



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

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

**TEMA**

---

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TAMIZADORA PARA  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE POLVOS METÁLICOS PARA EL  
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y  
MECÁNICA”

---

**AUTOR:** Iván Alejandro Pérez De Mora.

**TUTOR:** Ing. Mg. Gonzalo López.

**AMBATO – ECUADOR**

**2017**

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de tutor del proyecto técnico, con el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TAMIZADORA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE POLVOS METÁLICOS PARA EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”, desarrollado por el estudiante Iván Alejandro Pérez De Mora, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, me permito informar que éste ha sido concluido en su totalidad y por tanto puede continuar con el respectivo trámite de graduación.

Ambato, 12 de abril de 2017

.....

**DOCENTE INGENIERÍA MECÁNICA**

Ing. Mg. Gonzalo López

## **AUTORÍA DE TRABAJO**

Declaro que los criterios expresados en el proyecto técnico denominado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TAMIZADORA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE POLVOS METÁLICOS PARA EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”, así como también las ideas, análisis, conclusiones son auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor del presente proyecto.

Ambato, 12 de abril de 2017

## **AUTOR**

.....  
Sr. Iván Alejandro Pérez De Mora.

CI. 1804763769

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o de parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimonial de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública, apruebo la reproducción de este Proyecto Técnico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 12 de abril de 2017

## **AUTOR**

.....  
Sr. Iván Alejandro Pérez De Mora.

CI. 1804763769



## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del proyecto técnico realizado por el estudiante Iván Alejandro Pérez De Mora de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TAMIZADORA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE POLVOS METÁLICOS PARA EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”

Ambato, 06 Junio del 2017

Para constancia firman:

-----

Ing. Mg. Jorge Guamanquispe

-----

Ing. Mg. Victor Espin

## **DEDICATORIA**

A mi querida madre Betty Elizabeth Pérez De Mora, ella es y será siempre mi ejemplo de nunca rendirme y siempre conseguir mis metas.

A mis tías queridas que siempre han estado ahí para apoyarme, especialmente a mi tía Charo con la que siempre he podido contar desde que llegue a Ambato y mi tía Susa por siempre estar a mi lado dándome consejo y cariño.

A mi primo Fausto y primas Estefanía y Adriana que me han dado su amistad y ejemplo para seguir adelante y cumplir mis metas.

A Banban por ser mi compañero fiel y estar siempre en las buenas y en las malas, en las amanecidas y cada vez que necesité un amigo.

A mis amigos y compañeros.

A todos a quienes considero parte de mi familia, este trabajo es para ustedes.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi madre Betty Pérez que gracias a su esfuerzo, trabajo y paciencia, supo guiarme y apoyarme para culminar mis estudios.

A la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y a todos los buenos funcionarios.

Al Ing. Gonzalo López por su guía durante el desarrollo del proyecto.

A mis amigos los nuevos y los viejos, gracias por su paciencia y apoyo, ustedes hicieron que esta etapa de mi vida sea más fácil de llevar.

A mis compañeros de estudio por todo el apoyo durante la carrera, en especial a Cristian, Luis y Henry.

A mis maestros de vida y de carrera, gracias por brindarme su conocimiento.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Certificación.....	II
Autoría de trabajo.....	III
Derechos de autor.....	IV
Aprobación del tribunal de grado .....	V
Dedicatoria.....	VI
Agradecimiento .....	VII
Índice de contenidos.....	VIII
Índice de figuras .....	XI
Índice de tablas.....	XV
Índice de gráficos .....	XVIII
Resumen ejecutivo.....	XIX
Summary.....	XX
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
1.1. Tema de investigación.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1. Objetivo General .....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>3</b>
2.1. Investigaciones previas .....	3
2.1.1. Tamizadoras para pruebas marca Tyler .....	3
2.1.2. Tamizadoras para pruebas marca Retsch® .....	5
2.1.3. Tamizadoras para pruebas diferentes modelos .....	10
2.2. Fundamentación teórica .....	11
2.2.1. Análisis de distribución de tamaño de partícula .....	11
2.2.2. Problemas del tamizado .....	13
2.2.3. Tipos de tamices.....	14
2.2.4. Tamizado.....	16

2.2.5.	Métodos de tamizado .....	18
2.2.6.	Diseño mecánico .....	23
2.2.6.1.	Equilibrio en un cuerpo rígido .....	23
2.2.6.2.	Vibraciones mecánicas .....	24
2.2.6.3.	Cinemática rotacional.....	24
2.2.6.4.	Momento de torsión .....	25
2.2.6.5.	Vibraciones del elemento mecánico.....	26
2.2.6.6.	Potencia y eficiencia del motor .....	26
2.2.6.7.	Dimensionamiento de bandas y poleas .....	27
2.2.6.8.	Diseño de ejes .....	28
2.2.6.9.	Cálculo de rodamientos.....	29
2.2.6.10.	Selección de pernos.....	30
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>33</b>
3.1.	Selección de alternativas .....	33
3.2.	Cálculos o modelo operativo.....	35
3.2.1.	Determinación del torque para el resorte .....	37
3.2.2.	Cálculo de la potencia del sistema .....	41
3.2.3.	Selección del sistema de transmisión.....	42
3.2.4.	Dimensionamiento de bandas y poleas .....	44
3.2.5.	Esfuerzos de banda.....	51
3.2.6.	Determinación del factor de seguridad .....	55
3.2.6.1.	Momento flector para el eje conducido.....	55
3.2.6.2.	Factor de seguridad .....	58
3.2.7.	Diseño de chaveta .....	63
3.2.8.	Selección de rodamientos.....	66
3.2.9.	Selección de pernos.....	76
3.2.10.	Cálculo de estructura.....	79
3.2.11.	Análisis de vibraciones .....	83
3.2.12.	Análisis de soldadura .....	86
3.2.13.	Diagrama de control y de potencia.....	88
3.3.	Presupuesto .....	89
3.3.1.	Costos directos .....	89
3.3.2.	Costos indirectos .....	91

3.3.3.	Costos varios .....	92
3.4.	Especificaciones técnicas .....	93
3.5.	Funcionamiento general .....	95
3.6.	Mantenimiento del sistema .....	97
3.7.	Pruebas de funcionamiento .....	97
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>34</b>
4.1.	Conclusiones .....	34
4.2.	Recomendaciones.....	101
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>102</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>104</b>
<b>PLANOS .....</b>		<b>141</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Tamizadora RO-TAP® R X-29 (tamices 8") y RX-30 (tamices 12").....	3
Figura 2. 2 Tamizadora RO-TAP® RX-29-E y RX-30-E .....	4
Figura 2. 3 Tamizadora RO-TAP® RX-94.....	4
Figura 2. 4 Tamizadora RO-TAP® RX-812.....	5
Figura 2. 5 Tamizadora AS 200 basic con dispositivo de fijación "economy" .....	6
Figura 2. 6 Tamizadora AS 400 controles con dispositivo de fijación "comfort" .....	7
Figura 2. 7 Tamizadora AS 200 tap .....	8
Figura 2. 8 Tamizadora AS 200 jet con tamiz analítico.....	9
Figura 2. 9 Tamizadora de laboratorio motorizada Bionics Scientific Technologies	11
Figura 2. 10 Esquema simplificado del clasificador Bahco.....	12
Figura 2. 11 Tamaño de tamiz de una partícula de forma irregular .....	14
Figura 2. 12 Tamices con mallas inox, nylon o chapas perforadas.....	14
Figura 2. 13 Tamices niquelados de micro malla 225 µm .....	15
Figura 2. 14 Tamiz estándar.....	16
Figura 2. 15 Distribución de luz de malla al aumentar el tiempo de tamizado.....	16
Figura 2. 16 Velocidad a la que las partículas pasan a través de un tamiz .....	17
Figura 2. 17 Tamizadora .....	20
Figura 2. 18 Esquema de tamices en serie apilados en orden de tamaño.....	21
Figura 2. 19 Máquina de tamizado en húmedo Retsch .....	22
Figura 2. 20 Modo de acción de un tamizado por chorro de aire.....	22
Figura 2. 21 Modo de acción de la tamizadora sónica.....	23
Figura 2. 22 Comportamiento del resorte .....	24
Figura 2. 23 Grafica de momento de torsión.....	25
Figura 2. 24 Representación de un eje montado con 2 engranes y dos rodamientos.	28

Figura 2. 25 Magnitud de carga en rodamiento de bolas y rodillo .....	29
Figura 2. 26 Cargas axial y radial aplicadas a diferentes rodamientos .....	29
Figura 2. 27 Perno y tuerca acotadas .....	31
Figura 2. 28 Tipos de fallas.....	31
Figura 3. 1 Tamizadora de laboratorio para polvos metálicos vista explosionada ....	36
Figura 3. 2 Esquema del eje conducido con el soporte de tamices .....	37
Figura 3. 3 Esquema del eje y DCL (diagrama de cuerpo libre).....	37
Figura 3. 4 DCL del esquema del eje con el soporte de tamices .....	38
Figura 3. 5 Dimensiones de la fuerza $F_R$ y DCL.....	39
Figura 3. 6 Posiciones de las poleas.....	44
Figura 3. 7 Perfil y medida de canales para la polea.....	48
Figura 3. 8 Dimensiones de la correa Tipo A .....	49
Figura 3. 9 Tensión producida por la polea .....	50
Figura 3. 10 Sistema de polea representando sus puntos principales .....	52
Figura 3. 11 Diagrama del eje conducido con sus componentes .....	55
Figura 3. 12 Diagrama del eje conducido aislado con sus dimensiones .....	56
Figura 3. 13 Diagrama de cuerpo libre.....	56
Figura 3. 14 Diagrama de cortante .....	57
Figura 3. 15 Diagrama de momento.....	58
Figura 3. 16 Cotas de chaveta cuadrada.....	64
Figura 3. 17 Profundidad del chavetero en el eje.....	65
Figura 3. 18 Profundidad del chavetero en el cubo.....	65
Figura 3. 19 Altura de la cuerda.....	66
Figura 3. 20 Diagrama de cuerpo libre eje motriz .....	67
Figura 3. 21 Cotas Rodamientos rígidos de una hilera de bolas (d 25 – 35 mm) .....	69
Figura 3. 22 Posición de agujeros en la placa del reductor de velocidad.....	77



Figura 3. 23 Diagramas para marco 280 .....	79
Figura 3. 24 Momento nominal vs Longitud sin soporte lateral.....	81
Figura 3. 25 Análisis de la viga más deformada obtenido del software de diseño ....	83
Figura 3. 26 Diagrama simplificado de estructura .....	83
Figura 3. 27 Máximo detalle de soldadura junta a tope .....	86
Figura 3. 28 Máximo detalle de soldadura de filete a lo largo de los bordes.....	86
Figura 3. 29 (a) Diagrama de control y (b) potencia.....	88
Figura anexo. 1 Eje redondo con filete en el hombro en flexión. ....	116
Figura anexo. 2 Eje redondo con filete en el hombro en torsión. ....	116
Figura anexo. 3 Aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024-T.....	117
Figura anexo. 4 Materiales sometidos a torsión inversa. ....	117
Figura anexo. 5 Estructura Moldeada .....	123
Figura anexo. 6 Estructura moldeada con el perfil 20x20x2 mm. ....	123
Figura anexo. 7 Momentos máximos de la estructura. ....	124
Figura anexo. 8 Chequeo de la estructura – vigas con mayor carga.....	124
Figura anexo. 9 Balanza electrónica seteada y con peso (100g).....	128
Figura anexo. 10 Serie de tamices para polvo metálico #20.....	128
Figura anexo. 11 Serie de tamices para polvo metálico #40.....	128
Figura anexo. 12 Serie de tamices para polvo metálico #60.....	129
Figura anexo. 13 Serie de tamices para polvo metálico #100.....	129
Figura anexo. 14 Serie de tamices para polvo metálico #140.....	129
Figura anexo. 15 Serie de tamices para polvo metálico #200.....	129
Figura anexo. 16 Serie de tamices para polvo metálico #325.....	130
Figura anexo. 17 Tapa de madera soporte de tamices. ....	131
Figura anexo. 18 Base de madera soporte de tamices.....	131
Figura anexo. 19 Tapa de hierro fundido soporte de tamices .....	131

Figura anexo. 20 Base de hierro fundido soporte de tamices .....	132
Figura anexo. 21 Soporte y poste para tamices.....	132
Figura anexo. 22 Eje roscado .....	132
Figura anexo. 23 Eje conducido.....	133
Figura anexo. 24 Eje excéntrico.....	133
Figura anexo. 25 Resorte.....	133
Figura anexo. 26 Acoplamiento motor-reductor de velocidad.....	133
Figura anexo. 27 Cubierta chumacera superior.....	134
Figura anexo. 28 Proceso de armado de estructura.....	135
Figura anexo. 29 Soldado de la placa inferior chumacera. ....	135
Figura anexo. 30 Torneado de la base porta tamices. ....	136
Figura anexo. 31 Estructura completa soldada .....	136
Figura anexo. 32 Esmerilado de la estructura completa .....	136
Figura anexo. 33 Prueba de funcionamiento del sistema de transmisión .....	137
Figura anexo. 34 Comprobación de revoluciones eje motriz (138.4 rpm).....	137
Figura anexo. 35 Comprobación de revoluciones eje conducido (280.1 rpm) .....	137
Figura anexo. 36 Ensamblaje y pruebas del sistema de control.....	138
Figura anexo. 37 Pruebas de funcionamiento con la torre de tamices .....	138

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Serie de tamiz estándar EE.UU.....	13
Tabla 2. 2 Cantidad de muestra requerido para 8 pulgadas de diámetro tamices .....	19
Tabla 2. 3 Matriz para una orientación aproximada en la selección de rodamientos.	30
Tabla 3. 1 Escala de valoración.....	33
Tabla 3. 2 Puntuación alternativas de diseño .....	34
Tabla 3. 3 Características relevantes de la tamizadora horizontal inferior .....	35
Tabla 3. 4 Listado de componentes de la tamizadora .....	36
Tabla 3. 5 Especificaciones del resorte seleccionado .....	40
Tabla 3. 6 Tabla de resumen - Cálculo de la potencia del sistema .....	42
Tabla 3. 7 Datos técnicos del reductor de velocidad.....	43
Tabla 3. 8 Tabla de resumen - Selección del sistema de transmisión .....	44
Tabla 3. 9 Dimensiones de la correa .....	49
Tabla 3. 10 Dimensiones del perfil de la polea.....	49
Tabla 3. 11 Tabla de resumen - Dimensionamiento de bandas y poleas .....	51
Tabla 3. 12 Masa de la correa por metro de longitud, según el tipo de perfil.....	51
Tabla 3. 13 Tabla de resumen - Esfuerzos de banda.....	55
Tabla 3. 14 Resistencias mínimas a la tensión y a la fluencia ASTM .....	58
Tabla 3. 15 Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín.....	60
Tabla 3. 16 Factores de confiabilidad $k_e$ .....	61
Tabla 3. 17 Tabla de resumen - Factor de seguridad .....	63
Tabla 3. 18 Resistencias mínimas a la tensión y a la fluencia ASTM .....	64
Tabla 3. 19 Tabla de resumen - Diseño de chaveta.....	66
Tabla 3. 20 Valores de vida nominal para diferentes clases de máquinas .....	67
Tabla 3. 21 Factor de seguridad estático $S_0$ .....	68

Tabla 3. 22 Rodamiento rígido de una hilera de bolas 61805.....	69
Tabla 3. 23 Factores de cálculo para rodamientos rígidos de una hilera de bolas .....	69
Tabla 3. 24 Factor de confiabilidad $a_1$ .....	70
Tabla 3. 25 Factor de características $a_2$ .....	71
Tabla 3. 26 Características rodamientos rígido de una hilera de bolas 61805.....	71
Tabla 3. 27 Factor de seguridad estático $S_0$ .....	72
Tabla 3. 28 Factores de cálculo para rodamientos rígidos de una hilera de bolas .....	73
Tabla 3. 29 Factor de confiabilidad $a_1$ .....	74
Tabla 3. 30 Factor de características $a_2$ .....	75
Tabla 3. 31 Propiedades de la plancha .....	76
Tabla 3. 32 Propiedades del perno .....	76
Tabla 3. 33 Propiedades del perfil.....	79
Tabla 3. 34 Características del tubo estructural cuadrado ASTM A 500.....	80
Tabla 3. 35 Características de juntas soldadas .....	86
Tabla 3. 36 Detalle de juntas de canal soldadas precalificadas PJP.....	87
Tabla 3. 37 Tamaños de la soldadura de filete mínimos.....	87
Tabla 3. 38 Parámetros de operación de la máquina soldadora .....	88
Tabla 3. 39 Costo de materiales .....	89
Tabla 3. 40 Costo de prefabricados.....	90
Tabla 3. 41 Costo de mano de obra.....	91
Tabla 3. 42 Costo de diseño .....	91
Tabla 3. 43 Costos varios .....	92
Tabla 3. 44 Costo total del equipo .....	92
Tabla 3. 45 Ficha técnica .....	93
Tabla 3. 46 Ficha de componentes .....	94
Tabla 3. 47 Series de tamices sugeridos para polvos metálicos.....	95

Tabla 3. 48 Tamaño de la muestra .....	95
Tabla 3. 49 Formato para reportar los datos de prueba de polvo metálico 100 .....	96
Tabla 3. 50 Datos de prueba polvo metálico 20.....	97
Tabla 3. 51 Datos de prueba polvo metálico 40.....	97
Tabla 3. 52 Datos de prueba polvo metálico 60.....	98
Tabla 3. 53 Datos de prueba polvo metálico 100.....	98
Tabla 3. 54 Datos de prueba polvo metálico 140.....	98
Tabla 3. 55 Datos de prueba polvo metálico 200.....	99
Tabla 3. 56 Datos de prueba polvo metálico 325.....	99

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3. 1 Tensión vs Longitud .....	55
Gráfico 3. 2 Factor de condiciones de operación $a_3$ .....	71
Gráfico 3. 3 Factor de condiciones de operación $a_3$ .....	75
Gráfico 3. 4 Posición X vs. Tiempo .....	85
Gráfico 3. 5 Posición X vs. Tiempo t Vista para 100 segundos.....	85

## RESUMEN EJECUTIVO

La tamizadora de laboratorio para análisis granulométrico en polvos metálicos, es un equipo de laboratorio que permite dividir los polvos metálicos en sus diferentes tamaños de grano.

Los polvos metálicos tienen un amplio uso en la industria pulvimetalúrgica, especialmente en fundiciones y ensayos no destructivos; para lo cual el tamaño granulométrico debe ser específico.

En el presente proyecto técnico se partió realizando una investigación bibliográfica de los tipos de tamizadoras que se utilizan en la industria. A partir de las características técnicas de las tamizadoras para polvos metálicos se identificaron aquellas que cumplían con la norma ASTM B214-16.

Para seleccionar la tamizadora que sería construida, se definieron los siguientes criterios de selección: técnicos, mecánicos, de mercado, de construcción y de mantenimiento; además se ponderó cada criterio. Finalmente la tamizadora seleccionada fue la Tamizadora Horizontal.

El diseño tuvo como punto de partida las características técnicas definidas en la norma ASTM B214-16. Los componentes diseñados fueron: Eje conducido, Sistema de transmisión (poleas, reductor de velocidad y motor), Estructura, Soporte de tamices, Chaveta del eje.

Se realizaron los siguientes cálculos de diseño: Torque, Momento máximo, Potencia del motor, Relación de transmisión, Cálculo para selección de poleas y bandas, Esfuerzo en la banda, Factor de seguridad del eje conducido, Selección de rodamientos y Perfil estructural.

Las principales actividades durante la construcción de la Tamizadora Horizontal involucró corte y doblado perfiles y planchas; soldadura de la estructura; taladrado de agujeros; fundición del soporte de los tamices; torneado de ejes, tapa y base del soporte.

En las pruebas de funcionamiento se realizaron ensayos para cada tamaño de grano indicado en la norma, mediante diferentes combinaciones de grupos de tamices.

**Palabras clave:** Tamizadora, granulometría, polvos metálicos, ASTM B214-16.

## SUMMARY

The laboratory sieve for granulometric analysis in metallic powders is a laboratory equipment that allows dividing the metallic powders in their different sizes of grain.

Metallic powders are widely used in the powder metallurgy industry, especially in smelters and non-destructive tests; for which the sieve size must be specific.

In the present technical project, a bibliographical investigation was made of the types of sieves used in industry. From the technical characteristics of the metallic dust sifters were identified those that complied with the ASTM B214-16 standard.

To select the sieve to be constructed, the following selection criteria were defined: technical, mechanical, market, construction and maintenance; each criterion was weighed. Finally, the selected sieving machine was the Horizontal Sieving Machine.

The design was based on the technical characteristics defined in ASTM B214-16. The components designed were driven shaft, transmission system (pulleys, speed reducer and motor), structure, sieve support, shaft key.

Design calculations were made, such as Torque, Maximum moment, Motor power, Transmission ratio, Calculation for selection of pulleys and belts, Effort in the belt, Safety factor of the driven shaft, Selection of bearings and Structural profile.

The main activities during the construction of the horizontal sieving machine involved cutting and folding profiles and plates; Welding of the structure; Drilling holes; Casting of the sieve holder; Turning of shafts, cover and base of the support.

In the functional tests, tests were performed for each grain size indicated in the standard, using different combinations of groups of sieves.

**Keywords:** Sieve shaker, granulometry, metallic powders, ASTM B214-16.



## **CAPÍTULO I.**

### **ANTECEDENTES**

#### **1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TAMIZADORA PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE POLVOS METÁLICOS PARA EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.

#### **1.2. JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de una máquina tamizadora para el laboratorio de materiales en la Carrera de Ingeniería Mecánica. La máquina tamizadora es de gran importancia para el desarrollo de proyectos de investigación en el área de pulvimetalurgia, lo cual hace posible la producción de una pieza prácticamente no porosa que tiene propiedades casi equivalentes al material matriz completamente denso. Procesos de difusión durante el tratamiento térmico son fundamentales para el desarrollo de estas propiedades. Este método es especialmente adecuado para metales que tienen ductilidades bajas, ya que sólo una pequeña deformación plástica de las partículas de polvo necesita ocurrir [1].

En la actualidad el laboratorio de materiales carece del equipo para el desarrollo de ensayos de polvos metálicos, con el diseño y construcción de la tamizadora se podrán desarrollar diferentes ensayos para la determinación del tamaño de grano de los polvos metálicos, los cuales de acuerdo a la norma ASTM B 243 son partículas de metales o aleaciones elementales, normalmente de menos de 1000  $\mu\text{m}$  (1 mm) de tamaño [2].

Para la construcción de la tamizadora se toma en cuenta las consideraciones expuestas en la norma ASTM B214-16 sobre métodos estándar para análisis granulométrico de polvos metálicos, la cual indica que los tamices para este análisis deben ser de 8 pulgadas (203.2 mm) de diámetro y 1 o 2 pulgadas (25 o 50 mm) de profundidad y provistas de alambre de bronce, latón, acero inoxidable u otro material adecuado conforme a la norma ASTM E 11.

La tamizadora debe impartir un movimiento de rotación y de acción de golpeteo a velocidad uniforme. El número de rotaciones por minuto será de entre 270 y 300. El número de golpes por minuto será de entre 140 y 160. El tamaño de la muestra de ensayo será de 90 a 100 g para cualquier polvo de metal cuya densidad aparente sea mayor que 1.50 g/cm<sup>3</sup> y de 40 a 60 g si la densidad aparente del polvo es inferior a 150 g/cm<sup>3</sup>.

El tiempo necesario para llevar a cabo esta prueba es de 15 minutos [3].

La utilización de la máquina será completamente manual con el fin realizar comparaciones de los resultados de varios rangos de tiempo, sin tener que modificar el mecanismo de funcionamiento así como sus dimensiones, el enfoque principal de la máquina es lograr que se cumplan con los requerimientos de la norma. Finalmente la adquisición de los materiales no es complicada ya que existen varios proveedores por lo tanto el proyecto es viable.

### **1.3. OBJETIVOS**

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

Diseño y construcción de una máquina tamizadora para análisis granulométrico de polvos metálicos.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Establecer los parámetros de diseño de la tamizadora.
- Calcular y diseñar la tamizadora de acuerdo a las necesidades del laboratorio de la carrera de ingeniería mecánica.
- Construir la tamizadora.
- Verificar que la tamizadora cumpla con los requerimientos de diseño establecidos en la norma ASTM B214-16.
- Realizar la prueba para análisis granulométrico establecido en la norma ASTM B214 -16.

## CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN

### 2.1. INVESTIGACIONES PREVIAS

Existen diferentes equipos y formas de realizar el tamizado de polvos metálicos, la norma ASTM B214-16 en la cual está apoyado el presente proyecto técnico, establece que los tamices deben cumplir con las especificación E 11 o su equivalente en tamices estándar TYLER, esta marca presenta en sus catálogos tamizadoras que han servido como modelo base a otras compañías como CONTROL GROUP y RETSCH®.

A continuación se describen tamizadoras de las marcas Tyler y Retsch®; en el primer caso clasificadas por modelos y en el segundo por tipos.

#### 2.1.1. Tamizadoras para pruebas marca Tyler

##### a. Modelos R X-29 y RX-30



**Figura 2. 1** Tamizadora RO-TAP® R X-29 (tamices 8”) y RX-30 (tamices 12”)

**Fuente:** [4]

Tiene una única operación de dos dimensiones: un movimiento horizontal, circular y un movimiento de golpeteo vertical. Esta acción especial permite que las partículas de los materiales para estratificar busquen aperturas críticas en los medios de ensayo.

#### **Características**

- Prueba de aplicaciones - RX-29: 2" hacia abajo a través de la malla 635 (20 micras); RX-30: 4" hacia abajo a través de la malla 500 (25 micras).
- Requiere un mantenimiento mínimo.
- Uso en trabajo pesado.

- Cuenta con 99 minutos digitales temporizador / reloj, la tolerancia, 0,1 segundos.

### **Especificaciones**

- Oscilaciones por minuto:  $278 \pm 10$ .
- Oscilaciones desplazamiento:  $1-1 / 8 \text{ "x } 7/16\text{ "}$ .
- Golpeteos por minuto:  $150 \pm 10$ .

### **b. Modelos: *RX-29-E* y *RX-30-E***



**Figura 2. 2** Tamizadora RO-TAP® RX-29-E y RX-30-E

**Fuente: [4]**

Tamizadora de pruebas electrónica, opera con tamices de ensayo de diámetro 8" o 12" y ofrece resultados de tamizado precisos. Las unidades están diseñadas para pruebas de mediana aplicación.

### **Características**

- Amplitud constante controlada.
- Controles digitales.
- Pisadores de liberación rápida.
- Configuración de control para análisis fino y grueso.

### **c. Modelo: *RX-94***



**Figura 2. 3** Tamizadora RO-TAP® RX-94

**Fuente: [4]**

Cuenta con una cavidad que permite dos "pilas" de tamices de ensayo 8" de diámetro. Esto permite el doble de la capacidad de procesamiento nominal al mismo tiempo requerido para completar un ensayo.

### **Características**

- Diseñado para su uso con sólo tamices de ensayo de 8" diámetro.
- Aplicación de la prueba: 2" a través de la malla 635 (20 micras).

### **Especificaciones**

- Oscilaciones por minuto:  $278 \pm 10$
- Oscilación desplazamiento: 1-1/8"x 7/16".
- Golpeteos por minuto:  $150 \pm 10$  Martillo Peso: 5 libras, 6 oz

#### **d. Modelo RX-812**



**Figura 2. 4** Tamizadora RO-TAP® RX-812

**Fuente:** [4]

### **Características**

- Diseñado para su uso con 8" y 12" de diámetro tamices de ensayo.
- No se recomienda para el análisis de partículas de 150 micras (malla 100 y más fino) y más pequeño.

### **Especificaciones**

- Oscilaciones por minuto: 280 (60Hz); 231 (50 Hz) [4].

#### **2.1.2. Tamizadoras para pruebas marca Retsch®**

##### **a. Tamizadoras vibratorias**

Se emplean en las áreas de investigación y desarrollo, control de calidad de materias primas, productos intermedios y acabados, así como para la supervisión de procesos de producción.

Todos estos aparatos pueden usarse para el tamizado por vía seca y húmeda. Su accionamiento electromagnético genera un movimiento de proyección tridimensional que hace que el material se mueva uniformemente por toda la superficie de malla libre del tamiz aprovechándola al máximo.



**Figura 2. 5** Tamizadora AS 200 basic con dispositivo de fijación "economy"

**Fuente:** [5]

### **Ventajas**

- Tamizado con efecto 3D.
- Para tamices de hasta Ø 315 mm.
- Para tamizado en seco y en húmedo.
- Rango granulométrico 36 µm – 40 mm.
- Memoria para 99 SOPs (Procedimientos operativos estándar).
- Ajuste digital de los parámetros de tamizado.
- Aceleración de la base independiente de la frecuencia.
- Tiempos cortos de tamizado gracias a la gran superficie de malla y su movimiento efectivo.
- Operación silenciosa, no necesita mantenimiento.
- Equipo de inspección, medición y ensayo según DIN EN ISO 9000 (Manual de sistemas de calidad).

### **Principio de funcionamiento**

Las tamizadoras de las series AS 200, 300 y 450 trabajan con un accionamiento electromagnético patentado por RETSCH (EP 0642844). Este accionamiento genera un movimiento de proyección en tres dimensiones haciendo que el material se mueva uniformemente por toda la superficie del tamiz. Sus ventajas son: la gran capacidad de carga, marcha extremadamente suave y tiempos de tamizado cortos con alta precisión de separación.

## **Materiales típicos de muestra**

Las tamizadoras vibratorias se emplean frecuentemente para análisis granulométricos de materiales de construcción y relleno, suelos, productos químicos, arena, café, carbón, fertilizantes químicos, harina, polvos metálicos, minerales, semillas, detergente en polvo, clínker de cemento, entre otros.

### ***b. Tamizadora horizontal***

Tamiza por vía seca con tamices analíticos de hasta 400 mm de diámetro. Se pueden separar materiales finos y gruesos. El movimiento de tamizado horizontal circular es el más apropiado para separar materiales fibrosos, alargados, en forma de plaquitas o en forma de agujas debido a la orientación horizontal de las partículas.



**Figura 2. 6** Tamizadora AS 400 controles con dispositivo de fijación "comfort"

**Fuente:** [5]

## **Ventajas**

- Movimiento de tamizado horizontal circular según DIN 53 477.
- Para tamices de hasta  $\varnothing$  400 mm.
- Rango granulométrico 45  $\mu$ m – 63 mm.
- Fácil operación, diseño ergonómico.
- Silenciosa, no necesita mantenimiento.
- Ajuste digital de los parámetros de tamizado (tiempo, velocidad, intervalo).
- Memoria para 9 SOPs.
- Equipo de inspección, medición y ensayo según DIN EN ISO 9000.

## **Principio de funcionamiento**

La base de la tamizadora realiza movimientos horizontales circulares con un radio de 15 mm. Su velocidad es de 50 – 300 rpm, está electrónicamente regulada, y además es de ajuste continuo para garantizar una adaptación óptima a los materiales individuales.

La base es accionada por un motor de engranaje con una potencia de 125 W, robusto. La fuerza de accionamiento es transmitida a través de una excéntrica.

### **Materiales típicos de muestra**

El movimiento horizontal circular de la AS 400 control permite separar materiales de construcción, virutas de madera, compost, harina, granos molidos, compuestos granulados para moldeo, semillas entre otros.

### **Campos de aplicación**

Agricultura, alimentos, biología, geología - metalurgia, ingeniería - electrónica, materiales de construcción, medicina - farmacia, medio ambiente - reciclaje, química - plásticos, vidrio – cerámicas.

#### ***c. Tamizadora de golpeteo***

Concebida para el tamizado por vía seca con tamices analíticos de 200 o 203 mm (8") de diámetro. Su movimiento de tamizado horizontal circular con impulsos de golpeteo verticales imita el movimiento humano, solo que la ejecución mecánica y uniforme permite obtener resultados fiables y reproducibles.

Dependiendo de la altura de los tamices empleados, la columna puede contener un máximo de 7 hasta 13 fracciones. El tiempo de tamizado, programable de 1 a 99 minutos. El número de revoluciones y golpeteos es fijo.



**Figura 2. 7** Tamizadora AS 200 tap

**Fuente:** [5]

### **Ventajas**

- Movimiento horizontal circular con impulsos de golpeteo verticales en conformidad con las normas relevantes.
- Rango granulométrico 20  $\mu\text{m}$  – 25 mm.
- Para tamices de  $\varnothing$  200 mm / 203 mm (8").



- Columna de tamices con una altura de hasta 350 mm.
- Robusta, no necesita mantenimiento.
- Temporizador digital.
- Puerto serie.
- Apta para tamizado en seco.

### **Principio de funcionamiento**

Es accionada por un motor de corriente alterna monofásico de 180 W con una gran fuerza de arrastre. La base realiza movimientos horizontales circulares con un radio de 14 mm. Tanto el número de revoluciones (280 rpm) como el número de impulsos de golpeteo (150/min) se mantienen fijos y siempre constantes gracias al engranaje mecánico, incluso con grandes cargas.

### **Materiales típicos de muestra**

Las tamizadoras de golpeteo se emplean frecuentemente para la separación de muestras tales como carbón activado, diamantes, especias, polvos metálicos, abrasivos, cemento, etc.

#### ***d. Tamizadora a chorro de aire***

Concebida para el análisis de materiales ligeros de granulometría pequeña que tienden a aglomerarse. Este aparato acepta tamices con aberturas de malla a partir de 10  $\mu\text{m}$ . El tamizado por torbellino de aire es sumamente cuidadoso con el material, ya que permite prescindir por completo de ayudas mecánicas. Además, el tiempo de tamizado promedio es de unos 2 a 3 minutos.



**Figura 2. 8** Tamizadora AS 200 jet con tamiz analítico

**Fuente:** [5]

### **Ventajas**

- Tecnología "air jet" para la dispersión y desaglomeración de polvos finos.

- Rango granulométrico 10  $\mu\text{m}$  – 4 mm.
- Método rápido y eficiente.
- Función Open Mesh que reduce el atascamiento de partículas.
- Ajuste digital de parámetros (tiempo, vacío, velocidad).
- Gran versatilidad gracias a la velocidad variable de la tobera.
- Regulación automática del vacío y ciclón opcionales.
- No requiere mantenimiento.
- Memoria para 9 SOPs.

