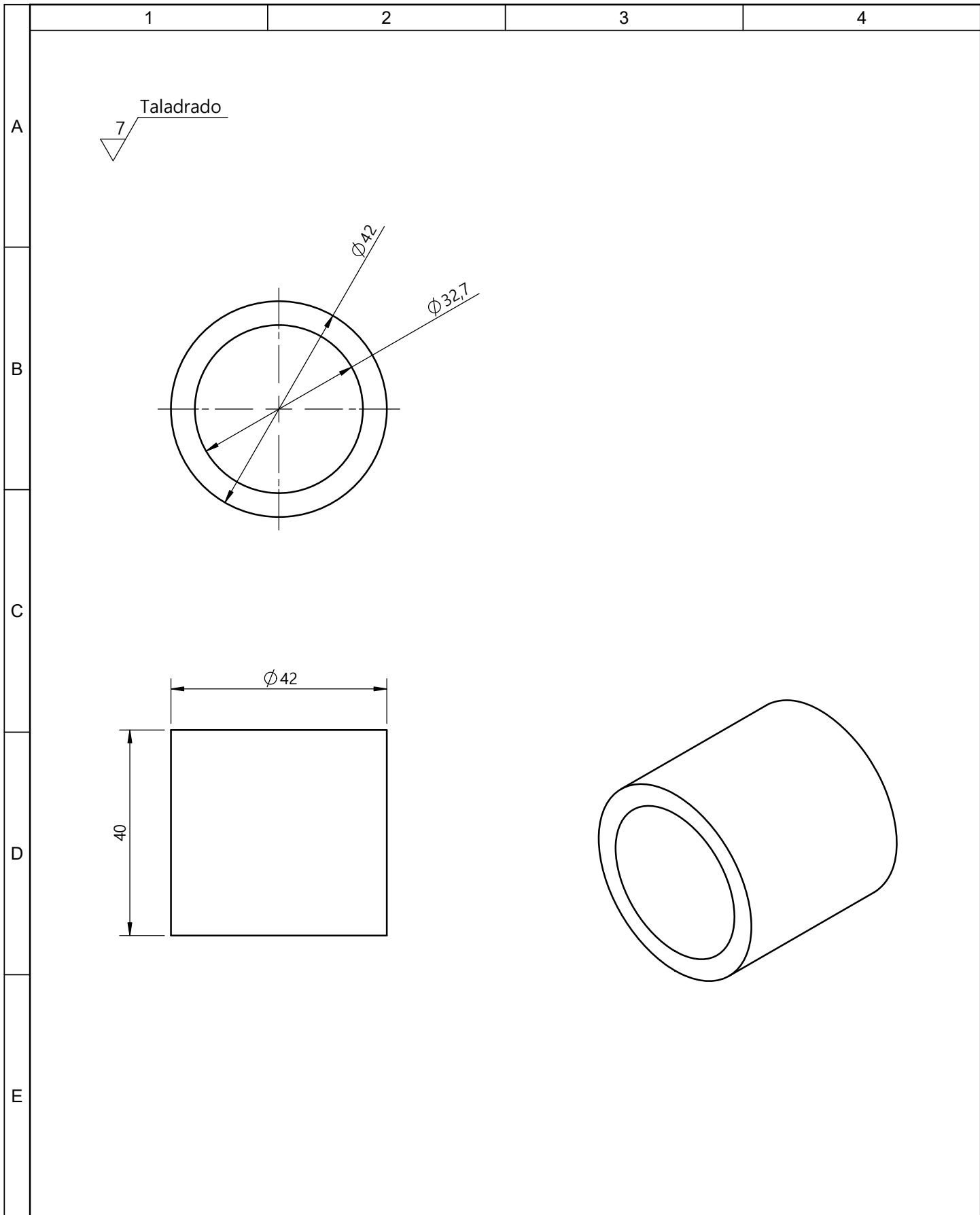
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	TUBO DE BUJE PEQUEÑO	ACERO ASTM A 36	1
2	COJINETE DE NYLON	NAYLON 101	2

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,59 kg	VARIOS	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 08/11/22	Fuentes J.Nuñez J.		
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	BUJE PEQUEÑO	1:2
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	

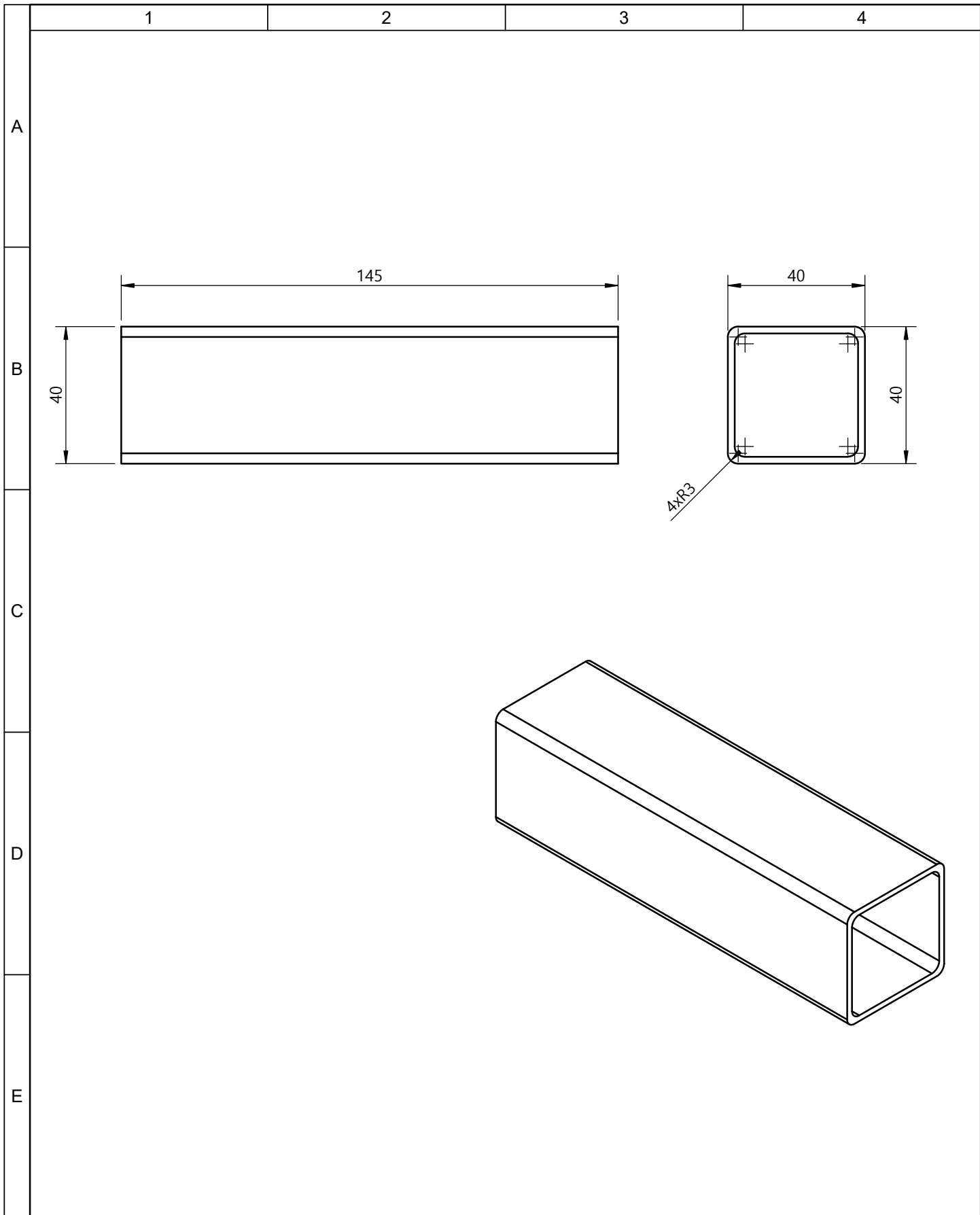




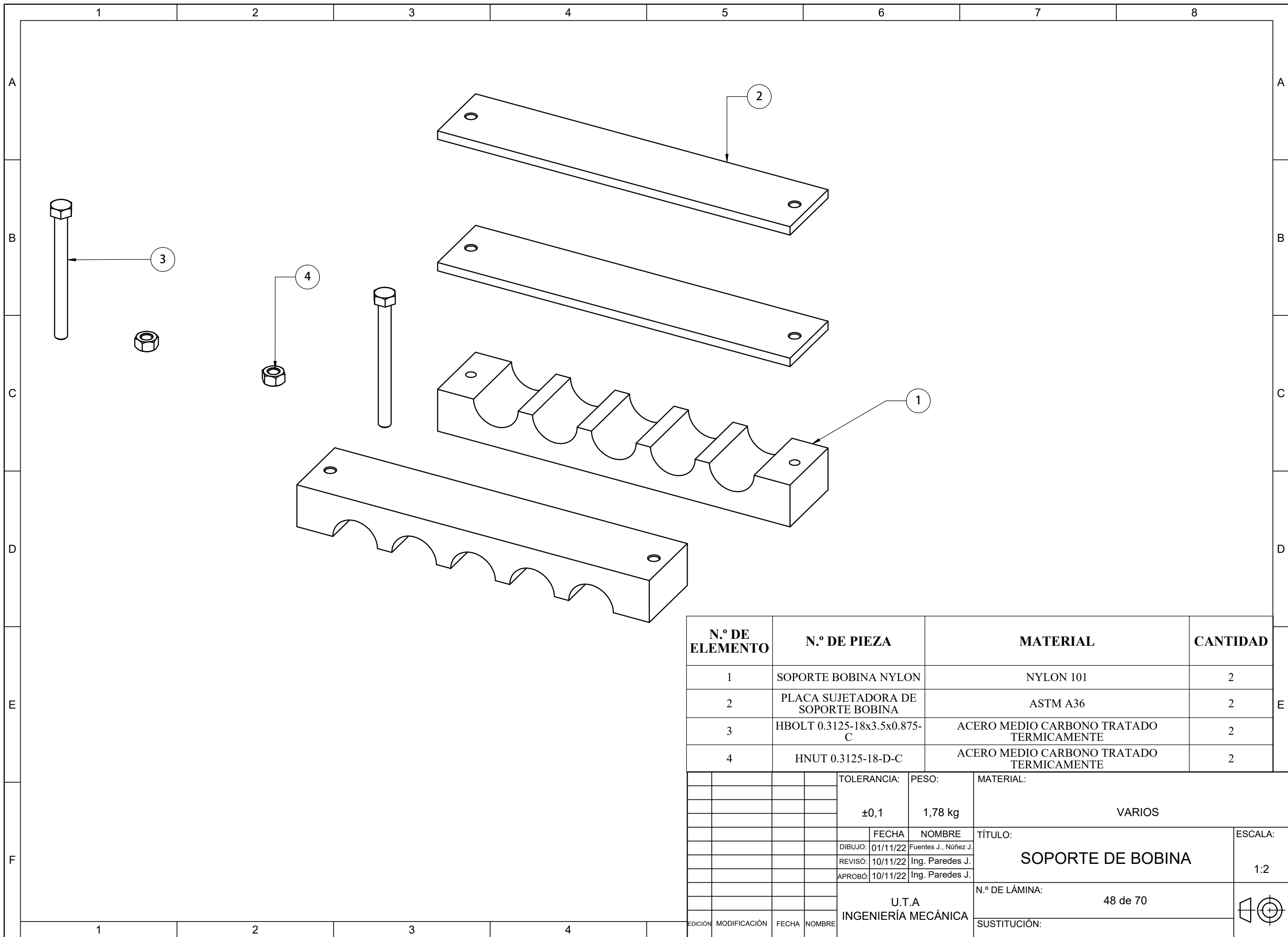
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:					
				±0,1	0,53 kg	ACERO ASTM A-36					
				FECHA	NOMBRE	<b>TUBO BUJE PEQUEÑO</b>					
				DIBUJÓ: 04/11/22	Fuentes J.Nuñez J.				TÍTULO:	ESCALA:	
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.				1:2		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.						
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			45 de 70					
						SUSTITUCIÓN:					



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,025kg	NYLON 101	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 03/11/22	Fuentes J.Nuñez J.	COJINETE PEQUEÑO	
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	ESCALA:	
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	1:1	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			46 de 70	
						SUSTITUCIÓN:	



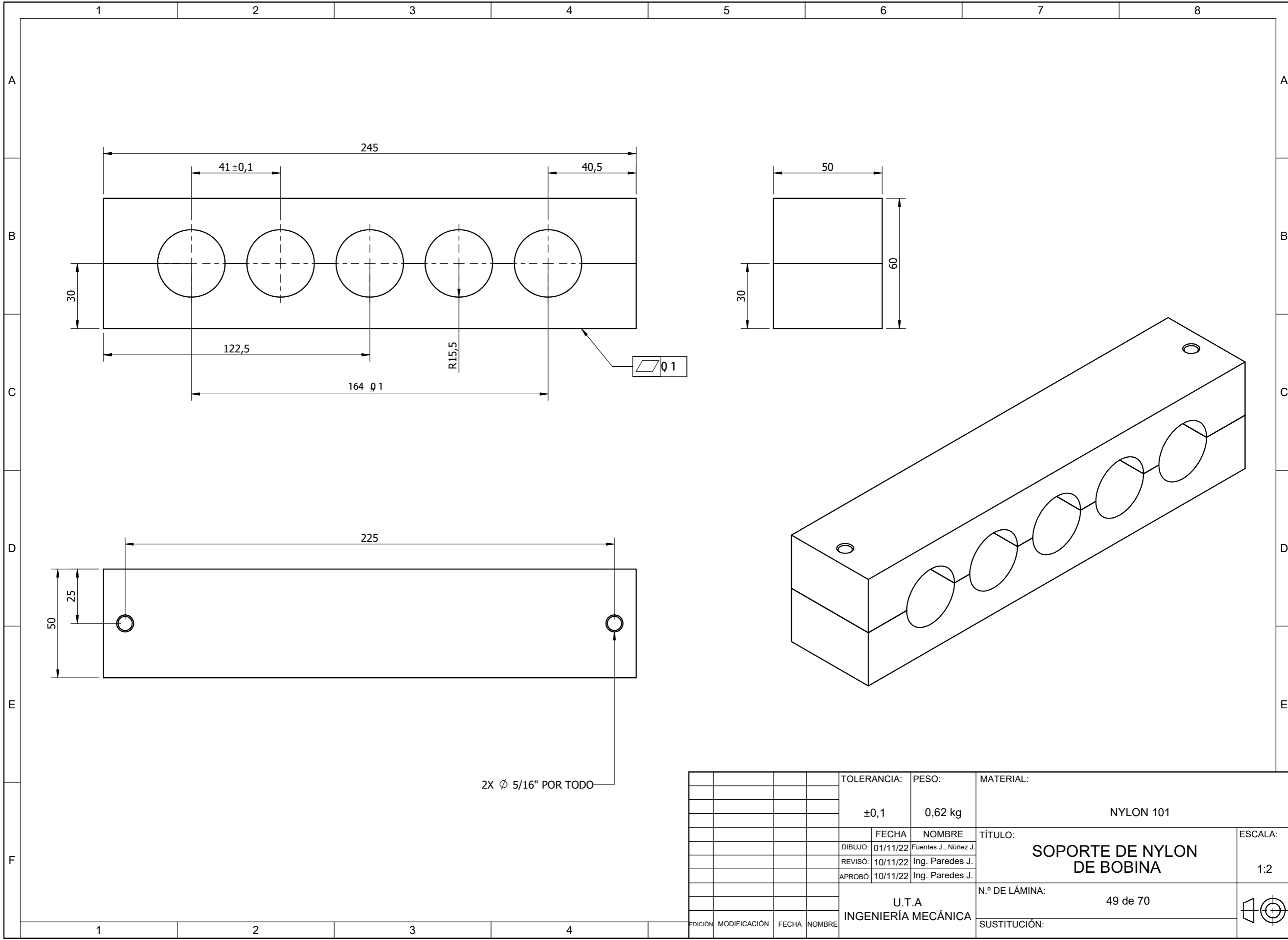
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:					
				±0,1	0,35 kg	ACERO ASTM A-36					
				FECHA	NOMBRE	<b>TUBO UNION BOBINA</b>					
				DIBUJÓ: 04/11/22	Fuentes J. Nuñez J.				ESCALA:		
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.				2:3		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.						
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA: 47 de 70					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:					