### **Principio de funcionamiento**

Este aparato lleva conectada una aspiradora industrial que genera un vacío en la cámara de tamizado succionando el aire de entorno a través de una tobera ranurada en rotación. La corriente de aire generada de esta manera sale a gran velocidad de la tobera atravesando de abajo hacia arriba el tejido del tamiz, levantando y cambiando la orientación de las partículas. Al chocar éstas con la tapa se disuelven los aglomerados. Encima de la malla, la corriente de aire se reparte por toda la superficie del tamiz y es de nuevo succionada hacia abajo, esta vez a baja velocidad. Las partículas finas pasan así por las aberturas del tejido y son después aspiradas o recogidas en un ciclón.

### **Materiales típicos de muestra**

La tamizadora a chorro de aire es ideal para el análisis por tamizado de materiales de construcción, especias, catalizadores, plásticos, harina, fármacos, etc. [5].

### **2.1.3. Tamizadoras para pruebas diferentes modelos**

#### **Tamizadora de laboratorio motorizada**

Estas máquinas se utilizan ampliamente en el área industrial, incluidos los pigmentos, jabón, cemento, material para techos, productos farmacéuticos, agregados menores etc.



**Figura 2. 9** Tamizadora de laboratorio motorizada Bionics Scientific Technologies

**Fuente:** [6]

### **Características:**

- Para tamices de diámetro 3", 5", 8" y 12".
- Perfecto para tamizado en seco.
- Golpeteos por minuto 500.
- Rotación de fase de tamiz 12 por minuto.
- Motor de ¼ HP.

### **Especificaciones:**

- Construcción de hierro, acero dulce pintado.
- Motor de ¼ HP.
- Temporizador 0 - 60 Minutos.
- Tipo de temporizador digital / analógico.
- Norma ASTM C136.
- Fuente de alimentación de 220 voltios.
- Certificaciones CE e ISO.

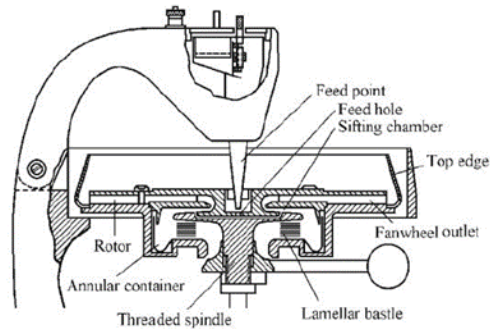
## **2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.2.1. Análisis de distribución de tamaño de partícula**

El proceso de clasificación de partículas se utiliza para determinar la distribución según su tamaño o para separar ciertos tamaños de una distribución. En general, la clasificación de polvos metálicos se basa en el movimiento de las partículas suspendidas en un fluido, bajo la acción de un campo de fuerza que se crea por la gravedad, centrífuga o de Coriolis y las fuerzas de inercia. El fluido es normalmente aire o agua.

Los clasificadores pueden ser distinguidos dependiendo de la dirección de la corriente:

equilibrio contracorriente y de la separación de flujo transversal. Los clasificadores, tales como elutriadores, en zigzag y centrífugo Bahco, están relacionados con los dispositivos de contraflujo de equilibrio. El clasificador Bahco puede clasificar en el rango de tamaño de 5 a 100 $\mu$ m. Para las muestras, se requieren 5-10 g de polvo [7].



**Figura 2. 10** Esquema simplificado del clasificador Bahco

**Fuente:** [7]

#### **a. Análisis granulométrico**

El análisis de tamizado es el método más ampliamente utilizado en la industria de la metalurgia de polvos para la determinación de la distribución del tamaño de partícula de los polvos metálicos de gran tamaño 5  $\mu$ m. El tamizado es un procedimiento particularmente útil ya que las partículas se clasifican en categorías únicamente sobre la base de su tamaño, independientemente de otras propiedades (densidad, superficie, etc.). Puede ser utilizado para clasificar los polvos secos o húmedos y genera clasificado estrecho entre fracciones [7] [8].

#### **b. Tamices**

Los tamices de tela metálica tejida en un patrón de malla cuadrada de bronce fosforoso o acero inoxidable se montan en los anillos de 75 - 200 mm de acero inoxidable o de latón. El tamizado consiste en colocar una muestra de polvo en un tamiz con aberturas de un tamaño fijo y agitando el tamiz de una manera tal que las partículas que pueden pasar a través de las aberturas lo hagan. Para acelerar el análisis, varios tamices se apilan uno encima del otro, con el tamiz que contiene las aberturas más gruesas en la parte superior. Este "nido" de tamices vibra hasta que el residuo en cada tamiz contenga partículas que puedan pasar a través del tamiz superior, pero no por el inferior [7] [8].

Los tamices se refieren a menudo por su tamaño de malla, que es el número de hilos

por pulgada lineal. En la norma de la ASTM E11 éstas van de 635 mallas (20  $\mu\text{m}$ ) a 5 mallas (125 mm). Las aberturas de la malla 400 son de 37,5  $\mu\text{m}$ ; por lo tanto, el grosor del cable es de 26  $\mu\text{m}$  y el porcentaje de área abierta es de 35. Los diámetros de alambre y tolerancias de fabricación se especifican en la norma ASTM E 11 y las normas ISO 565 y 3310/1 y la CEI norma GOST 3584. Otras normas internacionales están representadas en el Anexo 2 [7] [8].

**Tabla 2. 1** Serie de tamiz estándar EE.UU.

Designación de tamiz, malla	Aberturas de tamiz	
	$\mu\text{m}$	pulgadas
30	600	0.0232
40	425	0.0164
50	300	0.0116
60	250	0.0097
80	180	0.0069
100	150	0.0058
140	106	0.0041
200	75	0.0029
230	63	0.0024
325	45	0.0017

Fuente: [ASTM E 11]

### 2.2.2. Problemas del tamizado

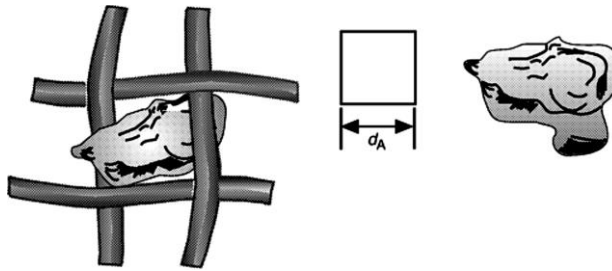
**Tamices sobrecargados.** En esta condición, la superficie de tamiz se llena con partículas de gran tamaño y cercanas a la malla, después de que el material más fino de la mitad del tamaño de la abertura de la malla ha pasado a través de ésta. En un tamiz sobrecargado, el peso del material de gran tamaño tiende a calzar las partículas de cerca de malla en las aberturas, bloqueando así el paso de partículas adicionales.

**Tamices ciegos** (en blanco). Resulta cuando cerca de malla del tamiz las partículas quedan atrapadas en las aberturas.

**Tamices dañados.** Pueden ser arrancadas o se han estirado y distorsionado aberturas de la malla. Se debe utilizar un microscopio para inspeccionar los tamices regularmente.

**Irregularidades en forma de partículas.** Pueden pasar a través de aberturas de tamiz en una orientación específica solamente. Para que estas partículas pasen con éxito a través de las aberturas, la vibración o agitación debe ser suficiente para cambiar la

orientación de todas las partículas [8].



**Figura 2. 11** Tamaño de tamiz de una partícula de forma irregular

**Fuente:** [8]

**La aglomeración de las partículas.** Esto evita que las partículas finas pasen a través de las aberturas de la malla. Las cargas electrostáticas pueden causar que las partículas finas se sientan atraídas la una por la otra, formando con frecuencia pequeñas bolas. Las partículas finas también pueden adherirse a partículas más grandes [8].

Independientemente de los tipos de tamices, para los tamices más finos de 45  $\mu\text{m}$  (malla 325) las técnicas de tamizado en seco son deficientes, se puede utilizar un tamizador de tipo chorro [7].

### 2.2.3. Tipos de tamices

#### a. Tamices de cable tejido y placas de metal perforadas

El tamiz de tela se teje a partir de alambre, la tela se suelda y se fija a la parte inferior de los recipientes cilíndricos. Los tamices para tareas pesadas suelen estar hechos de chapa perforada, dando lugar a agujeros circulares. Los tamices finos (menores a 0,2 mm) suelen ser tejidos con alambre de bronce de fósforo, los tamices medios (0,2 a 4 mm) con latón, y los tamices gruesos (4 a 100 mm) con acero dulce [8].

Los contenedores de tela de tamiz cilíndricos (tamices) se forman de tal manera que van a apilados, uno encima de otro, para dar un ajuste perfecto.

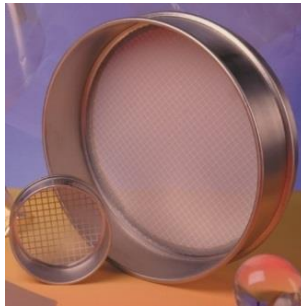


**Figura 2. 12** Tamices con mallas inox, nylon o chapas perforadas

**Fuente:** [9]

### **b. Tamices de micromalla electroformados**

Los tamices de micromalla, son generados por un proceso de fotograbado, en el cual una hoja de metal totalmente desengrasada está cubierta en ambos lados con una capa fotosensible y el patrón deseado es aplicado fotográficamente a ambos lados de la hoja. Posteriormente, la hoja se hace pasar a través de una máquina de grabado y el metal no expuesto es grabado. Finalmente, se retira el revestimiento fotosensible. La rejilla de soporte está hecha mediante la impresión de un patrón de línea gruesa en ambos lados de una hoja de lámina de cobre recubierta con esmalte fotosensible. La lámina se desarrolla y el material entre las líneas es grabado. La malla se dibuja tensamente sobre la rejilla y el niquelado de la misma. La precisión del método da una tolerancia de  $2\ \mu\text{m}$  para las aberturas de  $300$  a  $500\ \mu\text{m}$  reduciendo a  $1\ \mu\text{m}$  respecto de las aberturas  $5$  a  $106\ \mu\text{m}$ . [8].



**Figura 2. 13** Tamices niquelados de micro malla  $225\ \mu\text{m}$

**Fuente:** [9]

Las tolerancias con tamices de micromalla son mucho mejores que las de los tamices de tejido de alambre, las aberturas están garantizadas a  $\pm 2\ \mu\text{m}$  de diámetro nominal a excepción de los tamices de menor abertura [8].

### **c. Tamices estándar**

Los tamices estándar de Estados Unidos descrito por la norma ASTM tiene series de  $20\ \mu\text{m}$  a 5 pulgadas. Según ASTM, el tamiz nominal de  $75\ \mu\text{m}$  tiene un tamaño medio de abertura en el intervalo de  $70$  a  $80\ \mu\text{m}$ , y no más del 5% de las aberturas caerán en el intermedio al rango de tamaño máximo de  $91$  a  $103\ \mu\text{m}$ . Esto implica que hay una probabilidad de tener  $103\ \mu\text{m}$  de abertura en  $75\ \mu\text{m}$  tamiz nominal. Está claro que las aberturas de gran tamaño son más indeseables que las de tamaño insuficiente, porque estos últimos son simplemente ineficaces mientras que el primero permite el paso de partículas de gran tamaño. La tolerancia relativa aumenta al disminuir el tamaño

nominal, lo que lleva a una mala reproducibilidad cuando los análisis se llevan a cabo utilizando diferentes nidos de tamices sin calibrar. Tamices electroformados con aberturas y tolerancias de  $\pm 2 \mu\text{m}$  cuadrados o redondos también están disponibles [8].



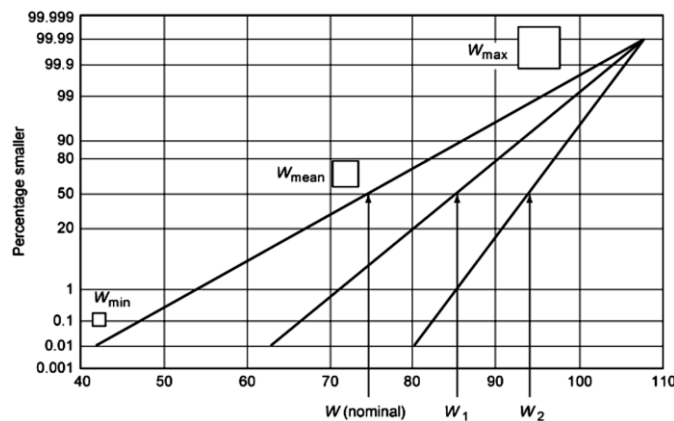
**Figura 2. 14** Tamiz estándar

**Fuente:** [9]

## 2.2.4. Tamizado

### a. Variables de proceso

**Punto final del proceso de tamizado.** El espesor nominal del hilo para un tamiz de  $75 \mu\text{m}$  es de  $52 \mu\text{m}$ . Por lo tanto, al comienzo de una operación de tamizado, el área abierta nominal comprende 35% de la superficie total [es decir,  $(75/127)^2$ ], con aberturas que van en tamaño desde 42 hasta  $108 \mu\text{m}$ .



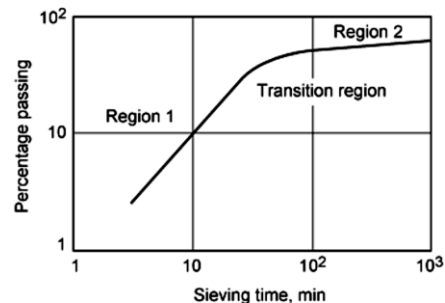
**Figura 2. 15** Distribución de luz de malla al aumentar el tiempo de tamizado

**Fuente:** [8]

Como el tamizado progresa, el número de partículas que pueden pasar a través de las pequeñas aberturas disminuye, así como el porcentaje de área abierta disponible. Al mismo tiempo que aumenta el tamaño de tamiz eficaz, en forma creciente. Por lo tanto, el mecanismo de tamizado se puede dividir en dos regiones con una región de transición entre ellas: una región inicial que se relaciona con el paso de partículas



mucho más finas que las aberturas de la malla y una segunda región que se relaciona con el paso de partículas cerca de malla. Las partículas cerca de malla se definen como partículas que pasarán a través de las aberturas de tamiz en sólo un número limitado de formas y la partícula final es la que va a pasar sólo a través de la abertura más grande en una sola orientación. El paso de dichas partículas es un proceso estadístico, es decir, siempre hay un elemento de azar en cuanto a si una partícula pasará o no a través del tamiz. En el límite, el proceso de tamizado está controlado por la abertura más grande a través del cual pasará la partícula final en sólo una orientación particular. En la práctica no hay ningún punto final a una operación de tamizado, por lo que éste se define de manera arbitraria.



**Figura 2. 16** Velocidad a la que las partículas pasan a través de un tamiz

**Fuente:** [8]

## **b. Errores de tamizado**

El tamizado a mano es la técnica de referencia por el cual deben ser juzgadas otras técnicas de tamizado. La norma Francesa NFX 11-57 dice: "Si se utilizan máquinas de tamizado, deben ser construidas y utilizados de tal manera que el análisis de tamizado se encuentre, dentro de las tolerancias acordadas, de acuerdo con el análisis obtenido por tamizado manual."

Las aberturas de un tamiz pueden ser considerados como una serie de instrumentos que rechazan o pasan partículas a medida que se presentan en la abertura. La probabilidad de que una partícula se presentará a una abertura depende de:

*La distribución del tamaño de partícula del polvo.* La presencia de una gran fracción de partículas cerca de malla reduce la eficiencia de tamizado. Un exceso de finos tiene el mismo efecto.

*El número de partículas en el tamiz (carga).* Cuanto menor sea la carga de tamiz, más rápido el análisis. Una carga demasiado baja, sin embargo, conduce a errores en peso

y porcentaje de pérdidas inaceptables.

*Las propiedades físicas de las partículas.* Estos incluyen la adhesión y otros fenómenos de superficie.

*El método de sacudir el tamiz.* El movimiento de tamiz debe minimizar el riesgo de bloqueo de apertura y preferiblemente incluir una acción de sacudidas para eliminar las partículas que se han incrustado en la malla del tamiz.

*Forma de la partícula.* Las partículas alargadas se tamizan más lentamente que las partículas compactas.

*La geometría de la superficie de tamizado (por ejemplo, la zona abierta fraccionada).* Sea o no la partícula pasará el tamiz cuando se presenta en la superficie de tamizado esto dependerá de sus dimensiones y el ángulo en que se presenta.

- La distribución de tamaño dado por la operación de tamizado también depende de:
- Duración de tamizado.
- La variación de la abertura de tamiz.
- Desgaste.
- Los errores de observación y la experimentación.
- Los errores de muestreo.
- Efecto de los diferentes equipos y operación.

#### **2.2.5. Métodos de tamizado**

Las máquinas de tamizado a gran escala, que requiere una carga de 50 a 100 kg de polvo, se utilizan para el rango de tamaño más grueso. Una gama de tamizadoras comerciales están disponibles para los tamices de tamaño de mediana-apertura, y por lo general clasifican el polvo en cinco o seis fracciones, con una carga de 50 a 100 g.

##### **a. Cantidad de muestra**

En la determinación de la cantidad de muestra a ser utilizada, es necesario tener en cuenta el tipo de material, su tamizabilidad, y la gama de tamaños presentes. Dos criterios opuestos deben cumplirse: es necesario el uso de material suficiente para el pesaje exacto y una pequeña muestra, suficiente para que la operación de tamizado se complete en un tiempo razonable.

La tendencia natural es usar una muestra demasiado grande, aunque en la práctica,

cuanto menor sea la muestra, dentro de los límites, más reproducibles serán los datos. Las cantidades recomendadas para tamices de diámetro de 8 pulgadas se exponen en la Tabla 2. 2. Como alternativa, el peso de la muestra puede estar basada en el tamaño medio de partículas, pero esto no se toma en cuenta cuanto más estrecha es la distribución, más pequeña se requiere la muestra.

**Tabla 2. 2** Cantidad de muestra requerido para 8 pulgadas de diámetro tamices

<b>Base</b>	<b>Muestra requerida</b>
<b>Densidad de partícula, g*cm<sup>-3</sup></b>	
<1.5	25
1.5-3.0	50
>3.0	100
<b>Diámetro medio de partícula, mm</b>	
>2	500
2-1	200
1-0.5	100
0.5-0.25	75
0.25-0.075	50
<0.075	25

Fuente: [8]

#### **b. El tamizado a mano**

Lleva mucho tiempo, pero es necesario para obtener datos confiables de tamizado en seco. Se obtiene una muestra representativa y la totalidad de la muestra se utiliza en el análisis. El método preferido de muestreo es con un spinning riffler (Divisores de muestras rotatorios - traducido del inglés) o, en su defecto, un divisor de rampa. Los conos y cuarteo, inducen la segregación y nunca se deben utilizar con polvos que fluyen libremente.

Se recomienda que para una operación de tamizado en seco, que las partículas que distorsionan la muestra sean retiradas antes del análisis de tamiz. Esto se efectúa por pre-tamizado, por lo general a mano, en el tamiz más fino para ser utilizado en el análisis posterior. Si no se hace esto dichas partículas tendrán que pasar a través de toda la pila de tamices, aumentando así el tiempo de la operación de tamizado y aumentar el riesgo de pérdida alta de polvo. Debido a que las partículas pequeñas a menudo se adhieren a las grandes, el pre-tamizado puede llevar a cabo con agua o con algún otro líquido en el que el polvo es insoluble.

El tiempo de tamizado está estrechamente relacionado con la carga del tamiz, una reducción de este último resulta en una reducción de la primera. Es habitual para el análisis de rutina de la máquina de tamizado dejarla funcionar por 20 min.

### c. Máquina tamizadora

Se apilan los tamices en orden de tamaño de la abertura ascendente y la colocación del polvo en el tamiz superior. Una cacerola cerrada y un receptor, se coloca en la parte inferior de la pila para recoger los polvos finos y una tapa se coloca en la parte superior para evitar la pérdida de polvo. Una pila por lo general consta de cinco o seis tamices en una raíz de dos progresiones de tamaño de la abertura. La pila de tamices se sujeta a un agitador de tamiz de ensayo que se hace vibrar durante un tiempo fijo y se determina el peso residual de polvo en cada tamiz. Los resultados se expresan generalmente en la forma de un porcentaje acumulado de la abertura de tamiz nominal.

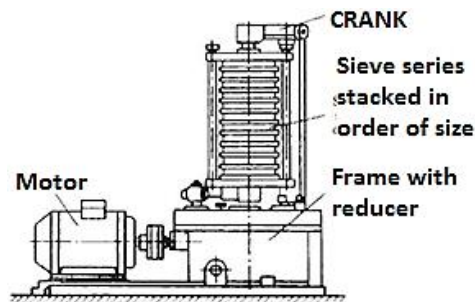


Figura 2. 17 Tamizadora

Fuente: [7]

Los tres elementos esenciales necesarios en la máquina de tamizado son una eficaz acción de tamizado con el fin de que se llegue a un punto final, un tiempo lo más corto posible para alcanzar el punto final y resultados reproducibles.

En general se recomienda que si las pérdidas durante el tamizado superan el 0,5% de la alimentación total, la prueba debe ser desechada. El tamizado manual preliminar sobre el tamiz más fino debe llevarse a cabo para la eliminación de polvo, este polvo, de otro modo pasará a través de todo el conjunto de tamices y prolongará considerablemente el tiempo de tamizado. También se colará entre los tamices en el nido y aumentará la pérdida de polvo.

La acción de tamizado de algunas máquinas comerciales es altamente sospechoso y con frecuencia subsiguiente el tamizado manual producirá una tasa de tamizado mucho mayor que la producida en la máquina. Para la prueba de tamiz vibratorio agitador, se

necesita un movimiento vertical rápido para ayudar a mantener las aberturas clara y evitar deslumbrar. ASTM B 214 sugiere 270 a 300 revoluciones por minuto para materiales granulares en combinación con 140 a 160 golpeteos para reducir el cegamiento de las aberturas del tamiz. Un recinto para el tamiz también puede ser necesario para reducir los niveles de ruido.

#### **d. Tamizado manual en húmedo**

Se lo puede realizar usando tamices de micromalla con un baño ultrasónico a 80 kHz, 40 W que descansen sobre un soporte, que a su vez se apoyan en un vaso de precipitados en el baño. Los intervalos de tamizado son de 2 min con una carga inicial de 1g. El tamizado continúa hasta que no se puede ver polvo adicional pasando a través del tamiz.

El polvo (0,5 a 1g) se dispersa en un volumen pequeño de líquido, y la suspensión se aclara a través del tamiz con un líquido adecuado en un vaso de precipitados de vidrio. El tamizador continúa moviendo el tamiz de arriba a abajo en un vaso de precipitación de vidrio lleno con el mismo líquido de modo que se invierte de forma continua la dirección del flujo a través del tamiz.

Después de un tiempo normalizado se repite la operación utilizando un segundo vaso de precipitados que contiene el líquido de tamizado fresco. El tamizado se considera completo cuando la cantidad que pasa a través del tamiz es visiblemente insignificante.



**Figura 2. 18** Esquema de tamices en serie apilados en orden de tamaño

**Fuente:** [8]

### e. Tamizado por máquina en húmedo

Para el tamizado en húmedo el método es más automatizado, utilizando una pila de tamices se llena con un líquido y la muestra se introduce en el tamiz superior. El tamizado se logra mediante enjuague, vibración, movimiento alternativo de acción, de vacío, ultrasonidos o una combinación.

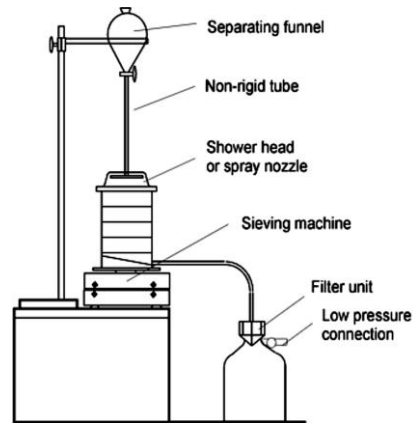


Figura 2. 19 Máquina de tamizado en húmedo Retsch

Fuente: [8]

### f. Tamizado por chorro de aire

El principio de funcionamiento del tamizado por chorro de aire es que el aire es aspirado hacia arriba, a través de un tamiz, de una rendija de rotación para que el material en el tamiz sea fluidizado. Al mismo tiempo se aplica una presión negativa a la parte inferior del tamiz, que elimina las partículas finas a un dispositivo de recogida (papel de filtro). Con esta técnica hay menos tendencia a cegar las aberturas y la acción es muy suave, por lo que es adecuado para polvos quebradizos y frágiles. El tamizado es posible con algunos polvos de hasta 10  $\mu\text{m}$  de tamaño, pero con otros ocurre formación de bolas.

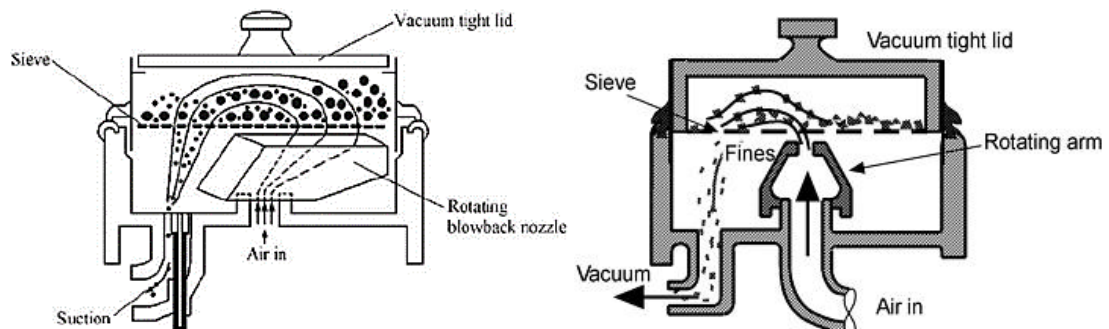
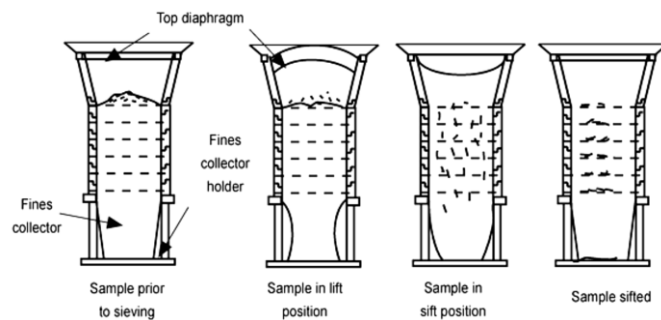


Figura 2. 20 Modo de acción de un tamizado por chorro de aire

Fuente: [8]

### g. Tamizadora sónica

Es capaz de separar las partículas en el intervalo de tamaño de 2000 a 20  $\mu\text{m}$  para la mayoría de materiales y 5660 a 5  $\mu\text{m}$  en algunos casos. Combina dos mociones para proporcionar la separación de partículas, una columna oscilante vertical de aire y un impulso mecánico repetitivo. La tamizadora sónica mueve el aire de la pila de tamices. El aire oscilante coloca la muestra en un movimiento vertical periódico, que reduce el cegado de tamiz y rompe los agregados y sin embargo produce muy poca abrasión, lo que reduce el desgaste y la rotura de partículas de tamiz.



**Figura 2. 21** Modo de acción de la tamizadora sónica

**Fuente:** [8]

### Preparación de la muestra

El muestreo preciso es extremadamente difícil. El elemento principal del muestreo preciso es el tema de la segregación. Si el polvo se compone de partículas individuales de un solo tamaño (es decir, no la distribución real), los efectos de la segregación son mínimos. En el mundo real, sin embargo, en la mayoría de los polvos existen distribuciones de tamaños de partículas. La segregación se lleva a cabo de tal forma que las partículas finas se establecen a través de los espacios formados entre las partículas más grandes. Los tamaños de partícula diferentes en una mezcla causan la segregación [8].

#### 2.2.6. Diseño mecánico

##### 2.2.6.1. Equilibrio en un cuerpo rígido

#### Reacciones de los soportes

Si un soporte previene la traslación de un cuerpo en una dirección dada, entonces una fuerza es desarrollada sobre el cuerpo en esa dirección; igualmente, si una rotación es prevenida, sobre el cuerpo se ejercerá un momento de par. El Anexo 1 presenta los

tipos comunes de soportes para cuerpos sometidos a sistemas coplanares de fuerzas [10].

### 2.2.6.2. Vibraciones mecánicas

#### Trabajo consumido en un resorte

En la Figura 2. 22 se muestra un modelo de sistema físico común para el que la fuerza varía con la posición. Un bloque sobre una superficie horizontal sin fricción se conecta a un resorte. Para muchos resortes, si el resorte está estirado o comprimido una distancia pequeña desde su configuración sin estirar (en equilibrio), ejerce en el bloque una fuerza.

$$F_x = -kx \quad (1)$$

Dónde:  $x$  es la posición del bloque en relación con su posición de equilibrio ( $x = 0$ ) y  $k$  es una constante positiva llamada constante de fuerza o constante de resorte del resorte [11].

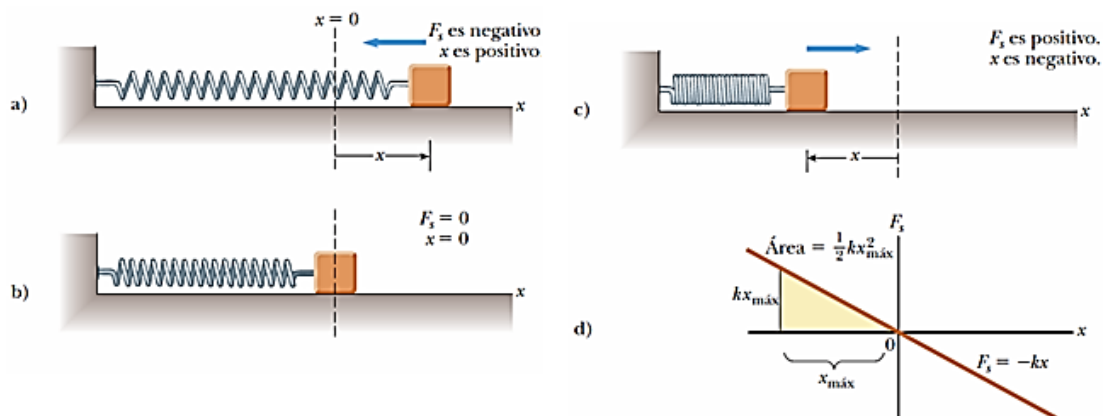


Figura 2. 22 Comportamiento del resorte

Fuente: [11]

La fuerza que se requiere para estirar o comprimir un resorte es proporcional a la cantidad de estiramiento o compresión  $x$ . Esta ley de fuerza para resortes se conoce como ley de Hooke. El valor de  $k$  es una medida de la rigidez del resorte. Los resortes rígidos tienen grandes valores  $k$ , y los resortes suaves tienen pequeños valores  $k$  cuyas unidades son N/m.

### 2.2.6.3. Cinemática rotacional

Cuando un objeto rígido da vueltas respecto a un eje fijo se somete a una aceleración angular constante. Por lo que, se genera un nuevo modelo de análisis para movimiento



rotacional llamado objeto rígido bajo aceleración angular constante. Este modelo es el análogo rotacional del modelo de partícula bajo aceleración constante [11].

$$w_f = w_i + \alpha t \quad (2)$$

#### 2.2.6.4. Momento de torsión

Cuando se ejerce una fuerza en un objeto rígido que se articula en torno a un eje, el objeto tiende a dar vuelta en torno a dicho eje Figura 2. 23. La tendencia de una fuerza a dar vuelta un objeto en torno a cierto eje se mide mediante una cantidad llamada momento de torsión. La fuerza  $F$  tiene una mayor tendencia de rotación en torno a un eje a través de  $O$  a medida que  $F$  aumenta y a medida que el brazo de momento  $d$  aumenta. La componente  $F \text{ sen}\phi$  tiende a dar vueltas la llave en torno a  $O$  [11].

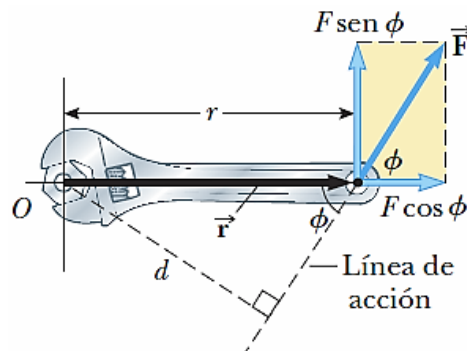


Figura 2. 23 Grafica de momento de torsión

Fuente: [11]

$$\tau = rF \text{sen}\phi = Fd \quad (3)$$

#### Objeto rígido bajo un momento de torsión neto

El momento de torsión neto en torno al eje de rotación es proporcional a la aceleración angular del objeto, con un factor de proporcionalidad  $I$ , una cantidad que depende del eje de rotación y del tamaño y la forma del objeto. La ecuación (4) es la representación matemática del modelo de análisis de un objeto rígido bajo un momento de torsión neto, el análogo rotacional a la partícula bajo una fuerza neta.

$$\sum \tau = I\alpha \quad (4)$$

El resultado de  $\sum \tau$  también se aplica cuando las fuerzas que actúan sobre los elementos de masa tienen componentes radiales así como componentes tangenciales. Esto es porque la línea de acción de todas las componentes radiales debe pasar a través del eje de rotación; en consecuencia, todas las componentes radiales producen momento de

torsión cero en torno a dicho eje [11].

Igualando las ecuaciones ( 3 ) y ( 4 ) obtenemos que.

$$\sum \tau = I\alpha + Fd \quad ( 5 )$$

#### 2.2.6.5. Vibraciones del elemento mecánico

Un sistema mecánico presenta un movimiento periódico cuando la fuerza que actúa en el objeto es proporcional a la posición del objeto relativo con alguna posición de equilibrio. Si esta fuerza siempre se dirige hacia la posición de equilibrio, el movimiento se llama movimiento armónico simple [11].

$$w_o = \sqrt{\frac{k}{m_{total}}} \quad ( 6 )$$

$$y_{max} = \frac{Fl^3}{192EI} \quad ( 7 )$$

Donde:

$y_{max}$ : Deformación máxima en y.

$w_o$ : Frecuencia angular.

#### 2.2.6.6. Potencia y eficiencia del motor

Un motor eléctrico es una máquina que transforma potencia eléctrica tomada de la red en potencia energía mecánica en el eje.

La potencia mecánica obedece a la siguiente relación

$$P_M = \frac{\tau W}{9550} \text{ (kW)} \quad ( 8 )$$

Donde:

P: Potencia en kW

T: torque en Nm El torque es la capacidad del motor de hacer girar cargas.

n: velocidad en rpm

Al seleccionar un motor, lo primero que se debe considerar es cuál es la velocidad de rotación y cuál será el torque requerido del motor. Estos datos normalmente deben ser suministrados por el proyectista mecánico. La potencia del motor será entonces una consecuencia de los dos factores anteriores.

### **2.2.6.7. Dimensionamiento de bandas y poleas**

#### **Transmisiones por bandas en V**

Para especificar una banda en V, se proporciona la letra de sección de la banda, seguida por la circunferencia interior en pulgadas.

Con frecuencia, los cálculos implicados en la longitud de la banda se basan en la longitud de paso. Para cualquier sección de banda dada, la longitud de paso se obtiene sumando una cantidad a la circunferencia interior. De manera semejante, los cálculos de las relaciones de velocidad se realizan mediante los diámetros de paso de las poleas, razón por la cual por lo general se entiende que los diámetros indicados son diámetros de paso, aunque no siempre se especifican así.

El ángulo de la ranura de una polea se hace un poco menor que el de la sección de la banda. Esto provoca que la banda se calce por sí misma en la ranura, lo que incrementa la fricción.

Para obtener mejores resultados, una banda en V debe funcionar muy rápido, una buena velocidad son 20.32 m/s (4 000 pies/min). Pueden surgir problemas si la banda funciona con velocidad mayor a los 25.4 m/s (5 000 pies/min) o mucho menor que 5.08 m/s (1 000 pies/min).

No es recomendable grandes distancias entre los centros para bandas en V porque la vibración excesiva del lado flojo reducirá la vida de la banda. En general, la distancia entre centros no deberá ser mayor que tres veces la suma de los diámetros de la polea y no debe ser menor que el diámetro de la polea mayor. Las bandas en V de tipo eslabón experimentan menos vibraciones, debido al mejor equilibrio, así que se pueden usar para distancias entre centros más grandes [12].

#### **Diseño de transmisiones por bandas en V.**

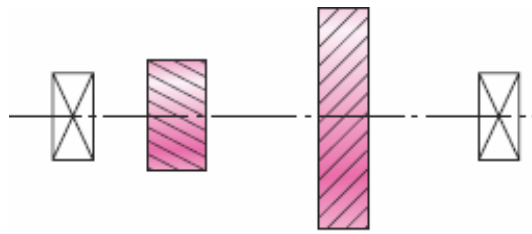
Los datos básicos necesarios para seleccionar la transmisión son.

- La potencia especificada del motor o máquina motriz.
- El factor de servicio, con base en el motor y la carga impulsada.
- La distancia entre centros.
- La capacidad de potencia de la banda, en función del tamaño y la velocidad de la polea menor.

- La longitud de la banda.
- El tamaño de las poleas motriz y conducida.
- El factor de corrección por longitud de banda.
- El factor de corrección por ángulo de contacto de la polea menor.
- El número de bandas.
- La tensión inicial sobre la banda [13].

#### 2.2.6.8. Diseño de ejes

El diseño se debe iniciar con un acero de bajo o medio carbono de bajo costo. Si la resistencia domina sobre la deflexión, entonces se debe probar un material con mayor resistencia, esto permite reducir el tamaño del eje. La Figura 2. 24 representa un eje montado entre dos rodamientos.



**Figura 2. 24** Representación de un eje montado con 2 engranes y dos rodamientos

**Fuente:** [12]

#### Diseño de ejes para el esfuerzo

##### Ubicaciones críticas

Ya que la mayoría de ejes incorporan engranes o poleas que inducen a fuerzas en dos planos, los diagramas de momento cortante y flexionante serán en dos planos. Los momentos resultantes se obtienen al sumar momentos como vectores en los puntos de interés a lo largo del eje.

Los esfuerzos axiales sobre los ejes, debidos a componentes axiales transmitidos a través de engranes helicoidales o cojinetes ahusados de rodillo, casi siempre son despreciables en comparación con el esfuerzo de momento flexionante. A menudo son constantes, por lo que contribuyen poco a la fatiga. En consecuencia, por lo general resulta aceptable despreciar los esfuerzos axiales inducidos por los engranes y cojinetes cuando hay flexión presente en un eje. Si se aplica una carga axial al eje de alguna otra manera, no es seguro suponer que es despreciable sin verificar las

magnitudes [12].

### 2.2.6.9. Cálculo de rodamientos

Los rodamientos rígidos de bolas pueden soportar cargas radiales moderadas, así como cargas axiales. Tienen una baja fricción y pueden ser fabricados con una gran precisión y con un diseño de funcionamiento silencioso. Por tanto, estos rodamientos son los preferidos para los motores eléctricos de tamaño pequeño y mediano [14].

#### Cargas: Magnitud de la carga

La magnitud de la carga es uno de los factores que determinan el tamaño del rodamiento a utilizar. Los rodamientos de bolas son los más utilizados cuando las cargas son ligeras o moderadas Figura 2. 25. Para cargas elevadas y ejes de gran diámetro, la elección mas adecuada son los rodamientos de rodillos.

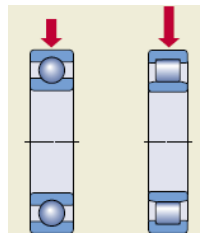


Figura 2. 25 Magnitud de carga en rodamiento de bolas y rodillo

Fuente: [14]

#### Sentido de la carga: Carga combinada

Una carga combinada consta de una carga radial y una carga axial que actúan simultáneamente.

Para las cargas combinadas, se usan principalmente los rodamientos de una y de dos hileras de bolas con contacto angular y los rodamientos de una hilera de rodillos cónicos, aunque los rodamientos rígidos de bolas y los rodamientos de rodillos a rótula también son adecuados Figura 2. 26.

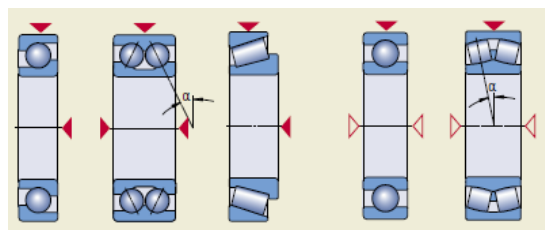


Figura 2. 26 Cargas axial y radial aplicadas a diferentes rodamientos

Fuente: [14]

## Selección del tipo de rodamiento

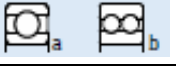
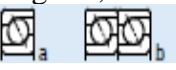



La Tabla 2. 3 indica la pre-selección de rodamientos, de donde sobresalen las siguientes características con su respectiva valoración.

### Símbolos:

+++ excelente  
 ++ bueno  
 + aceptable  
 - pobre

-- inadecuado  
 ← de simple efecto  
 ↔ de doble efecto

**Tabla 2. 3** Matriz para una orientación aproximada en la selección de rodamientos.

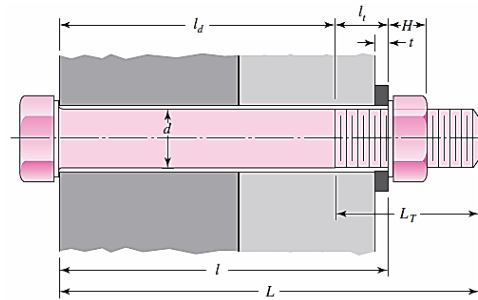
Tipo de rodamiento	Características							
	carga combinada	carga de momento	alta velocidad	alta exactitud de giro	baja fricción	compensación de desalineación	disposiciones de rodamientos fijos	desplazamiento axial en el rodamiento
Rodamientos rígidos de bolas. 	+ ↔	a - b +	a +++ b +	a +++ b +	+++	-	++ ↔	--
Rodamientos de bolas con contacto angular, de una hilera. 	++ ↑	-	a ++ b +	a +++ b ++	a ++ b +	-	++ ↑	--
de una hilera apareados, de dos hileras 	++ ↔	+	+	++	+	--	++ ↔	--
de cuatro puntos de contacto. 	+ ↔	+	++	+	+	--	++ ↔	--
Rodamientos de bolas a rótula. 	-	--	+++	++	+++	+++	+ ↔	--

Fuente: [14]

### 2.2.6.10. Selección de pernos

Un perno es un sujetador con rosca diseñado para pasar por orificios en los miembros unidos y asegurarse al apretar una tuerca desde el extremo opuesto a la cabeza del perno Figura 2. 27. En la mayoría de las máquinas estos son de acero por su alta resistencia, gran rigidez y buena facilidad de maquinado y formal. Pero se pueden usar diferentes posiciones y condiciones del acero. La resistencia de los aceros para pernos

se usa para determinar su grado. Con frecuencia se dispone de tres capacidades de resistencia: la resistencia a la tensión, resistencia en fluencia y el límite elástico que se le define como el esfuerzo al cual un perno surgirá una deformación permanente [13].

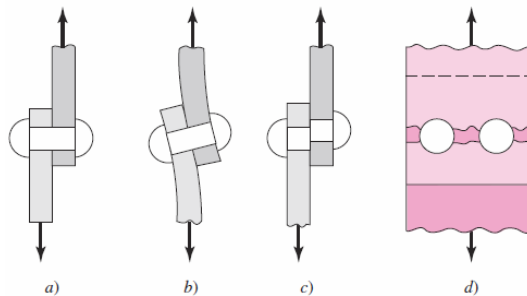


**Figura 2. 27** Perno y tuerca acotadas

Fuente: [12]

### Uniones con pernos y remaches cargadas en cortante

Las uniones con pernos y remaches están sujetas a carga cortante se consideran exactamente igual en el diseño y el análisis. En la Figura 2. 28 se indican las fallas de a) conexión con remaches sujeta a carga cortante, b) falla por flexión del remache de los elementos remachados, c) falla del remache por cortante puro, d) falla de tensión de los elementos



**Figura 2. 28** Tipos de fallas

Fuente: [12]

En una unión con pernos, el cortante es tomado por la fricción de sujeción y no existe el aplastamiento. Cuando se pierde la precarga, un perno comienza a soportar el cortante y el aplastamiento, hasta que la fluencia ocasiona poco a poco que otros sujetadores compartan el cortante y el aplastamiento. Por último, todos los sujetadores participan, así que ésta es la base de la mayoría de los análisis de una unión con pernos si la precarga se pierde por completo.

## **CAPÍTULO III.**

### **DISEÑO DEL PROYECTO**

#### **3.1. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

De acuerdo a estudios bibliográficos, las alternativas de diseño se limitan en cuanto al material a ensayar y la densidad de éste.

Con la finalidad de seleccionar un diseño adecuado, se realizara el análisis cuantitativo de parámetros importantes a considerar para cada una de las alternativas, con lo que se pretende filtrar información y llegar a un diseño óptimo de construcción. Los parámetros a considerar son: criterios técnicos, mecánicos, de mercado, de construcción y de mantenimiento. Los cuales a su vez contienen ítems característicos de cada uno.

Para la evaluación se toma una escala del 100% (1) y se divide para los 5 parámetros, dándoles a cada uno el mismo peso dentro de la evaluación. Asimismo el valor designado para cada criterio (0,2) es dividido para cada número de ítems que estos contenga.

##### **Criterios técnicos (0,2)**

- Configuración para tamices de 8” de diámetro por 2” de alto.
- Oscilaciones entre 270 – 300 rpm.
- Número de golpes entre 140 – 160 golpes por minuto.
- Tamices con mallas entre N°20 – N°325. (850µm – 45 µm).
- Para ensayo en polvos metálicos.
- Tamizado en seco.
- Tamizado en húmedo.

##### **Criterios mecánicos (0,2)**

- Disponibilidad de equipos complementarios.
- Afectaciones de oscilaciones al entorno.
- Selección del motor.



**Criterios de mercado (0,2)**

- Disponibilidad.
- Accesibilidad.

**Criterio de construcción (0,2)**

- Diseño.
- Acceso a equipos.

**Criterio de mantenimiento (0,2)**

- Accesibilidad a maquinaria.
- Disponibilidad de repuestos.

La calificación estará dada en forma porcentual, a partir de una escala que permitirá evaluar matemáticamente la mejor alternativa. Ya que los criterios son diferentes se utilizan 2 tipos de escalas de valoración: Excelente (4), Bueno (3), Regular (2), y Deficiente (1) para los criterios técnicos y de mercado; Fácil (4), Media (3), Difícil (2) y Muy difícil (1) para los criterios mecánicos, de construcción y de mantenimiento de tallados en la Tabla 3. 1.

**Tabla 3. 1** Escala de valoración

<b>Escala de valoración</b>		
<b>Criterios</b>	<b>Calificación</b>	<b>Puntuación</b>
Técnicos	Excelente	4
	Bueno	3
De mercado	Regular	2
	Deficiente	1
Mecánicos	Fácil	4
	Media	3
De construcción	Difícil	2
	Muy difícil	1
De Mantenimiento		

**Fuente:** Autor

Tabla 3. 2 Puntuación alternativas de diseño

CRITERIOS \ PARÁMETROS	Tamizadoras						
	Horizontal Superior	Horizontal Inferior	Vibratoria	Manual	Robótica	Chorro de aire	Ultrasonido
<b>Técnicos. (0.029)</b>							
Configuración para tamices de 8" de diámetro por 2" de alto.	4	4	4	4	4	2	4
Oscilaciones entre 270 – 300 rpm.	4	4	4	2	4	1	1
Número de golpes entre 140 – 160 golpes por minuto.	4	3	4	2	4	1	1
Tamices con mallas entre N°20 – N°325. (850µm – 45 µm)	4	2	4	4	4	1	4
Para ensayo en polvos metálicos.	4	3	4	3	4	4	4
Tamizado en seco	4	4	4	4	4	4	4
Tamizado en húmedo	2	2	4	2	4	3	4
<b>Subtotal sobre 28</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	<b>21</b>	<b>28</b>	<b>16</b>	<b>22</b>
<b>Subtotal sobre 0,2</b>	<b>0,19</b>	<b>0,16</b>	<b>0,20</b>	<b>0,15</b>	<b>0,20</b>	<b>0,11</b>	<b>0,16</b>
<b>Mecánicos. (0.067)</b>							
Disponibilidad de equipos complementarios.	4	4	2	4	1	2	2
Afectaciones de oscilaciones al entorno	2	3	1	4	1	0	0
Selección del motor.	3	3	2	4	1	2	0
<b>Subtotal sobre 12</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Subtotal sobre 0,2</b>	<b>0,15</b>	<b>0,17</b>	<b>0,08</b>	<b>0,20</b>	<b>0,05</b>	<b>0,07</b>	<b>0,03</b>
<b>Mercado. (0.1)</b>							
Disponibilidad	2	4	2	0	2	3	2
Accesibilidad	2	2	2	0	1	2	1
<b>Subtotal sobre 8</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Subtotal sobre 0,2</b>	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>	<b>0,10</b>	<b>0,00</b>	<b>0,08</b>	<b>0,13</b>	<b>0,08</b>
<b>Construcción. (0.1)</b>							
Diseño.	3	4	3	0	1	2	1
Acceso a equipos.	3	3	2	0	1	2	1
<b>Subtotal sobre 8</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Subtotal sobre 0,2</b>	<b>0,15</b>	<b>0,18</b>	<b>0,13</b>	<b>0,00</b>	<b>0,05</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>
<b>Mantenimiento. (0.1)</b>							
Accesibilidad a maquinaria.	3	4	3	0	2	2	2
Disponibilidad de repuestos.	4	4	3	0	1	3	1
<b>Subtotal sobre 8</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Subtotal sobre 0,2</b>	<b>0,18</b>	<b>0,20</b>	<b>0,15</b>	<b>0,00</b>	<b>0,08</b>	<b>0,13</b>	<b>0,08</b>
<b>Total con factor multiplicador</b>	0,76	0,85	0,66	0,35	0,45	0,53	0,39
<b>Total porcentual (%)</b>	<b>76</b>	<b>85</b>	<b>66</b>	<b>35</b>	<b>45</b>	<b>53</b>	<b>39</b>

Fuente: Autor

### **Análisis e interpretación de datos**

De acuerdo a la escala de valoración los subtotales de los criterios quedan como se presenta a continuación: Técnicos 28/28, Mecánicos 12/12, Mercado 8/8, Construcción 4/4 y Mantenimiento 4/4 cuyo valor representativo para la selección es de 0,2 cada uno.

Para selección del tipo de tamizadora los valores totales son: Tamizadora horizontal superior 76%, Tamizadora horizontal inferior 85%, Tamizadora vibratoria 66%, Tamizadora manual 35%, Tamizadora robótica 45%, Tamizadora por choro de aire 53%, Tamizadora ultrasónica 39%.

Se selecciona la tamizadora horizontal inferior ya que este obtiene el porcentaje más alto con un 85% sobre las otras tamizadoras. La Tabla 3. 3 indica las características mas relevantes de esta tamizadora.

**Tabla 3. 3** Características relevantes de la tamizadora horizontal inferior

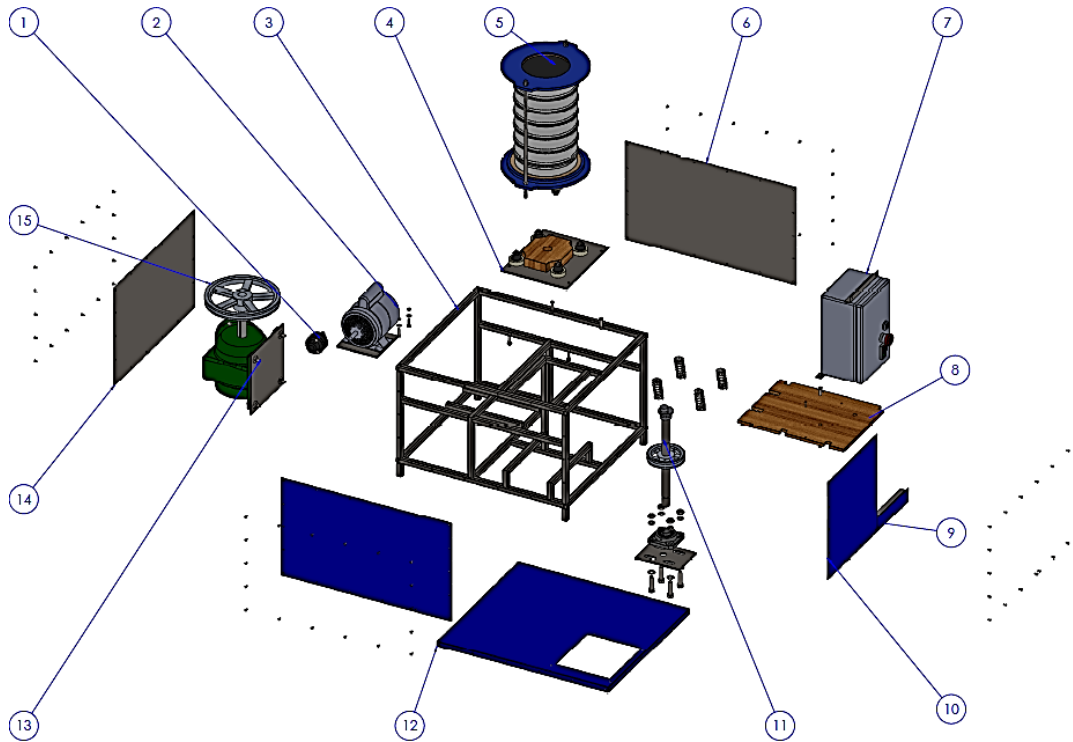
Tamices de 8" y 12" de diámetro.
Oscilaciones por minuto 50 – 300 rpm.
Malla de tamiz hasta N° 325 (45 µm).
Rotación de fase de tamiz 12 por minuto.

**Fuente:** Autor

### **3.2. CÁLCULOS O MODELO OPERATIVO**

Para el diseño de la tamizadora de laboratorio se realizó primero una selección de alternativas seguido de una modelación en un programa CAD con la finalidad de desarrollar los cálculos de cada uno de sus componentes. El proceso de cálculo se lleva a cabo en secuencia, ya que los datos encontrados al principio son importantes para los cálculos posteriores.

En la Figura 3. 1 se indican los componentes de la tamizadora de laboratorio horizontal con accionamiento inferior en secuencia horaria. Este orden es solo el de la ubicación de los componentes mas no el orden de cálculo. Debido al tamaño de la tamizadora, se han agrupado los diferentes componentes en subconjuntos.



**Figura 3. 1** Tamizadora de laboratorio para polvos metálicos vista explosionada

**Fuente:** Autor

En la Tabla 3. 4 se listan los subconjuntos y elementos más importantes de la tamizadora, los cuales para su diseño son analizados a continuación.

**Tabla 3. 4** Listado de componentes de la tamizadora

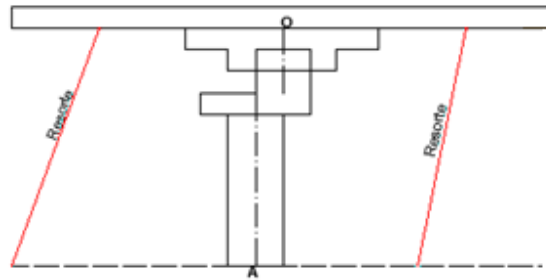
Número	Nombre
1	Acoplamiento motor – reductor
2	Conjunto motor
3	Estructura
4	Conjunto placa superior
5	Conjunto soporte tamices
6	Chapa lateral
7	Conjunto caja de control
8	Placa de apoyo – caja de control
9	Chapa frontal – caja de control
10	Chapa frontal – poleas
11	Conjunto eje conducido
12	Chapa superior
13	Conjunto reductor de velocidad
14	Chapa posterior
15	Polea 10x1 ECUAPOLEA

**Fuente:** Autor

Ya que la norma indica los datos de salida se procede a realizar el análisis desde el eje conducido hacia el eje motriz.

### 3.2.1. Determinación del torque para el resorte

Es necesario conocer como primer dato el torque al que es sometido el soporte de tamices así con su carga máxima y la fuerza de los resortes que lo mantienen en equilibrio. En la Figura 3. 2 se indica la sección que se analiza primero, siendo ésta la parte en la que el eje conducido se une con la excéntrica y el soporte de tamices dejando una distancia entre la base del soporte de tamices y la mesa donde se ubique el resorte.



**Figura 3. 2** Esquema del eje conducido con el soporte de tamices

**Fuente:** Autor

#### Datos:

Masa del soporte con tamices (m) = 12.83 kg

Inercia del soporte con tamices (I) = 0.148 kg\*m<sup>2</sup>

Velocidad angular (w) = 276 rpm

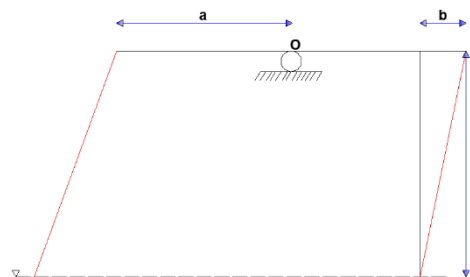
Distancias:

a = 83.2\*10<sup>-3</sup> m

b = 12.7\*10<sup>-3</sup> m

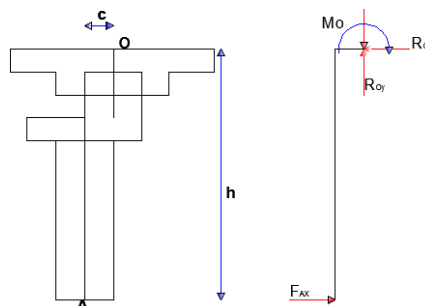
c = 12.7\*10<sup>-3</sup> m

h = 0.1136 m



#### a) Análisis del eje conducido

La Figura 3. 3 Indica el diagrama de cuerpo libre de la parte del eje a ser analizada.



**Figura 3. 3** Esquema del eje y DCL (diagrama de cuerpo libre)

**Fuente:** Autor

### Peso del soporte de tamices (W)

$$W = mg \quad (9)$$

$$W = (12.83)(9.81)$$

$$W = 125.86 \text{ N}$$

### Momento en O (Mo)

$$M_o = Wc \quad (10)$$

$$M_o = (125.86)(12.7 \times 10^{-3})$$

$$M_o = 1.60 \text{ Nm}$$

### Ecuaciones de equilibrio

$$\sum M_A = 0 \quad (11)$$

$$R_{Ox} = \frac{M_o}{h} = \frac{1.60}{0.1136}$$

$$R_{Ox} = 14.07 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \quad (12)$$

$$R_{Oy} = W$$

$$R_{Oy} = 125.86 \text{ N}$$

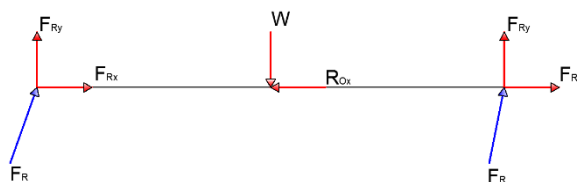
$$\sum F_x = 0 \quad (13)$$

$$F_{Ax} = R_{Ox}$$

$$F_{Ax} = 14.07 \text{ N}$$

### b) Análisis del soporte con resortes

Con el soporte de tamices en su punto más lejano al origen se determina la longitud máxima ha de tener el resorte así como la fuerza (representada en la Figura 3. 4) que éste tiene y su constante “k” para la selección en catálogos.



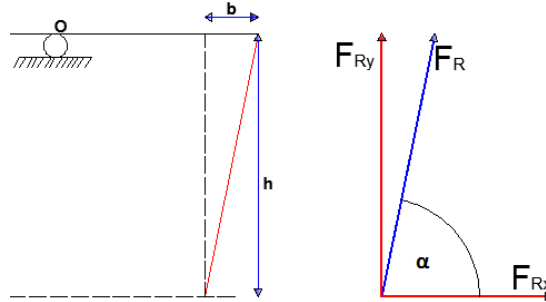
**Figura 3. 4** DCL del esquema del eje con el soporte de tamices

**Fuente:** Autor

### Cálculo de los componentes de $F_R$

Para este cálculo se selecciona solo un punto donde va colocado el resorte Figura 3. 5 y se lo multiplica para el número de resortes, ya que las distancias son iguales.

$$F_R = 2kx \quad (14)$$



**Figura 3. 5** Dimensiones de la fuerza  $F_R$  y DCL

**Fuente:** Autor

### Cálculo del ángulo ( $\alpha$ )

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{h}{b} \right) \quad (15)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{(113.6)(10^{-3})}{(12.7)(10^{-3})} \right)$$

$$\alpha = 83.62^\circ$$

$$F_{Rx} = F_R \cos \alpha \quad (16)$$

$$F_{Ry} = F_R \sin \alpha \quad (17)$$

### Cálculo de longitudes ( $L_{FR}$ )

$$L_{FR} = \sqrt{h^2 + b^2} \quad (18)$$

$$L_{FR} = \sqrt{((113.6)(10^{-3}))^2 + ((12.7)(10^{-3}))^2}$$

$$L_{FR} = (115.04)(10^{-3}) \text{ m}$$

$$x = L_{FR} - L \quad (19)$$

$$x = (114.30)(10^{-3}) - (100)(10^{-3})$$

$$x = (14.30) * (10^{-3}) \text{ m}$$

### Ecuaciones de equilibrio

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{Ry} = \frac{W}{2} = \frac{125.86}{2}$$

$$F_{Ry} = 62.93 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{Rx} = \frac{R_{Ox}}{2} = \frac{14.07}{2}$$

$$F_{Rx} = 7.035 \text{ N}$$

### Verificación:

Usando la ecuación ( 16 ) y ( 17 ) y despejando  $F_R$  se obtiene:

$$F_R = \frac{F_{Rx}}{\cos \alpha} = \frac{7.035}{\cos 83.62^\circ} \qquad F_R = \frac{F_{Ry}}{\sin \alpha} = \frac{62.93}{\sin 83.62^\circ}$$

$$F_R = 63.308 \qquad \cong \qquad F_R = 63.322$$

$$\therefore F_R = 63.32 \text{ N}$$

### Cálculo de la constante del resorte (k)

Usando la ecuación ( 14 ) y despejando k se obtiene:

$$k = \frac{F_R}{2x} = \frac{63.32}{(2)(14.30)(10^{-3})}$$

$$k = 2.21 \text{ kN/m}$$

Con el valor de la constante del resorte (k) se selecciona un resorte cuya constante sea aproximado al valor calculado. De acuerdo a lo que indica el Anexo 3 se determinan las características más importantes para el diseño del resorte, las mismas que se anotan en la Tabla 3. 5:

**Tabla 3. 5** Especificaciones del resorte seleccionado

<b>Especificaciones</b>	
Constante	2.21 N/mm
Diámetro Exterior	34.493 mm
Diámetro de Alambre	2.489 mm
Carga a Longitud Sólida	202.161 N
Longitud sin Carga	109.982 mm
Espiras Activas	5.5
Vueltas	7.5

**Fuente:** Autor



### 3.2.2. Cálculo de la potencia del sistema

#### a) Cálculo de la aceleración angular ( $\alpha$ )

De acuerdo a las ecuaciones de cinemática rotacional se obtiene.

$$w_f = w_i + \alpha t \quad (20)$$

Donde:

$w$  es la velocidad angular del sistema en rad/s y

$t$  es el tiempo de encendido del motor en segundos.

$$w_f = 276 \text{ rev/min} = 28.9 \text{ rad/s}$$

$$t = 0.32 \text{ s}$$

Ya que el sistema parte del reposo  $w_i$  es igual a 0. Conociendo estos datos y despejando la aceleración angular se obtiene.

$$\alpha = \frac{w_f}{t} = \frac{28.9}{0.32}$$

$$\alpha = 90.31 \text{ rad/s}^2$$

#### b) Cálculo del torque ( $\tau$ )

De acuerdo a las ecuaciones de momento torsor se obtiene.

$$\sum \tau = I\alpha + Fd \quad (5)$$

$$\tau = I\alpha + 2(F_{RX} a)$$

Donde:

$I$ : inercia del soporte con tamices

$\alpha$ : aceleración angular del sistema

$F_{RX}$ : componente de la fuerza del resorte en  $x$

$a$ : distancia entre el origen y el resorte.

$$\tau = (0.148)(90.31) + 2((7.035)(83.2)(10^{-3}))$$

$$\tau = 14.54 \text{ Nm}$$

#### c) Cálculo de la potencia mecánica del motor ( $P_M$ )

$$P_M = \frac{\tau(\text{Nm})W(\text{rpm})}{9550} (\text{kW}) \quad (8)$$

$$P_M = \frac{(14.54)(276)}{9550}$$

$$P_M = 0.42 \text{ (kW)} = 0.56 \text{ Hp} \cong \left( \frac{1}{2} \text{ a } \frac{3}{4} \text{ Hp} \right)$$

Los resultados más relevantes del cálculo de la potencia del sistema, se indican a continuación en la Tabla 3. 6:

**Tabla 3. 6** Tabla de resumen - Cálculo de la potencia del sistema

Momento en O (Mo):	1.60 Nm
Dimensiones del resorte:	Diámetro interior 39.991 mm, diámetro del alambre 2.489 mm
Torque ( $\tau$ ):	14.54 Nm.
Potencia mecánica del motor (PM):	0.4kW (0.56 HP)
Momento en O (Mo):	1.60 Nm

Fuente: Autor

### 3.2.3. Selección del sistema de transmisión

Con base en la selección de alternativas se tomó la decisión de realizar de diseñar un sistema de transmisión por correas, considerando los siguientes valores fijos.

#### Datos

Velocidad angular ( $n_2$ ) = 276 rpm

Potencia mecánica del motor ( $P_M$ ) =  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{3}{4}$  Hp

#### a) Relación de transmisión (k)

Se considera un  $n_1$  de 1750 rpm que es comúnmente la velocidad que entregan los motores eléctricos comerciales.

Aplicando la fórmula de relación de transmisión de Robert L. Mott [13] resulta que.

$$k = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (21)$$

El catálogo de Oleostatic [16] indica que el diámetro mínimo recomendado para poleas es de 60 mm por lo tanto  $D_2 = 60$  mm.

$$k = \frac{1750}{276}$$

$$k = 6.34 \cong 6$$

Despejando  $D_1$  se obtiene

$$D_1 = kD_2$$

$$D_1 = (6)(60) = 360 \text{ mm}$$

El diámetro de la polea motriz es muy amplio por lo que se ha de utilizar un reductor de velocidad para disminuir velocidad angular de entrada del motor.

### b) Selección del reductor de velocidad

Con la relación de transición  $k = 6$  se recomienda el uso de un reductor de velocidad de proporción 6. Debido a la poca disponibilidad en el mercado de reductores de velocidad se ha seleccionado una cuya proporción es de 12.7 y tiene 138 rpm de salida por lo que el sistema será de un multiplicador de velocidad. De acuerdo al Anexo 4 las características más importantes de este son:

**Tabla 3. 7** Datos técnicos del reductor de velocidad

<b>Reductor de velocidad DODGE MASTER XL</b>	<b>Proporción</b>		12.7			
	<b>Entrada de rpm</b>		1750			
	<b>Datos de calificación</b>	Velocidad de salida	Salida de torque	Potencia de salida (Max.)	Potencia de entrada (Max.)	Sobrecarga del eje de salida
	<b>S. Ingles</b>	138 rpm	257 lb-in	0.56 HP	0.69 HP	385
	<b>S.I.</b>	14.45 rad/s	29.04 Nm	0.42 kW	0.51 kW	
	<b>Tamaño de marco</b>		56C			
	<b>Número de parte</b>		M60803			

**Fuente:** [17]

Los cojinetes del Reductor de velocidad DODGE MASTER XL son de tipo rodillo cónico y de bola, y proporcionan una vida media de 25.000 horas como mínimo. Los cojinetes del eje de salida son de rodamientos de rodillos resistentes para una alta capacidad de carga radial [17].

Con estos valores finalmente se tiene que  $n_1 = 138 \text{ rpm}$ ,  $n_2 = 276 \text{ rpm}$

$$k = \frac{n_1}{n_2} = \frac{138}{276}$$

$$k = \frac{1}{2}$$

Se determina que es un multiplicador de velocidad ya que el valor de la relación de transmisión es menor a la unidad.