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	SOPORTE BOBINA NYLON	NYLON 101	2
2	PLACA SUJETADORA DE SOPORTE BOBINA	ASTM A36	2
3	HBOLT 0.3125-18x3.5x0.875-C	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	2
4	HNUT 0.3125-18-D-C	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	2

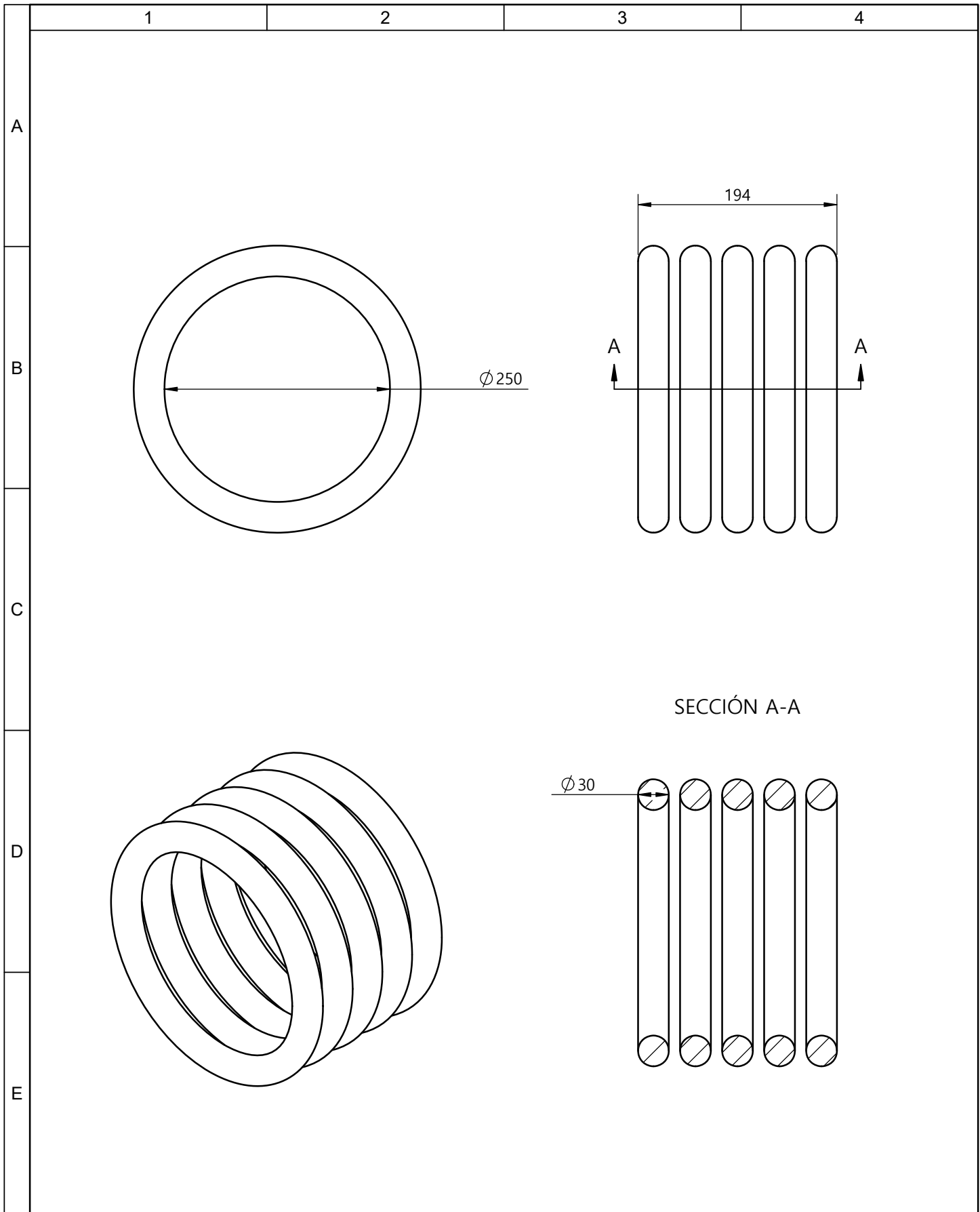
TOLERANCIA:		PESO:	MATERIAL:	
±0,1		1,78 kg	VARIOS	
FECHA		NOMBRE	TÍTULO:	
DIBUJO:	01/11/22	Fuentes J., Núñez J.	SOPORTE DE BOBINA	
REVISÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
APROBÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LÁMINA:	ESCALA:
			48 de 70	1:2
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	SUSTITUCIÓN:	



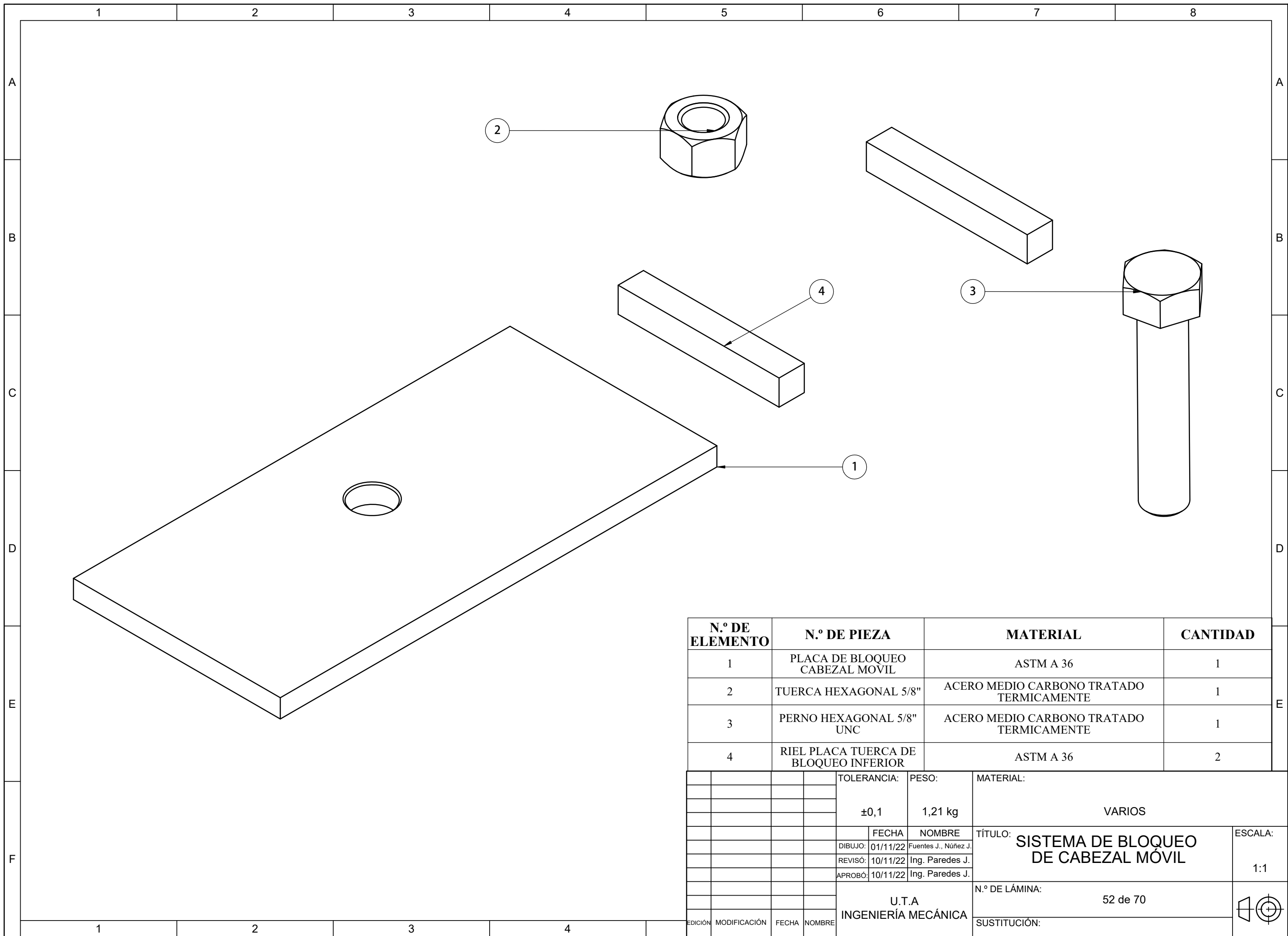
2X Ø 5/16" POR TODO

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	0,62 kg	NYLON 101		
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJO:	01/11/22	Fuentes J., Núñez J.	SOPORTE DE NYLON DE BOBINA	
				REVISÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LÁMINA:	ESCALA:
							49 de 70	1:2
				EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:





				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				$\pm 0,1$	14 kg	COBRE	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 07/11/22	Fuentes J. Nuñez J.	<b>BOBINA</b>	1:5
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA:	51 de 70
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			SUSTITUCIÓN:	



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	PLACA DE BLOQUEO CABEZAL MÓVIL	ASTM A 36	1
2	TUERCA HEXAGONAL 5/8"	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	1
3	PERNO HEXAGONAL 5/8" UNC	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	1
4	RIEL PLACA TUERCA DE BLOQUEO INFERIOR	ASTM A 36	2

TOLERANCIA:		PESO:	MATERIAL:	
±0,1		1,21 kg	VARIOS	
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:
DIBUJO: 01/11/22		Fuentes J., Núñez J.		SISTEMA DE BLOQUEO DE CABEZAL MÓVIL
REVISÓ: 10/11/22		Ing. Paredes J.		
APROBÓ: 10/11/22		Ing. Paredes J.		
U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA				N.º DE LÁMINA:
				52 de 70
EDICIÓN MODIFICACIÓN FECHA NOMBRE				SUSTITUCIÓN:

ESCALA: 1:1



1

2

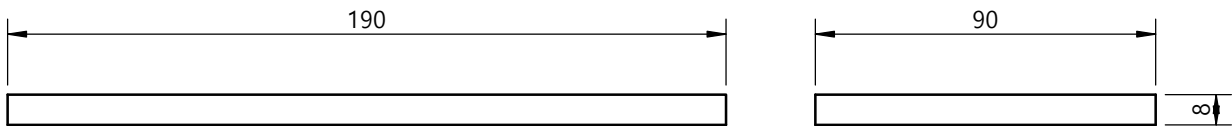
3

4

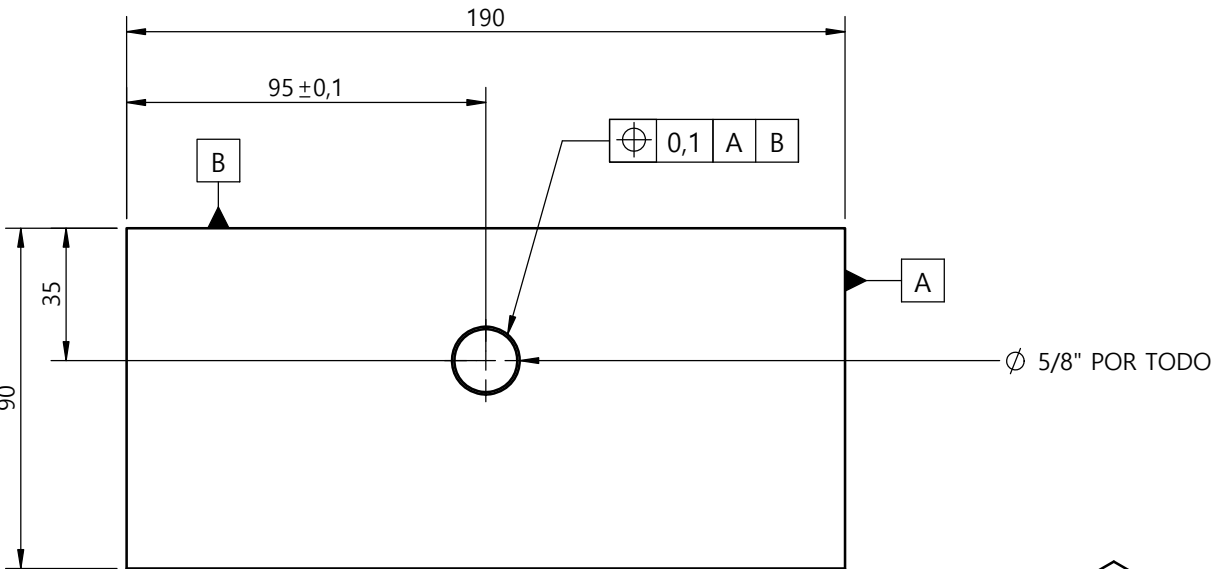
A

TALADRADO  
7

B

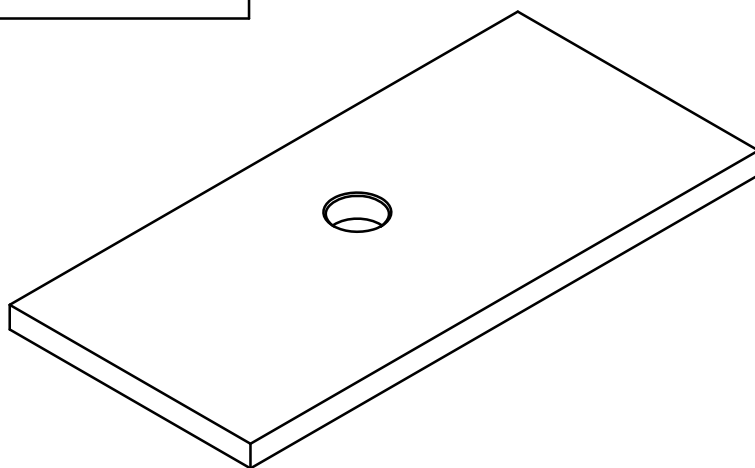


C

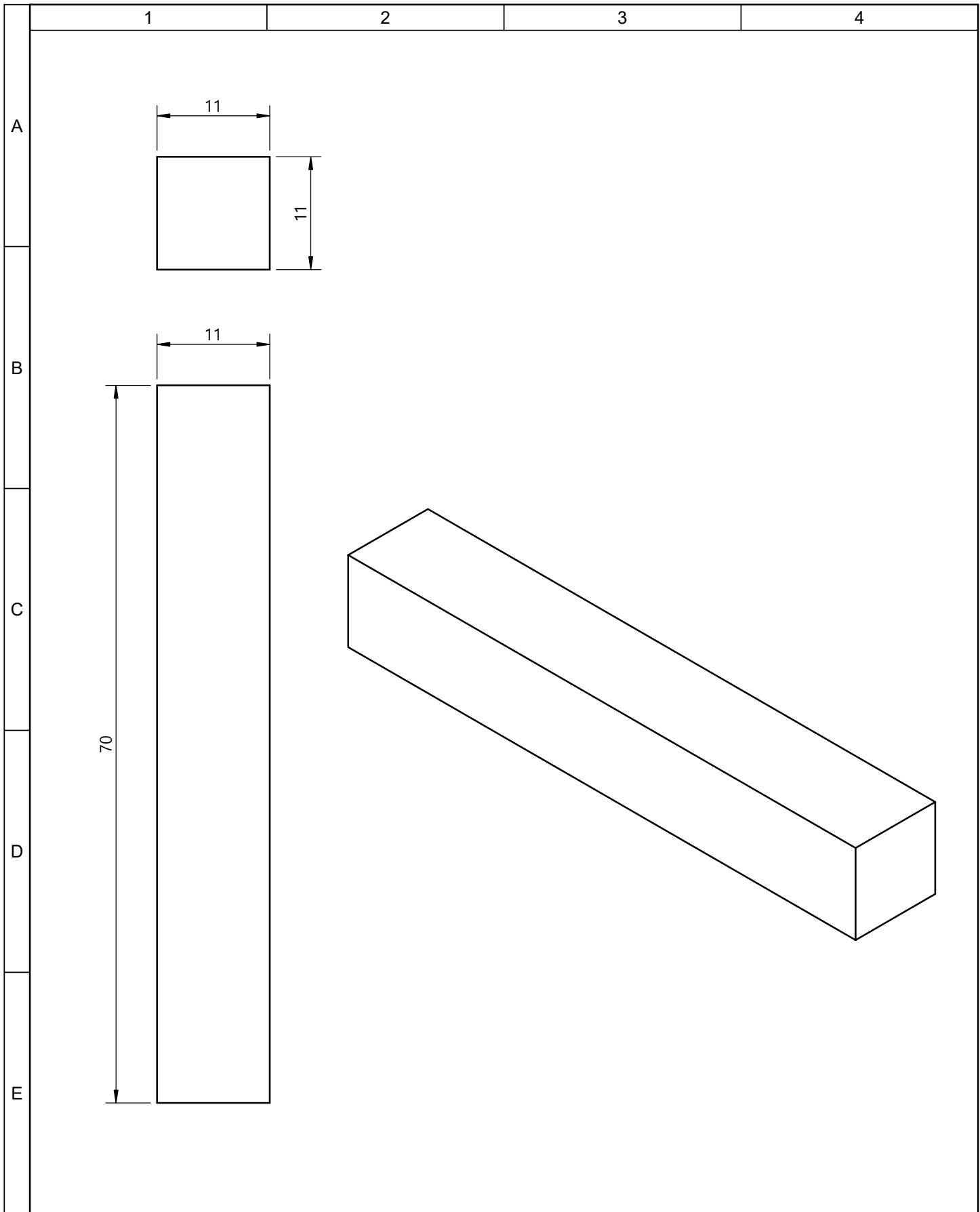


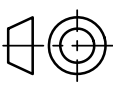
D

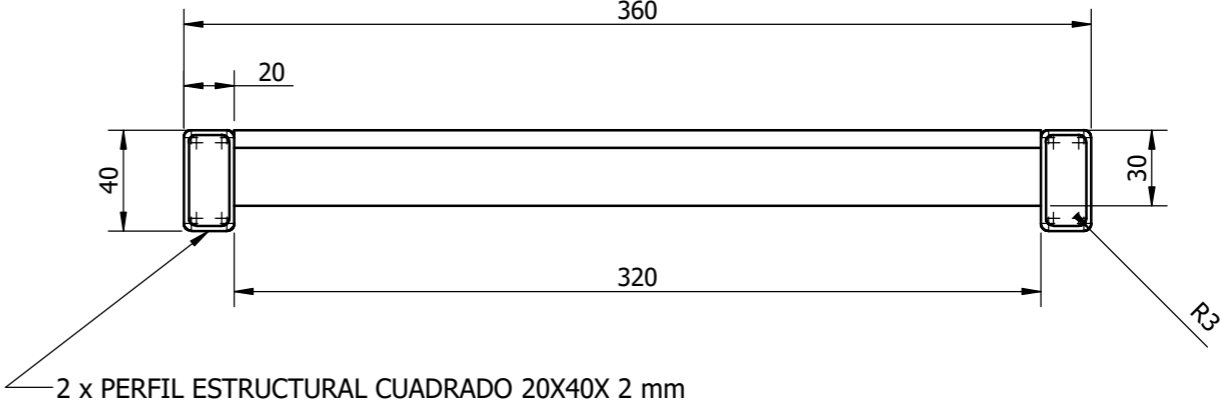
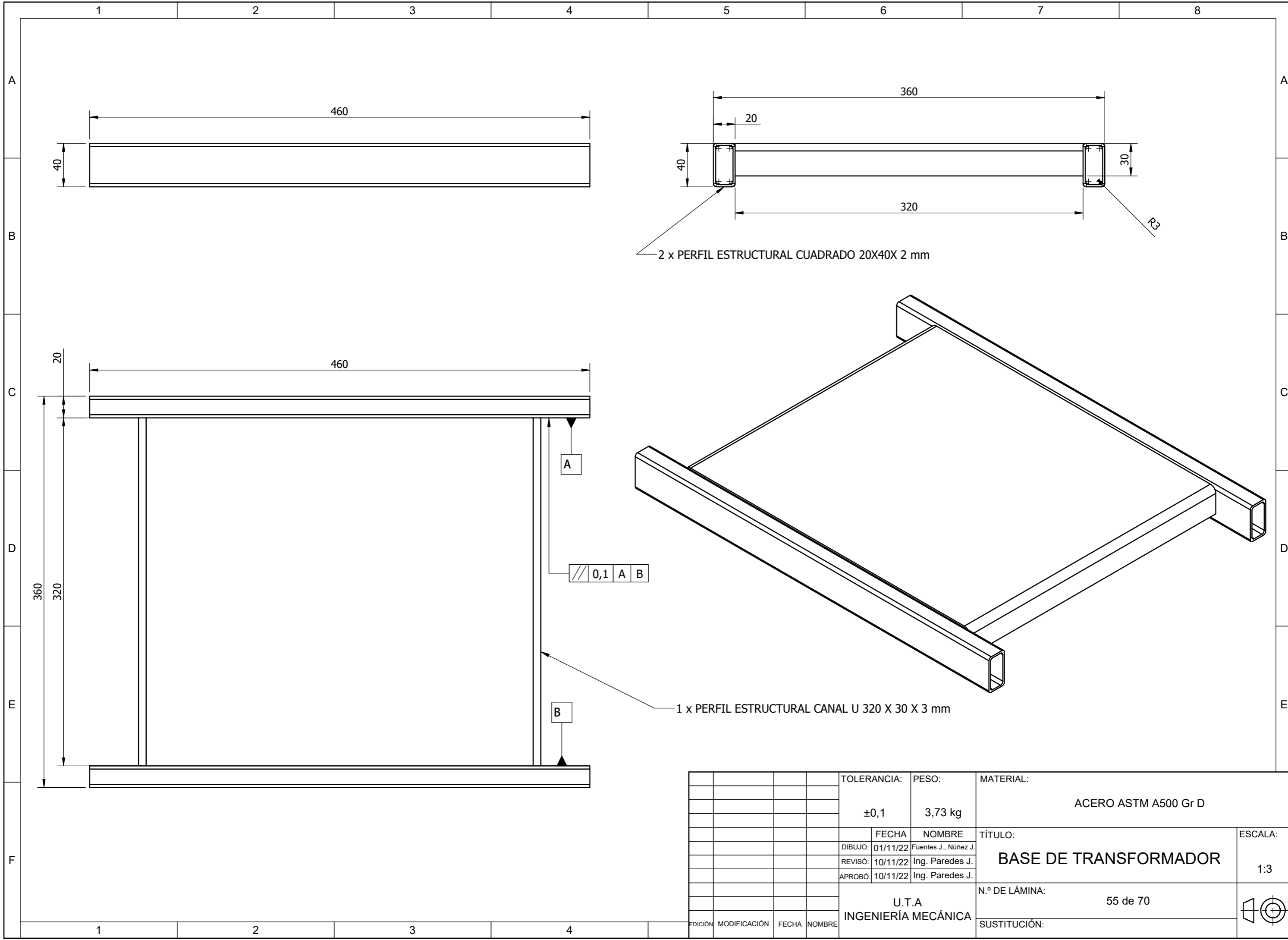
E



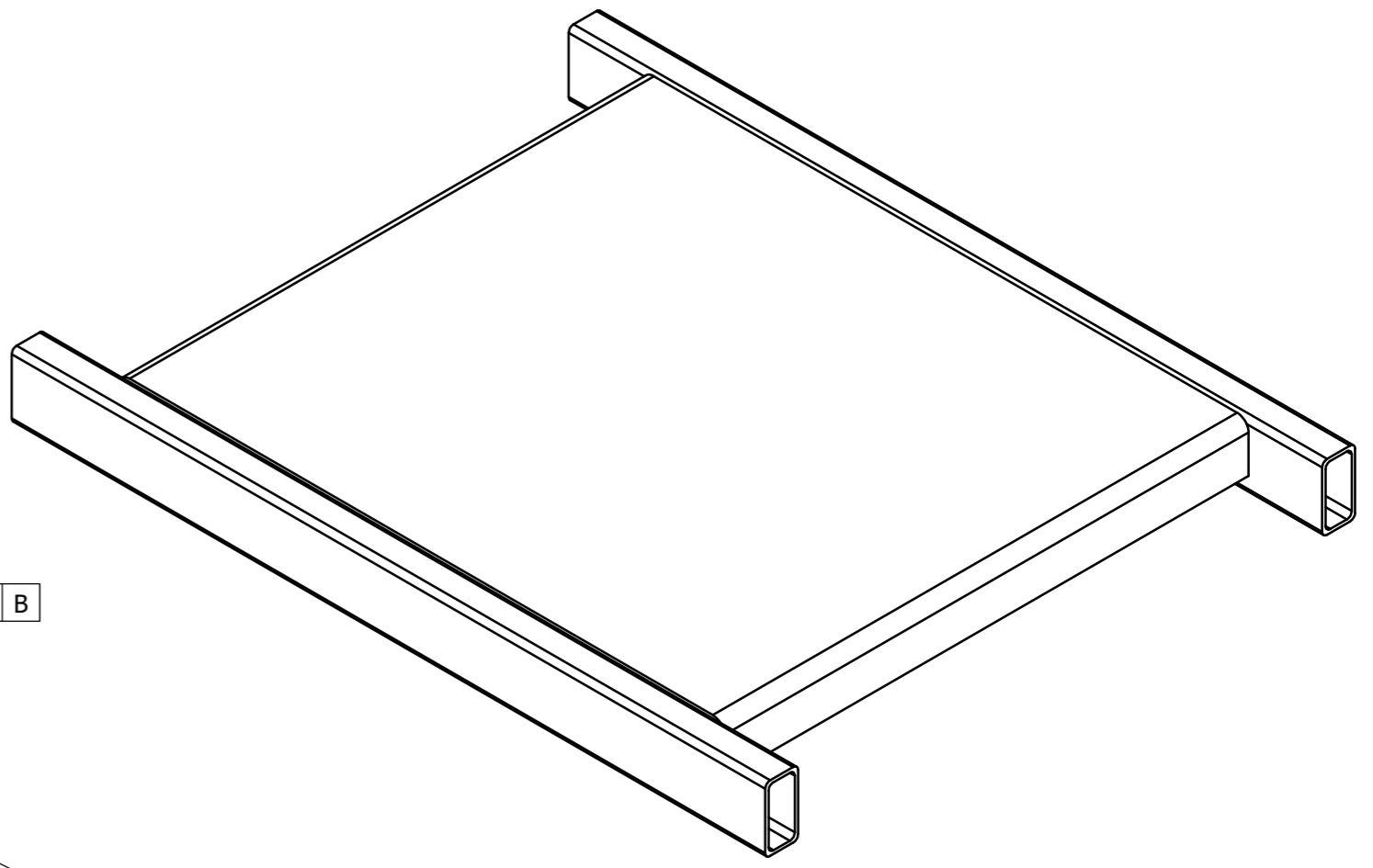
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	1,07 kg	ACERO ASTM A 36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 01/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	PLACA DE BLOQUEO DE CABEZAL MÓVIL	
				REVISÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.	ESCALA:	
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.	1:2	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	
						53 de 70	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:			



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				±0,1	66,5 g	ACERO ASTM A 36			
					FECHA	NOMBRE	<b>RIEL INFERIOR PLACA DE BLOQUEO</b>		ESCALA:
				DIBUJÓ:	01/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.			2:1
				REVISÓ:	01/11/22	ING. PAREDES J.			
				APROBÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.	N.º DE LÁMINA:		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			54 de 70		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				SUSTITUCIÓN:		



2 x PERFIL ESTRUCTURAL CUADRADO 20X40X 2 mm



1 x PERFIL ESTRUCTURAL CANAL U 320 X 30 X 3 mm

0,1 A B

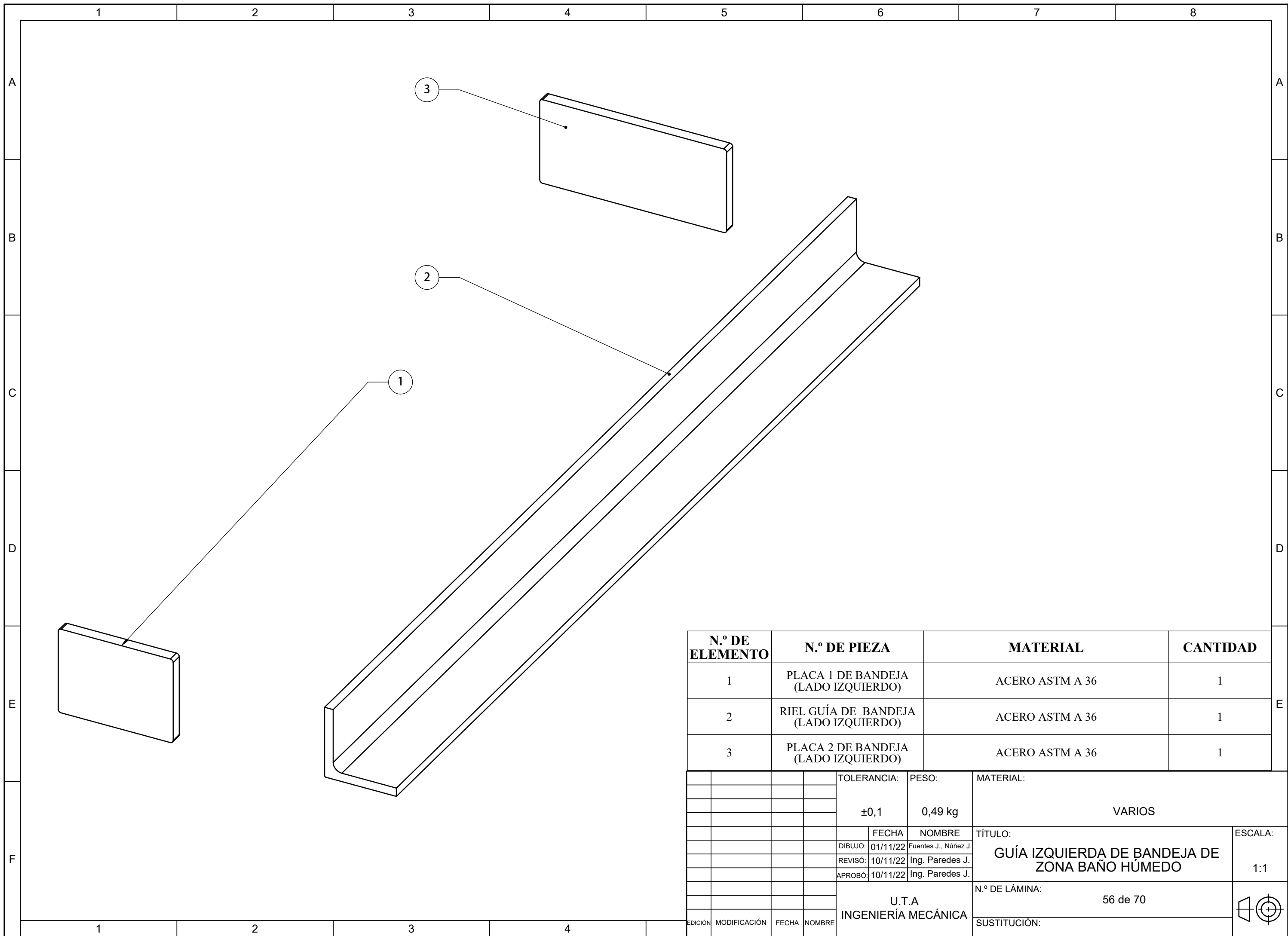
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	3,73 kg	ACERO ASTM A500 Gr D	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJO: 01/11/22	Fuentes J., Núñez J.	BASE DE TRANSFORMADOR	
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	ESCALA:	
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	1:3	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	
						55 de 70	
				SUSTITUCIÓN:			
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				