Los resultados más relevantes de la selección del sistema de transmisión se indican a continuación en la Tabla 3. 8:

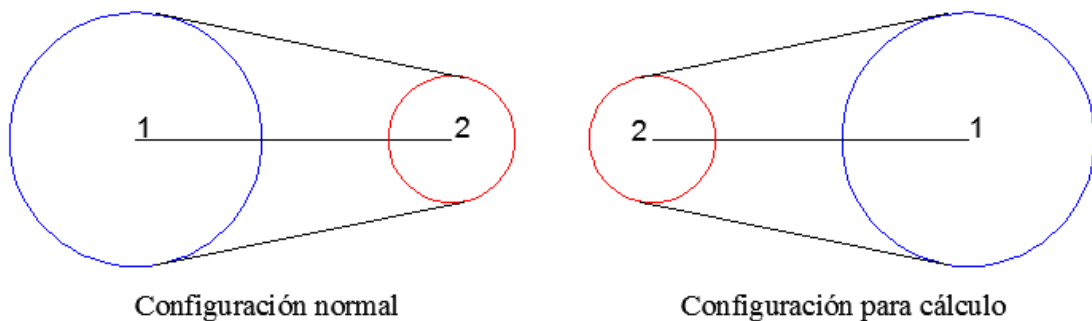
**Tabla 3. 8** Tabla de resumen - Selección del sistema de transmisión

Multiplicador de velocidad:	Relación de transmisión (k): $\frac{1}{2}$
Reductor de velocidad:	DODGE MASTER XL de proporción 12.7.

Fuente: Autor

### 3.2.4. Dimensionamiento de bandas y poleas

Para el cálculo del dimensionamiento de bandas se toma la potencia de salida máxima ( $P_M$ ) que entrega el reductor de velocidad MASTERS XL M60803. Ya que solo existen cálculos para reductores y no para multiplicadores de velocidad, se cambió el sentido de cálculo Figura 3. 6.



**Figura 3. 6** Posiciones de las poleas.

Fuente: Autor

#### Datos:

Potencia mecánica ( $P_M$ ) = 0.42 kW

Velocidad angular entrada ( $n_1$ ) = 138 rpm

Velocidad angular de salida ( $n_2$ ) = 276 rpm

#### a) Potencia corregida ( $P_C$ )

$$P_C = P_M C_c \quad (22)$$

Con Coeficiente de corrección ( $C_c$ ) = 1.1 Fuente: Anexo 5

$$P_C = (0.42)(1.1)$$

$$P_C = 0.462 \text{ kW}$$

**b) Selección del tipo de correa**

Con  $P_C = 0.462$  kW y  $n_2 = 276$  rpm

Correa Tipo A Anexo 6

**c) Diámetro aconsejado de la polea ( $D_2$ )**

Tipo A – Diametro menor  $D_2 = 125$  mm

\*\* Aconsejado muy especialmente Anexo 7

**d) Relación de transmisión**

Debido al cambio de sentido en la dirección del cálculo se tiene que:

$$k = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2} \quad (23)$$

Despejando para  $D_1$

$$D_1 = D_2 \frac{n_2}{n_1} = (125) \left( \frac{276}{138} \right)$$

$$D_1 = 250 \text{ mm}$$

\*\* Aconsejado muy especialmente Anexo 7

**e) Longitud primitiva de las correas ( $C$ )**

Si las distancias entre ejes  $C$  no están definidas según las condiciones del equipo se puede aproximar mediante la siguiente relación [16].

si  $1 > k < 3$  entonces

$$C \geq \frac{(k + 1)D_2}{2} + D_2 \quad (24)$$

Con  $k = 2$

$$C \geq \frac{(2 + 1)(125)}{2} + 125$$

$$C \geq 312.5 \text{ mm}$$

**f) Longitud de la correa ( $L_p$ )**

$$L_p = \frac{\pi}{2} (D_1 + D_2) + 2C + \frac{(D_1 - D_2)^2}{4C} \quad (25)$$

$$L_p = \left( \frac{\pi}{2} \right) (250 + 125) + (2)(312.5) + \frac{(250 - 125)^2}{(4)(312.5)}$$

$$L_p = 1226.55 \text{ mm}$$

**g) Longitud real de la correa (Lpst)**

Con: Correa Tipo A y  $Lp = 1226.55 \text{ mm}$

Correa Tipo A47 (13 \* 8mm)  $Lpst = 1233 \text{ mm}$  Anexo 8

**h) Nueva distancia entre centros (Cst)**

$$Cst = M + \sqrt{M^2 - N} \quad (26)$$

$$M = \frac{Lpst}{4} - \frac{\pi}{8}(D_1 + D_2) \quad (27)$$

$$M = \frac{1233}{4} - \left(\frac{\pi}{8}\right)(250 + 125)$$

$$M = 160.99 \text{ mm}$$

$$N = \frac{(D_1 - D_2)^2}{8} \quad (28)$$

$$N = \frac{(250 - 125)^2}{8}$$

$$N = 1953.125 \text{ mm}$$

Reemplazando los valores en la ecuación ( 26 )

$$Cst = 160.99 + \sqrt{160.99^2 - 1953.125}$$

$$Cst = 315.8 \text{ mm}$$

**i) Comprobación**

**Distancia entre centros**

$$\text{Si } Lpst > Cst \cong C + \frac{Lpst - Lp}{2} \quad (29)$$

$$315.8 \cong 312.5 + \frac{1233 - 1226.55}{2}$$

$$315.8 \cong 315.725 \text{ O. K.}$$

**Longitud de la banda**

$$Lpst \cong Lpst_2 = \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + 2Cst + \frac{(D_1 - D_2)^2}{4Cst} \quad (30)$$

$$1233 \cong Lpst_2 = \left(\frac{\pi}{2}\right)(250 + 125) + (2)(315.8) + \frac{(250 - 125)^2}{(4)(315.8)}$$

$$1233 \cong Lpst_2 = 1233.018 \text{ O. K.}$$

**j) Angulo entre ramales ( $\beta$ )**

$$2\beta = \sin^{-1} \left( \frac{D_1 - D_2}{2C_{st}} \right) \quad (31)$$
$$2\beta = \sin^{-1} \left( \frac{250 - 125}{(2)(315.8)} \right)$$
$$2\beta = 22.83^\circ$$
$$\beta = 11.415^\circ = 0.2 \text{ rad}$$

**k) Angulo entre ramales ( $\gamma$ )**

$$\gamma = 180 - 2\beta \quad (32)$$
$$\gamma = 180 - 22.83$$
$$\gamma = 157.17^\circ = 2.743 \text{ rad}$$

**l) Potencia de la banda (Pa)**

$$P_a = (P_b + P_d) C_\gamma C_l \quad (33)$$

**Cálculo de Pb (Potencia transmitida correa cuando k=1 y d=D)**

$$D_2 = 125 \text{ mm} ; n_2 = 276 \text{ rpm}$$
$$P_b = 0.848 \text{ kW (Interpolando) Anexo 9}$$

**Cálculo de Pd (Potencia incrementada k≠1)**

$$k = 2 ; n_2 = 276 \text{ rpm}$$
$$P_d = 0.048 \text{ kW (Interpolando) Anexo 10}$$

**Cálculo del factor de corrección  $C_\gamma$**

$$\gamma = 157.17^\circ ; T/T = \text{Tranmisión} \frac{\text{trapezial}}{\text{trapezial}}$$
$$C_\gamma = 0.938 \text{ (Interpolando) Anexo 11}$$

**Cálculo del factor de corrección  $C_l$**

$$\text{Correa Tipo A ; } L_{pst} = 1233 \text{ mm} = 48.54 \text{ pulg}$$
$$C_l = 0.932 \text{ (Interpolando) Anexo 12}$$

**Reemplazando los valores en la ecuación ( 33 )**

$$P_a = (0.848 + 0.048)(0.938)(0.932)$$
$$P_a = 0.783 \text{ kW}$$

**m) Número de correas (Q)**

$$Q = \frac{P_c}{P_a} \quad (34)$$

$$Q = \frac{0.462}{0.783} = 0.6 \cong 1$$

$$Q = 1 \text{ correa}$$

**n) Coeficiente de tracción ( $\varphi$ )**

$$\varphi = \frac{m - 1}{m + 1} \quad (35)$$

$$m = e^{\mu \gamma (\text{rad})} \quad (36)$$

$\mu = 0.9$  Coeficiente nylon aluminio [13]

$$m = e^{(0.9)(2.743)}$$

$$m = 11.8$$

Reemplazando en ( 35 )

$$\varphi = \frac{11.8 - 1}{11.8 + 1}$$

$$\varphi = 0.844$$

**o) Velocidad periférica de las correas (v)**

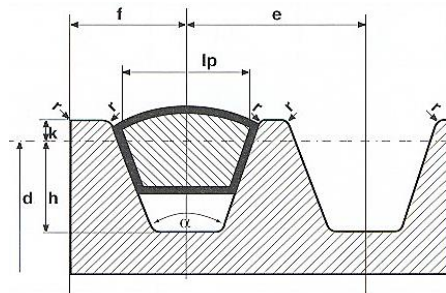
$$v = \frac{D_2 n_2 \pi}{60000} \quad (37)$$

$$v = \frac{(125)(276)(\pi)}{60000}$$

$$v = 1.8 \text{ m/s}$$

**p) Perfil y medida de canales**

La Figura 3. 7 indica el diseño de la polea en V donde será colocada la banda.



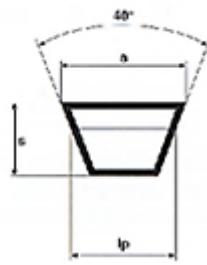
**Figura 3. 7** Perfil y medida de canales para la polea

**Fuente:** [16]



Las dimensiones de la correa Tipo A47 (13\*8mm) se indican en la Tabla 3. 9

**Tabla 3. 9** Dimensiones de la correa



SECCIÓN	a (mm)	s (mm)	lp (mm)
Z	10	6	8,5
A	13	8	11
B	17	11	14
C	22	14	19
D	32	19	27
E	40	25	32

Fuente: [16]

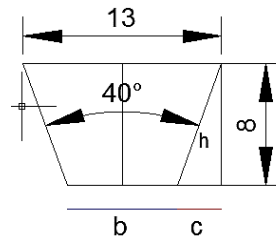
Las dimensiones determinadas para el perfil de la polea son las que se indican en la Tabla 3. 10.

**Tabla 3. 10** Dimensiones del perfil de la polea

	lp (mm)	k (mm)	h (mm)	e (mm)	f (mm)	$\Delta\alpha$
<b>Z</b>	8,5	2,5	7	12 ± 0,3	8 <sup>+1</sup> / <sub>-1</sub>	± 1°
<b>A</b>	11	3,3	8,7	15 ± 0,3	10 <sup>+2</sup> / <sub>-1</sub>	± 1°
<b>B</b>	14	4,2	10,8	19 ± 0,4	12,5 <sup>+3</sup> / <sub>-1</sub>	± 1°
<b>C</b>	19	5,7	14,3	25,5 ± 0,5	17 <sup>+4</sup> / <sub>-1</sub>	± 1/2 °
<b>D</b>	27	8,1	19,9	37 ± 0,6	24 <sup>+5</sup> / <sub>-1</sub>	± 1/2 °
<b>E</b>	32	9,6	23,4	44,5 ± 0,7	29 <sup>+6</sup> / <sub>-1</sub>	± 1/2 °

Fuente: [16]

El cálculo del área de la correa (A) se representa en la Figura 3. 8.



**Figura 3. 8** Dimensiones de la correa Tipo A

Fuente: Autor

$$A = \frac{(a + b) s}{2} \quad (38)$$

Donde:

a: Ancho de la base mayor

b: Ancho de la base menor

S: Espesor de la correa

Lp: Ancho primitivo

$$c = (8)(\tan 20^\circ)$$

$$c = 2.91 \text{ mm}$$

$$b = 13 - 2c$$

$$b = 13 - (2)(2.9)$$

$$b = 7.2 \text{ mm}$$

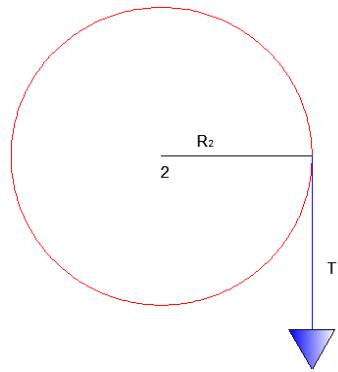
Reemplazando en la ecuación ( 38 )

$$A = \frac{(13 + 7.2)(8)}{2}$$

$$A = 80.8 \text{ mm}^2 = (80.8)(10^{-6})\text{m}^2$$

#### q) Tensión en la polea conducida (T<sub>2</sub>)

Usando el torque determinado al principio y teniendo las dimensiones de las poleas se determina la tensión en las mismas.



**Figura 3. 9** Tensión producida por la polea

**Fuente:** Autor

$$T = T_2 R_2 \quad (39)$$

Donde:

T: Torque

R<sub>2</sub>: Radio de la polea conducida

$$T_2 = \frac{T}{R_2} = \frac{14.54}{\left(\frac{125}{2000}\right)}$$

$$T_2 = 232.64 \text{ N}$$

Los resultados más relevantes para el dimensionamiento de bandas y poleas se indican a continuación en la Tabla 3. 11:

**Tabla 3. 11** Tabla de resumen - Dimensionamiento de bandas y poleas

Polea motriz:	250 mm
Polea conducida:	125 mm
Banda V:	Tipo A47 (13x8 mm)
Tensión en la polea conducida (T2):	232.64 N

Fuente: Autor

### 3.2.5. Esfuerzos de banda

Para el cálculo de los esfuerzos en la banda se determina primero la tensión inicial ( $T_o$ ) en banda de acuerdo a lo que indica Rey G. González [18]

$$T_o = 500 \left( \frac{ft - C\gamma}{C\gamma} \right) \left( \frac{P_M Cc}{Q v} \right) + \rho v^2 \quad (40)$$

Donde:

ft: Factor de tensado (2.5)

$\rho$ : Masa de la correa por metro de longitud, según el tipo de perfil Tabla 3. 12

**Tabla 3. 12** Masa de la correa por metro de longitud, según el tipo de perfil

Perfiles	Normales (clásicos)				
	Z	A	B	C	D
$\rho$ (kg/m)	0.06	0.11	0.20	0.33	0.68
Perfiles	Estrechos				
	SPZ	SPA	SPB	SPC	
$\rho$ (kg/m)	0.07	0.12	0.21	0.36	

Fuente: [18]

Reemplazando en la ecuación ( 40 )

$$T_o = (500) \left( \frac{2.5 - 0.93868}{0.93868} \right) \left( \frac{(0.42)(1.1)}{(1)(1.8)} \right) + (0.11)(1.8^2)$$

$$T_o = 213.815 \text{ N}$$

#### a) Esfuerzo por tensado inicial ( $\sigma_o$ )

$$\sigma_o = \frac{T_o}{A} \quad (41)$$

$$\sigma_o = \frac{213.815}{(80.8)(10^{-6})}$$

$$\sigma_o = 2.65 \text{ MPa}$$

**b) Esfuerzo con las fuerzas periféricas transmitidas ( $\sigma_F$ )**

$$\sigma_F = \frac{T_2}{2A} \quad (42)$$
$$\sigma_F = \frac{232.64}{(2)((80.8)(10^{-6}))}$$
$$\sigma_F = 1.44 \text{ MPa}$$

**c) Esfuerzo con las fuerzas centrífugas transmitidas ( $\sigma_v$ )**

$$\sigma_v = \rho \frac{v^2}{A} \quad (43)$$
$$\sigma_v = (0.11) \left( \frac{1.8^2}{(80.8)(10^{-6})} \right)$$
$$\sigma_v = 0.0044 \text{ MPa}$$

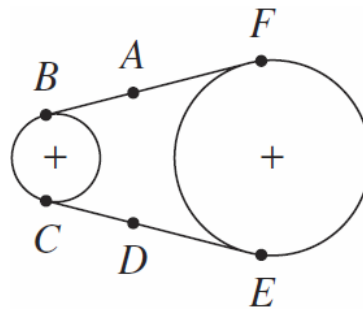
**d) Esfuerzo debido a la flexión ( $\sigma_{\text{FLEXIÓN}}$ )**

$$\sigma_{\text{FLEXIÓN1}} = \frac{S}{D_2} E_{\text{flex}} \quad (44)$$
$$E_{\text{flex}} = \text{Modulo de Young } 33.6 \text{ MPa}$$
$$\sigma_{\text{FLEXIÓN1}} = \left( \frac{8}{(125)(10^{-3})} \right) (33.6)$$
$$\sigma_{\text{FLEXIÓN1}} = 2.15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{FLEXIÓN2}} = k \sigma_{\text{FLEXIÓN1}} \quad (45)$$
$$\sigma_{\text{FLEXIÓN2}} = (2)(2.15)$$
$$\sigma_{\text{FLEXIÓN2}} = 4.3 \text{ MPa}$$

**e) Tensiones en los diferentes puntos**

La Figura 3. 10 indica los puntos principales del sistema de transmisión por poleas.



**Figura 3. 10** Sistema de polea representando sus puntos principales

**Fuente:** [12]

Los puntos a continuación representan las tensiones de banda haciendo caso omiso de la tensión inducida por flexión de la banda sobre las poleas.

$$\begin{aligned} \text{Punto A} &= \text{Punto B}^- = \sigma_O - \sigma_F + \sigma_V & (46) \\ \text{Punto A} &= \text{Punto B}^- = 2.65 - 1.44 + 0.0044 \\ \text{Punto A} &= \text{Punto B}^- = 1.214 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Punto B}^+ &= \sigma_O - \sigma_F + \sigma_V + \sigma_{\text{FLEXIÓN1}} & (47) \\ \text{Punto B}^+ &= 2.65 - 1.44 + 0.0044 + 2.15 \\ \text{Punto B}^+ &= 3.314 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Punto C}^- &= \sigma_O + \sigma_F + \sigma_V + \sigma_{\text{FLEXIÓN1}} & (48) \\ \text{Punto C}^- &= 2.65 + 1.44 + 0.0044 + 2.15 \\ \text{Punto C}^- &= 6.244 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Punto C}^+ &= \text{Punto D} = \text{Punto E}^- = \sigma_O + \sigma_F + \sigma_V & (49) \\ \text{Punto C}^+ &= \text{Punto D} = \text{Punto E}^- = 2.65 + 1.44 + 0.0044 \\ \text{Punto C}^+ &= \text{Punto D} = \text{Punto E}^- = 4.094 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Punto E}^+ &= \sigma_O + \sigma_F + \sigma_V + \sigma_{\text{FLEXIÓN2}} & (50) \\ \text{Punto E}^+ &= 2.65 + 1.44 + 0.0044 + 4.3 \\ \text{Punto E}^+ &= 8.394 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Punto F}^- &= \sigma_O - \sigma_F + \sigma_V + \sigma_{\text{FLEXIÓN2}} & (51) \\ \text{Punto F}^- &= 2.65 - 1.44 + 0.0044 + 4.3 \\ \text{Punto F}^- &= 5.514 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Punto F}^+ &= \sigma_O - \sigma_F + \sigma_V & (52) \\ \text{Punto F}^+ &= 2.65 - 1.44 + 0.0044 \\ \text{Punto F}^+ &= 1.214 \text{ MPa} \end{aligned}$$

**f) Longitudes en los diferentes puntos**

$$CE = FB = d = Cst \left( 1 - \frac{\beta^2}{2} \right) \quad (53)$$

$$CE = FB = d = (315.8) \left( 1 - \frac{0.2^2}{2} \right)$$

$$CE = FB = d = 309.484 \text{ mm}$$

$$CD = DE = FA = AB = \frac{d}{2} \quad (54)$$

$$CD = DE = FA = AB = \frac{309.484}{2}$$

$$CD = DE = FA = AB = 154.742 \text{ mm}$$

$$BC = \pi \frac{D_2}{2} - 2\beta \frac{D_2}{2} = \frac{D_2}{2} (\pi - 2\beta) \quad (55)$$

$$BC = \left( \frac{125}{2} \right) (\pi - 2 * 0.2)$$

$$BC = 171.35 \text{ mm}$$

$$EF = \pi \frac{D_1}{2} + 2\beta \frac{D_1}{2} = \frac{D_1}{2} (\pi + 2\beta) \quad (56)$$

$$EF = \left( \frac{250}{2} \right) (\pi + (2)(0.2))$$

$$EF = 442.7 \text{ mm}$$

### **Longitudes en los puntos**

Punto A = 0 mm

Punto B = 154.742 mm

Punto C = 326.092 mm

Punto D = 480.834 mm

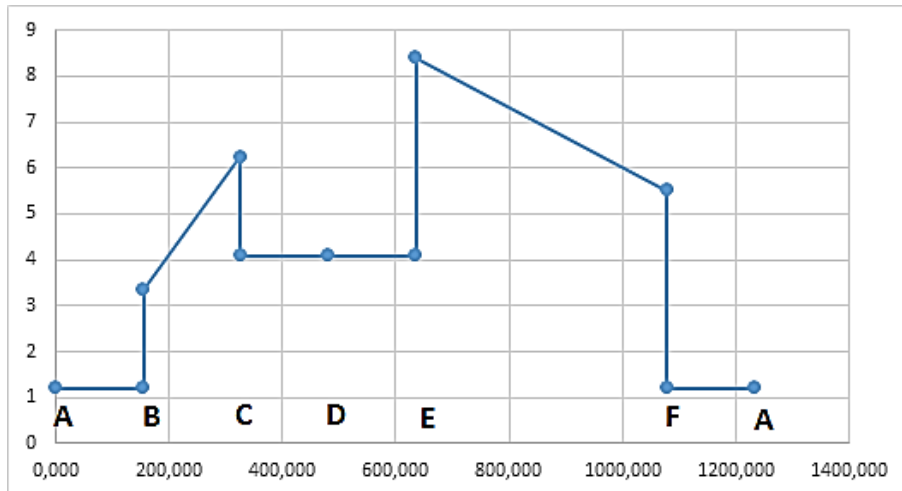
Punto E = 635.576 mm

Punto F = 1078.276 mm

Punto A = 1233.018 mm

### **g) Diagrama Tensiones vs Longitud**

La Gráfico 3. 1 indica la tensión de la banda en V a lo largo de sus puntos.



**Gráfico 3. 1** Tensión vs Longitud

**Fuente:** Autor

Los resultados más relevantes sobre los esfuerzos en la banda se indican a continuación en la Tabla 3. 13.

**Tabla 3. 13** Tabla de resumen - Esfuerzos de banda

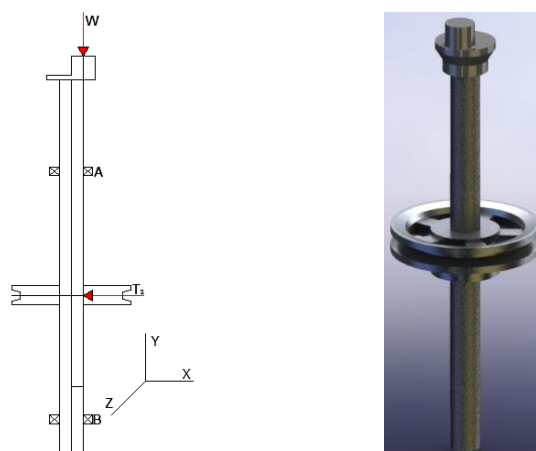
Esfuerzo por tensado inicial (SO):	2.65 MPa.
Esfuerzo debido a la flexión ( $\sigma_{\text{FLEXIÓN}}$ ):	4.3 MPa.

**Fuente:** Autor

### 3.2.6. Determinación del factor de seguridad

#### 3.2.6.1. Momento flector para el eje conducido

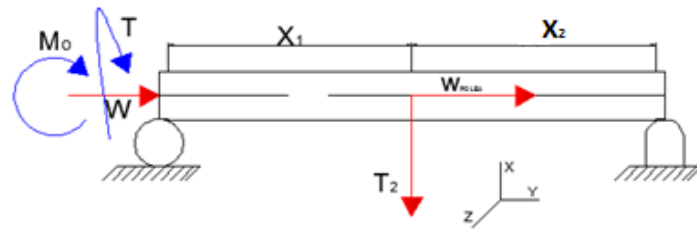
La Figura 3. 11 indica el eje conducido con sus componentes y una vista isométrica de cómo se ven estos en el diseño.



**Figura 3. 11** Diagrama del eje conducido con sus componentes

**Fuente:** Autor

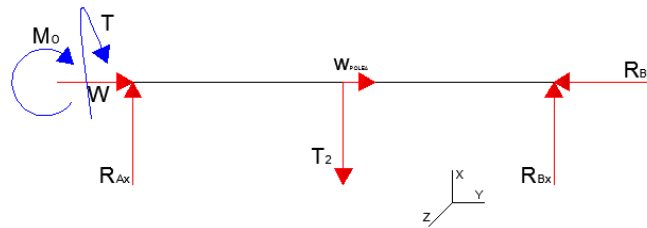
Para el cálculo del momento flector máximo del eje conducido, se aísla la sección que se encuentra entre la polea A y B, como indica la Figura 3. 12.



**Figura 3. 12** Diagrama del eje conducido aislado con sus dimensiones

**Fuente:** Autor

Con el sistema simplificado se procede a elaborar el diagrama de cuerpo libre e identificar todas las fuerzas a las que el eje está sometido, como indica la Figura 3. 13:



**Figura 3. 13** Diagrama de cuerpo libre

**Fuente:** Autor

**Datos:**

Masa de la polea ( $m_p$ ) =	0.476 kg
Peso de los tamices ( $W$ ) =	125.86 N
Torque =	14.54 Nm
Tensión de la polea ( $T_2$ ) =	232.64 N
Momento en O ( $M_O$ ) =	1.60 Nm
$X_1$ =	$79.2 \cdot 10^{-3}$ m
$X_2$ =	$170 \cdot 10^{-3}$ m

**Ecuaciones de equilibrio**

$$\sum M_B = 0$$

$$R_{Ax} = \frac{T_2 x_2 - M_O}{x_1 + x_2}$$

$$R_{Ax} = \frac{(232.64)(170)(10^{-3}) - 1.60}{(79.2)(10^{-3}) + (170)(10^{-3})}$$

$$R_{Ax} = 152.28 \text{ N}$$



$$\sum M_A = 0$$

$$R_{Bx} = \frac{T_2 x_1 + M_0}{x_1 + x_2}$$

$$R_{Bx} = \frac{(232.64)(79.2)(10^{-3}) + 1.60}{(79.2)(10^{-3}) + (170)(10^{-3})}$$

$$R_{Bx} = 80.37 \text{ N}$$

Comprobación  $T_2 = R_{Ax} + R_{Bx}$

$$T_2 = 152.28 + 80.37$$

$$T_2 = 232.65 \text{ N} \cong 232.64 \text{ N} \therefore \text{O.K.}$$

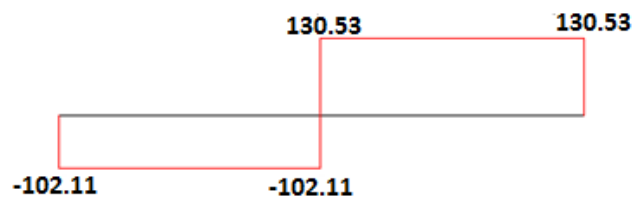
$$\sum F_Y = 0$$

$$R_{By} = W + m_p g$$

$$R_{By} = 125.86 + (0.476)(9.81)$$

$$R_{By} = 130.53 \text{ N}$$

Ya conocidas las fuerzas a las que está sometido el eje, se procede a representarlos en el diagrama de cortante como indica la Figura 3. 14.



**Figura 3. 14** Diagrama de cortante

**Fuente:** Autor

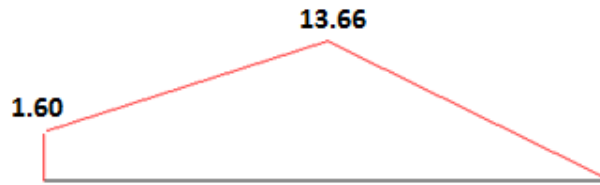
**Momento Máximo ( $M_{\max}$ )**

$$M_{\max} = R_{Bx} x_2 \tag{57}$$

$$M_{\max} = (80.37)(170)(10^{-3})$$

$$M_{\max} = 13.66 \text{ Nm}$$

La Figura 3. 15 indica los momentos a los que está siendo sometido el eje.



**Figura 3. 15** Diagrama de momento

**Fuente:** Autor

**Como valores relevantes obtenidos del “Momento flector para el eje conducido” se tiene:**

- Momento Máximo ( $M_{\max}$ ): 13.66 Nm

### 3.2.6.2. Factor de seguridad

Las fórmulas aplicadas del libro de Shigley están dadas para el Sistema Inglés con sus respectivas constantes por lo que en esta sección del cálculo se procederá a transformar los valores. Debido a que se busca encontrar un factor de seguridad no afecta al cálculo el cambio en las unidades

Este cálculo se lo realiza para la sección del eje que conduce el movimiento del eje al soporte de tamices ya que éste se encuentra sometido a más esfuerzos en todo el sistema debido esto se escogió un acero AISI 1010 cuyas características se encuentran en el Anexo 13.

**Tabla 3. 14** Resistencias mínimas a la tensión y a la fluencia ASTM

<b>ACERO AISI 1010 Laminado en caliente (HR)</b>		
Resistencia a la tensión	Sut	320 MPa (47 kpsi)
Resistencia a la fluencia	Sy	180 MPa (26 kpsi)
Dureza Brinell	Bhn	95
Módulo de elasticidad	E	210 GPa ( $30 \cdot 10^6$ psi)

**Fuente:** [12]

El eje es diseñado con las siguientes dimensiones.

**Datos:**

Diámetro mayor (D) =  $50.8 \cdot 10^{-3}$  m    2 pulg

Diámetro menor (d) =  $25.4 \cdot 10^{-3}$  m    1 pulg

Radio de entenalle (r) =  $1.27 \cdot 10^{-3}$  m    0.05 pulg

a) **Momento alternante (Ma)**

$$M_a = \sqrt{M_O^2 + M_F^2} \quad (58)$$

Donde:

M<sub>O</sub>: Momento en el punto O

M<sub>F</sub>: Momento flector – momento máximo

$$M_a = \sqrt{1.60^2 + 13.66^2}$$
$$M_a = 13.75 \text{ Nm} = 121,70 \text{ lb} * \text{ pulg}$$

b) **Par de torsión medio (Tm)**

$$T_m = \frac{T}{2} \quad (59)$$

$$T_m = \frac{14.54}{2}$$

$$T_m = 7.27 \text{ Nm} = 64.34 \text{ lb} * \text{ pulg}$$

c) **Factores teóricos de concentración del esfuerzo**

$$\frac{D}{d} \text{ y } \frac{r}{d} \quad (60)$$

$$\frac{D}{d} = \frac{2}{1} \text{ y } \frac{r}{d} = \frac{1/20}{1}$$

$$\frac{D}{d} = 2 \text{ y } \frac{r}{d} = 0.05$$

De acuerdo a las figuras del **Anexo 14** y **Anexo 15** se obtiene que

K<sub>t</sub> = 2.2      **Figura anexo. 1** Eje a flexión.