1 2 3 4 5 6 7 8

A  
B  
C  
D  
E  
F

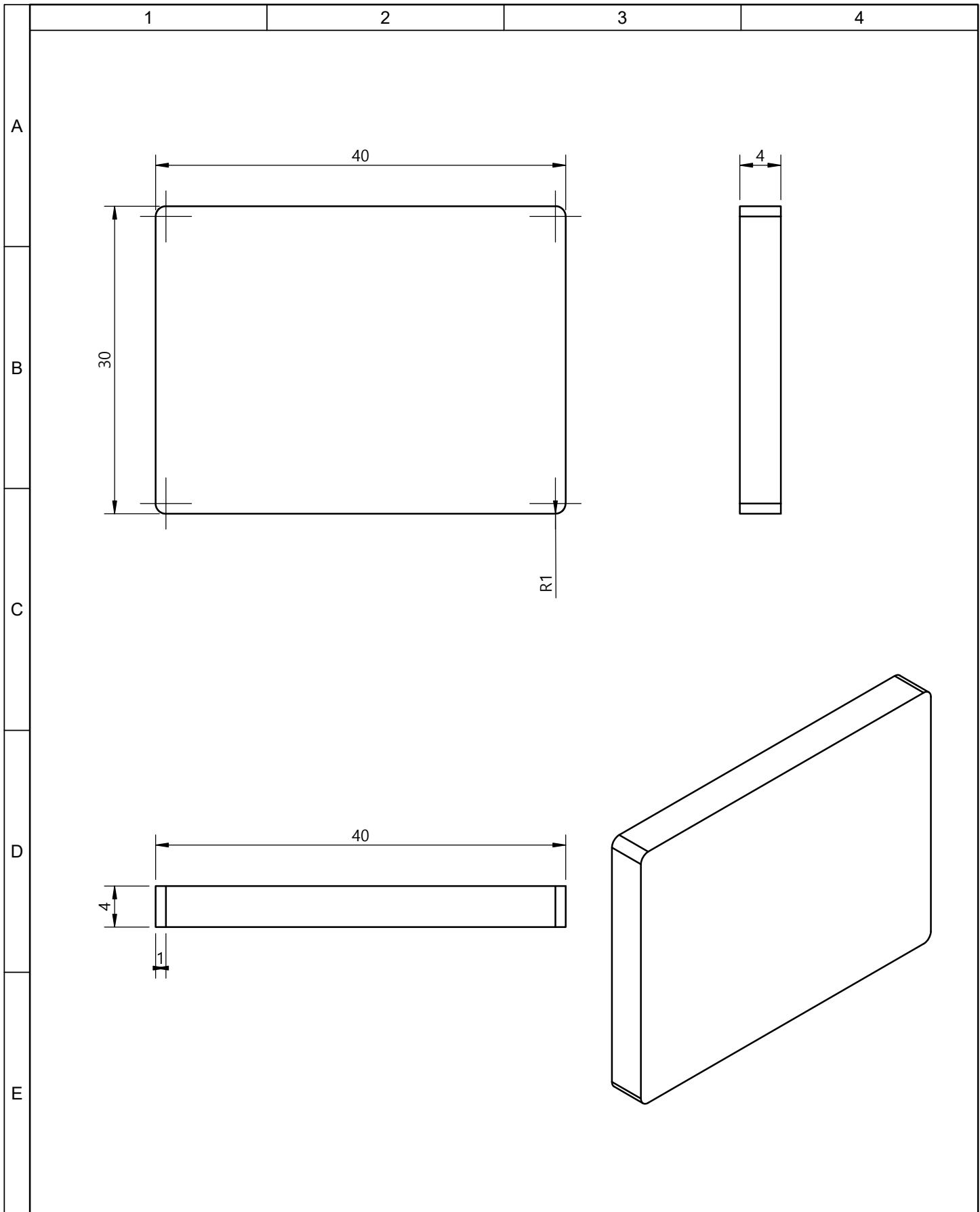
A  
B  
C  
D  
E  
F

1 2 3 4

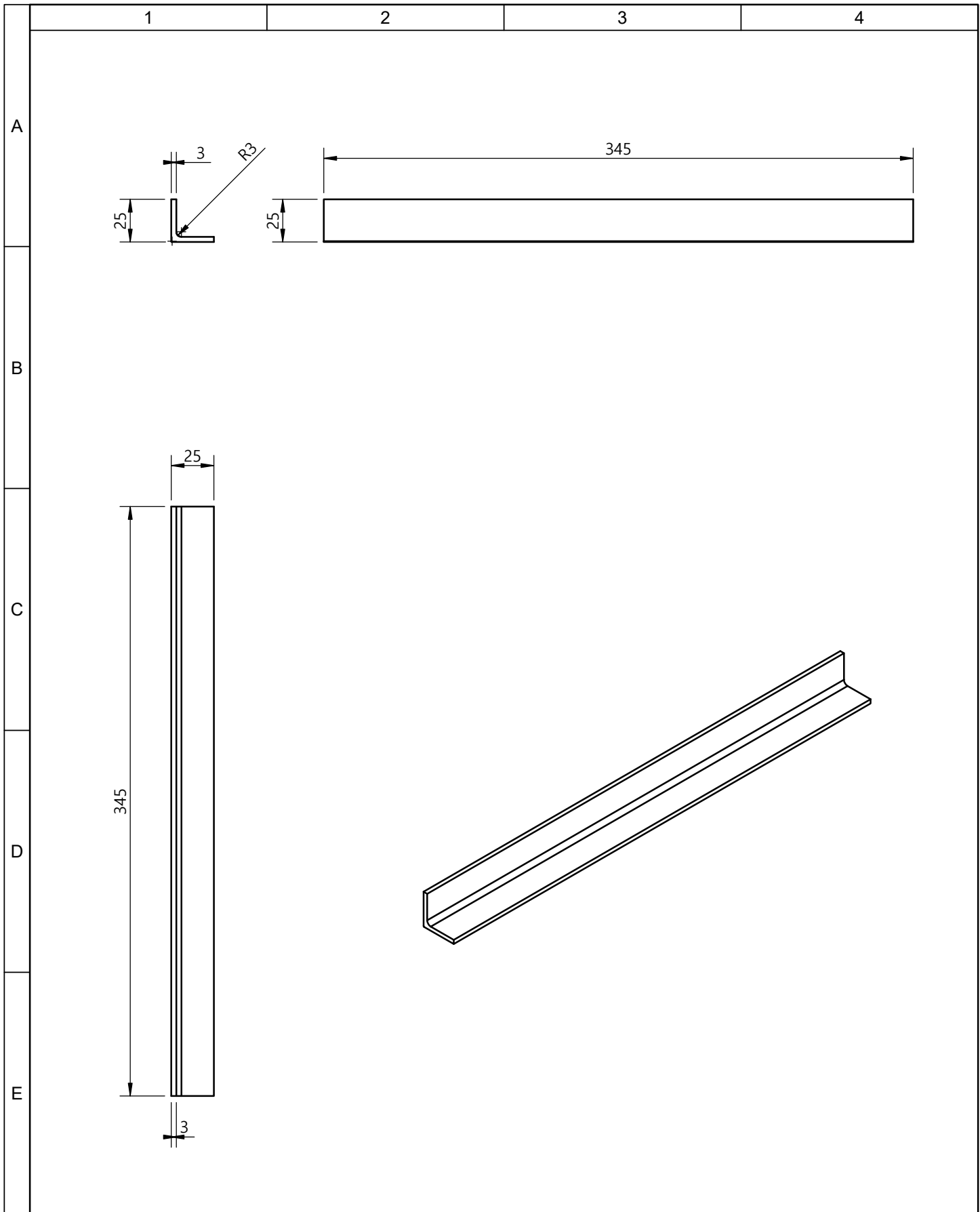


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	PLACA 1 DE BANDEJA (LADO IZQUIERDO)	ACERO ASTM A 36	1
2	RIEL GUÍA DE BANDEJA (LADO IZQUIERDO)	ACERO ASTM A 36	1
3	PLACA 2 DE BANDEJA (LADO IZQUIERDO)	ACERO ASTM A 36	1

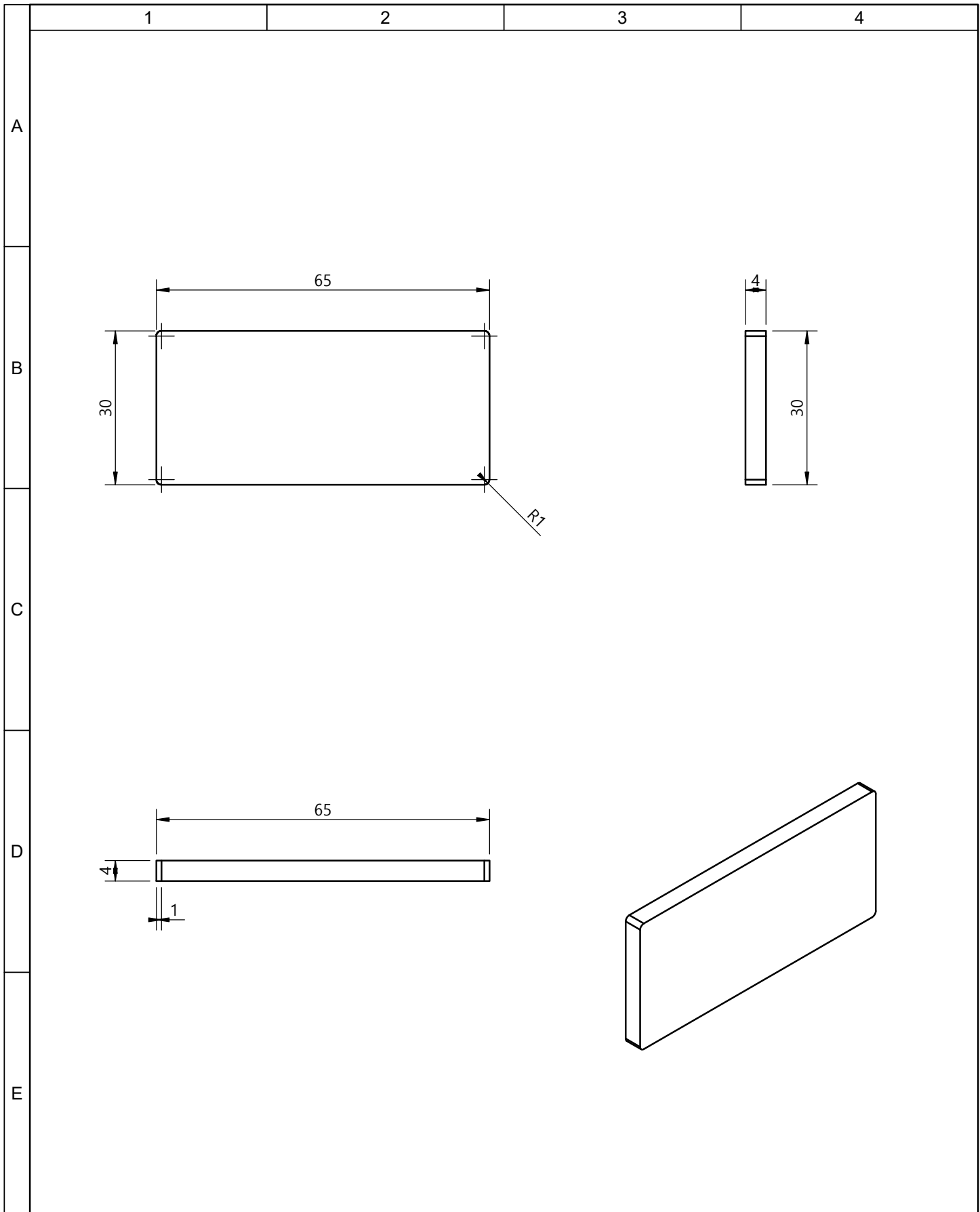
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				±0,1	0,49 kg	VARIOS			
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJO:	01/11/22	Fuentes J., Núñez J.	GUÍA IZQUIERDA DE BANDEJA DE ZONA BAÑO HÚMEDO		1:1
				REVISÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.			
				APROBÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LÁMINA:		
							56 de 70		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:					



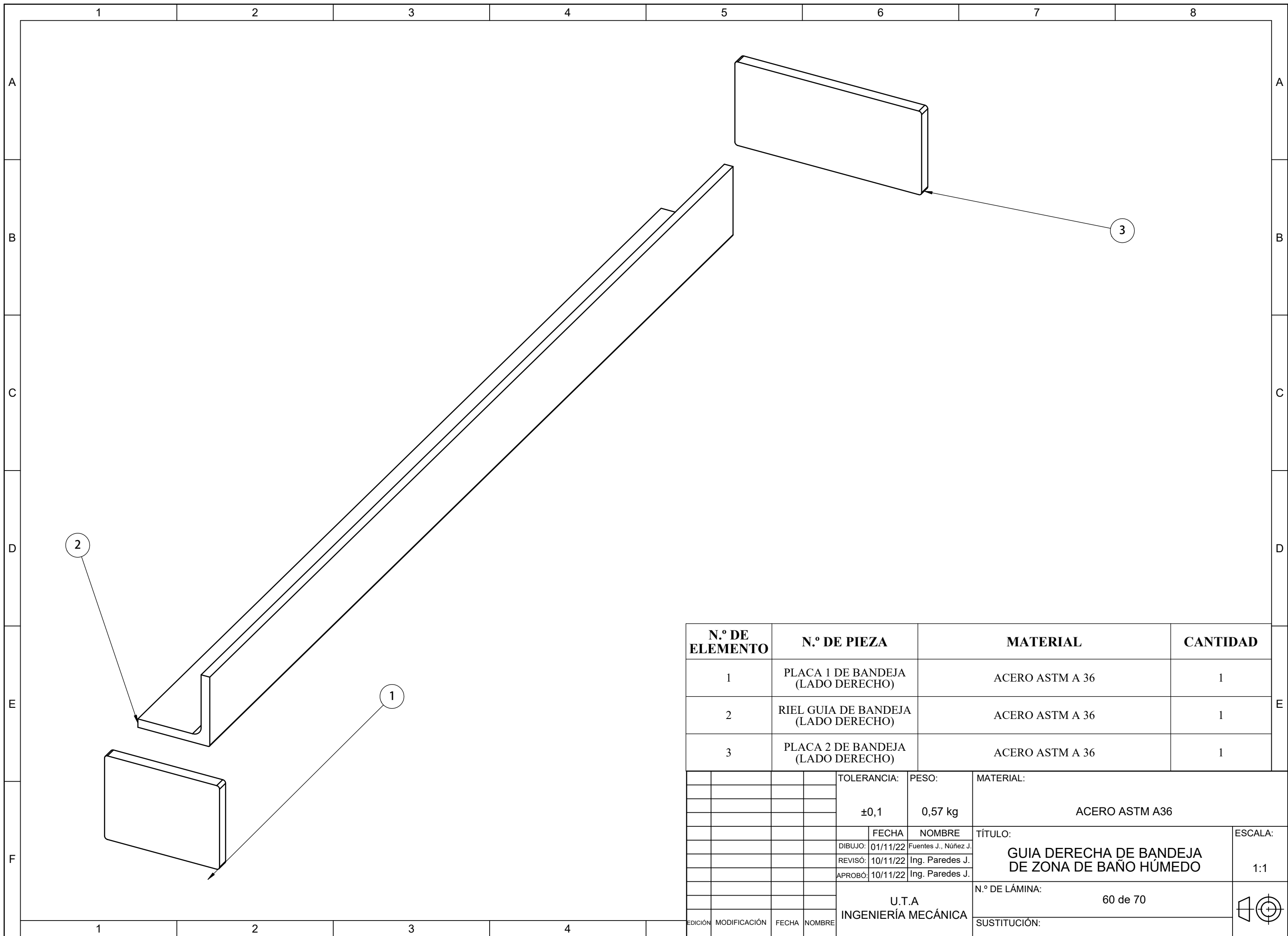
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,003 kg	ASTM A 36	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJÓ:	06/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	<b>PLACA 1 DE BANDEJA (LADO IZQUIERDO)</b>
				REVISÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.	
				APROBÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	ESCALA:
						57 de 70	2:1
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	0,39 kg	ACERO ASTM A 36		
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ:	06/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	RIEL GUÍA DE BANDEJA DE ZONA DE BAÑO HÚMEDO (LADO IZQUIERDO)	
				REVISÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.		
				APROBÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LÁMINA:	ESCALA:
							58 de 70	1:3
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				SUSTITUCIÓN:	



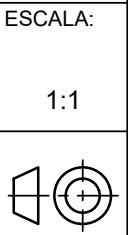
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	61,2 g	ASTM A 36	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJÓ:	06/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	<b>PLACA 2 DE BANDEJA (LADO IZQUIERDO)</b>
				REVISÓ:	06/11/22	ING. PAREDES J.	
				APROBÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	ESCALA:
						59 de 70	1:1
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUCIÓN:	



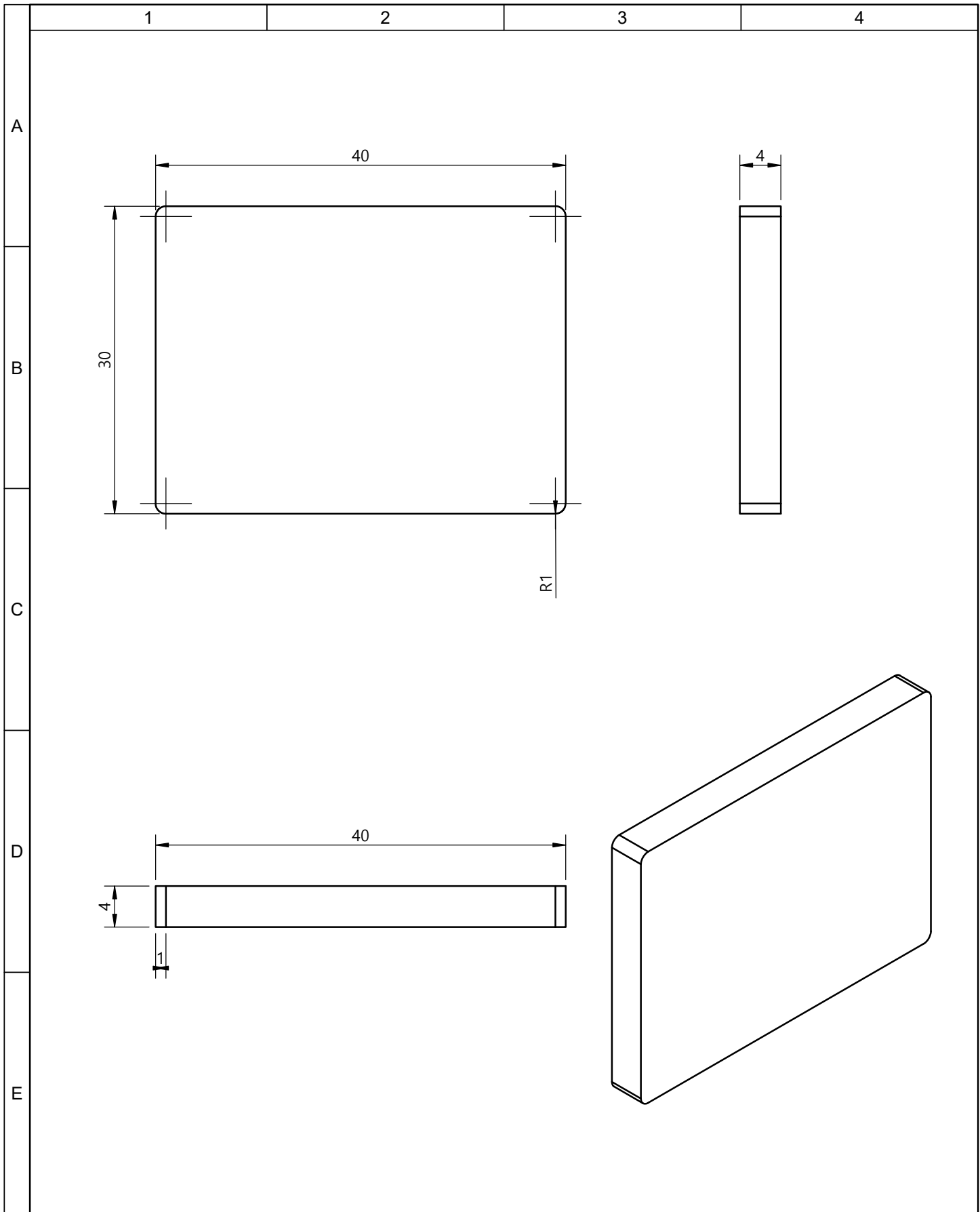
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	PLACA 1 DE BANDEJA (LADO DERECHO)	ACERO ASTM A 36	1
2	RIEL GUIA DE BANDEJA (LADO DERECHO)	ACERO ASTM A 36	1
3	PLACA 2 DE BANDEJA (LADO DERECHO)	ACERO ASTM A 36	1

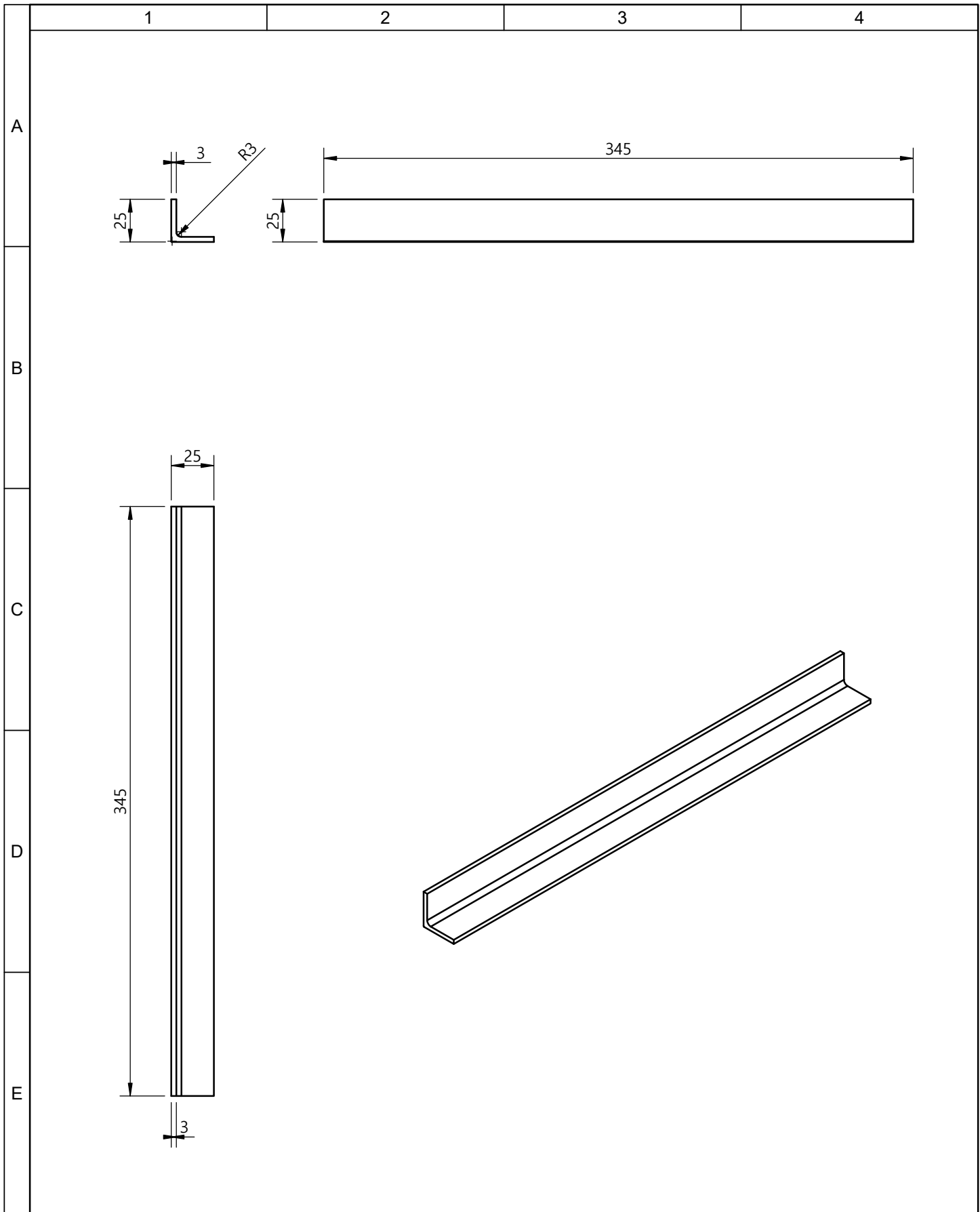
TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:
±0,1	0,57 kg	ACERO ASTM A36
FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
DIBUJO: 01/11/22	Fuentes J., Núñez J.	GUIA DERECHA DE BANDEJA DE ZONA DE BAÑO HÚMEDO
REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	
APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	
U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:
		60 de 70
EDICIÓN MODIFICACIÓN FECHA NOMBRE		SUSTITUCIÓN:



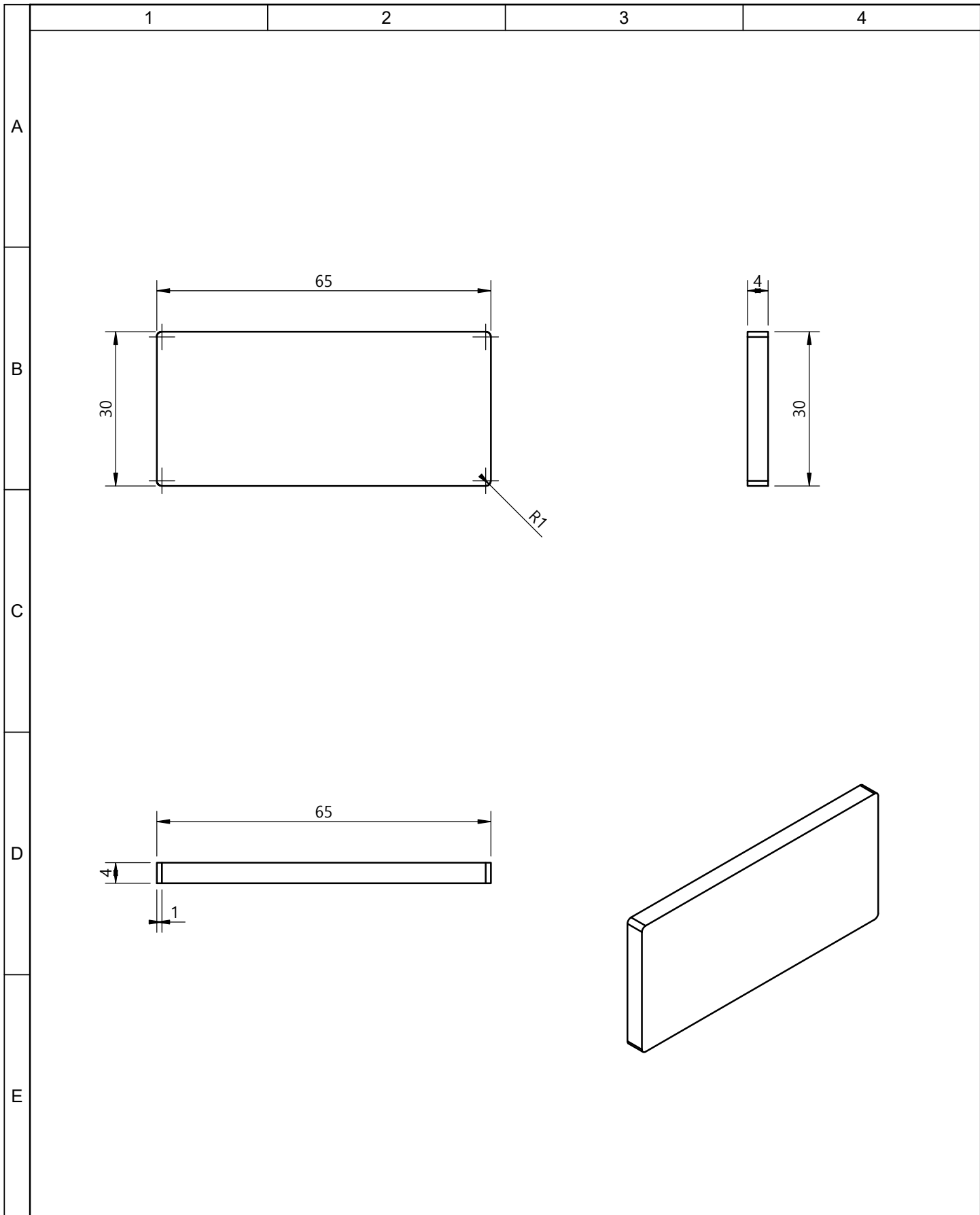




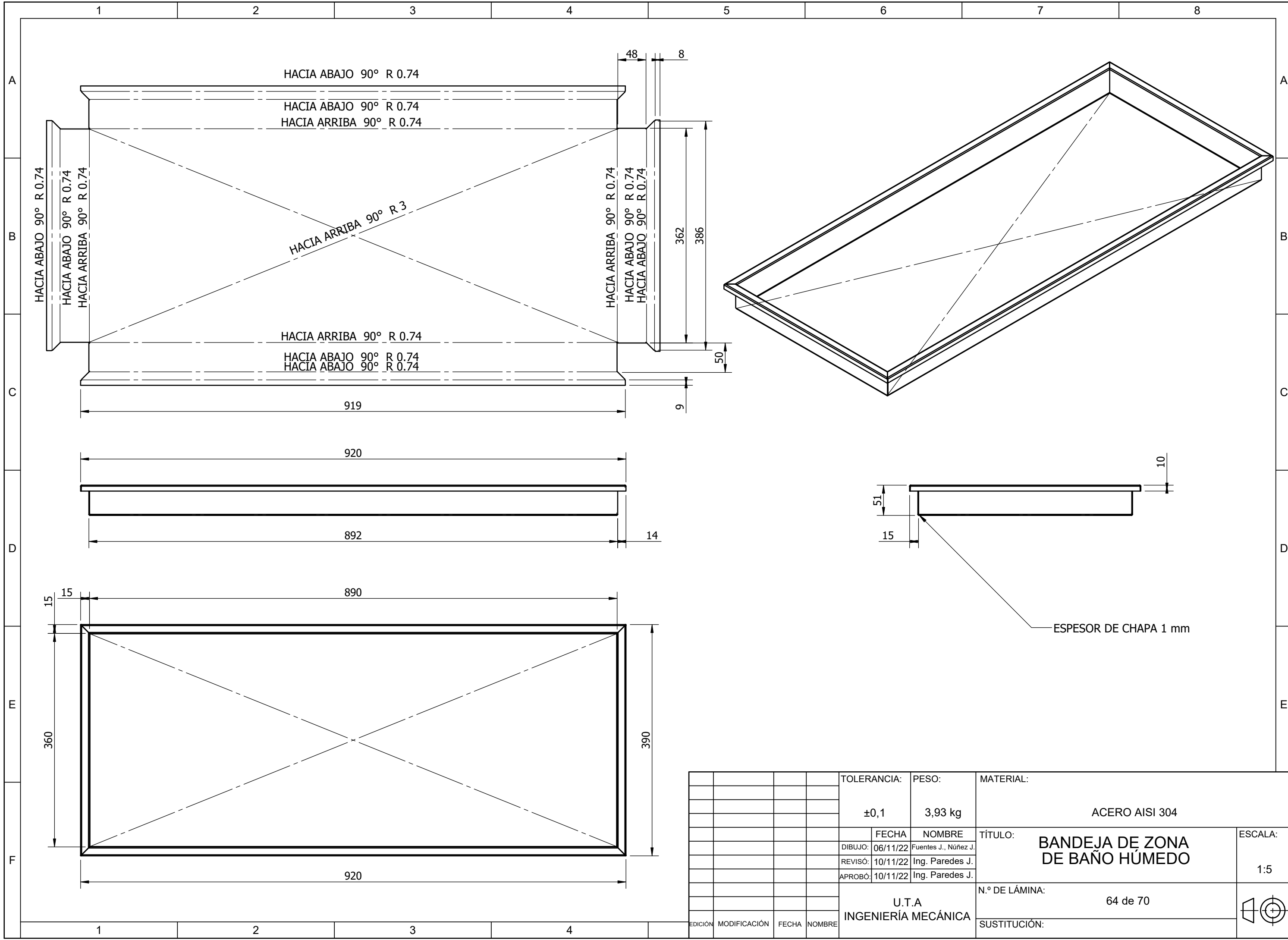
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	0,003 kg	ASTM A 36		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		
				DIBUJÓ: 06/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	<b>PLACA 1 DE BANDEJA (LADO DERCHO)</b>		
				REVISÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.			ESCALA:
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.			2:1
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			61 de 70		
						SUSTITUCIÓN:		



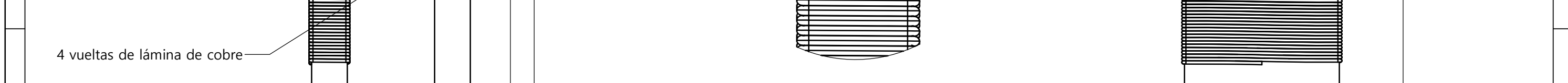
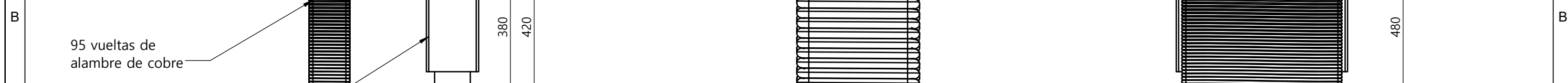
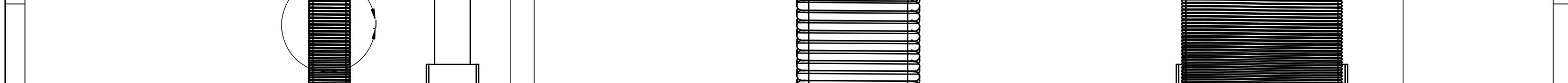
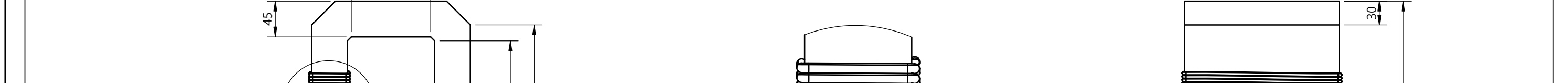
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	0,39 kg	ACERO ASTM A 36		
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ:	06/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	RIEL GUÍA DE BANDEJA DE ZONA DE BAÑO HÚMEDO (LADO DERECHO)	
				REVISÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.		
				APROBÓ:	10/11/22	ING. PAREDES J.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LÁMINA:	ESCALA:
							62 de 70	1:3
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				SUSTITUCIÓN:	



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0,006 kg	ASTM A 36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: <b>PLACA 2 DE BANDEJA (LADO DERECHO)</b>	ESCALA:
				DIBUJÓ: 06/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.		1:1
				REVISÓ: 06/11/22	ING. PAREDES J.		
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.	N.º DE LÁMINA:	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		63 de 70	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:			



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				±0,1	3,93 kg	ACERO AISI 304			
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJO:	06/11/22	Fuentes J., Núñez J.	BANDEJA DE ZONA DE BAÑO HÚMEDO		1:5
				REVISÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.			
				APROBÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LÁMINA:	64 de 70	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				SUSTITUCIÓN:		

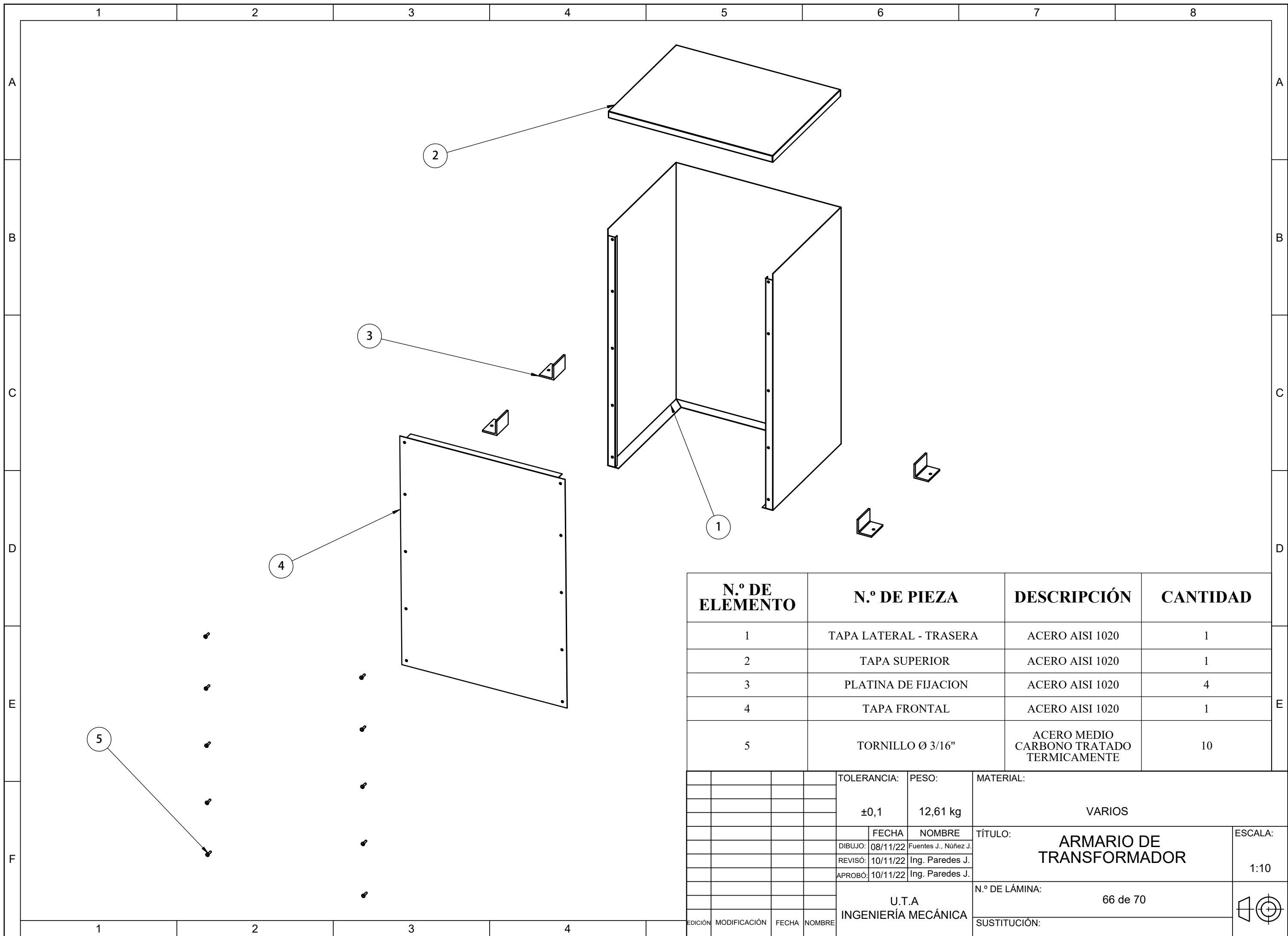


DETALLE J  
ESCALA 3 : 5

NOTA: El transformador está constituido por 95 vueltas en la entrada y 4 vueltas en la salida.

				TOLERANCIAS:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	75 Kg	VARIOS		
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ:	07/11/22	Fuentes J., Nuñez J.	<b>TRANSFORMADOR</b>	
				REVISÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LAMINA:	ESCALA:
						65 de 70	1:5	
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre	SUSTITUCIÓN:

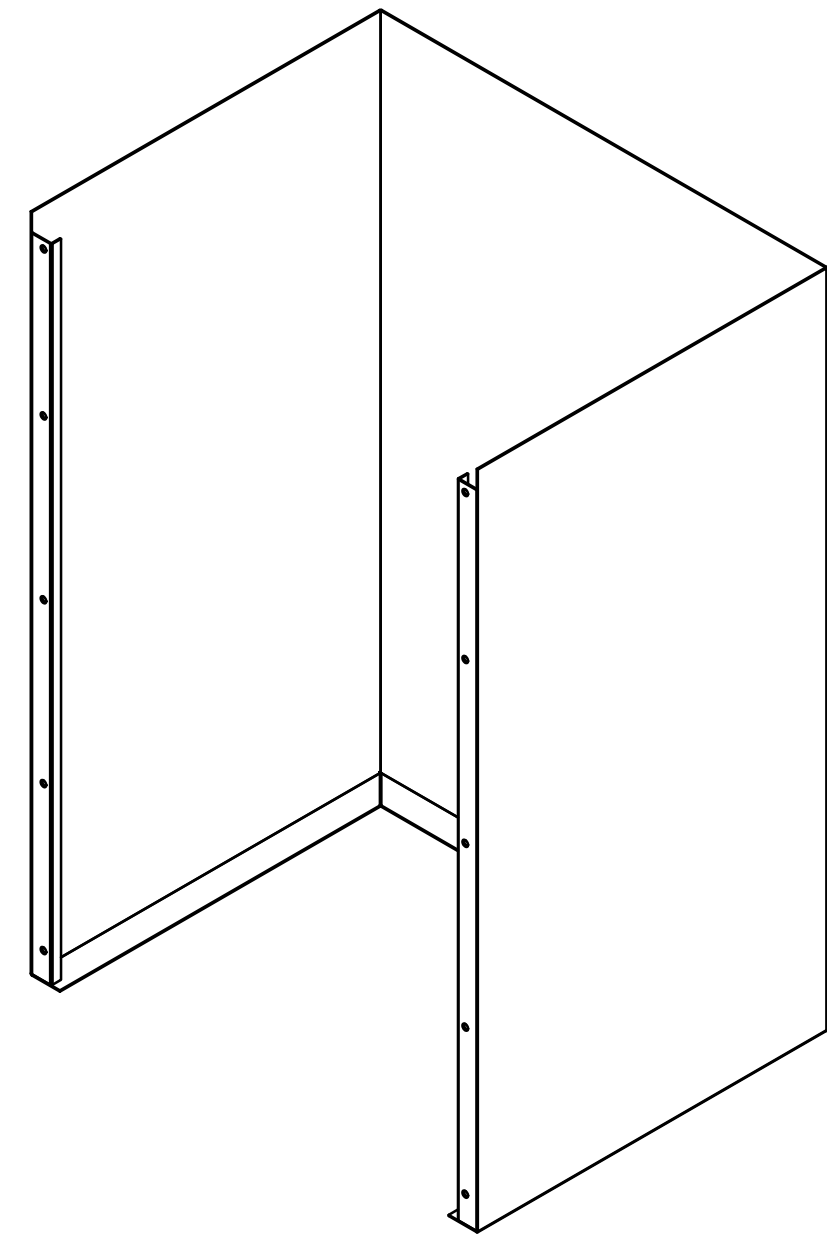
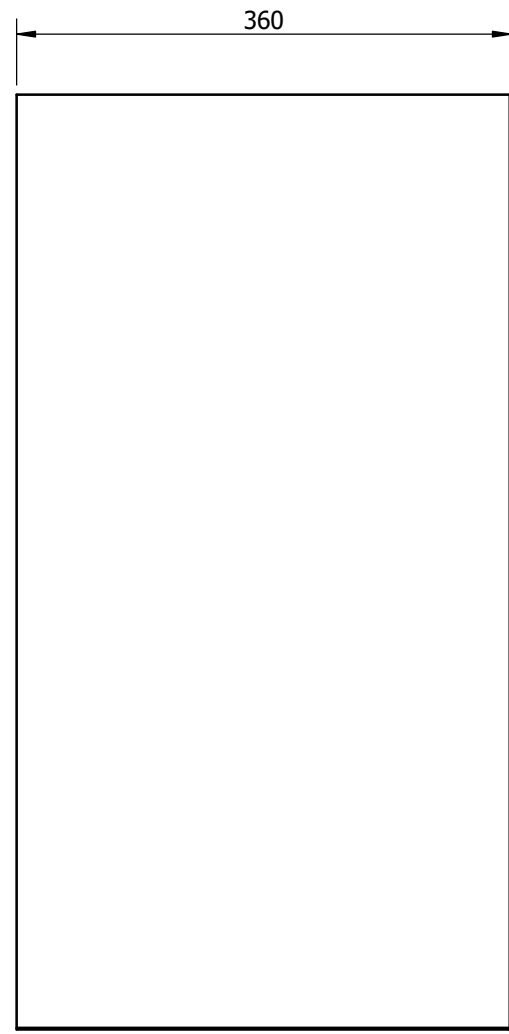
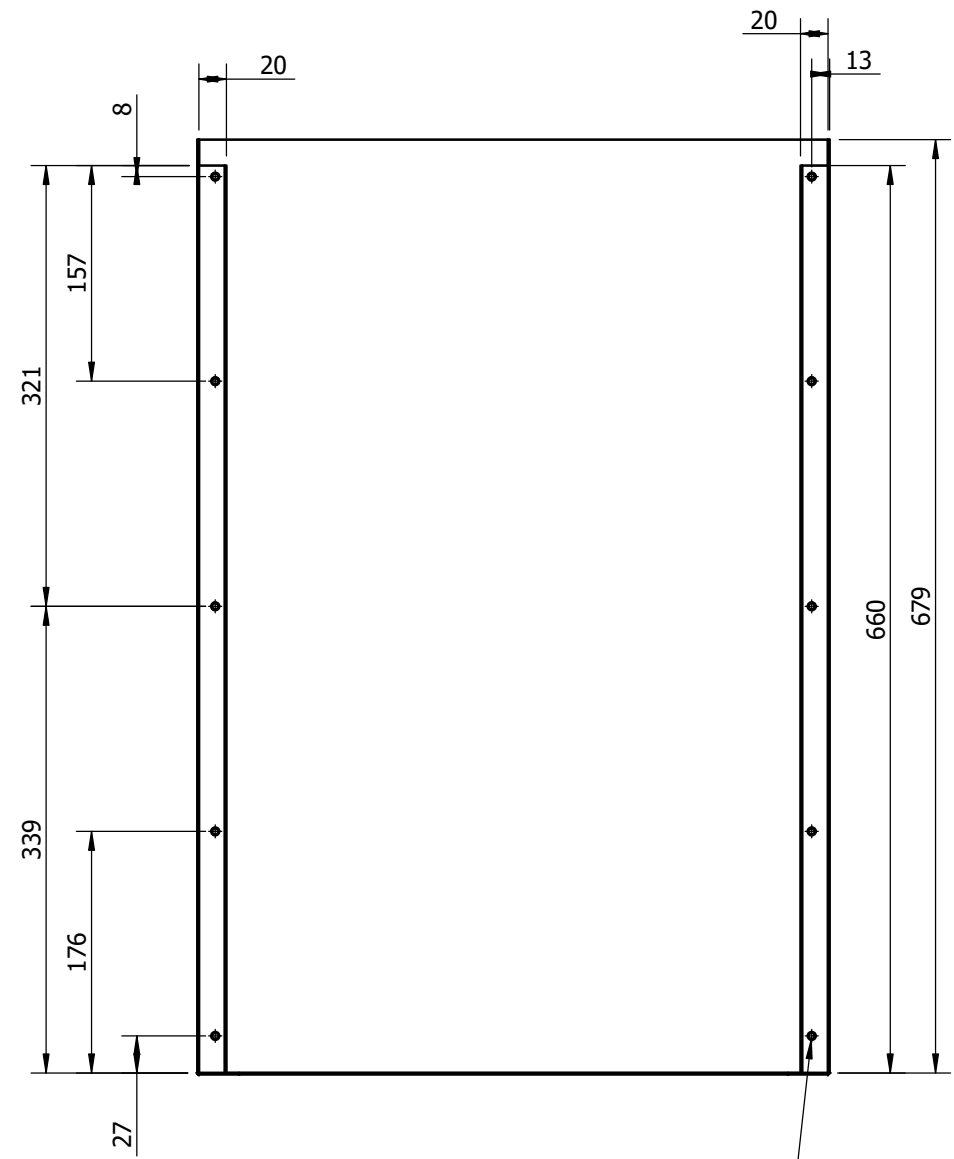
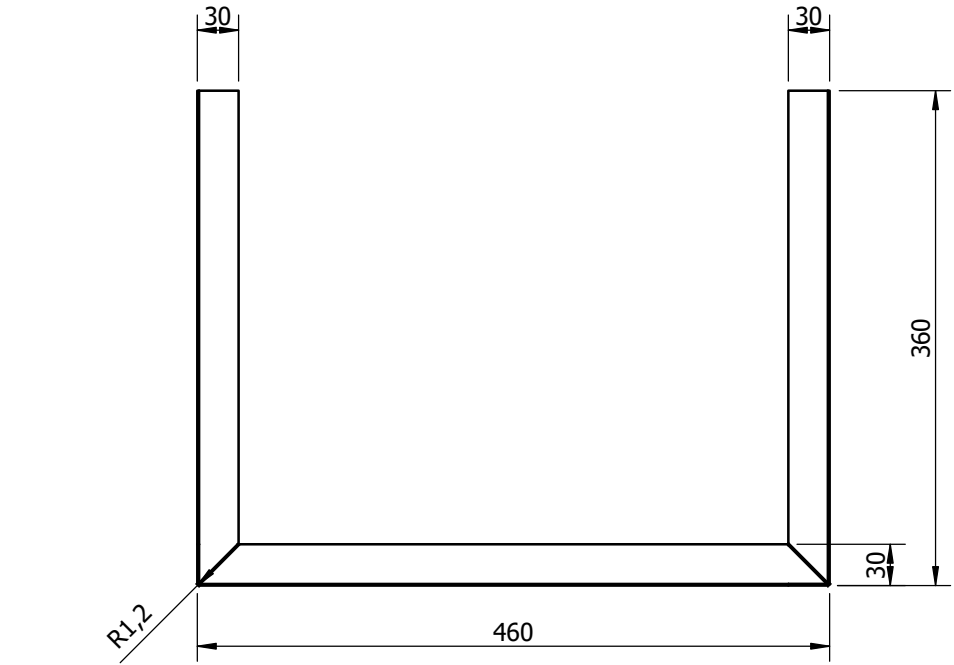
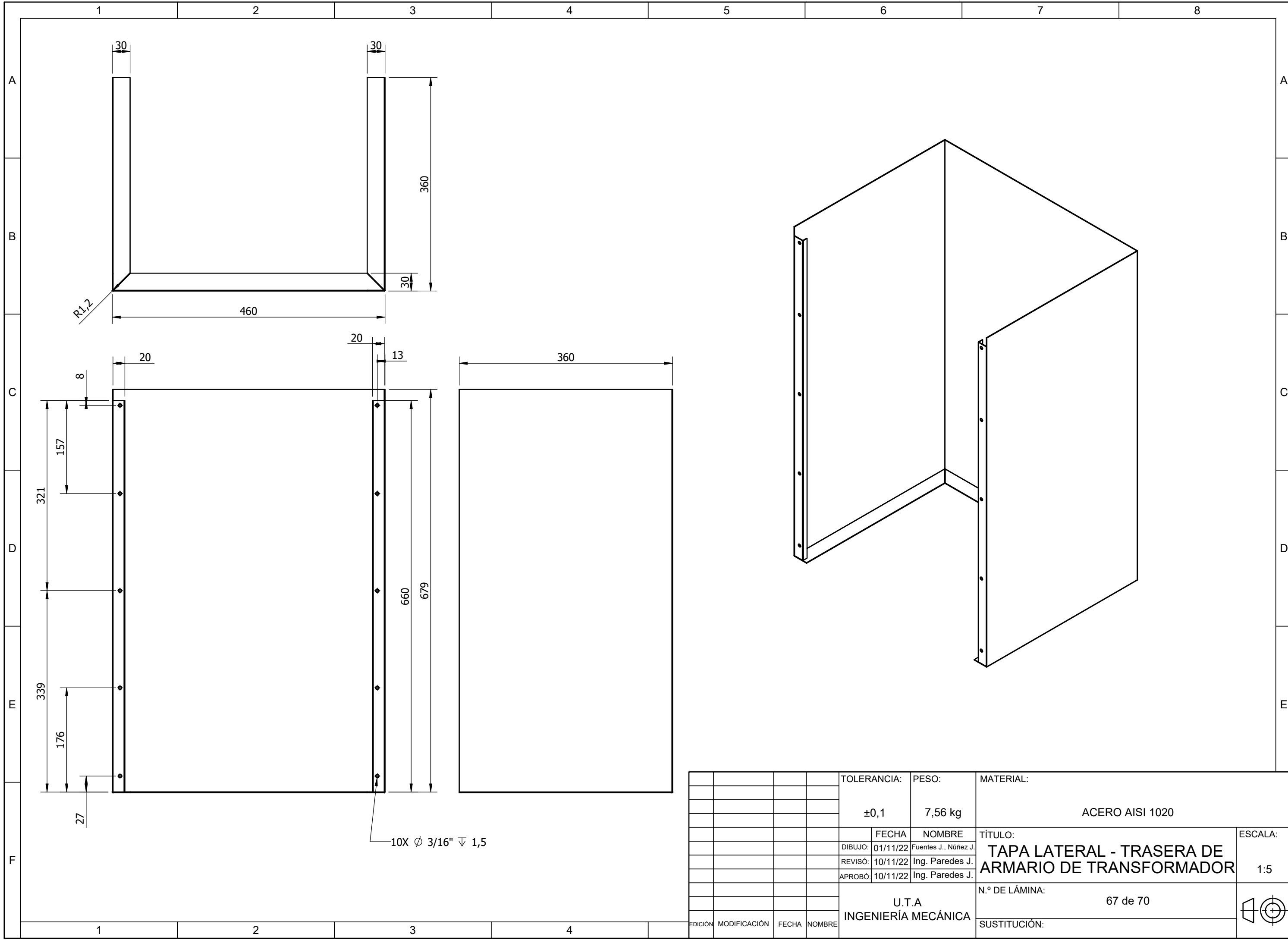




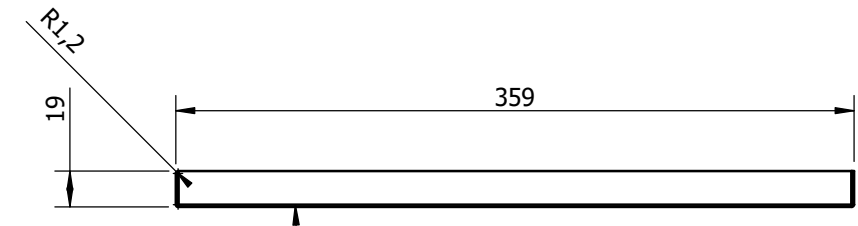
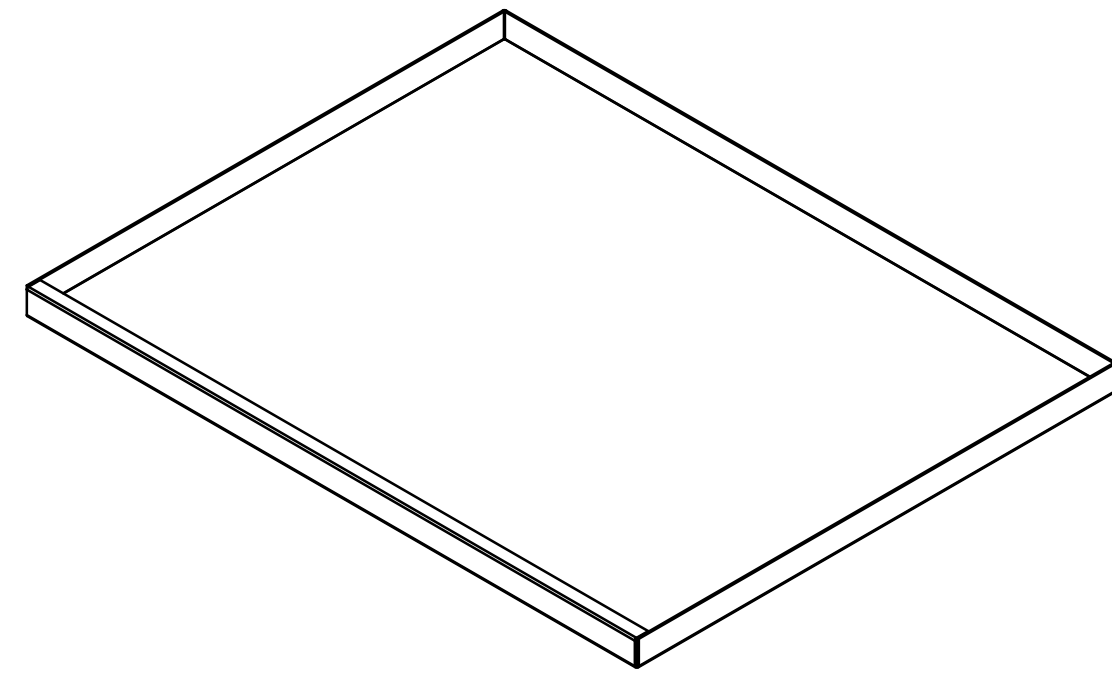
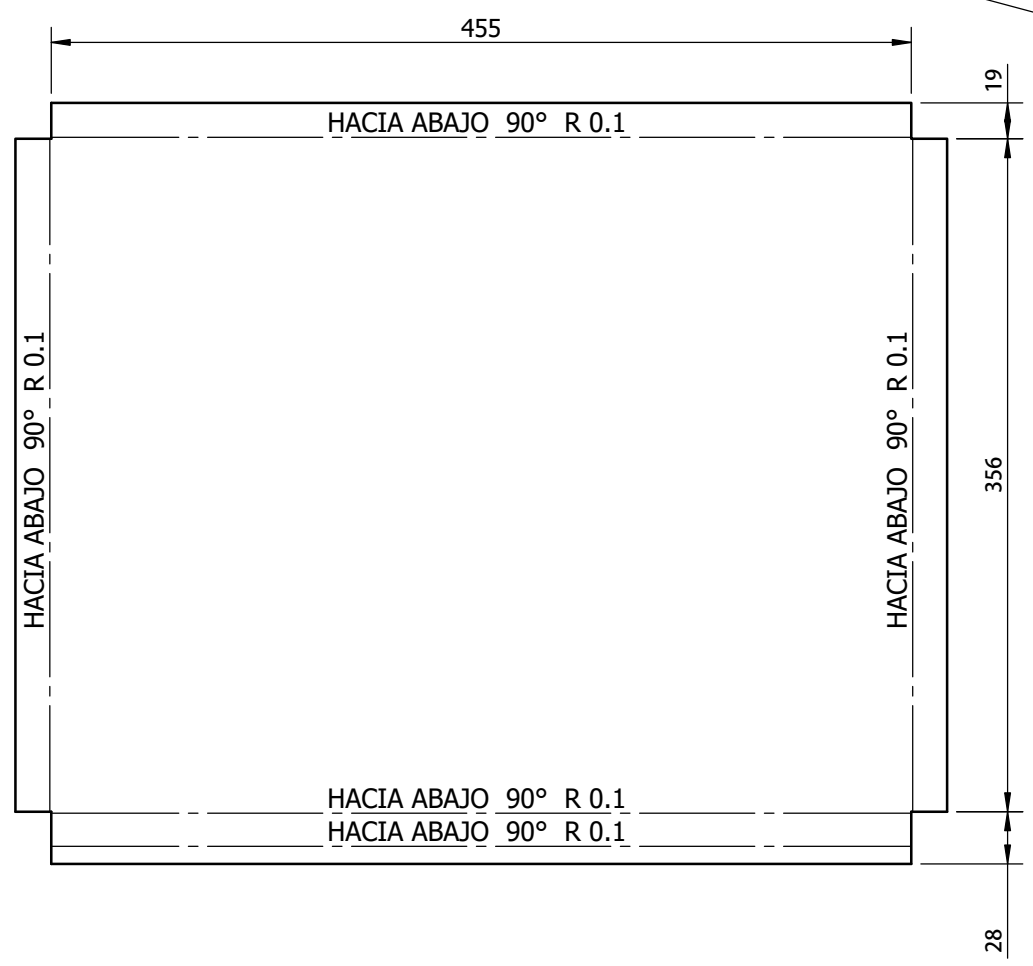
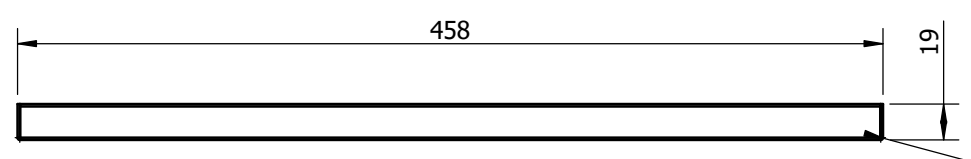
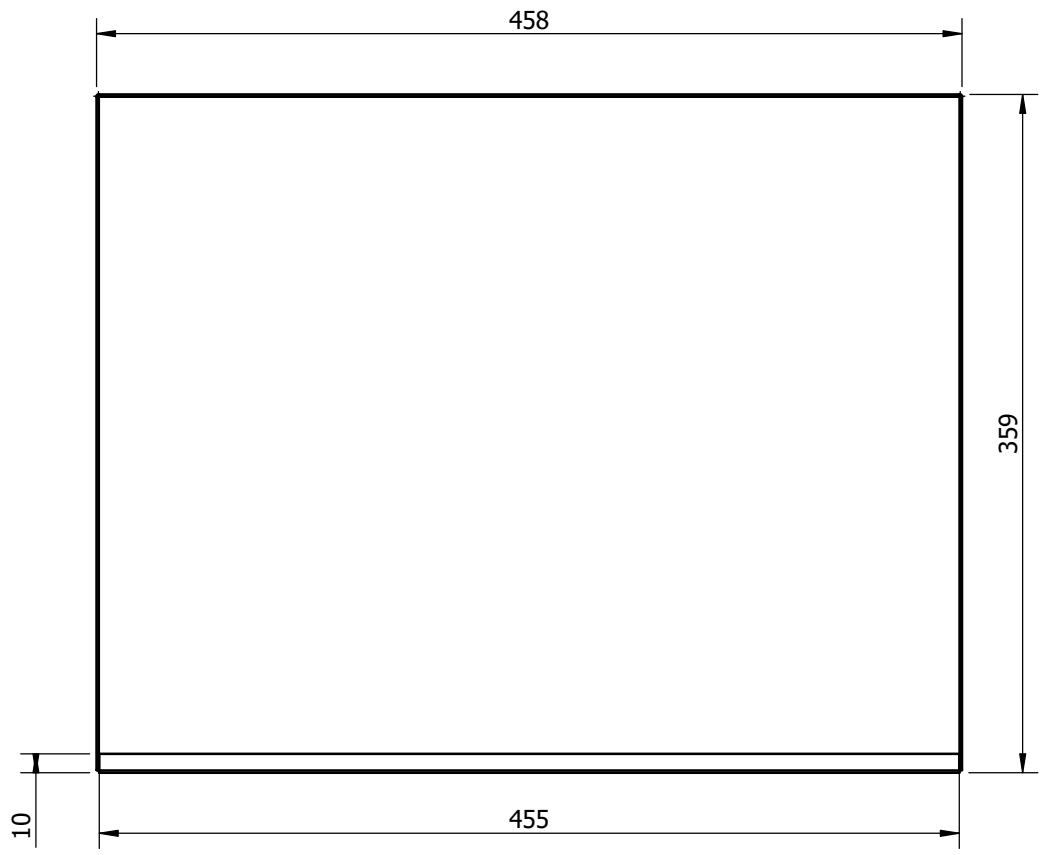
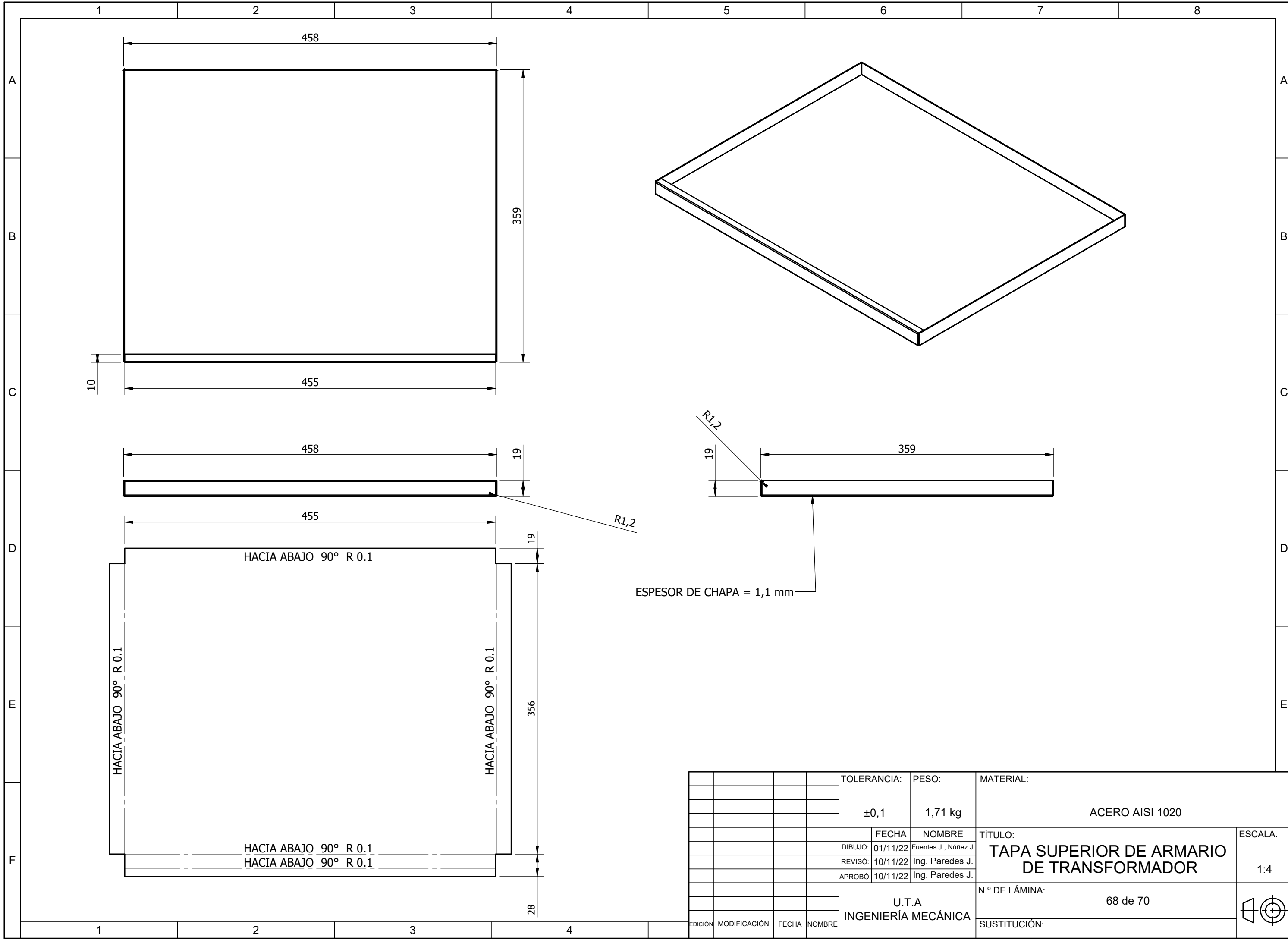
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	TAPA LATERAL - TRASERA	ACERO AISI 1020	1
2	TAPA SUPERIOR	ACERO AISI 1020	1
3	PLATINA DE FIJACION	ACERO AISI 1020	4
4	TAPA FRONTAL	ACERO AISI 1020	1
5	TORNILLO Ø 3/16"	ACERO MEDIO CARBONO TRATADO TERMICAMENTE	10