K<sub>ts</sub> = 1.76      **Figura anexo. 2** Eje a torsión.

q = 0.65      **Figura anexo. 3** Sensibilidad de la muesca.

q<sub>cortante</sub> = 0.97      **Figura anexo. 4** Sensibilidad de la muesca en cortante

d) **Factor de concentración del esfuerzo por fatiga (K<sub>f</sub> y K<sub>fs</sub>)**

$$K_f = 1 + q (K_t - 1) \quad (61)$$

$$K_f = 1 + (0.65)(2.2 - 1)$$

$$K_f = 1.78$$

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante} (K_{ts} - 1) \quad (62)$$

$$K_{fs} = 1 + (0.97)(1.76 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.737$$

e) **Límite de resistencia ( $S'_e$ )**

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} \rightarrow S_{ut} \leq 200\text{kpsi} (1400\text{MPa}) \\ 100 \text{ kpsi} \rightarrow S_{ut} > 200\text{kpsi} \\ 70 \text{ MPa} \rightarrow S_{ut} > 1400\text{MPa} \end{cases} \quad (63)$$

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

$$S'_e = (0.5)(47)$$

$$S'_e = 23.5 \text{ kpsi}$$

f) **Factor de superficie ( $k_a$ )**

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (64)$$

**Tabla 3. 15** Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín

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

Fuente: [12]

$$k_a = (14.4)(47)^{-0.718}$$

$$k_a = 0.907$$

g) **Factor de tamaño ( $k_b$ )**

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} \rightarrow 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} \rightarrow 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \end{cases} \quad (65)$$

$$d = 1\text{pulg} \therefore k_b = 0.879 d^{-0.107}$$

$$k_b = (0.879)(1^{-0.107})$$

$$k_b = 0.879$$

h) **Factor de temperatura ( $k_c$ )**

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases} \quad (66)$$

$$k_c = 0.59$$

i) **Factor de temperatura ( $k_d$ )**

$$k_d = 0.975 + (0.432)(10^{-3})T_F - (0.115)(10^{-5})T_F^2 + (0.104)(10^{-8})T_F^3 - (0.595)(10^{-12})T_F^4 \quad (67)$$

$$T_F = 200^\circ\text{F}$$

$$k_d = 0.975 + (0.432)(10^{-3})(200) - (0.115)(10^{-5})(200^2) \\ + (0.104)(10^{-8})(200^3) - (0.595)(10^{-12})(200^4) \\ k_d = 1.023$$

**j) Factor de confiabilidad ( $k_e$ )**

$$k_e = 1 - 0.08Z_a \quad (68)$$

**Tabla 3. 16** Factores de confiabilidad  $k_e$

Confiabilidad, %	Variación de transformación $z_a$	Factor de confiabilidad $k_e$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.73
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: [12]

$$\therefore k_e = 1 - (0.08)(2.326) \\ k_e = 0.814$$

**k) Factor de efectos varios ( $k_f$ )**

Aunque el factor  $k_f$  tiene el propósito de tomar en cuenta la reducción del límite de resistencia a la fatiga debida a todos los otros efectos, en verdad significa un recordatorio que estos efectos se deben tomar en cuenta, porque los valores reales de  $k_f$  no siempre están disponibles [12].

$$k_f = 1 \quad (69)$$

**l) Límite de resistencia a la fatiga ( $S_e$ )**

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (70) \\ S_e = (0.907)(0.879)(0.59)(1.023)(0.814)(1)(23.5) \\ S_e = 9.2 \text{ kpsi}$$

m) Factor de seguridad para el criterio ED-Goodman

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{0.5} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{0.5} \right\} \quad (71)$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{(\pi)(1^3)} \left\{ \frac{[4((1.78)(121.70))^2]^{0.5}}{(9.2)(10^3)} + \frac{[3((1.737)(64.34))^2]^{0.5}}{(47)(10^3)} \right\}$$

$$n = 3.83$$

n) Cálculo de esfuerzos ( $\sigma'_a$  y  $\sigma'_m$ )

$$\sigma'_a = \left[ \left( \frac{32 K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16 K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (72)$$

$$\sigma'_a = \left[ \left( \frac{(32) * (1.78)(121.70)}{(\pi)(1^3)} \right)^2 \right]^{0.5}$$

$$\sigma'_a = 2206.53 \text{ psi}$$

$$\sigma'_m = \left[ \left( \frac{32 K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16 K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (73)$$

$$\sigma'_m = \left[ 3 \left( \frac{(16)(1.737)(64.34)}{(\pi)(1^3)} \right)^2 \right]^{0.5}$$

$$\sigma'_m = 985.85 \text{ psi}$$

o) Criterio de falla de Goodman

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (74)$$

$$\frac{1}{n} = \frac{2206.53}{(9.2)(10^3)} + \frac{985.85}{(47)(10^3)}$$

$$n = 3.83$$

p) Esfuerzo máximo de Von-Mises ( $\sigma'_{max}$ )

$$\sigma'_{max} = \left[ \left( \frac{32 K_f (M_m + M_a)}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16 K_{fs} (T_m + T_a)}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (75)$$

$$\sigma'_{\max} = \left[ \left( \frac{(32)(1.78)(121.70)}{(\pi)(1^3)} \right)^2 + 3 \left( \frac{(16)(1.737)(64.34)}{(\pi)(1^3)} \right)^2 \right]^{0.5}$$

$$\sigma'_{\max} = 2416.75 \text{ psi}$$

**q) Verificación del esfuerzo máximo ( $n_y$ )**

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_{\max}} \quad (76)$$

$$n_y = \frac{(26)(10^3)}{2416.75}$$

$$n_y = 10.75$$

**r) Verificación rápida**

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma'_a + \sigma'_m} \quad (77)$$

$$n_y = \frac{(26)(10^3)}{2206.53 + 985.85}$$

$$n_y = 8.14 \text{ (Valor conservador en comparacion } n_y = 10.75)$$

Los resultados más relevantes para la determinación del factor de seguridad son los que se indican a continuación en la Tabla 3. 13

**Tabla 3. 17** Tabla de resumen - Factor de seguridad

Momento Máximo ( $M_{\max}$ ):	13.66 Nm
Factor de seguridad criterio de falla de Goodman:	$n = 3.83$
Factor de seguridad contra la fluencia:	$n_y = 10.75$

**Fuente:** Autor

**3.2.7. Diseño de chaveta**

Para el diseño de la chaveta y el chavetero se tomaron los cálculos del libro de “Diseño de elementos de máquinas de Robert L. Mott” en el cual las unidades se encuentran en el sistema inglés por lo que se procede a calcularse en este sistema y reemplazar los valores finales en los resultados.

**Datos:**

Diámetro del eje motriz (d) =	25 mm	0.984 pulg.
Torque (T) =	14.75 Nm	121.70 lb*pulg.
Material del eje AISI 1020		
Resistencia a la fluencia ( $S_y$ ) =	180 MPa	26 kpsi

**a) Tamaño de la chaveta en función del diámetro del eje**

Las dimensiones de la chaveta encontradas en el Anexo 16 son.

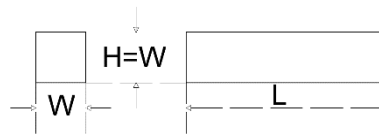
Tamaño nominal del eje:

$$\frac{7}{8} \text{ a } 1\frac{1}{4} \text{ de pulgada}$$

Tamaño nominal de la cuña que se indica en la Figura 3. 16

$$\text{Ancho (W)} = \frac{1}{4}$$

$$\text{Alto (H)} = \frac{1}{4}$$



**Figura 3. 16** Cotas de chaveta cuadrada

**Fuente:** [13]

**b) Selección del material**

Se escoge un material cuya resistencia a la fluencia sea menor que la del eje sobre el que va la chaveta en este caso el acero AISI 1006 cuyas propiedades se indican en la Tabla 3. 18.

**Tabla 3. 18** Resistencias mínimas a la tensión y a la fluencia ASTM

<b>ACERO AISI 1006 Laminado en caliente (HR)</b>		
Resistencia a la tensión	Sut	300 MPa (43 kpsi)
Resistencia a la fluencia	Sy	170 MPa (24 kpsi)
Dureza Brinell	Bhn	86

**Fuente:** [12]

**c) Longitud mínima de la chaveta**

$$L = \frac{4TN}{DWS_y} \quad (78)$$

Donde:

N: Factor para aplicaciones industriales típicas (3)

$$L = \frac{(4)(121.7)(3)}{(0.984) \left(\frac{1}{4}\right) (24000)}$$

$$L = 0.247 \text{ pulg.}$$

Se escoge una longitud más amplia ya que la calcula es muy baja

$$\therefore L_R = \frac{3}{4} > L = \frac{1}{4}$$

**L<sub>R</sub>:** Longitud real



d) Dimensiones del chavetero

- Profundidad del chavetero en el eje (S) Figura 3. 17

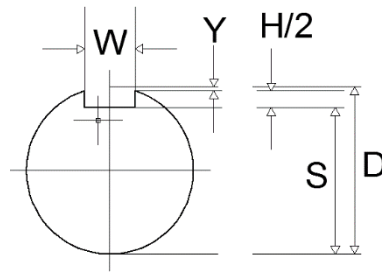


Figura 3. 17 Profundidad del chavetero en el eje

Fuente: [13]

$$S = \frac{D - H + \sqrt{D^2 - W^2}}{2} \quad (79)$$

$$S = \frac{0.984 - \frac{1}{4} + \sqrt{0.984^2 - \left(\frac{1}{4}\right)^2}}{2}$$

$$S = 0.843 \text{ pulgadas}$$

- Profundidad del chavetero en el cubo (T) Figura 3. 18

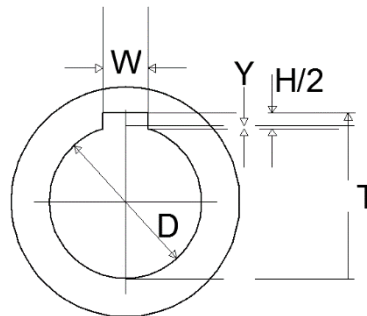


Figura 3. 18 Profundidad del chavetero en el cubo.

Fuente: [13]

$$T = \frac{D + H + \sqrt{D^2 - W^2}}{2} + C \quad (80)$$

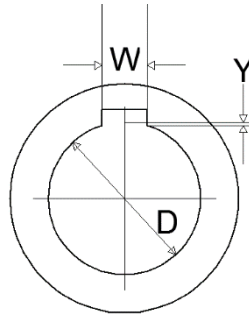
Donde:

C: Holgura de 0.005 pulg. para chavetas paralelas

$$T = \frac{0.984 + \frac{1}{4} + \sqrt{0.984^2 - \frac{1^2}{4}}}{2} + 0.005$$

$$T = 1.098 \text{ pulgadas}$$

- **Altura de la cuerda (Y) Figura 3. 19**



**Figura 3. 19** Altura de la cuerda

**Fuente:** [13]

$$Y = \frac{D - \sqrt{D^2 - W^2}}{2} \quad (81)$$

$$Y = \frac{0.98425 - \sqrt{0.98425^2 - \frac{1}{4}}}{2}$$

$$Y = 0.016 \text{ pulgadas}$$

La Tabla 3. 19 indica los resultados más relevantes del diseño de la chaveta transformando las unidades al sistema internacional.

**Tabla 3. 19** Tabla de resumen - Diseño de chaveta

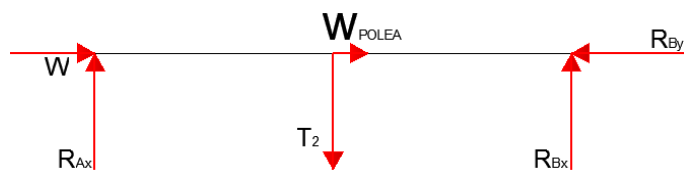
<b>Detalle</b>		<b>Sistema Inglés (pulgadas)</b>	<b>Sistema Internacional (milímetros)</b>
Tamaño de la chaveta en función del diámetro del eje	Altura (H)	¼	6.35
	Ancho (W)	¼	6.35
Profundidad del chavetero en el eje (S)		0.843	21.415
Profundidad del chavetero en el cubo (T)		1.098	27.891
Altura de la cuerda (Y)		0.016	0.409

**Fuente:** Autor

### 3.2.8. Selección de rodamientos

La selección del rodamiento se la realiza utilizando el procedimiento del catálogo SKF. Tomando en consideración los parámetros de la “Tabla 2. 3 **Matriz para una orientación aproximada en la selección de rodamientos.** se obtiene que el rodamiento a utilizarse será un “rodamientos rígido de una hilera de bolas” [14].

Para los cálculos es necesario conocer las reacciones y los esfuerzos que están aplicados sobre el eje conducido que se indican en la Figura 3. 20.



**Figura 3. 20** Diagrama de cuerpo libre eje motriz

**Fuente:** Autor

**Datos:**

Peso del soporte de tamices (W) =	125.86 N
Reacción en A x (R <sub>Ax</sub> ) =	152.28 N
Tensión de la polea (T <sub>2</sub> ) =	232.64 N
Peso de la polea conducida (W conducida) =	4.67 N
Reacción en B x (R <sub>Bx</sub> ) =	80.37 N
Reacción en B y (R <sub>By</sub> ) =	130.53 N
Potencia mecánica (P <sub>M</sub> ) =	0.42 kW (0.56 HP)
Número de revoluciones (n <sub>2</sub> ) =	276 rpm

**a) Vida nominal del rodamiento (L<sub>hn</sub>)**

La Tabla 3. 20 indica la vida nominal de la máquina de acuerdo al Anexo 17.

**Tabla 3. 20** Valores de vida nominal para diferentes clases de máquinas

Clase de máquina	Vida nominal Horas de funcionamiento
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos periodos o intermitentemente: ascensores (elevadores), grúas para mercancías embaladas o eslingas de tambores, etc.	8000 - 12000

**Fuente:** [14]

De la cual se toma la máxima vida nominal que es de 12000 horas para los cálculos.

**b) Cálculo del rodamiento A**

**Carga estática equivalente (P<sub>o</sub>)**

$$P_o = 0.6 F_{rA} + 0.5 F_{aA} \quad (82)$$

Donde:

F<sub>rA</sub> (R<sub>Ax</sub>): Carga radial real del rodamiento en kN

F<sub>aA</sub> (W): Carga axial real del rodamiento en kN.

$$P_o = 0.6 * 0.152 + 0.5 * 0.126$$

$$P_o = 0.154 \text{ kN}$$

### Capacidad de carga estática ( $C_0$ )

$$C_0 = S_0 P_0 \quad (83)$$

Donde:

So: Factor de seguridad estático indicado en la Tabla 3. 21.

**Tabla 3. 21** Factor de seguridad estático  $S_0$

Tipo de funcionamiento	Rodamientos rotativos					Rodamientos estacionarios		
	Requisitos en cuanto a funcionamiento silencioso					Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos
	no importante	normal	alto	no importante	normal			
Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	
Suave, sin vibraciones	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque notables <sup>1)</sup>	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	$\geq 3$	$\geq 2$	$\geq 4$	$\geq 1$	$\geq 2$

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula es aconsejable utilizar  $s_0 \geq 4$

<sup>1)</sup> Cuando se desconoce la magnitud de la carga de choque, deben usarse valores de  $s_0$  por lo menos iguales a los arriba indicados. Si las magnitudes de las cargas de choque son exactamente conocidas, se pueden aplicar valores de  $s_0$  menores

Fuente: [14]

Considerando que se trata de un rodamientos rígido de una hilera de bolas y que durante el funcionamiento existen cargas de choque el valor de  $S_0$  es 2.

Reemplazando en la ecuación se obtiene:

$$C_0 = (2)(0.154)$$

$$C_0 = 0.309 \text{ kN}$$

### Carga dinámica equivalente (P)

$$P = XF_{rA} + YF_{aA} \quad (84)$$

Factores de cálculo para los rodamientos rígidos de una hilera de bolas

$$\frac{f_0 F_{aA}}{C_0} \quad (85)$$

Donde:

$f_0$ : Factor de cálculo

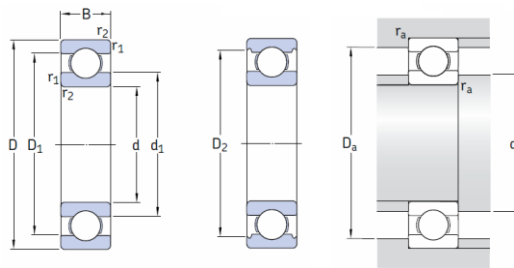
De acuerdo al cálculo previo del factor de seguridad el diámetro interno mínimo del rodamiento debe ser de 25 mm. Con esta consideración se escoge el rodamiento rígido de una hilera de bolas 61805 del cual la Tabla 3. 22 indica las características más importantes.

**Tabla 3. 22** Rodamiento rígido de una hilera de bolas 61805

<b>Diámetro externo (D) =</b>	37 mm
<b>Diámetro Interno (d) =</b>	25 mm
<b>Capacidad de carga dinámica básica del rodamiento (C) =</b>	4.36 kN.
<b>Capacidad de carga estática (Co) =</b>	2.6 kN.
<b>Carga límite de fatiga (Pu) =</b>	0.125 kN
<b>Masa =</b>	0.022 kg
<b>f<sub>0</sub> =</b>	14

Fuente: [14]

Las dimensiones de este rodamiento se indican en la Figura 3. 21, donde el valor significativo para el diseño es el diámetro interno (d).



**Figura 3. 21** Cotas Rodamientos rígidos de una hilera de bolas (d 25 – 35 mm)

Fuente: [14]

Reemplazando en

( 92 ):

$$\frac{f_0 F_{aA}}{C_0} = \frac{(14)(0.126)}{0.309}$$

$$\frac{f_0 F_{aA}}{C_0} = 5.70$$

Interpolando los valores en la Tabla 3.23 se obtiene:

**Tabla 3. 23** Factores de cálculo para rodamientos rígidos de una hilera de bolas

f <sub>0</sub> F <sub>a</sub> /C <sub>0</sub>	Juego Normal			Juego C3			Juego C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,30	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,40	0,44	1,40
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,30
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,30	0,56	1,45	0,40	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,50	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,10	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1,00
6,89	0,44	0,56	1,00	0,54	0,46	1,00	0,56	0,44	1,00

Fuente: [14]

**Juego normal:**

e: 0.426

X: 0.56

Y: 1.027

**Verificación:**

$$\frac{F_{aA}}{F_{rA}} > e \quad (86)$$

$$\frac{0.126}{0.152} > 0.426$$

$$0.826 > 0.426$$

∴ Se usa la ecuación ( 91 )

$$P = XF_{rA} + YF_{aA}$$

$$P = (0.56) * 0.152 + 1.027 * 0.126$$

$$P = 0.215 \text{ kN}$$

**Capacidad de carga dinámica básica del rodamiento (C).**

$$C = \sqrt[3]{\frac{L_{hn} 60 n_2 P^3}{a_1 a_2 a_3 10^6}} \quad (87)$$

Donde:

a1: Factor de confiabilidad

a2: Factor de características

a3: Factor de condiciones de preparación

**Para este cálculo se toman las peores condiciones posibles de funcionamiento.**

La Tabla 3. 24 indica el factor de confiabilidad.

**Tabla 3. 24** Factor de confiabilidad a<sub>1</sub>

Confiabilidad %	Ln	Factor de confiabilidad a <sub>1</sub>
90	L <sub>10</sub>	1.00
95	L <sub>5</sub>	0.62
96	L <sub>4</sub>	0.53
97	L <sub>3</sub>	0.44
98	L <sub>2</sub>	0.33
99	L <sub>1</sub>	0.21

Fuente: [19]

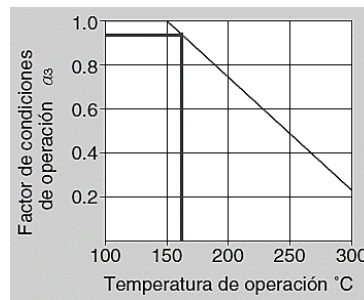
La Tabla 3. 25 indica el factor de características.

**Tabla 3. 25** Factor de características  $a_2$

Símbolo	Temp. Máxima de operación (°C)	Factor de característica $a_2$
TS2	160	1.00
TS3	200	0.73
TS4	250	0.48

Fuente: [19]

La Gráfico 3. 2 indica el factor de condiciones de operación de la máquina a su temperatura aproximada máxima.



**Gráfico 3. 2** Factor de condiciones de operación  $a_3$

Fuente: [19]

Reemplazando los valores en la ecuación ( 94 ) se tiene:

$$C = \sqrt[3]{\frac{(12000)(60)(276)(0.215^3)}{(0.62)(0.73)(0.967)(10^6)}}$$

$$C = 1.65 \text{ kN}$$

La capacidad de carga dinámica del rodamiento calculada es de 1.65 kN para la cual el rodamiento adecuado es el 61802 ( $C_{\text{dinámica}}$ : 1.56 kN,  $d$ : 15 mm y  $D$ : 24 mm); sin embargo el diámetro del eje requerido para este proceso es de 25 mm por lo cual se mantiene el rodamiento 61805 cuya capacidad de carga dinámica es de 4.36 kN y sus características más relevantes son las que indican la Tabla 3. 26.

**Tabla 3. 26** Características rodamientos rígido de una hilera de bolas 61805

<p>Diámetro externo (D) = 37 mm                  Diámetro Interno (d) = 25 mm                  Capacidad de carga dinámica (C) = 4.36 kN.                  Capacidad de carga estática (Co) = 2.6 kN.                  Carga límite de fatiga (Pu) = 0.125 kN.                  Masa = 0.022 kg  <math>f_0 = 14</math>                  Masa (m) = 0.022 kg</p>	
---	--

Fuente: [14]

### Recálculo de Vida nominal del rodamiento ( $L_{hn}$ )

$$L_{hn} = a_1 a_2 a_3 \left(\frac{C}{P}\right)^3 \frac{10^6}{60 n} \quad (88)$$

$$L_{hn} = (0.62)(0.73)(0.967) \left(\frac{4.36}{0.215}\right)^3 \left(\frac{10^6}{(60)(276)}\right)$$

$$L_{hn} = 221951.6 \text{ horas}$$

Bajo las consideraciones de montaje se garantiza que este rodamiento será el que soporte la carga axial.

### c) Cálculo del rodamiento B

#### Carga estática equivalente ( $P_0$ )

$$P_0 = 0.6F_{rB} + 0.5F_{aB} \quad (89)$$

Donde:

$F_{rB}$  ( $R_{Bx}$ ): Carga radial real del rodamiento en kN

$F_{aB}$  ( $R_{By}$ ): Carga axial real del rodamiento en kN.

$$P_0 = (0.6)(0.08) + (0.5)(0.13)$$

$$P_0 = 0.113 \text{ kN}$$

#### Capacidad de carga estática ( $C_0$ )

$$C_0 = S_0 * P_0 \quad (90)$$

Donde:

So: Factor de seguridad estático indicado en la Tabla 3. 27.

**Tabla 3. 27** Factor de seguridad estático  $S_0$

Tipo de funcionamiento	Rodamientos rotativos					Rodamientos estacionarios		
	Requisitos en cuanto a funcionamiento silencioso					Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos
	no importante	normal	alto					
Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	
Suave, sin vibraciones	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque notables <sup>1)</sup>	≥ 1,5	≥ 2,5	≥ 1,5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula es aconsejable utilizar  $s_0 \geq 4$

<sup>1)</sup> Cuando se desconoce la magnitud de la carga de choque, deben usarse valores de  $s_0$  por lo menos iguales a los arriba indicados. Si las magnitudes de las cargas de choque son exactamente conocidas, se pueden aplicar valores de  $s_0$  menores

Fuente: [14]



Considerando que se trata de un rodamientos rígido de una hilera de bolas y que durante el funcionamiento existen cargas de choque el valor de  $S_0$  es 2.

Reemplazando en la ecuación se obtiene:

$$C_0 = 2 * 0.113$$

$$C_0 = 0.227 \text{ kN}$$

### Carga dinámica equivalente (P)

$$P = XF_{rB} + YF_{aB} \quad (91)$$

Factores de cálculo para los rodamientos rígidos de una hilera de bolas

$$\frac{f_0 F_{aB}}{C_0} \quad (92)$$

Donde:

$f_0$ : Factor de cálculo 14 (Cálculo de rodamiento en A)

Reemplazando en ( 92 ):

$$\frac{f_0 F_{aB}}{C_0} = \frac{14 * 0.13}{0.227}$$

$$\frac{f_0 F_{aB}}{C_0} = 8.05$$

Aunque el valor de la ecuación

( 92 ) excede los valores dentro de la

Tabla 3. 28 ya que el rodamiento A está garantizado para soportar la mayor carga axial se procede a extrapolar.

**Tabla 3. 28** Factores de cálculo para rodamientos rígidos de una hilera de bolas

Factores de cálculo para los rodamientos rígidos de una hilera de bolas

$f_0 F_a/C_0$	Juego Normal			Juego C3			Juego C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,30	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,40	0,44	1,40
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,30
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,30	0,56	1,45	0,40	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,50	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,10	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1,00
6,89	0,44	0,56	1,00	0,54	0,46	1,00	0,56	0,44	1,00

Fuente: [14]

**Juego normal:**

e: 0.453

X: 0.56

Y: 0.973

Verificación:

$$\frac{F_{aB}}{F_{rB}} > e \quad (93)$$

$$\frac{0.13}{0.08} > 0.453$$

$$1.62 > 0.453$$

∴ Se usa la ecuación (91)

$$P = XF_{rB} + YF_{aB}$$

$$P = 0.56 * 0.08 + 0.973 * 0.13$$

$$P = 0.172 \text{ kN}$$

**Capacidad de carga dinámica básica del rodamiento (C).**

$$C = \sqrt[3]{\frac{L_{hn} 60 n_2 P^3}{a_1 a_2 a_3 10^6}} \quad (94)$$

Donde:

a1: Factor de confiabilidad

a2: Factor de características

a3: Factor de condiciones de preparación

La Tabla 3. 29 indica el factor de confiabilidad.

**Tabla 3. 29** Factor de confiabilidad a<sub>1</sub>

Confiabilidad %	Ln	Factor de confiabilidad a <sub>1</sub>
90	L <sub>10</sub>	1.00
95	L <sub>5</sub>	0.62
96	L <sub>4</sub>	0.53
97	L <sub>3</sub>	0.44
98	L <sub>2</sub>	0.33
99	L <sub>1</sub>	0.21

Fuente: [19]

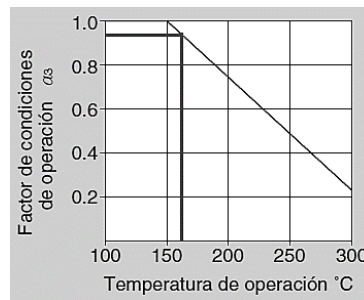
La Tabla 3. 30 indica el factor de características.

**Tabla 3. 30** Factor de características  $a_2$

Símbolo	Temp. Máxima de operación (°C)	Factor de característica $a_2$
TS2	160	1.00
TS3	200	0.73
TS4	250	0.48

Fuente: [19]

La Gráfico 3. 3 indica el factor de condiciones de operación de la máquina a su temperatura aproximada máxima.



**Gráfico 3. 3** Factor de condiciones de operación  $a_3$

Fuente: [19]

Reemplazando los valores en la ecuación ( 94 ) se tiene:

$$C = \sqrt[3]{\frac{(12000)(60)(276)(0.172^3)}{(0.62)(0.73)(0.967)(10^6)}}$$

$$C = 1.32 \text{ kN}$$

La capacidad de carga dinámica del rodamiento calculada es de 1.32 kN para la cual el rodamiento adecuado es el 618/8 (**C** dinámica: 1.33 kN, **d**: 8 mm y **D**: 16 mm); sin embargo el diámetro del eje requerido para este proceso es de 25 mm por lo cual se mantiene el rodamiento 61805 cuya capacidad de carga dinámica es de 4.36 kN.

#### **Recálculo de Vida nominal del rodamiento ( $L_{hn}$ )**

$$L_{hn} = a_1 a_2 a_3 \left(\frac{C}{P}\right)^3 \frac{10^6}{60 n} \quad (95)$$

$$L_{hn} = (0.62)(0.73)(0.967) \left(\frac{4.36}{0.172}\right)^3 \left(\frac{10^6}{(60)(276)}\right)$$

$$L_{hn} = 430481.8 \text{ horas}$$

Como valores relevantes obtenidos de la “Selección de rodamientos” se tiene que se

ha de utilizar rodamientos rígidos de una hilera de bolas 61805 bajo una configuración en la cual el rodamiento A soporte la carga axial.

### 3.2.9. Selección de pernos

La base del reductor de velocidad se encuentra sometida a un esfuerzo cortante provocado por el peso del motor, este esfuerzo se produce entre los pernos y el área de los agujeros de la placa del motor base. Para el diseño de la placa se utiliza el valor del factor de seguridad calculado.

#### Datos:

Peso del reductor de velocidad (F) = 0.133 kN

Factor de seguridad ( $\eta$ ) = 3.85

La Tabla 3. 31 indica las propiedades de la plancha donde está sujeto el reductor de velocidad.

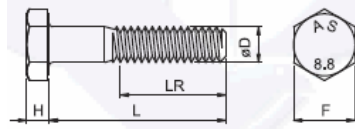
**Tabla 3. 31** Propiedades de la plancha

<b>Acero ASTM A36</b>		
Resistencia a la tensión	Sut	400 MPa (58 kpsi)
Resistencia a la fluencia	Sy	250 MPa (36 kpsi)

Fuente: [12]

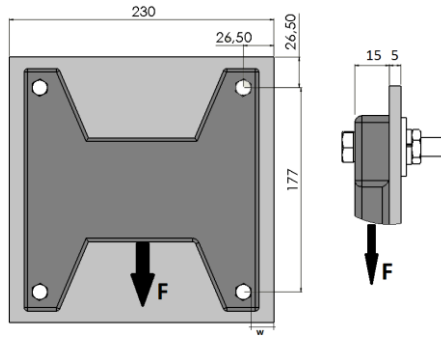
La Tabla 3. 32 indica las propiedades del perno, de acuerdo a los datos de los anexos Anexo 19 y Anexo 20 se obtiene los siguientes valores:

**Tabla 3. 32** Propiedades del perno

<b>Perno hexagonal métrico clase 8.8.</b>		
Diámetro =	M10	
Paso cte =	1.5	
Paso fino =	1.25	
H min =	6.22 mm	
F max =	16 mm	
LRmax =	26 mm	
Resistencia a la tensión (Sut) =	837.6 MPa (120 kpsi)	
Resistencia a la fluencia (Sy) =	633.88 MPa (92 kpsi)	

Fuente: [12]

La Figura 3. 22 indica las dimensiones de la plancha donde está montado el reductor de velocidad y la disposición de la carga que éste ejerce sobre la plancha.



**Figura 3. 22** Posición de agujeros en la placa del reductor de velocidad

**Fuente:** Autor

**a) Espesor de la placa (t)**

$$t = \frac{F \eta}{\#pernos \pi d S_{y(\text{elemento})}} \quad (96)$$

$$t = \frac{(0.133)(10^3)(3.85)}{(4)(\pi)(0.01)(250)(10^6)}$$

$$t = 1.63 \text{ mm}$$

**b) Valor límite de fuerza**

**Aplastamiento de los pernos, todos los pernos cargados (F)**

$$F = \frac{2 t d (S_y)_{perno}}{\eta} \quad (97)$$

Donde:

t: Espesor de la placa sometida a carga

$$F = \frac{(2)(0.015)(0.01)(633.88)(10^6)}{3.85}$$

$$F = 49.40 \text{ kN}$$

**Aplastamiento de los elementos, todos los pernos activos (F)**

$$F = \frac{2 t d (S_y)_{elemento}}{\eta} \quad (98)$$

$$F = \frac{(2)(0.015)(0.01)(250)(10^6)}{3.85}$$

$$F = 19.48 \text{ kN}$$

**Cortante del perno, todos los pernos activos, la rosca se extiende (F)**

$$F = \frac{(0.577) (4) A_r (S_y)_{perno}}{\eta} \quad (99)$$

Donde:

$A_r$ : Área del diámetro menor ( $\text{mm}^2$ )

De acuerdo al Anexo 20 el valor de  $A_r$  para los pernos M10 es  $56,3 \text{ mm}^2$

$$F = \frac{(0.577)(4) \left( \frac{56.3}{25.4^2} \right) (92)}{3.85}$$

$$F = 4.81 \text{ kip} = 21.39 \text{ kN}$$

**Cortante del borde del elemento en dos pernos del margen (F)**

$$F = \frac{4 w t 0.577 (S_y)_{\text{elemento}}}{\eta} \quad (100)$$

Donde:

w: Distancia entre el borde del agujero y el extremo de la placa

$$F = \frac{(4) \left( \frac{26.5 - 5}{25.4} \right) \left( \frac{5}{25.4} \right) (0.577)(36)}{3.85}$$

$$F = 3.6 \text{ ksi} = 16.01 \text{ kN}$$

**Fluencia por tensión de los elementos a lo largo del agujero de los pernos (F)**

$$F = \frac{[4 - 2d] t (S_y)_{\text{elemento}}}{\eta} \quad (101)$$

$$F = \frac{[4 - (2)(0.01)](0.005)(250)(10^6)}{3.85}$$

$$F = 1.29 \text{ MN}$$

**Fluencia del elementos (F)**

$$F = \frac{w t (S_y)_{\text{elemento}}}{\eta} \quad (102)$$

$$F = \frac{(0.23)(0.005)(250)(10^6)}{3.85}$$

$$F = 74.675 \text{ kN}$$

Con base en el cortante del perno, el valor limitante de la fuerza es  $21.39 \text{ kN}$ , ya que el peso del perfil es de  $0.1335 \text{ kN}$  queda determinado que los pernos escogidos son excelentes para el trabajo ya que para los elementos, el esfuerzo limitante limita la carga a  $19,48 \text{ kN}$ .

### 3.2.10. Cálculo de estructura

Para la selección del perfil se escoge la viga que se encuentre sometida a mayor momento y se procede a aplicar el método ASD (Allowable Stress Design - Diseño por Esfuerzos Permisibles) para diseño de vigas por momentos [20].

De acuerdo al modelo del software de diseño indicado en el Anexo 21 se obtiene que la carga máxima y el momento máximo al que están sometidos los perfiles es 55.58 N y 6.88 Nm respectivamente como se indica en la Figura 3. 23

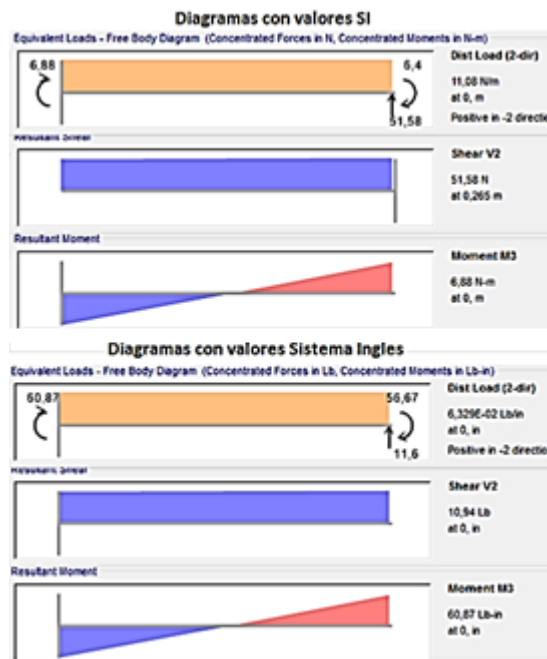


Figura 3. 23 Diagramas para marco 280

Fuente: Autor

La Tabla 3. 33 indica las propiedades del perfil 280, que es el que está sometido a la mayor carga dentro de la estructura.

Tabla 3. 33 Propiedades del perfil

Módulo de sección plástico (Z) =	976 mm <sup>3</sup> (0.05956 pulg <sup>3</sup> )
Longitud de la viga (Lb) =	265 mm (10.433 pulg)
Momento máximo (Mmax) =	6.88 Nm (60.87 Lb*pulg)
Radio efectivo del perfil (ry) =	7.3937 mm (0.29 pulg)
Constante de torsión (J) =	11664 mm <sup>4</sup> (0.028 pulg <sup>4</sup> )

Fuente: Autor

#### a) Selección del perfil

Se escoge el tubo estructural cuadrado de 20x20x2 mm del cual la Tabla 3. 34 indica

las características más importantes obtenidas del Anexo 22.

**Tabla 3. 34** Características del tubo estructural cuadrado ASTM A 500

<b>Dimensiones</b>	<b>A</b>	mm	20	
		pulg	0.7874	
	<b>Espesor</b>	mm	2.0	
		pulg	0.0787	
<b>Peso</b>		Kg/m	1.15	
		Lb/pulg	0.0644	
<b>Área (Ag)</b>		cm <sup>2</sup>	1.34	
		pulg <sup>2</sup>	0.207	
<b>Ejes X-X e Y-Y</b>	<b>Inercia</b>	mm <sup>4</sup>	0.69	
		pulg <sup>4</sup>	0.0166	
	<b>W</b>	mm <sup>3</sup>	0.69	
		pulg <sup>3</sup>	0.0421	
	<b>r</b>	mm	0.72	
		pulg	0.0283	

Fuente: [21]

**b) Verificación del módulo de sección plástico (Z)**

$$Z = (B e)(c e) + (m - e) e^5 \quad (103)$$

Donde:

B: ancho del perfil.

e: espesor del perfil

c: distancia del centro del espesor hacia m.

m: constante para cálculo de Z

**Cálculo de m**

$$(B e) + (B - e - m) e e = (m - e) e e + (B e) \quad (104)$$

Simplificando:

$$m = \frac{B}{2} = \frac{20}{2}$$

$$m = 10 \text{ mm (0.039 pulg)}$$

Reemplazando en ( 103 )

$$Z = ((20)(2))((9)(2)) + (10 - 2)(2^5)$$

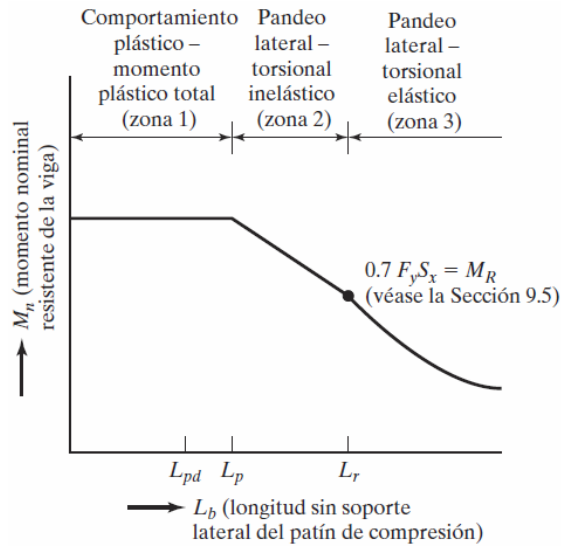
$$Z = 976 \text{ mm}^3 \text{ Correcto.}$$

**c) Determinación de zona**

Para el cálculo por el método ASD es necesario identificar a que zona pertenece la



viga. La Figura 3. 24 indica las diferentes zonas que tiene este método de cálculo.



**Figura 3. 24** Momento nominal vs Longitud sin soporte lateral.

**Fuente:** [20]

si  $L_b < L_p \therefore$  zona 1

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (105)$$

Donde:

$F_y$ : Esfuerzo mínimo a la fluencia (46 klb/pulg<sup>2</sup>) - Anexo 23

$E$ : Módulo de Young. 207 GPa (30Mpsi)

Reemplazando

$$L_p = (1.76)(0.29) \sqrt{\frac{(30)(10^3)}{46}}$$

$$L_p = 13.034 \text{ pulg}$$

$$L_b < L_p$$

$$10.433 < 13.034 \therefore \text{bien}$$

### Comprobación para zona 3

$$L_r = 1.95 r_y \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{J}{W m}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left( \frac{0.7F_y}{E} \frac{W}{J} \frac{m}{C} \right)^2}} \quad (106)$$

Donde:

$C$ : 1.0 para perfiles I de doble simetría

W: Modulo elástico de sección Anexo 22

Reemplazando

$$L_r = (1.95)(0.29) \left( \frac{(30)(10^3)}{(0.7)(46)} \right) \left( \sqrt{\frac{0.028}{(0.0421)(0.039)}} \right) \left( \sqrt{1 + \sqrt{1 + (6.76) \left( \left( \frac{(0.7)(46)}{(30)(10^3)} \right) \left( \frac{0.0421}{0.028} \right) \left( \frac{0.039}{1} \right)^2 \right)}} \right)$$

$$L_r = 3076.937 \text{ pulg}$$

si  $L_b < L_p < L_r \rightarrow$  Zona 1

$$10.433 < 13.034 < 3076.937 \therefore$$

Se determina que la longitud sin soporte lateral del patín de compresión ( $L_b$ ) es menor que la separación entre los soportes laterales ( $L_p$ ) y está a su vez es menor que el extremo del intervalo inelástico ( $L_r$ ) indicando que viga se encuentra en la ZONA 1.

#### d) Cálculo en Zona 1

$$\left( \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{F_y Z}{\Omega_b} \right) > M_{max} \quad (107)$$

Donde:

$\Omega_b$ : factor (1,67)

$M_n$ : Momento nominal resistente de la viga.

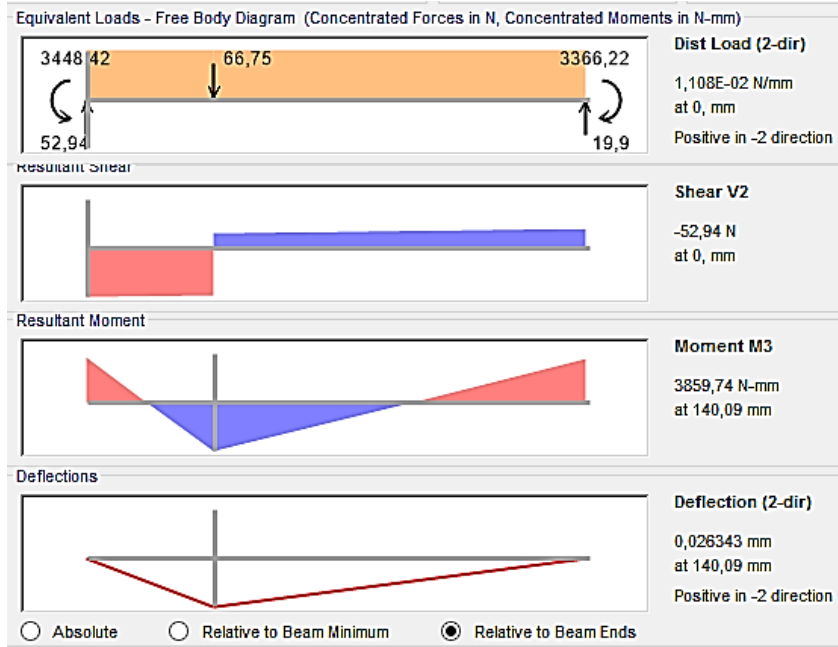
$$\begin{aligned} \frac{M_n}{\Omega_b} &= \frac{F_y Z}{\Omega_b} \\ \frac{M_n}{\Omega_b} &= \frac{(46)(0.059)}{1.67} \\ \frac{M_n}{\Omega_b} &= 1.625 * 10^3 \text{ Lb} * \text{pulg} \\ \frac{M_n}{\Omega_b} &> M_{max} \end{aligned}$$

$$1.625 * 10^3 \text{ Lb} * \text{pulg} > 60.87 \text{ Lb} * \text{pulg} \therefore \text{Bien}$$

Esto determina que el perfil estructural cuadrado ASTM A 500 20x20x2 es el adecuado para la construcción de la estructura.

### 3.2.11. Análisis de vibraciones

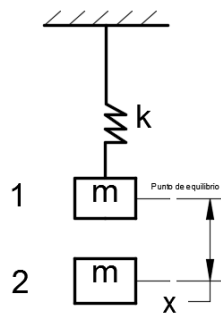
Para el análisis de vibraciones se escoge la viga que debido a la aplicación de las cargas tenga mayor deflexión. Está de acuerdo al análisis por software de diseño tiene una deflexión máxima de 0.026 mm, como se indica en la Figura 3. 25.



**Figura 3. 25** Análisis de la viga más deformada obtenido del software de diseño

**Fuente:** Autor

La Figura 3. 26 indica la viga de una manera simplificada, lo cual permite el desarrollo del cálculo.



**Figura 3. 26** Diagrama simplificado de estructura

**Fuente:** Autor

Usando la ecuación de deformación máxima ( 7 )

$$y_{\max} = \frac{Fl^3}{192EI}$$

e igualándola con la ecuación de la Ley de Hooke

### Ley de Hooke

$$F = kx \quad (108)$$

Donde:

F: Fuerza aplicada

l: Longitud de la viga (0,55m)

E: Módulo de Young. (209 GPa)

I: Inercia del perfil Tabla 3. 34

k: Constante del resorte

Resultando:

$$k = \frac{192EI}{l^3}$$
$$k = \frac{(192)(209)(10^9) \frac{0.69}{(1000)^4}}{0.55^3}$$
$$k = 166.42 \text{ N/m}$$

Reemplazando el valor en la ecuación ( 6 ) Frecuencia forzada del sistema

$$w_o = \sqrt{\frac{k}{m_{\text{total}}}}$$

Donde:

$m_{\text{total}}$ : Masa total de la viga Tabla 3. 34

$$w_o = \sqrt{\frac{166.42}{(1.15)(0.55)}}$$
$$w_o = 16.22 \text{ rad/s}$$

Al no ser iguales la frecuencia forzada y la frecuencia exterior el sistema no entra en resonancia.

### Cálculo de la resonancia ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{1}{1 - \frac{w^2}{w_n^2}} \quad (109)$$

Donde:

w: es la velocidad angular del sistema ver Cálculo en equilibrio ecuación ( 20 )

$$\rho = \frac{1}{1 - \frac{28.9^2}{16.22^2}}$$

$$\rho = -0.46$$

**Valor de la amplitud (A)**

$$A = \rho y_{\max} \quad (110)$$

$$A = (-0.46)(0.026343)(10^{-3})$$

$$A = -1.21 * 10^{-5} \text{m}$$

**Ecuación general de vibraciones forzadas para sistemas sin amortiguamiento**

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi) + \frac{F}{\bar{K}} \cos \omega t \quad (111)$$

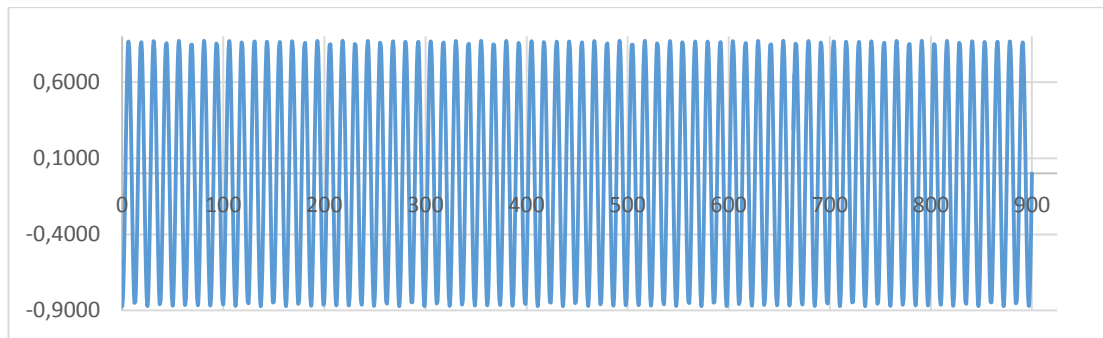
Donde:

$\varphi$ : Ángulo de inicio (se asume 0 grados)

$t$ : Tiempo

$$x = ((-1.21)(10^{-5})) \cos(16.22t) - 0.8719 \cos 28.9t$$

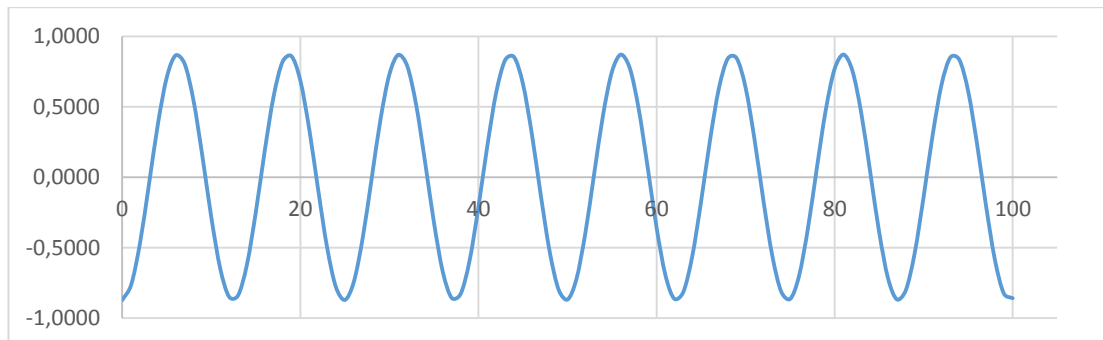
El Gráfico 3. 4 indica la posición contra el tiempo de 15 minutos (900 segundos), que es el tiempo máximo de funcionamiento de la tamizadora por cada ensayo.



**Gráfico 3. 4** Posición X vs. Tiempo

**Fuente:** Autor

El Gráfico 3. 5 se sacó para un periodo de 100 segundos con la finalidad de indicar de mejor manera la forma de la curva.



**Gráfico 3. 5** Posición X vs. Tiempo t Vista para 100 segundos

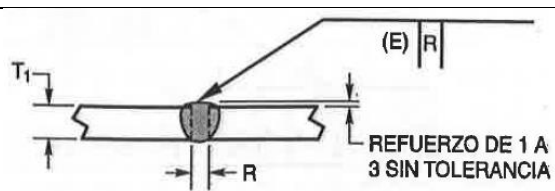
**Fuente:** Autor

### 3.2.12. Análisis de soldadura

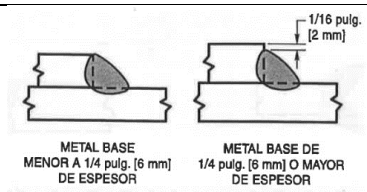
La tamizadora consta de juntas soldadas en la estructura y en las placas de apoyo del motor y reductor, estas juntas son a tope y a filete como se indica en la Tabla 3. 35 mediante el proceso GMAW.

#### Requerimientos básicos para las juntas soldadas

Tabla 3. 35 Características de juntas soldadas

<b>Espesor</b>	2 mm
<b>Tipos de junta</b>	 <p>Figura 3. 27 Máximo detalle de soldadura junta a tope Fuente: [22]</p>
<b>Tipo de alambre</b>	ER70S-6
<b>Voltaje</b>	20 V
<b>Velocidad de avance</b>	680 cm/min

Continuación Tabla 3. 35 Características de juntas soldadas

<b>Espesor</b>	4 mm
<b>Tipos de junta</b>	 <p>Figura 3. 28 Máximo detalle de soldadura de filete a lo largo de los bordes Fuente: [22]</p>
<b>Tipo de alambre</b>	ER70 S-6
<b>Voltaje</b>	20 V
<b>Velocidad de avance</b>	680 cm/min

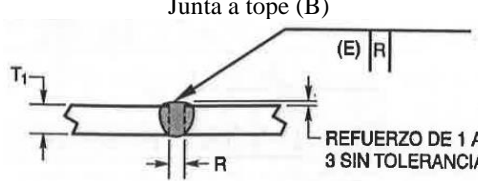
Fuente: Autor

#### Geometría de la junta soldada

- Junta a tope, 2 mm de espesor

La Tabla 3. 36 indica cuales deben ser las dimensiones tanto de la junta soldada como del cordón de soldadura para una junta a tope.

**Tabla 3. 36** Detalle de juntas de canal soldadas precalificadas PJP

<p style="text-align: center;">Soldadura de canal cuadrada (1) Junta a tope (B)</p>  <p style="text-align: center;">Dimensiones en mm</p>									
Proceso de Soldadura	Designación de Junta	Espesor de Base de Metal (U = ilimitado)		Preparación de Canal			Posiciones de Soldar Permisibles	Tamaño de Soldadura (E)	Notas
				Abertura de Raíz	Tolerancias				
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>		Como Detallado (Ver 3.12.3)	Como Ajustado (Ver 3.12.3)			
SMAW	B-P1a	3	-	R = 0 a 2	+2, -0	±2	Todas	T <sub>1</sub> - 1	b,e
	B-P1c	6 max.	-	R = T <sub>1</sub> /2 min	+2, -0	±2	Todas	T <sub>2</sub> /2	b,e
GMAW FCAW	B-P1a-GF	3	-	R = 0 a 2	+2, -0	±2	Todas	T <sub>1</sub> - 1	b,e
	B-P1c-GF	6 max.	-	R = T <sub>1</sub> /2 min	+2, -0	±2	Todas	T <sub>1</sub> /2	b,e

Fuente: [22]

- **Junta de filete, 4 mm de espesor**

La Tabla 3. 37 indica el tamaño mínimo para soldadura a filete mediante el proceso GMAW.

**Tabla 3. 37** Tamaños de la soldadura de filete mínimos

Espesor del Metal Base (T) <sup>a</sup>		Tamaños Mínimo de la Soldadura de Filete	
pulg.	mm	pulg.	mm
T ≤ 1/4	T ≤ 6	1/8 (Nota C)	3 (Nota c)
1/4 < T ≤ 1/2	6 < T ≤ 12	3/16	5
1/2 < T ≤ 3/4	12 < T ≤ 20	1/4	6
3/4 < T	20 < T	5/16	8

<sup>a</sup> Para los procesos considerados como no bajo-hidrógeno sin precalentamiento calculado de acuerdo con 4.8.4, T es igual al espesor de la pieza más gruesa unida, se deben utilizar soldaduras de paso sencillo. Para los procesos considerados como no bajo-hidrógeno utilizando procedimientos establecidos para evitar el agrietamiento de acuerdo con 4.8.4 y para los proceso de bajo-hidrogeno, T es igual al espesor de la pieza más delgada unida, el requerimiento del paso sencillo no aplica.

<sup>b</sup> Excepto que el tamaño de la soldadura no necesitara exceder el espesor dela pieza más delgada unida.

<sup>c</sup> El tamaño mínimo para estructuras cargadas cilíndricamente deberá ser de 3/16 pulg. (5 mm).

Fuente: [22]

### Parámetros de operación de la soldadora

Para soldadura de aceros al carbono se escogió el alambre “Alambre MIG para acero de bajo carbono” bajo norma AWS ER 70 S – 6. Y de acuerdo al catálogo de AGA (Anexo 24) la soldadora tiene las siguientes condiciones de operación.

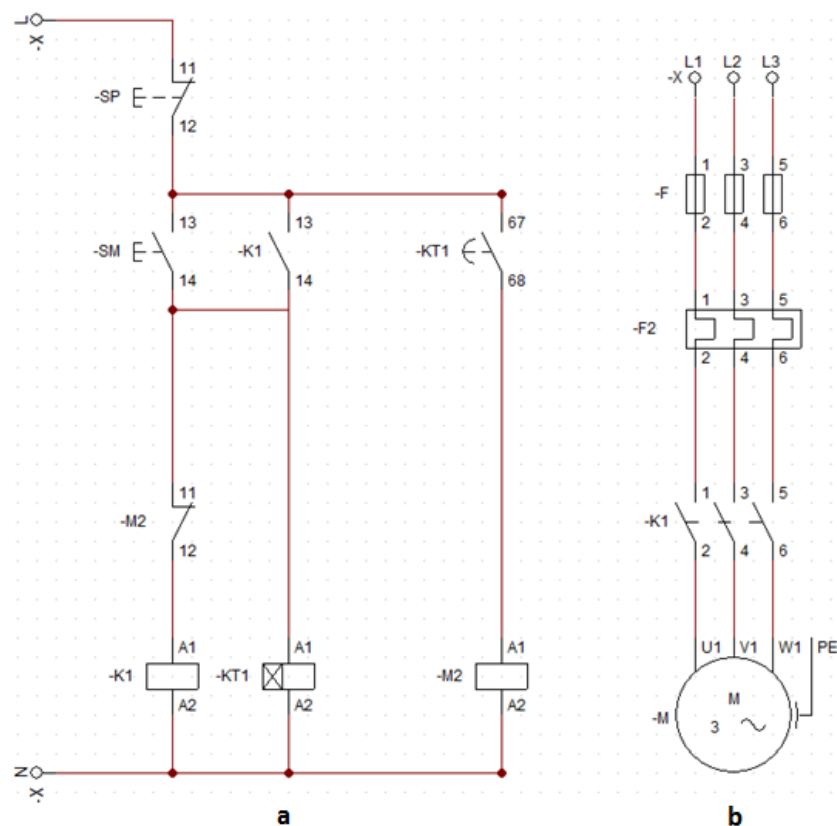
**Tabla 3. 38** Parámetros de operación de la máquina soldadora

<b>Amperaje</b>	105 A
<b>Voltaje</b>	20 V
<b>Flujo de gas</b>	8 lt/min
<b>Velocidad de alimentación</b>	680 cm/min
<b>Proceso</b>	Cortocircuito

Fuente: [23]

### 3.2.13. Diagrama de control y de potencia

La Figura 3. 29 indica el diagrama de control (a) de la tamizadora de laboratorio el cual consta de un botón de encendido (-SM), un contactor (-K1), un temporizador (-KT1) y un paro de emergencia (-SP). En el diagrama de potencia (b) el relé térmico (-F2) como protección para el motor, el contactor (-K1) y el motor (-M).



**Figura 3. 29** (a) Diagrama de control y (b) potencia

Fuente: Autor





### 3.3. PRESUPUESTO

#### 3.3.1. Costos directos



##### a) Costo de materiales

Tabla 3. 39 Costo de materiales

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
		<b>COSTOS DE MATERIALES</b>			
<b>COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL (\$)</b>		
<b>Tamices</b>					
Tamiz de 8" Ø y altura de 2", con malla de acero inoxidable de los #s (No. 20, 40, 60, 80, 100) fabricado bajo la norma ASTM E-11.	5	88.92	444.60		
Tamiz de 8" Ø y altura de 2", con malla de acero inoxidable de los #s ( No. 140, 200, 230, 325) fabricado bajo la norma ASTM E-11.	4	111.72	446.88		
Fondo y tapa.	1	74.10	74.10		
<b>Estructura</b>					
Tubo estructural cuadrado 20x20x2 mm	3	7.00	21.00		
Plancha de acero A36 100x100x4	1	3.40	3.40		
Plancha de acero A36 100x100x2	1	1.70	1.70		
Broca ½ pulg	1	4.80	4.80		
<b>Eje conducido</b>					
Eje AISI 1010 25.4x300	1	3.30	3.30		
Eje AISI 1010 50.8x100	1	6.60	6.60		
Machuelo 4M	2	0.75	1.50		
Polea de aluminio 5 pulgadas	1	6.00	6.00		
<b>Soporte de tamices</b>					
Eje ½ x 900	2	2.50	5.00		
Acero 0.7 kg	1	30.00	30.00		
<b>Varios</b>					
Polea aluminio 10 pulgadas	1	13.00	13		
Banda V Tipo A-47	1	6.00	6.00		
<b>TOTAL</b>			<b>1067.88</b>		

Fuente: Autor

Tabla 3. 40 Costo de prefabricados

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>			
	<b>COSTO DE PREFABRICADOS</b>			
<b>COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL (\$)</b>	
<b>Estructura</b>				
Pernos 10x40 mm Completo	4	0.25	1.00	
<b>Eje conducido</b>				
Pernos ½ x ½ Completo	8	0.35	2.80	
Chumacera UCF205CM3	2	5.00	10.00	
<b>Soporte de tamices</b>				
Chumacera UCFL205-16 FBJ	1	5.00	5.00	
Pernos 5/8x2 Completo	2	1.05	2.10	
<b>Sistema de transmisión</b>				
Reductor	1	280	280	
<b>Sistema eléctrico</b>				
Motor WEG monofásico 1/2hp	1	89.63	89.63	
Relé Térmico FATO 9-13A LR2D1316	1	6.75	6.75	
Temporizador CSC 3min-30H 24/220 V	1	21.30	21.30	
Contactador FATO CFC2N-32 3Kw 220V	1	22.02	22.02	
Pulsador FATO 22 mm Doble	1	5.30	5.30	
Pulsador FATO 22 mm T/Hongo	1	3.64	3.64	
Caja de Fusibles	1	24.65	24.65	
Cableado	1	6.86	6.86	
<b>Acabados</b>				
Masilla 1000 ml	1	4.80	4.80	
Pintura para auto 1 250 ml	3	3.10	9.30	
Pintura Spray 400 ml	3	2.25	6.75	
<b>Varios</b>				
Pernos ¼ x2 Completo	22	0.15	3.30	
Llave Hexagonal #4 y #4.5	2	1.40	2.80	
Soportes en caucho para resortes	8	0.75	6.00	
Caucho amortiguación 2x10 pulg	2	0.75	1.50	
<b>TOTAL</b>			<b>515.50</b>	

Fuente: Autor

## b) Costos de fabricación

Tabla 3. 41 Costo de mano de obra

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	COSTO DE MANO DE OBRA		
OPERACIÓN	TIEMPO (HORAS)	COSTO DE HORA Y USO DE MAQUINARIA (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
Alquiler del taller	1	50.00	50.00
Corte con plasma	2	2.50	5.00
Corte y doblado de tol	3	10.00	30.00
Soldadura	15	3.334	50.00
Esmerilado	1	3.00	3.00
Fundición	5	30.00	30.00
Instalación eléctrica	1	18.75	18.75
Pintado	1	20.00	20.00
Torneado	10	5.00	50.00
Taladrado	5	2.00	10.00
<b>TOTAL</b>			<b>266.75</b>

Fuente: Autor

## 3.3.2. Costos indirectos

Tabla 3. 42 Costo de diseño

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	COSTO DE DISEÑO		
DESCRIPCIÓN			PRECIO (\$)
Internet			102.60
Equipos de computación			45
Documentación y elaboración de planos			30
Pruebas de funcionamiento			36.40
<b>TOTAL</b>			<b>214</b>

Fuente: Autor

### 3.3.3. Costos varios



Tabla 3. 43 Costos varios

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>	
	<b>COSTO VARIOS</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>PRECIO (\$)</b>
Transporte		30.00
Gastos Varios		57.50
<b>TOTAL</b>		<b>87.50</b>

Fuente: Autor

### Costo total del equipo



Tabla 3. 44 Costo total del equipo

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>		
	<b>COSTO TOTAL DEL EQUIPO</b>		
<b>DETALLE</b>	<b>VALOR TOTAL (\$)</b>	<b>TOTAL DE PRECIO (\$)</b>	
<b>Costos directos</b>			
Materiales	<b>1067.88</b>		
Prefabricados	<b>515.50</b>		
Fabricación	<b>266.75</b>		
Diseño	<b>214</b>		
<b>Subtotal costos directos</b>		<b>2064.13</b>	
<b>Costos indirectos</b>			
Total de costos varios	87.50		
Imprevistos (15%)	13.13		
<b>Subtotal costos indirectos</b>		<b>100.63</b>	
<b>TOTAL DEL EQUIPO</b>		<b>2164.76</b>	

Fuente: Autor



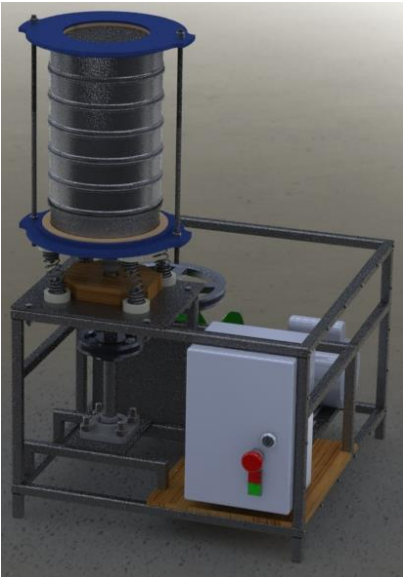
### 3.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Tabla 3. 45 Ficha técnica

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>						
<b>Ficha Técnica</b>								
Nombre del equipo:	Tamizadora para análisis granulométrico de polvos metálicos							
Área:	Laboratorio de materiales FICM							
<b>Especificaciones técnicas</b>								
Fabricante:	Iván Pérez							
Modelo:	Tamizadora horizontal inferior							
Código:	TMZGM-01							
Año:	2017							
<b>Motor</b>						<b>Medidas</b>		
Fabricante:	WEG	Alto:				43 cm		
		Ancho:				57 cm		
Modelo:	MO01C0X0X00003007 34	Profundidad:	64 cm					
		Peso:	75.70 kg					
Tipo	Monofásico		Color:	Azul				
Potencia	½ Hp (0.37 kW)		<b>Sistema de transmisión</b>					
Revoluciones	1720		Tipo:	Acople tipo matrimonio				
Voltaje	110/220			Transmisión por poleas				
<b>Otros</b>								
Tipo de eje:			Vertical					

Fuente: Autor

**Tabla 3. 46** Ficha de componentes

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>		
	Tamizadora para análisis granulométrico de polvos metálicos		
	TMZGM-01		
<b>Ficha de componentes</b>			
Fotografía	Sistema	Componente	Código
	Transmisión	Acople tipo matrimonio	N/A
		Eje conducido	N/A
		Chumaceras	N/A
		Poleas	N/A
		Reductor	N/A
	Estructura	Estructura	N/A
	Eléctrico	Motor	N/A
		Tablero de control	N/A
	Tamizado	Base de tamices	N/A
		Tapa de tamices	N/A
		Eje de altura	N/A
		Chumacera	N/A

**Fuente:** Autor

### 3.5. FUNCIONAMIENTO GENERAL

Asegurarse de que no se encuentre ningún objeto extraño encima o debajo de la tamizadora.

Montar el grupo de tamices en forma consecutiva de acuerdo a la prueba que se vaya a llevar a cabo, como indica la Tabla 3. 47, con el tamiz más grueso en la parte superior, una vez completa la torre colocar la bandeja de recogida de solidos por debajo del tamiz de fondo.

**Tabla 3. 47** Series de tamices sugeridos para polvos metálicos

Tamaño de la malla de polvo	20	40	60	100	140	200	325	Apertura de malla (µm)	
Serie de tamices estándar	20	✓	✓					850	
	40	✓	✓	✓				425	
	60	✓	✓	✓				250	
	80				✓			180	
	100	✓	✓	✓	✓	✓		150	
	140			✓	✓	✓	✓	106	
	200	✓	✓	✓	✓	✓	✓	75	
	230						✓	✓	63
	325		✓	✓	✓	✓	✓	✓	45
	Bandeja	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-

Fuente: [2]

Colocar la muestra de ensayo en el tamiz superior de acuerdo a lo indicado en la Tabla 3. 48 y cerrar este tamiz con la tapa sólida. A continuación fijar el conjunto de la torre de tamices ajustando suavemente las tuercas tipo mariposa y asegurar con una contra-tuerca.

**Tabla 3. 48** Tamaño de la muestra

Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Tamaño de muestra (g)
Mayor que 1,50	90 a 100
Menor que 1,50	40 a 60

Fuente: [2]

Dejar funcionar la máquina durante un periodo de 15 minutos. Se recomienda el uso en un recinto a prueba de ruido.

Una vez finalizado el proceso de tamizado, retirar la torre de tamices de la máquina y quitar el tamiz más grueso del conjunto vaciando su contenido en un papel satinado.

Con un cepillo retirar cualquier material que se haya adherido en el interior del tamiz y el marco del siguiente tamiz. *“Esta operación se debe llevar a cabo con mucha delicadeza para los tamices de malla más fina, ya que éstos son más propensos a que sus aperturas de malla se deformen.”* Coloque el tamiz boca abajo para retirar los últimos residuos de polvo metálico.

Pesar la fracción obtenida del tamiz con valores lo más cercanos a los 0.1g. La balanza debe tener una capacidad de no menos de 110g y una sensibilidad de 0.01g.

Repetir el procedimiento para cada uno de los tamices. Una vez finalizado, reunir cada una de las fracciones obtenidas y pesarlas. El valor obtenido de la suma de las fracciones no deberá ser inferior al 99% de la masa de ensayo. Si ésta es menor, comprobar el estado de las mallas o si existió algún error en el pesaje y repetir la prueba.

Expresar las masas de las fracciones retenidas en cada tamiz y la masa de la fracción recogida en el tamiz de fondo, como porcentajes de la masa al 0,1% e informar sobre ellos como indica la Tabla 3. 49.

**Tabla 3. 49** Formato para reportar los datos de prueba de polvo metálico 100

<b>Tamaño de la partícula (µm)</b>	<b>Número de tamiz</b>	<b>% de masa</b>
>180	+ 80	...
≤ 180 > 150	- 80 + 100	...
≤ 150 > 106	- 100 + 140	...
≤ 106 > 75	- 140 + 200	...
≤ 75 > 45	- 200 + 325	...
≤ 45	- 325	...

**Fuente:** [2]



### 3.6. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

El mantenimiento es de vital importancia debido a que se trata de una máquina que se emplea para polvos metálicos está es propensa a ensuciarse. A continuación se detallan las siguientes recomendaciones para realizar un mantenimiento preventivo adecuado.

- Realizar la limpieza del porta tamices y los tamices después de cada funcionamiento.
- Lubricar y engrasar el eje motriz, eje conducido y el acoplamiento del motor-reductor de velocidad, cada 3 meses para evitar el desgaste por fricción.
- Cambiar la banda en V después de haber concluido con sus horas de servicio en función al tiempo de funcionamiento de la máquina.
- Revisar el sistema de eléctrico cada 6 meses para evitar cortos circuitos.

### 3.7. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las pruebas de funcionamiento se realizan en base a la norma ASTM B214-16 utilizando como material para el tamizado polvo de sílice debido a la dificultad de adquisición de polvos metálicos. Anexo 25

#### Resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento.

Tabla 3. 50 Datos de prueba polvo metálico 20

Tamaño de la partícula ( $\mu\text{m}$ )	Número de tamiz	% de masa
> 850	+ 20	0.2
$\leq$ 850 > 425	- 20 + 40	0.7
$\leq$ 425 > 250	- 40 + 60	13.6
$\leq$ 250 > 150	- 60 + 100	23.5
$\leq$ 150 > 75	- 100 + 200	30
$\leq$ 75	- 200	31
<b>TOTAL</b>		<b>99%</b>

Fuente: Autor

Tabla 3. 51 Datos de prueba polvo metálico 40

Tamaño de la partícula ( $\mu\text{m}$ )	Número de tamiz	% de masa
> 850	+ 20	0.2
$\leq$ 850 > 425	- 20 + 40	0.4
$\leq$ 425 > 250	- 40 + 60	13.8
$\leq$ 250 > 150	- 60 + 100	24.2
$\leq$ 150 > 75	- 100 + 200	42.1

Continuación de la Tabla 3. 51 Datos de prueba polvo metálico 40

$\leq 75$	$> 45$	- 200	+325	18.8
$\leq 45$		- 325		0.3
<b>TOTAL</b>				<b>99.8 %</b>

Fuente: Autor

Tabla 3. 52 Datos de prueba polvo metálico 60

Tamaño de la partícula ( $\mu\text{m}$ )		Número de tamiz		% de masa
	$> 425$		+ 40	0.8
$\leq 425$	$> 250$	- 40	+ 60	15
$\leq 250$	$> 150$	- 60	+ 100	24.5
$\leq 150$	$> 106$	- 100	+ 140	33.3
$\leq 106$	$> 75$	- 140	+ 200	14.9
$\leq 75$	$> 45$	- 200	+ 325	10.4
$\leq 45$		- 325		0.1
<b>TOTAL</b>				<b>99 %</b>

Fuente: Autor

Tabla 3. 53 Datos de prueba polvo metálico 100

Tamaño de la partícula ( $\mu\text{m}$ )		Número de tamiz		% de masa
	$> 180$		+ 80	30.1
$\leq 180$	$> 150$	- 80	+ 100	8.2
$\leq 150$	$> 106$	- 100	+ 140	23
$\leq 106$	$> 75$	- 140	+ 200	29
$\leq 75$	$> 45$	- 200	+ 325	9.5
$\leq 45$		- 325		0.1
<b>TOTAL</b>				<b>99.8 %</b>

Fuente: Autor

Tabla 3. 54 Datos de prueba polvo metálico 140

Tamaño de la partícula ( $\mu\text{m}$ )		Número de tamiz		% de masa
	$> 150$		+ 100	37.7
$\leq 150$	$> 106$	- 100	+ 140	17.9
$\leq 106$	$> 75$	- 140	+ 200	12.1
$\leq 75$	$> 45$	- 200	+ 325	21.1
$\leq 45$		- 325		10.7
<b>TOTAL</b>				<b>98.9 %</b>

Fuente: Autor

**Tabla 3. 55** Datos de prueba polvo metálico 200

<b>Tamaño de la partícula (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Número de tamiz</b>	<b>% de masa</b>
> 106	+ 140	59
$\leq$ 106 > 75	- 140 + 200	13.2
$\leq$ 75 > 63	- 200 + 230	26.5
$\leq$ 63 > 45	- 230 + 325	0.5
$\leq$ 45	- 325	0
<b>TOTAL</b>		<b>99.2 %</b>

Fuente: Autor

**Tabla 3. 56** Datos de prueba polvo metálico 325

<b>Tamaño de la partícula (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Número de tamiz</b>	<b>% de masa</b>
> 75	+ 200	64.4
$\leq$ 75 > 63	- 200 + 230	30.5
$\leq$ 63 > 45	- 230 + 325	4.5
$\leq$ 45	- 325	0.1
<b>TOTAL</b>		<b>99.5 %</b>

Fuente: Autor

**Análisis de resultados**

Los datos obtenidos para cada una de las pruebas dan resultados satisfactorios en cuanto al porcentaje de masa final después de cada proceso de tamizado, lo que indica que se cumple con los requerimientos de la norma ASTM B214-16. Por otra parte el tamaño de las partículas de sílice, material utilizado para la prueba, en su mayoría es mayor a 45  $\mu\text{m}$ .

## CAPÍTULO IV.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Los parámetros de diseño para la elaboración de la “Tamizadora para análisis granulométrico de polvos metálicos” se definieron tomando en consideración una tamizadora completamente cargada con una torre de 6 tamices, una tapa y un fondo según indica la norma ASTM B214-16. Los parámetros relevantes establecidos para el diseño son: el torque, potencia del motor, relación y sistema de transmisión, momento máximo del eje conducido, factor de seguridad tipo de rodamiento y tipo de perfil estructural.
- En base a los parámetros de diseño se dimensiona la “Tamizadora para análisis granulométrico de polvos metálicos” y se obtiene una tamizadora lo más compacta y liviana posible; cuyas dimensiones son un cuerpo de 570 mm de ancho, 635 mm de profundidad, 425 mm del piso a la base y una torre de tamices con una altura máxima de 500 mm.
- Los requerimientos de la norma ASTM B214-16 indican que para realizar un buen tamizado de polvos metálicos se debe cumplir con las siguientes condiciones: giro entre 270 a 300 rpm durante 15 min. Lo que se consiguió con el diseño fue: un motor que gira a 276 rpm durante 15min.
- Los resultados relevantes de las pruebas realizadas en una masa de 100 gramos para análisis granulométrico, se encuentran en las tablas **Tabla 3. 50** a **Tabla 3. 56**, éstas indican que la pérdida de material es menor o igual al 1%, que está dentro del rango de aceptación de la norma ASTM B214-16.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- Para el diseño verificar si existen reductores de velocidad en el mercado, ya que éstos facilitan la relación de transición para las velocidades pedidas por la norma.
- Verificar las unidades en los cálculos. La mayoría de cálculos de diseño y materiales en el mercado se encuentran en unidades del sistema inglés, por lo que hay que transformarlas al sistema internacional.
- Para la selección de rodamientos, poner especial atención en aquel que va a soportar la mayor carga axial.
- Para realizar el ensayo siempre utilizar 5 tamices o más, con el fin de no tener un desplazamiento excesivo de los resortes en la torre y evitar el golpeteo violento del porta tamices.
- Usar mascarilla y guantes cuando se opere la tamizadora, ya que al ser muy finos los polvos, éstos pueden dispersarse en el ambiente o quedarse en las manos.
- Para obtener óptimos resultados en el tamizado de polvos, es necesario adquirir los demás equipos especificados en la norma, como el equipo que separa el polvo metálico de acuerdo a su densidad.
- Al momento de poner la máquina en funcionamiento hay que asegurarse que todos los componentes estén bien ajustados y los resortes acomodados perfectamente en los postes, para evitar el colapso de la torre de tamices.
- Crear un cuarto contra ruido para la tamizadora. Dentro de los accesorios que se ofrecen con estos dispositivos se emplean cuartos contra ruido ya que la máquina genera golpes para su funcionamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. Callister, *Ciencia e ingeniería de materiales*, Séptima ed., Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2007, p. 386.
- [2] ASTM, *ASTM B 243 Standard Terminology of Powder Metallurgy*, West Conshohocken, Pensilvania: ASTM, 2008.
- [3] ASTM, *ASTM B214-16 Standard Test Method for Sieve Analysis of Metal Powders*, West Conshohocken, Pensilvania: ASTM, 2016.
- [4] H. & B. Tyler, *WTyler Product Catalog*, Mentor, Ohio: Haver & Boecker, 2015.
- [5] Retsch, *Catálogo general - Trituración, tamizado y asistencia*, Haan: Verder Scientific, 2016.
- [6] B. S. Technologies, «<http://www.bionicsscientific.com>,» 18 enero 2013. [En línea]. Available: <http://www.bionicsscientific.com/sieve-shakers/motorised-test-sieve-shaker.html>. [Último acceso: 26 septiembre 2015].
- [7] O. D. Neikov, S. S. Naboychenko y G. Dowson, *Handbook of non-ferrous metal powders - Technologies and applications*, First ed., Kidlington, Oxford: Elsevier, 2009.
- [8] A. H. Committee, *ASM Handbook Volume 7 Powder Metal Technologies and Applications*, Kinsman, Ohio: ASM International, 1998.
- [9] F. V. S.L., «*Catálogo de Productos Filtra Vibración*,» Filtra Vibración, 1 Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://filtra.com/wp-content/uploads/2017/02/catalogo.pdf>. [Último acceso: 10 Octubre 2016].
- [10] R. C. HIBBELER, *Mecánica vectorial para ingenieros. Estática*, Décima ed., México D.F.: PEARSON EDUCACIÓN, 2004.
- [11] R. A. SERWAY, *FÍSICA para ciencias e ingeniería*, Séptima ed., México D.F.: Cengage Learning, 2008.
- [12] R. G. BUDYNAS, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, Octava ed., México D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V, 2008.
- [13] R. L. MOTT, *Diseño de elementos de máquinas*, 4ta ed., Mexico D.F.:



PEARSON EDUCATION, 2006.

- [14] SKF, Catálogo General, Grupo SKF, 2006.
- [15] L. S. (R), «Lee Spring Resorts Mexico,» Lee Springs, 11 Marzo 2007. [En línea]. Available: <http://www.lespring.com/resortes-mexico/>. [Último acceso: 10 Octubre 2016].
- [16] OLEOSTATIC, «Correas trapeciales convencionales,» *Catálogo general de correas*, vol. I, nº 1, p. 25, 2006.
- [17] M. P. Transmission, «XL Right Angle and Parallel Reducers and Gearmotors,» Masters, Greenville, South Carolina, 2016.
- [18] G. G. Rey, «Valor racional de la tensión inicial de montaje en las,» 01 Enero 1998. [En línea]. Available: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu>. [Último acceso: 01 Diciembre 2016].
- [19] N. Corporation, Rodamiento de Bolas y Rodillos, Mount Prospect: NTN Corporation, 2004.
- [20] J. C. y. C. S. F. McCormac, Diseño de Estructuras de Acero., Quinta ed., Mexico D.F.: Alfaomega Grupo, 2012.
- [21] D. (. P. d. Acero, *Catálogo DIPAC*, Manta, 2011.
- [22] A. W. S. (. C. D. d. S. Estructural, Código de Soldadura Estructural - Acero D1.1 2010, Miami: American Welding Society, 2010.
- [23] G. Linde, «Catálogo de electrodos comunes, especiales & Gases para corte y soldadura,» 14 Diciembre 2003. [En línea]. Available: [www.aga.com.ec](http://www.aga.com.ec). [Último acceso: 12 Marzo 2017].
- [24] G. W. -. U. d. Motores, «Selección y aplicación de motores eléctricos,» *Motores Eléctricos Guía de Especificación*, vol. I, nº 1, p. 68, 2008.

# **ANEXOS**



## Anexo 1 Soportes para cuerpos rígidos sometidos a sistemas bidimensionales de fuerza

Tipos de conexión	Reacción	Número de incógnitas
<p>(1)</p>  <p>cable</p>		<p>Una incógnita. La reacción es una fuerza de tensión que actúa alejándose del miembro en la dirección del cable.</p>
<p>(2)</p>  <p>eslabón sin peso</p>		<p>Una incógnita. La reacción es una fuerza que actúa a lo largo del eje del eslabón.</p>
<p>(3)</p>  <p>rodillo</p>		<p>Una incógnita. La reacción es una fuerza que actúa perpendicularmente a la superficie en el punto de contacto.</p>
<p>(4)</p>  <p>rodillo o pasador confinado en una ranura lisa</p>		<p>Una incógnita. La reacción es una fuerza que actúa perpendicularmente a la ranura.</p>
<p>(5)</p>  <p>mecedora</p>		<p>Una incógnita. La reacción es una fuerza que actúa perpendicularmente a la superficie en el punto de contacto.</p>
<p>(6)</p>  <p>superficie de contacto lisa</p>		<p>Una incógnita. La reacción es una fuerza que actúa perpendicularmente a la superficie en el punto de contacto.</p>
<p>(7)</p>  <p>miembro conectado mediante un pasador a un collar sobre una barra lisa</p>		<p>Una incógnita. La reacción es una fuerza que actúa perpendicularmente a la barra.</p>
<p>(8)</p>  <p>pasador o articulación lisa</p>		<p>Dos incógnitas. Las reacciones son dos componentes de fuerza, o la magnitud y la dirección <math>\phi</math> de la fuerza resultante. Observe que <math>\phi</math> y <math>\theta</math> no son necesariamente iguales [usualmente no, a menos que la barra mostrada sea un eslabón como en (2)].</p>
<p>(9)</p>  <p>miembro con conexión fija a un collar sobre una barra lisa</p>		<p>Dos incógnitas. Las reacciones son el momento de par y la fuerza que actúa perpendicularmente a la barra.</p>
<p>(10)</p>  <p>sopORTE fijo o empotrado</p>		<p>Tres incógnitas. Las reacciones son el momento de par y las dos componentes de fuerza, o el momento de par y la magnitud y la dirección <math>\phi</math> de la fuerza resultante.</p>

Fuente: [10]

## Anexo 2 Standard sieve series

ISO 565 and 3310/1		DIN 4178	ASTM E 11	CIS GOST 3584	British Standard	
Principal sizes (R 20/3)	Supplementary sizes (R 20)				Sieve designation	
$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	mm	$\mu\text{m}$	mesh
1000 <sup>a</sup>	1000 <sup>a</sup>	1000 <sup>a</sup>	1000 <sup>a</sup>	1.00	1000	16
	900	900				
	800	800	850	0.80	850	18
710	710	710	710		710	22
	630	630		0.63		
	560	560	600		600	25
500	500	500	500	0.50	500	30
	450	450				
	400	400	425	0.40	425	36
355	355	355	355		355	44
	315	315		0.315		
	280	280	300		300	52
250	250	250	250	0.250	250	60
	224	224				
	200	200	212	0.200	212	70
180	180	180	180		180	85
	160	160		0.160		
	140	140	150		150	100
125	125	125	125	0.125	125	120
	112	112				
	100	100	106	0.100		
90	90	90	90	0.090	90	170
	80	80		0.080		
	71	71	75	0.071	75	200
63	63	63	63	0.063	63	240
	56			0.056		
	50	50	53	0.050	53	300
45	45	45	45	0.045	45	350
	40	40		0.040		
	36	36	38		38	400
	32	32	32			
	28	28				
	25	25	25			
	22	22				
	20	20				

<sup>a</sup>The beginning of sieve series is 125 mm. The range up to 1000  $\mu\text{m}$  is not presented here.

Fuente: [7]

### Anexo 3 Especificaciones de Resortes de Compresión Lee Springs

<b>Especificaciones</b>	
Número de Parte	LCD250M 02 M
Diámetro Exterior	34.493 mm
Diámetro de Agujero de Trabajo	35.991 mm
Diámetro de Alambre	2.489 mm
Carga a Longitud Sólida	202.161 N
Longitud sin Carga	109.982 mm
Constante	2.21 N/mm
Altura Sólida	18.923 mm
Diámetro de Poste	28.295 mm
Espiras Activas	5.5
Vueltas	7.5
Acabado	ZINC PLATE AND BAKE PER ASTM B633
Material	MW

Fuente: [15]

## Anexo 4 Ficha técnica reductor de velocidad

### XL Right Angle C-Face Reducers

#### SINGLE REDUCTION SIZE WM12

Ratio	Rating Data	RPM INPUT				FRAME SIZE	PART NUMBER
		2500	1750	1160	860		
5	Output RPM	500	350	232	172	56C	M60800
	Output Torque, in. lb.	166	194	222	248		
	Output HP (Max.)	1.32	1.08	.82	.68		
	Input HP (Max.)	1.51	1.23	.95	.80		
	OHL Output Shaft	455	430	415	390		
7.5	Output RPM	333	233	155	115	56C	M60801
	Output Torque, in. lb.	198	221	219	220		
	Output HP (Max.)	1.05	.82	.54	.40		
	Input HP (Max.)	1.23	1.00	.65	.50		
	OHL Output Shaft	430	410	410	415		
10	Output RPM	250	175	116	86	56C	M60802
	Output Torque, in. lb.	202	234	280	324		
	Output HP (Max.)	.80	.65	.52	.44		
	Input HP (Max.)	1.00	.80	.64	.55		
	OHL Output Shaft	430	405	365	320		
12.7	Output RPM	197	138	91	68	56C	M60803
	Output Torque, in. lb.	210	257	296	316		
	Output HP (Max.)	.66	.56	.43	.34		
	Input HP (Max.)	.82	.69	.54	.43		
	OHL Output Shaft	420	385	350	330		
15	Output RPM	167	117	77	57	56C	M60804
	Output Torque, in. lb.	195	227	271	308		
	Output HP (Max.)	.52	.42	.33	.28		
	Input HP (Max.)	.67	.55	.45	.38		
	OHL Output Shaft	430	410	375	340		
18	Output RPM	139	97	64	48	56C	M60805
	Output Torque, in. lb.	211	261	313	338		
	Output HP (Max.)	.46	.40	.32	.26		
	Input HP (Max.)	.61	.53	.42	.34		
	OHL Output Shaft	420	380	335	300		

Fuente: [17]

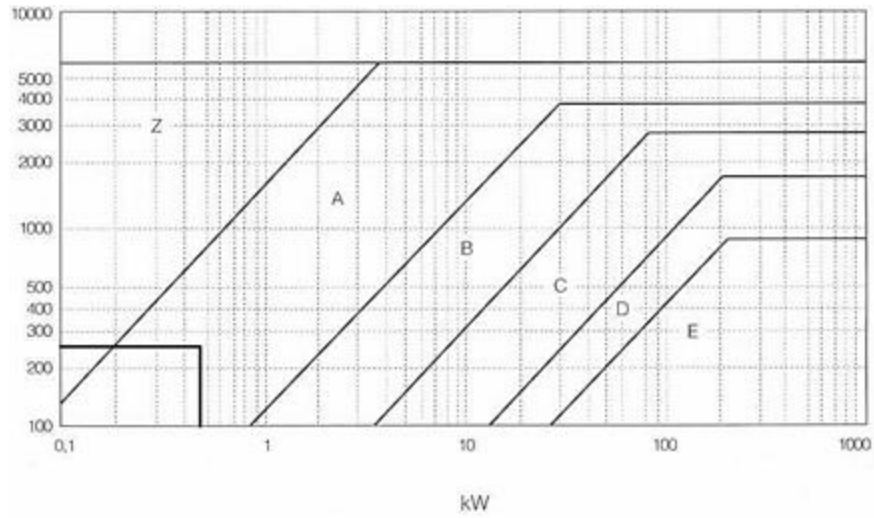
**Anexo 5 Factores de servicio. Valores de CC (Coeficiente de corrección) según las condiciones de trabajo y tipo de carga**

**TABLA 1**  
FACTORES DE SERVICIO  
VALORES DE CC (COEFICIENTE  
DE CORRECCION) SEGUN LAS  
CONDICIONES DE TRABAJO Y  
EL TIPO DE CARGA.

Aplicaciones	Tipo de motor					
	Motores eléctricos de corriente alterna: de par normal, de jaula de ardilla, sincronicos.			Motores eléctricos de corriente alterna: de par elevado, de deslizamiento elevado, monofasicos; rotor bobinado, por colector.		
	Motores eléctricos de corriente continua: excitación en paralelo; motores térmicos de varios cilindros; turbinas de gas o de vapor.			Motores eléctricos de corriente continua: excitación en serie y compuesta; motores térmicos de un cilindro con acoplamiento directo o con contra-árbol; máquinas de vapor.		
	Horas diarias de funcionamiento					
	0-8	8-16	16-24	0-8	8-16	16-24
Trabajos ligeros Bombas centrifugas y compresores, cintas transportadoras (materiales ligeros), ventiladores y bombas de hasta 7,5 kW.	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Trabajos normales Cizallas para chapa, prensas, cintas transportadoras y de cadena, tamices (materiales pesados), grupos generadores, máquinas-herramienta, amasadoras, lavadoras industriales, prensas de tipografía, ventiladores y bombas de más de 7,5 kW.	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Trabajos pesados Molino de martillos, compresores de pistón, cintas transportadoras para cargas muy pesadas, montacargas, máquinas para la industria textil, máquinas continuas para papeleras, bombas de pistón, bombas para dragar, sierras alternativas.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Trabajos particularmente pesados Molinos de potencia elevada, Trituradores de piedras, calandras, mezcladoras, grúas, excavadoras, dragas.	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Fuente: [16]

### Anexo 6 Selección de la sección de la correa



Fuente: [16]

### Anexo 7 Diámetros aconsejados

ø mm	Z	A	B	C	D	E	ø mm	Z	A	B	C	D	E
50							315	••	••	••			
53							355			•	•	•	••
56							375			•	•	•	
60	•						400	••	••	••	••	••	
63	••						425						•
67	•						450	•	•	•	•	••	
71	••						475						•
75	•						500	••	••	••	••	••	••
80	••						530						•
90	•	••					560	•	•	•	•	•	••
95		•					600			•	•	•	•
100	••	••					630	••	••	••	••	••	••
106		•					670						•
112	•	••					710	•	•	•	•	•	••
118		•					750		•	•	•	•	
125	••	••	•				800		••	••	••	••	••
132		•	•				900		•	•	•	•	•
140	•	••	••				1000		••	••	••	••	••
150	•	•	•				1060					•	
160	••	••	••				1120			•	•	•	
170			•				1250			••	••	••	
180	•	••	••				1400			•	•	•	
200	••	••	••	••			1500					•	•
212				•			1600			••	••	••	
224	•	•	•	••			1800					•	•
236				•			1900						•
250	•	••	••	••			2000				••	••	
265				•			2240						•
280		•	•	••			2500						••
300			•	•	•								

Fuente: [16]

### Anexo 8 Lista medidas de las correas tipo Z y A

Z (mm 10 x 6)			Z (mm 10 x 6)			A (mm 13 x 8)		
TIPO	Li (mm)	Lp (mm)	TIPO	Li (mm)	Lp (mm)	TIPO	Li (mm)	Lp (mm)
Z 12 ½	315	340	Z 62	1575	1600	A 15	382	415
Z 14	355	380	Z 63	1600	1625	A 18	457	490
Z 16	410	435	Z 65	1651	1676	A 19	480	513
Z 17 ½	440	465	Z 66	1675	1700	A 20	508	541
Z 18	460	485	Z 67	1700	1725	A 21	535	535
Z 19	480	505	Z 68 ½	1740	1765	A 21 ½	552	585
Z 19 ½	500	525	Z 69	1750	1775	A 22	560	593
Z 20 ½	520	545	Z 71	1800	1825	A 23	587	620
Z 21 ½	540	565				A 23 ½	600	633
Z 21 ¾	545	570				A 24	610	643
Z 21 ¾	555	580				A 25	637	670
Z 22	560	585				A 25 ½	647	680
Z 22 ¼	565	590				A 26	660	693
Z 23	585	610				A 26 ½	670	703
Z 23 ¾	605	630				A 27	686	719
Z 24	610	635				A 28	710	743
Z 25	635	660				A 29	737	770
Z 25 ½	650	675				A 29 ½	750	783
Z 26	660	685				A 30	767	800
Z 27	685	710				A 30 ½	775	808
Z 28	710	735				A 31	787	820
Z 28 ½	725	750				A 31 ½	800	833
Z 29	730	755				A 32	813	846
Z 29 ½	750	775				A 32 ½	825	858
Z 30	765	790				A 33	838	871
Z 30 ½	775	800				A 33 ¼	847	880
Z 30 ¾	785	810				A 33 ½	850	883
Z 31 ½	800	825				A 34	867	900
Z 32	815	840				A 34 ½	875	908
Z 33	840	865				A 35	900	933
Z 33 ½	850	875				A 36	914	947
Z 34	865	890				A 37	942	975
Z 34 ¼	870	895				A 37 ½	950	983
Z 35	890	915				A 38	965	998
Z 35 ½	900	925				A 38 ½	975	1008
Z 36	915	940				A 39	992	1025
Z 36 ¾	935	960				A 39 ½	1000	1033
Z 37	945	970				A 40	1016	1049
Z 38	965	990				A 40 ½	1030	1063
Z 38 ¾	975	1000				A 41	1041	1074
Z 39	1000	1025				A 42	1067	1100
Z 40	1016	1041				A 43	1100	1133
Z 40 ½	1030	1055				A 43 ½	1105	1138
Z 41	1040	1065				A 44	1120	1153
Z 41 ½	1050	1075				A 44 ½	1132	1165
Z 42	1070	1095				A 45	1143	1176
Z 43	1090	1115				A 46	1168	1201
Z 43 ¼	1100	1125				A 46 ½	1180	1213
Z 44	1120	1145				A 47	1200	1233
Z 45	1145	1170				A 48	1220	1253
Z 46	1180	1205				A 49	1250	1283
Z 48	1225	1250				A 50	1270	1303
Z 49	1245	1270				A 51	1300	1333
Z 50	1270	1295				A 51 ½	1307	1340
Z 51	1300	1325				A 52	1320	1353
Z 52	1325	1350				A 52 ½	1337	1370
Z 53	1345	1370				A 53	1346	1379
Z 54	1371	1396				A 53 ¼	1355	1388
Z 55	1400	1425				A 54	1372	1405
Z 56	1422	1447				A 55	1400	1433
Z 57	1450	1475				A 56	1422	1455
Z 59	1500	1525				A 57	1450	1483
Z 59 ½	1515	1540				A 58	1475	1508
Z 61	1550	1575				A 59	1500	1533

Fuente: [16]



## Anexo 9 Presentaciones básicas (Pb) de las correas Tipo A

**Pb (kW) por d:**

diámetro	71	80	85	90	95	100	106	112	125	132	140	150	160	170	180	190	200	212	
rpm																			
100	0.13	0.16	0.17	0.21	0.23	0.25	0.28	0.30	0.35	0.38	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58	0.62	0.66	0.71	
200	0.22	0.29	0.33	0.37	0.41	0.45	0.50	0.54	0.65	0.70	0.76	0.84	0.92	0.99	1.07	1.14	1.22	1.30	
300	0.29	0.40	0.46	0.52	0.57	0.63	0.70	0.77	0.91	0.99	1.08	1.19	1.30	1.41	1.52	1.63	1.74	1.86	
400	0.36	0.50	0.57	0.65	0.73	0.80	0.89	0.98	1.17	1.27	1.38	1.53	1.67	1.81	1.96	2.09	2.23	2.39	
500	0.42	0.59	0.68	0.78	0.87	0.96	1.07	1.18	1.41	1.53	1.67	1.85	2.02	2.19	2.36	2.53	2.70	2.90	
600	0.48	0.68	0.79	0.90	1.00	1.11	1.24	1.37	1.64	1.78	1.95	2.15	2.36	2.56	2.76	2.96	3.15	3.39	
700	0.53	0.76	0.89	1.01	1.13	1.26	1.40	1.55	1.86	2.03	2.22	2.45	2.68	2.91	3.14	3.37	3.59	3.86	
725	0.54	0.78	0.91	1.04	1.16	1.29	1.44	1.59	1.92	2.09	2.28	2.52	2.76	3.00	3.24	3.47	3.70	3.98	
800	0.58	0.84	0.98	1.12	1.26	1.40	1.56	1.72	2.08	2.26	2.48	2.74	3.00	3.26	3.51	3.77	4.02	4.32	
900	0.63	0.91	1.07	1.22	1.38	1.53	1.71	1.89	2.28	2.49	2.73	3.02	3.30	3.59	3.87	4.15	4.43	4.75	
950	0.65	0.95	1.11	1.27	1.43	1.60	1.79	1.98	2.39	2.60	2.85	3.15	3.45	3.75	4.05	4.34	4.63	4.97	
1000	0.67	0.98	1.15	1.32	1.49	1.66	1.86	2.06	2.49	2.71	2.97	3.29	3.60	3.91	4.22	4.52	4.82	5.18	
1100	0.71	1.05	1.23	1.42	1.60	1.79	2.00	2.22	2.68	2.90	3.21	3.55	3.89	4.22	4.55	4.88	5.20	5.59	
1200	0.74	1.11	1.31	1.51	1.71	1.91	2.14	2.37	2.87	3.14	3.43	3.80	4.17	4.53	4.88	5.23	5.57	5.98	
1300	0.78	1.17	1.39	1.60	1.81	2.02	2.27	2.52	3.05	3.34	3.66	4.05	4.44	4.82	5.19	5.56	5.93	6.36	
1400	0.81	1.23	1.46	1.69	1.91	2.14	2.40	2.67	3.23	3.53	3.87	4.29	4.70	5.10	5.50	5.88	6.27	6.72	
1425	0.82	1.24	1.48	1.71	1.94	2.16	2.44	2.70	3.28	3.58	3.92	4.36	4.76	5.17	5.57	5.96	6.36	6.80	
1500	0.84	1.28	1.53	1.77	2.01	2.25	2.53	2.81	3.41	3.72	4.08	4.52	4.95	5.37	5.79	6.19	6.59	7.06	
1600	0.86	1.33	1.59	1.85	2.10	2.35	2.65	2.95	3.57	3.91	4.28	4.74	5.19	5.63	6.07	6.49	6.90	7.39	
1700	0.89	1.38	1.66	1.93	2.19	2.46	2.77	3.08	3.74	4.08	4.48	4.96	5.43	5.89	6.33	6.77	7.20	7.70	
1800	0.91	1.43	1.72	2.00	2.28	2.55	2.88	3.21	3.89	4.26	4.66	5.16	5.65	6.13	6.59	7.04	7.48	7.99	
1900	0.93	1.48	1.78	2.07	2.36	2.65	2.99	3.33	4.04	4.42	4.84	5.36	5.87	6.36	6.83	7.30	7.75	8.27	
2000	0.95	1.52	1.83	2.14	2.44	2.74	3.10	3.45	4.19	4.58	5.02	5.55	6.07	6.58	7.07	7.54	8.00	8.52	
2100	0.97	1.56	1.88	2.20	2.52	2.83	3.20	3.56	4.33	4.74	5.19	5.74	6.27	6.79	7.28	7.77	8.23	8.76	
2200	0.99	1.60	1.94	2.27	2.59	2.92	3.30	3.67	4.47	4.88	5.35	5.91	6.46	6.98	7.49	7.98	8.44	8.97	
2300	1.00	1.64	1.98	2.33	2.66	3.00	3.39	3.78	4.60	5.02	5.50	6.08	6.63	7.17	7.68	8.17	8.64	9.17	
2400	1.01	1.67	2.03	2.38	2.73	3.08	3.48	3.88	4.72	5.16	5.65	6.23	6.80	7.34	7.86	8.35	8.82	9.34	
2500	1.02	1.70	2.07	2.44	2.80	3.15	3.57	3.98	4.84	5.29	5.78	6.38	6.96	7.50	8.02	8.52	8.98	9.50	
2600	1.03	1.73	2.11	2.49	2.86	3.22	3.65	4.07	4.96	5.41	5.91	6.52	7.10	7.65	8.17	8.66	9.12	9.63	
2700	1.04	1.76	2.15	2.54	2.92	3.29	3.73	4.16	5.06	5.52	6.04	6.65	7.24	7.79	8.31	8.79	9.24	9.73	
2800	1.04	1.78	2.19	2.58	2.97	3.35	3.80	4.24	5.16	5.63	6.15	6.77	7.36	7.91	8.43	8.91	9.34	9.82	
2850	1.04	1.80	2.20	2.60	3.00	3.39	3.84	4.28	5.21	5.68	6.21	6.83	7.42	7.97	8.48	8.95	9.39	9.85	
2900	1.04	1.81	2.22	2.63	3.02	3.42	3.87	4.32	5.25	5.73	6.26	6.88	7.47	8.02	8.53	9.00	9.42	9.87	
3000	1.05	1.83	2.25	2.67	3.07	3.47	3.94	4.40	5.34	5.83	6.36	6.98	7.57	8.12	8.62	9.07	9.48	9.91	
3100	1.05	1.85	2.28	2.70	3.12	3.53	4.00	4.47	5.42	5.91	6.45	7.08	7.66	8.20	8.69	9.13	9.52	9.91	
3200	1.04	1.86	2.30	2.74	3.16	3.58	4.06	4.53	5.50	5.99	6.53	7.16	7.74	8.27	8.74	9.17	9.53		
3300	1.04	1.88	2.33	2.77	3.20	3.62	4.11	4.59	5.57	6.06	6.60	7.23	7.80	8.32	8.78	9.18	9.52		
3400	1.04	1.89	2.35	2.80	3.24	3.66	4.16	4.65	5.63	6.13	6.66	7.29	7.85	8.36	8.80	9.18			
3500	1.03	1.90	2.37	2.82	3.27	3.70	4.21	4.69	5.69	6.18	6.72	7.33	7.89	8.38	8.80	9.15			
3600	1.02	1.91	2.38	2.85	3.30	3.74	4.25	4.74	5.74	6.23	6.76	7.37	7.91	8.38	8.78				
3700	1.01	1.91	2.39	2.87	3.32	3.77	4.28	4.78	5.78	6.27	6.80	7.40	7.92	8.37	8.75				
3800	1.00	1.91	2.40	2.88	3.35	3.79	4.31	4.81	5.81	6.30	6.83	7.41	7.92	8.35					
3900	0.98	1.91	2.41	2.89	3.36	3.82	4.34	4.84	5.84	6.33	6.84	7.41	7.90	8.30					
4000	0.97	1.91	2.42	2.90	3.38	3.84	4.36	4.86	5.86	6.34	6.85	7.40	7.87						
4100	0.96	1.91	2.42	2.91	3.39	3.85	4.38	4.88	5.87	6.35	6.84	7.38	7.82						
4200	0.93	1.90	2.42	2.92	3.40	3.86	4.39	4.89	5.88	6.35	6.83	7.34							
4300	0.91	1.89	2.41	2.92	3.40	3.87	4.40	4.90	5.87	6.34	6.80	7.30							
4400	0.88	1.88	2.41	2.91	3.40	3.87	4.40	4.90	5.86	6.31	6.77	7.23							
4500	0.86	1.86	2.40	2.91	3.40	3.86	4.39	4.89	5.84	6.28	6.72								
4600	0.83	1.85	2.38	2.90	3.39	3.86	4.39	4.88	5.82	6.24	6.66								
4700	0.80	1.83	2.37	2.88	3.38	3.84	4.37	4.86	5.78	6.19	6.59								
4800	0.77	1.81	2.35	2.87	3.36	3.83	4.35	4.84	5.74	6.14									
4900	0.74	1.78	2.33	2.85	3.34	3.81	4.33	4.80	5.68	6.07									
5000	0.70	1.75	2.30	2.82	3.32	3.78	4.30	4.77	5.62	5.99									
5200	0.63	1.69	2.24	2.76	3.25	3.71	4.22	4.67	5.47										
5400	0.54	1.62	2.17	2.69	3.18	3.63	4.12	4.55											
5600	0.45	1.53	2.09	2.60	3.08	3.52	3.99	4.40											
5800	0.35	1.44	1.99	2.50	2.97	3.39	3.84	4.22											
6000	0.24	1.33	1.88	2.38	2.83	3.24	3.66												

**Nota:** La parte de la tabla que está pintada de gris indica unas velocidades perifericas superiores a 30 m/segundo. Por tanto, en estos casos, hay que emplear poleas equilibradas dinamicamente. En estos casos, la duracion de las correas se verá reducida.

Fuente: [16]



### Anexo 10 Presentaciones básicas (Pd) de las correas Tipo A

rpm	Pb (kW) por K desde... hasta...									
	1,00 1,01	1,02 1,03	1,04 1,06	1,07 1,08	1,09 1,12	1,13 1,16	1,17 1,22	1,23 1,32	1,33 1,50	1,51 para arriba
100	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
200	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
300	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
400	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07
500	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
600	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11
700	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13
725	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13
800	0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14
900	0,00	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16
960	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17
1000	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18
1100	0,00	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,18	0,20
1200	0,00	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12	0,14	0,17	0,19	0,21
1300	0,00	0,03	0,05	0,08	0,10	0,13	0,16	0,18	0,21	0,23
1400	0,00	0,03	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	0,20	0,22	0,25
1425	0,00	0,03	0,06	0,09	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26
1500	0,00	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27
1600	0,00	0,03	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,29
1700	0,00	0,03	0,07	0,10	0,14	0,17	0,20	0,24	0,27	0,30
1800	0,00	0,04	0,07	0,11	0,14	0,19	0,22	0,25	0,29	0,32
1900	0,00	0,04	0,08	0,11	0,15	0,19	0,23	0,27	0,30	0,34
2000	0,00	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36
2100	0,00	0,04	0,08	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,38
2200	0,00	0,04	0,09	0,13	0,17	0,22	0,26	0,31	0,35	0,39
2300	0,00	0,05	0,09	0,14	0,18	0,23	0,28	0,32	0,37	0,41
2400	0,00	0,05	0,10	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34	0,38	0,43
2500	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
2600	0,00	0,05	0,10	0,16	0,21	0,26	0,31	0,36	0,41	0,47
2700	0,00	0,05	0,11	0,16	0,21	0,27	0,32	0,38	0,43	0,48
2800	0,00	0,06	0,11	0,17	0,22	0,28	0,34	0,39	0,45	0,50
2850	0,00	0,06	0,11	0,17	0,23	0,29	0,34	0,40	0,45	0,51
2900	0,00	0,06	0,12	0,17	0,23	0,29	0,35	0,41	0,46	0,52
3000	0,00	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54
3100	0,00	0,06	0,12	0,19	0,25	0,31	0,37	0,43	0,49	0,55
3200	0,00	0,06	0,13	0,19	0,25	0,32	0,38	0,45	0,51	0,57
3300	0,00	0,07	0,13	0,20	0,26	0,33	0,40	0,46	0,53	0,59
3400	0,00	0,07	0,14	0,20	0,27	0,34	0,41	0,48	0,54	0,61
3500	0,00	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,63
3600	0,00	0,07	0,14	0,22	0,29	0,36	0,43	0,50	0,57	0,64
3700	0,00	0,07	0,15	0,22	0,29	0,37	0,44	0,52	0,59	0,66
3800	0,00	0,08	0,15	0,23	0,30	0,38	0,46	0,53	0,61	0,68
3900	0,00	0,08	0,16	0,23	0,31	0,39	0,47	0,55	0,62	0,70
4000	0,00	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72
4100	0,00	0,08	0,16	0,25	0,33	0,41	0,49	0,57	0,65	0,73
4200	0,00	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50	0,59	0,67	0,75
4300	0,00	0,09	0,17	0,26	0,34	0,43	0,52	0,60	0,69	0,77
4400	0,00	0,09	0,18	0,26	0,35	0,44	0,53	0,62	0,70	0,79
4500	0,00	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,81
4600	0,00	0,09	0,18	0,28	0,37	0,46	0,55	0,64	0,73	0,82
4700	0,00	0,09	0,19	0,28	0,37	0,47	0,56	0,66	0,75	0,84
4800	0,00	0,09	0,19	0,29	0,38	0,48	0,58	0,67	0,76	0,86
4900	0,00	0,10	0,20	0,29	0,39	0,49	0,59	0,69	0,78	0,88
5000	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,89
5200	0,00	0,10	0,21	0,31	0,41	0,52	0,62	0,73	0,83	0,93
5400	0,00	0,11	0,21	0,32	0,43	0,54	0,65	0,76	0,86	0,97
5600	0,00	0,11	0,22	0,34	0,44	0,56	0,67	0,78	0,89	1,00
5800	0,00	0,11	0,23	0,35	0,46	0,58	0,70	0,81	0,92	1,04
6000	0,00	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96	1,07

Fuente: [16]

### Anexo 11 Factor de corrección $C_\gamma$

	$\gamma$	180°	175	170°	165°	160°	155°	150°	145°	140°	135°	130°	125°	120°	115°	110°	105°	100°	90°
$C_\gamma$	T/T	1	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,69
	T/P	0,75	0,76	0,77	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,69

T/T = Transmisión trapecial/trapecial

T/P = Transmisión trapecial/plana

$\gamma$  = Arco de contacto sobre la polea menor

Fuente: [16]

### Anexo 12 Factor de corrección $C_l$ en función del tipo y de la longitud de la correa en pulgadas

		PULGADAS																										
		9½	16	22	24	28	32	35	42	48	53	66	75	81	90	105	128	144	162	180	210	240	285	330	420	540	720	780
<b>Z</b>		0,69	0,77	0,82	0,84	0,87	0,89	0,91	0,95	0,98	1,00																	
<b>A</b>		0,73	0,79	0,80	0,83	0,85	0,87	0,91	0,93	0,95	1,00	1,03	1,05	1,07	1,11	1,16	1,19	1,22	1,25	1,29								
<b>B</b>		0,73	0,75	0,77	0,80	0,81	0,85	0,87	0,89	0,93	0,96	0,98	1,00	1,03	1,08	1,11	1,14	1,16	1,20	1,24	1,29	1,33	1,40					
<b>C</b>					0,72	0,73	0,76	0,79	0,80	0,85	0,87	0,88	0,90	0,93	0,97	1,00	1,03	1,05	1,09	1,12	1,16	1,20	1,27					
<b>D</b>												0,81	0,83	0,87	0,89	0,92	0,94	0,97	1,00	1,04	1,07	1,13	1,20	1,27				
<b>E</b>																				0,90	0,94	0,96	1,00	1,03	1,09	1,15	1,23	1,25

Fuente: [16]

## Anexo 13 Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente

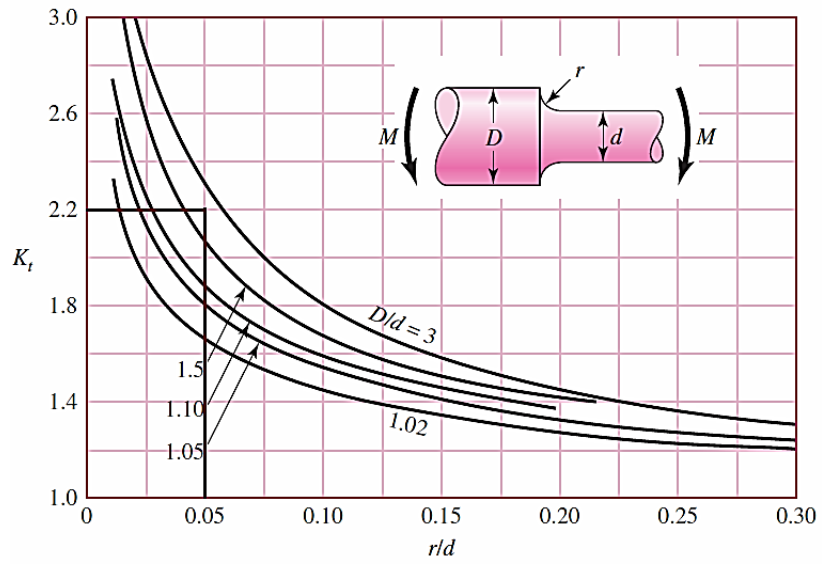
**Tabla A-20**

Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD) [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ( $\frac{3}{4}$  a  $1\frac{1}{4}$  pulg)]. Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

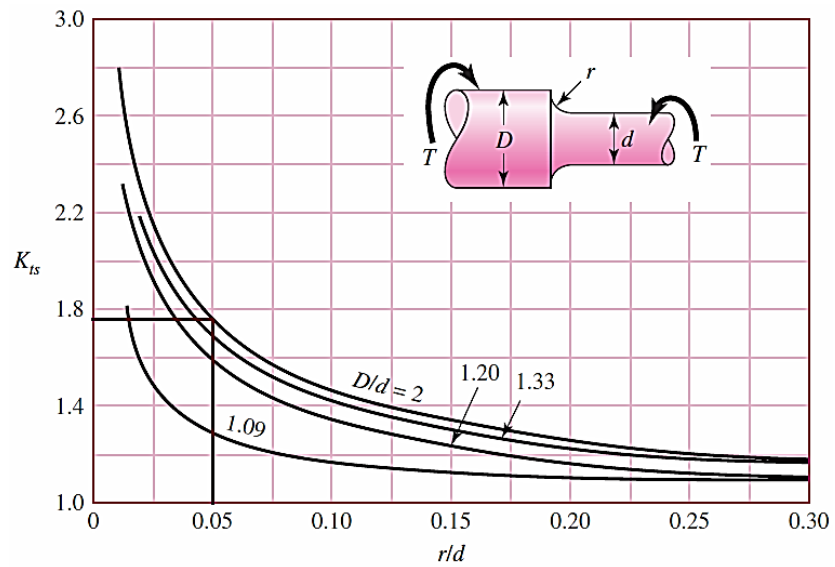
Fuente: [12]

**Anexo 14 Gráficas de factores teóricos de concentración del esfuerzo  $K^*$**



**Figura anexo. 1** Eje redondo con filete en el hombro en flexión.

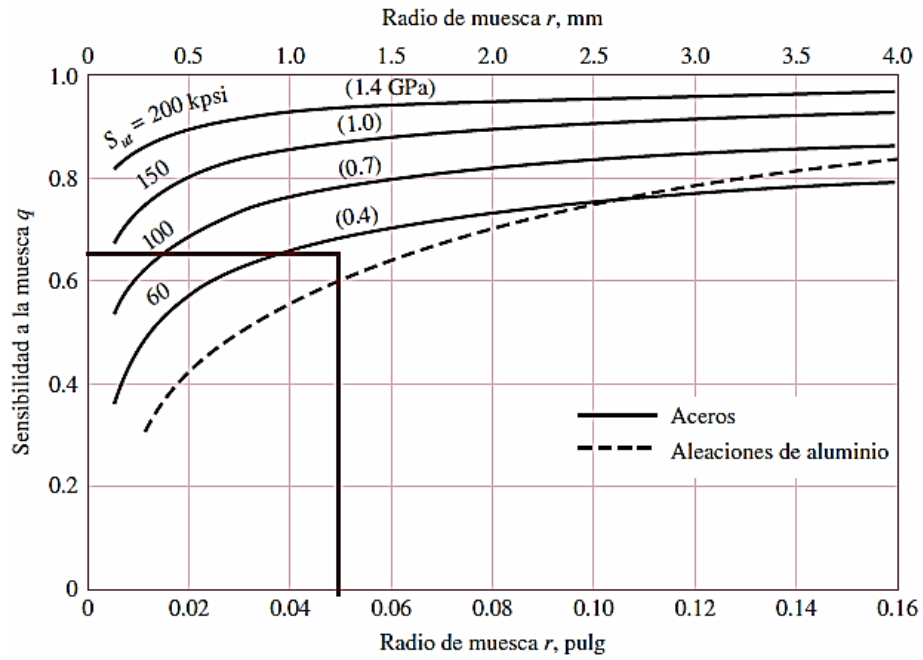
Fuente: [12]



**Figura anexo. 2** Eje redondo con filete en el hombro en torsión.

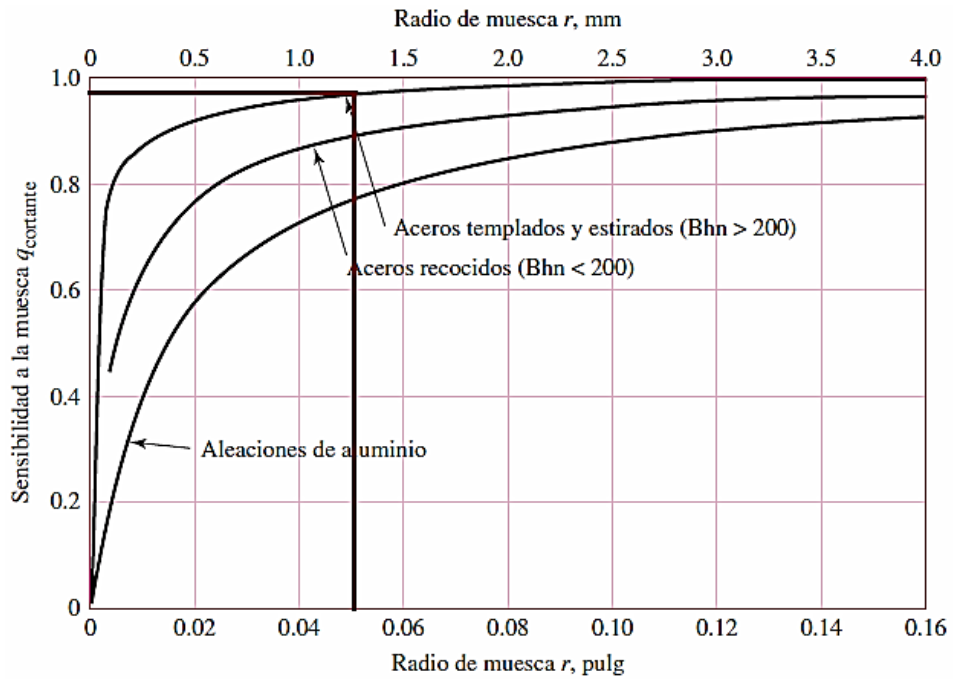
Fuente: [12]

**Anexo 15 Gráficas del factor  $q$  de la carga de flexión y axial – Sensibilidad de la muesca**



**Figura anexo. 3** Aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024-T

Fuente: [12]



**Figura anexo. 4** Materiales sometidos a torsión inversa.

Fuente: [12]



### Anexo 16 Tamaño de la chaveta (cuña) en función del diámetro del eje

Nominal shaft diameter		Nominal key size		
Over	To (incl.)	Width, $W$	Height, $H$	
			Square	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1	1/4	1/4	3/16
1 1/4	1 1/8	5/16	5/16	1/4
1 3/8	1 1/4	3/8	3/8	1/4
1 1/2	2 1/4	1/2	1/2	3/8
2 1/4	2 3/4	5/8	5/8	7/16
2 3/4	3 1/4	3/4	3/4	1/2
3 1/4	3 3/4	7/8	7/8	5/8
3 3/4	4 1/2	1	1	3/4
4 1/2	5 1/2	1 1/4	1 1/4	7/8
5 1/2	6 1/2	1 1/2	1 1/2	1
6 1/2	7 1/2	1 3/4	1 3/4	1 1/2
7 1/2	9	2	2	1 3/4
9	11	2 1/2	2 1/2	1 3/4
11	13	3	3	2
13	15	3 1/2	3 1/2	2 1/2
15	18	4		3
18	22	5		3 1/2
22	26	6		4
26	30	7		5

Source: Reprinted from ANSI Standard B17.1-1967(R98), by permission of the American Society of Mechanical Engineers. All rights reserved.

Note: Values in nonshaded areas are preferred. Dimensions are in inches.

Fuente: [13]

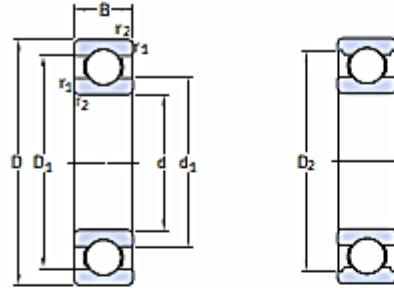
## Anexo 17 Valores orientativos de vida nominal requeridos para diferentes clases de máquinas

Clase de máquinas	Vida nominal Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas usadas intermitentemente o por cortos períodos: herramientas eléctricas portátiles, aparatos elevadores en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: ascensores (elevadores), grúas para mercancías embaladas o eslingas de tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre totalmente utilizadas: transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos de uso industrial, machacadoras rotativas	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: máquinas herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria de ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos para imprentas, separadores y centrífugas	20 000 ... 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Máquinas para la industria de energía eólica, esto incluye el eje principal, la orientación, los engranajes, los rodamientos del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para el abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para transatlánticos	60 000 ... 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, bombas y ventiladores para minas, rodamientos para la línea de ejes de transatlánticos	> 100 000

**Fuente:** [14]

## Anexo 18 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 25 – 35 mm

Rodamientos rígidos de una hilera de bolas  
d 25 – 35 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Velocidades		Masa	Designación	Factores de cálculo		
d	D	B	dinámica $C$	estática $C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite			$k_f$	$f_0$	
mm			kN		kN	rpm		kg	-	-		
25	37	7	4,36	2,6	0,125	38 000	24 000	0,022	61805	0,015	14	
	42	9	7,02	4,3	0,193	36 000	22 000	0,045	61905	0,02	15	
	47	8	8,06	4,75	0,212	32 000	20 000	0,060	* 16005	0,02	15	
	47	12	11,9	6,55	0,275	32 000	20 000	0,080	* 6005	0,025	14	
	52	9	10,6	6,55	0,28	28 000	18 000	0,078	98205	0,025	15	
	52	15	14,8	7,8	0,335	28 000	18 000	0,13	* 6205	0,025	14	
	52	15	17,8	9,8	0,40	28 000	18 000	0,12	6205 ETN9	0,025	13	
	62	17	23,4	11,6	0,49	24 000	16 000	0,23	* 6305	0,03	12	
	62	17	26	13,4	0,57	24 000	16 000	0,21	6305 ETN9	0,03	12	
	80	21	35,8	19,3	0,82	20 000	13 000	0,53	6405	0,035	12	
	28	58	16	16,8	9,5	0,405	26 000	16 000	0,18	62/28	0,025	14
		68	18	25,1	13,7	0,585	22 000	14 000	0,29	63/28	0,03	13
30	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	20 000	0,027	61806	0,015	14	
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	19 000	0,051	61906	0,02	14	
	55	9	11,9	7,35	0,31	28 000	17 000	0,085	* 16006	0,02	15	
	55	13	13,8	8,3	0,355	28 000	17 000	0,12	* 6006	0,025	15	
	62	10	15,9	10,2	0,44	22 000	14 000	0,12	98206	0,025	14	
	62	16	20,3	11,2	0,48	24 000	15 000	0,20	* 6206	0,025	14	
	62	16	23,4	12,9	0,54	24 000	15 000	0,19	6206 ETN9	0,025	13	
	72	19	29,6	16	0,67	20 000	13 000	0,35	* 6306	0,03	13	
	72	19	32,5	17,3	0,74	22 000	14 000	0,33	6306 ETN9	0,03	12	
	90	23	43,6	23,6	1,00	18 000	11 000	0,74	6406	0,035	12	
	35	47	7	4,75	3,2	0,17	28 000	18 000	0,030	61807	0,015	14
		55	10	9,56	6,8	0,29	26 000	16 000	0,080	61907	0,02	14
62		9	13	8,15	0,38	24 000	15 000	0,11	* 16007	0,02	14	
62		14	16,8	10,2	0,44	24 000	15 000	0,16	* 6007	0,025	15	
72		17	27	15,3	0,66	20 000	13 000	0,29	* 6207	0,025	14	
72		17	31,2	17,6	0,75	20 000	13 000	0,27	6207 ETN9	0,025	13	
80		21	35,1	19	0,82	19 000	12 000	0,46	* 6307	0,03	13	
100		25	55,3	31	1,29	16 000	10 000	0,95	6407	0,035	12	

\* Rodamiento SKF Explorer

Fuente: [14]



**Anexo 19 Especificaciones y marcas de identificación para pernos, tornillos, espárragos SEMS<sup>a</sup>/ y Pernos U<sup>b</sup>**

Grado SAE	Grado ASTM	Grado métrico	Díámetro nominal pulg	Resistencia a la prueba a la tensión kpsi	Resistencia a la tensión kpsi	Resistencia de fluencia kpsi	Rockwell del núcleo mín/máx	Marca de grado	Productos	Material
1	A307	4.6	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	33	60	36	B70/B100	Ninguna	B, Sc, St	Acero de bajo o mediano carbono
2	...	5.8	$\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$	55	74	57	B80/B100	Ninguna	B, Sc, St	Acero de bajo o mediano carbono
4	...	4.6	de $\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	33	60	36	B70/B100	Ninguna	B, Sc, St	Acero de bajo o mediano carbono
4	...	8.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	65	115	100	C22/C32	Ninguna	St	Acero de mediano carbono, estirado en frío
5	A449 o bien A325 Tipo 1	8.8	$\frac{1}{2}$ a 1	85	120	92	C25/C34		B, Sc, St	Acero de mediano carbono, Q&T
5.1	...	7.8	de 1 a $1\frac{1}{2}$	74	105	81	C19/C30		B, Sc, St	Acero de mediano carbono, Q&T
5.1	...	8.6	de $1\frac{1}{2}$ a 3	55	90	58	...		B, Sc, St	Acero de mediano carbono, Q&T
5.1	...	8.8	No. 6 a $\frac{1}{2}$	85	120	...	C25/C40		Se	Acero de bajo o de mediano carbono, Q&T
5.2	A325 Tipo 2	8.8	No. 6 a $\frac{1}{2}$	85	120	...	C25/C40		B, Sc, St	Acero de bajo o de mediano carbono, Q&T
5.2	...	8.8	No. 6 a $\frac{1}{2}$	85	120	92	C25/C36		B, Sc	Acero martensítico de bajo carbono, totalmente inerte, de grano fino, Q&T
7 <sup>g</sup>	...	10.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	105	193	115	C28/C34		B, Sc	Acero de mediano carbono y aleación, Q & T
8	A354 Grado BD	10.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	C33/C39		B, Sc, St	Acero de mediano carbono y aleación, Q&T
8.1	...	10.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	C32/C38	Ninguna	St	Acero de mediano carbono y aleación, estirado a alta temperatura o bien, acero G15410
8.2	...	10.9	$\frac{1}{2}$ a 1	120	150	130	C35/C42		B, Sc	Acero martensítico de bajo carbono, totalmente inerte, de grano fino, Q&T
...	A574	12.9	0 a $\frac{1}{2}$	140	180	160	C39/C45	12.9	SHCS	Acero de aleación, Q&T
...	...	12.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	135	170	160	C37/C45	12.9	SHCS	Acero de aleación, Q&T

Fuente: [12]

Anexo 20 Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino\*

Diámetro mayor nominal $d$ , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso $p$ , mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>	Paso $p$ , mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
<b>10</b>	<b>1.5</b>	<b>58.0</b>	<b>52.3</b>	<b>1.25</b>	<b>61.2</b>	<b>56.3</b>
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

\*Las ecuaciones y los datos utilizados para elaborar esta tabla se obtuvieron de la norma ANSI B1.1-1974 y B18.3.1-1978. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación  $d_f = d - 1.226869p$ , y el diámetro de paso a partir de  $d_p = d - 0.649519p$ . La media del diámetro de paso y el diámetro menor se usaron para calcular el área de esfuerzo de tensión.

Fuente: [12]

## Anexo 21 Análisis de la estructura en software de diseño.

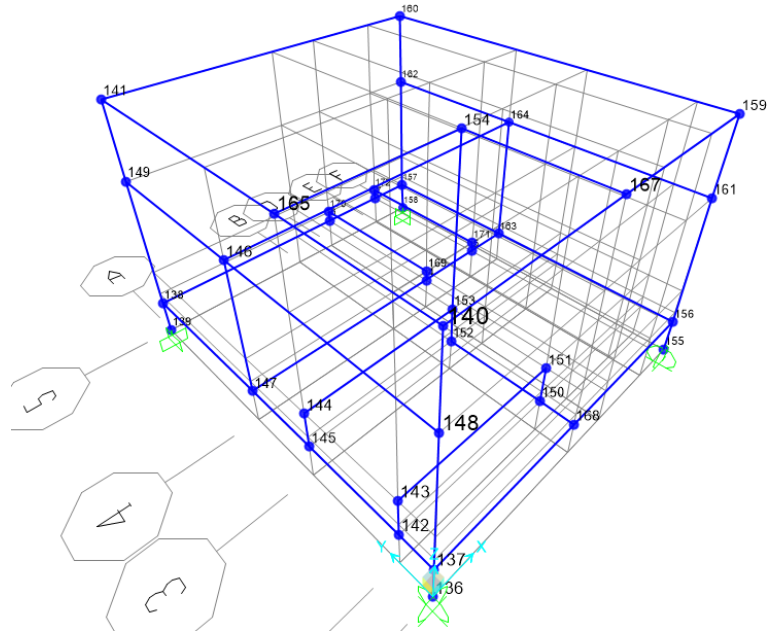


Figura anexo. 5 Estructura Moldeada

Fuente: Autor

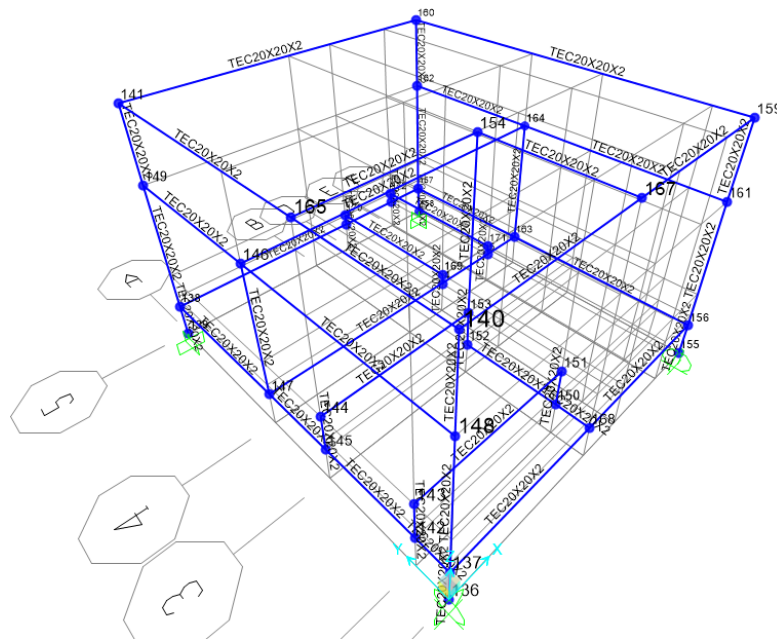
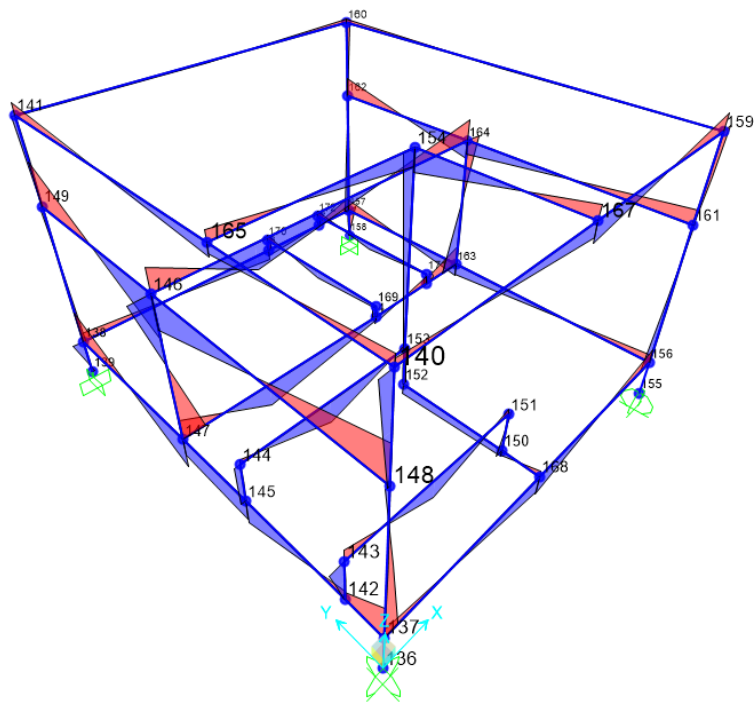


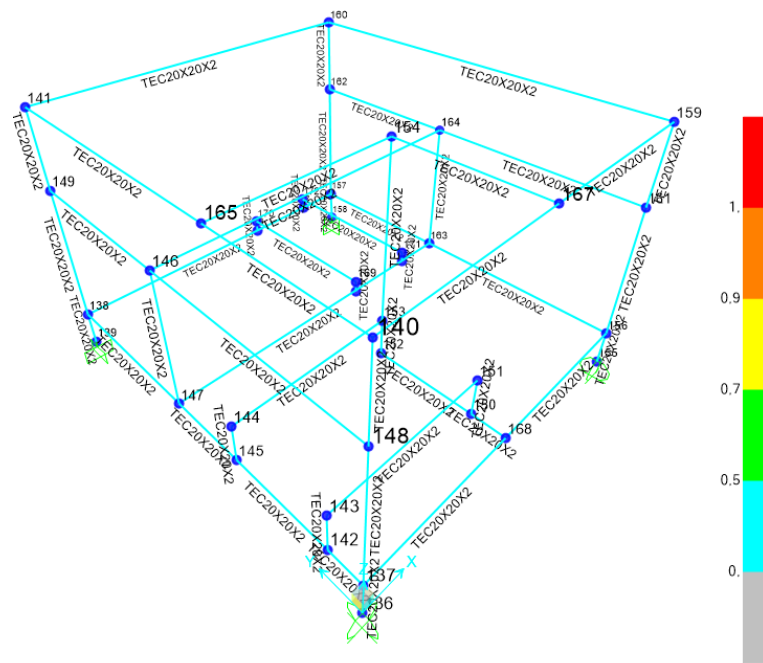
Figura anexo. 6 Estructura moldeada con el perfil 20x20x2 mm.

Fuente: Autor



**Figura anexo. 7** Momentos máximos de la estructura.

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 8** Chequeo de la estructura – vigas con mayor carga.

**Fuente:** Autor

## Anexo 22 Características del tubo estructural cuadrado

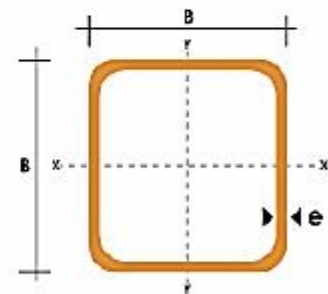
### TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

#### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6,00m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 20,00mm a 100,00mm
<b>Espesor</b>	Desde 2,00mm a 3,00mm



DIMENSIONES		AREA		EJES X-Xo Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,56	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,06	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	1,19	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	1,87
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,89	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



Fuente: [21]



**Anexo 23 Especificaciones aplicables de la ASTM a diversos perfiles estructurales**

Tipo de acero	Designación de la ASTM	Esfuerzo mínimo de fluencia $F_y$ (klb/plg <sup>2</sup> )	Esfuerzo de tensión $F_u$ (klb/plg <sup>2</sup> )	Serie de perfiles aplicables												
				W	M	S	HP	C	MC	L	HSS		Tubo			
											Rect.	Redondo				
Al carbono	A36	36	58-80 <sup>b</sup>													
	A53 Gr. B	35	60													
	A500	Gr. B	42	58												
			46	58												
		Gr. C	46	62												
			50	62												
	A501	Gr. A	36	58												
		Gr. B	50	70												
	A529 <sup>f</sup>	Gr. 50	50	65-100												
		Gr. 55	55	70-100												
Baja aleación alta resistencia	A572	Gr. 42	42	60												
		Gr. 50	50	65 <sup>d</sup>												
		Gr. 55	55	55												
		Gr. 60 <sup>e</sup>	60	60												
		Gr. 65 <sup>e</sup>	65	65												
	A618 <sup>f</sup>	Gr. I & II	50 <sup>g</sup>	70 <sup>g</sup>												
		Gr. III	50	50												
	A913	50	50 <sup>h</sup>	60 <sup>h</sup>												
		60	60	75												
		65	65	80												
		70	70	90												
	A992	50	65 <sup>i</sup>													
	Baja aleación alta resistencia resistente a la corrosión	A242	42 <sup>j</sup>	63 <sup>j</sup>												
46 <sup>k</sup>			67 <sup>k</sup>													
50 <sup>l</sup>			70 <sup>l</sup>													
A588		50	70													
A847	50	70														

= Especificación recomendada para el material  
 = Otra especificación de material aplicable, cuya disponibilidad deberá confirmarse antes de la especificación  
 = La especificación de material no aplica

<sup>a</sup> Mínimo a menos que se muestre un rango.  
<sup>b</sup> Para perfiles arriba de 426 lb/pie, sólo aplica el mínimo de 58 klb/plg<sup>2</sup>.  
<sup>c</sup> Para perfiles con un espesor de patín menor que o igual a 1½ plg solamente. Para mejorar la soldabilidad, puede especificarse un máximo de carbono (de acuerdo con el Requisito suplementario S78 de la ASTM). Si se desea, puede especificarse el esfuerzo máximo de tensión de 90 klb/plg<sup>2</sup> (de acuerdo con el Requisito suplementario S79 de la ASTM).  
<sup>d</sup> Si se desea, puede especificarse el esfuerzo máximo de tensión de 70 klb/plg<sup>2</sup> (de acuerdo con el Requisito suplementario S91 de la ASTM).  
<sup>e</sup> Para perfiles con un espesor de patín menor que o igual a 2 plg solamente.  
<sup>f</sup> A618 de la ASTM también puede especificarse como resistente a la corrosión; véase A618 de la ASTM.  
<sup>g</sup> El mínimo aplica a muros de un espesor nominal de ¼ plg y menor. Para espesores de muro mayores que ¼ plg,  $F_y = 46$  klb/plg<sup>2</sup> y  $F_u = 67$  klb/plg<sup>2</sup>.  
<sup>h</sup> Si se desea, puede especificarse un esfuerzo máximo de fluencia de 65 klb/plg<sup>2</sup> y una relación de resistencia máxima a la fluencia entre la de tensión de 0.85 (de acuerdo con el Requisito suplementario S75 de la ASTM).  
<sup>i</sup> Se incluyen como obligatorias en A992 de la ASTM una relación de resistencia máxima a la fluencia entre la de tensión de 0.85 y una fórmula equivalente para el carbono.  
<sup>j</sup> Para perfiles con un espesor de patín mayor que 2 plg solamente.  
<sup>k</sup> Para perfiles con un espesor de patín mayor que 1½ plg y menor que o igual a 2 plg solamente.  
<sup>l</sup> Para perfiles con un espesor de patín menor que o igual a 1½ plg solamente.

Fuente: Manual de la AISC, Tabla 2-4, p. 2-48, 14ava. Ed., 2