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	12,61 kg	VARIOS		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJO: 08/11/22	Fuentes J., Núñez J.	ARMARIO DE TRANSFORMADOR		1:10
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.			
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:		
						66 de 70		
						SUSTITUCIÓN:		

EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE



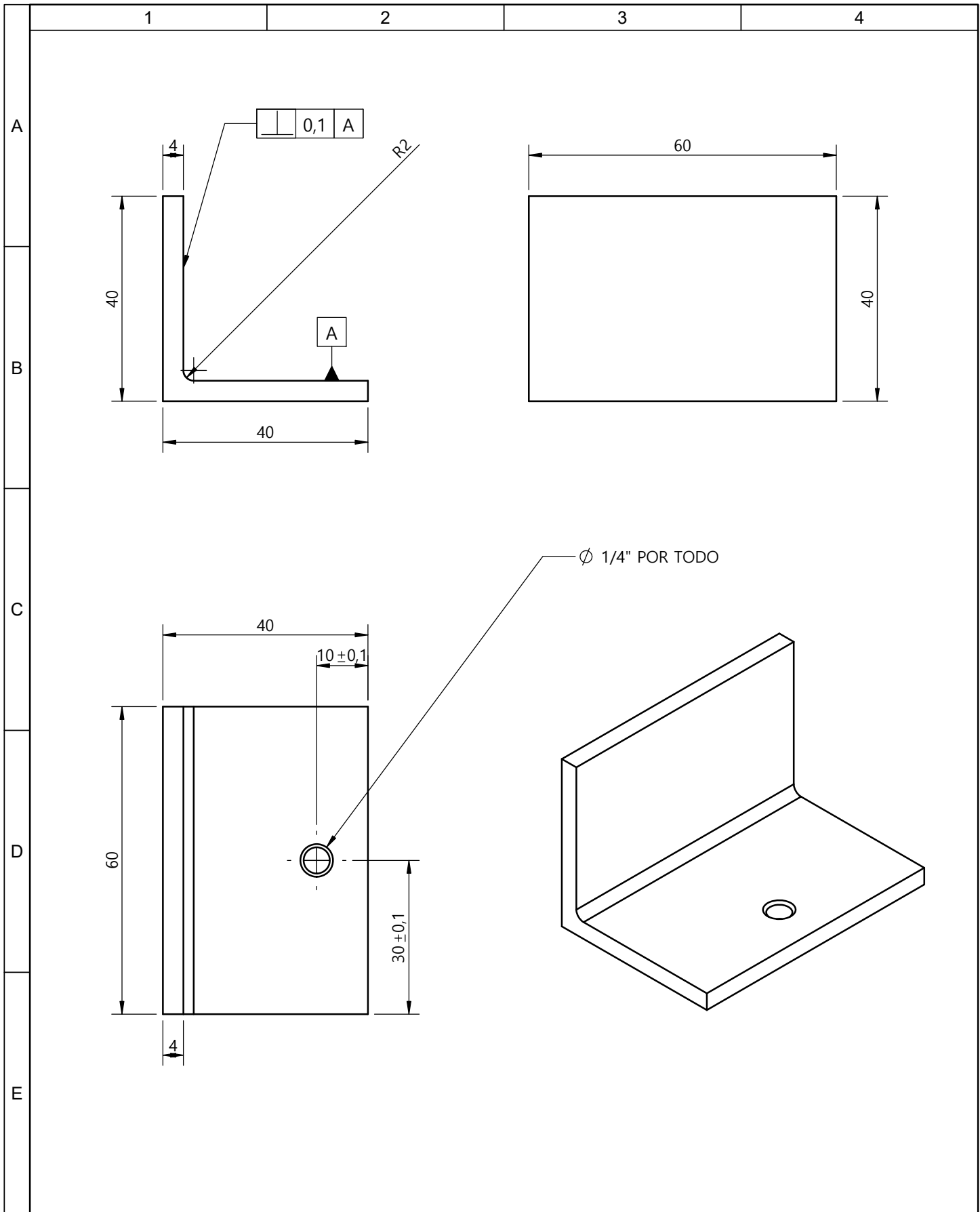
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				±0,1	7,56 kg	ACERO AISI 1020			
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:	
				DIBUJO: 01/11/22	Fuentes J., Núñez J.	TAPA LATERAL - TRASERA DE		1:5	
				REVISÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	ARMARIO DE TRANSFORMADOR			
				APROBÓ: 10/11/22	Ing. Paredes J.	N.º DE LÁMINA:			
				U.T.A		67 de 70			
				INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:			
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE						



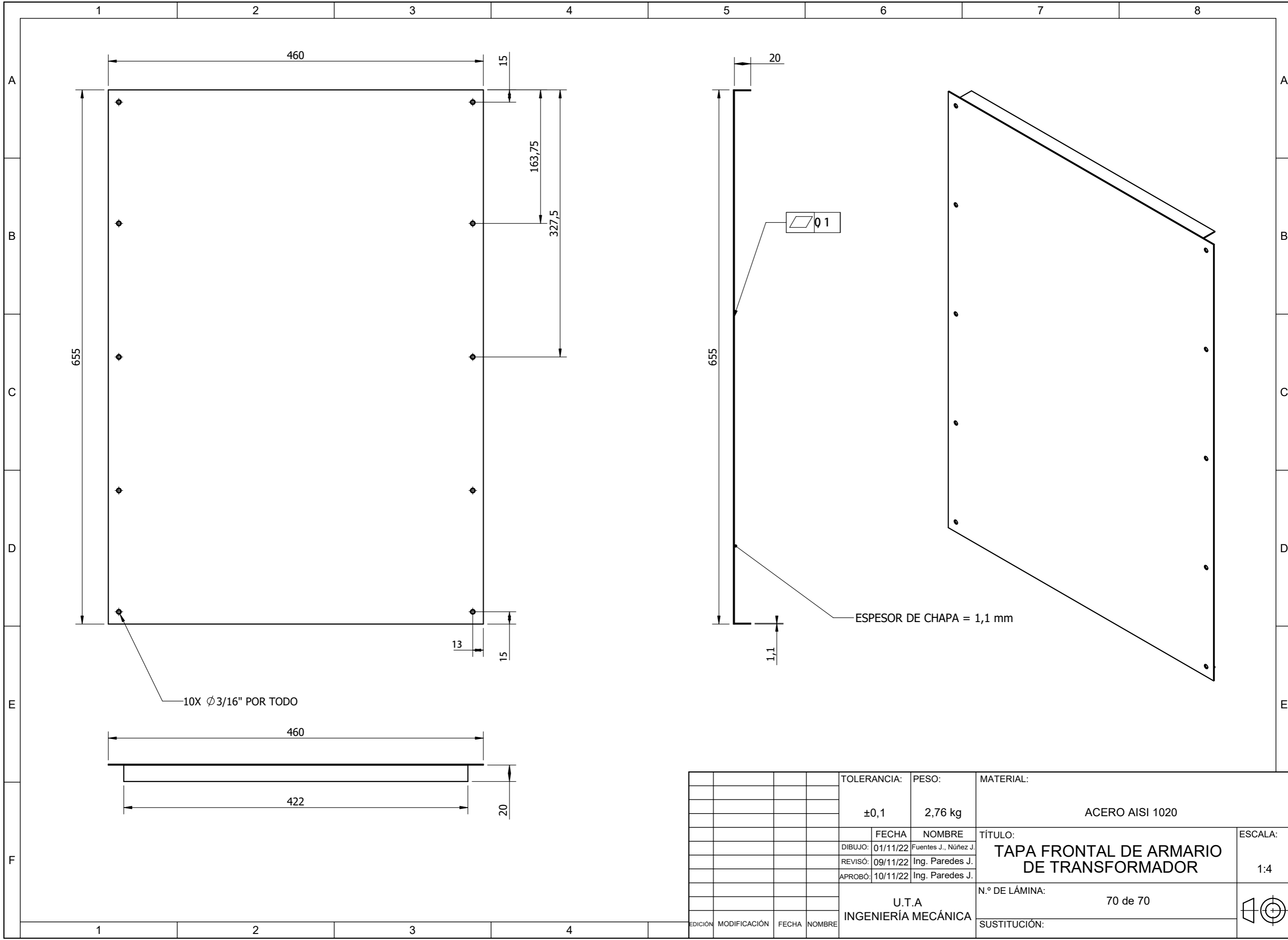
ESPEJOR DE CHAPA = 1,1 mm

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	1,71 kg	ACERO AISI 1020		
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO:	01/11/22	Fuentes J., Núñez J.	<b>TAPA SUPERIOR DE ARMARIO DE TRANSFORMADOR</b>	1:4
				REVISÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LÁMINA:	
							68 de 70	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:				





				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	142,2 g	ASTM A 36	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 09/11/22	FUENTES J., NÚÑEZ J.	PLATINA DE FIJACIÓN DE ARMARIO	
				REVISÓ: 06/11/22	ING. PAREDES J.	ESCALA:	
				APROBÓ: 10/11/22	ING. PAREDES J.	1:1	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA:	
						69 de 70	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCIÓN:			



10X Ø3/16" POR TODO

ESPEJOR DE CHAPA = 1,1 mm

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	2,76 kg	ACERO AISI 1020		
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJO:	01/11/22	Fuentes J., Núñez J.	<b>TAPA FRONTAL DE ARMARIO DE TRANSFORMADOR</b>	1:4
				REVISÓ:	09/11/22	Ing. Paredes J.		
				APROBÓ:	10/11/22	Ing. Paredes J.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LÁMINA:	
							70 de 70	
				SUSTITUCIÓN:				
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE					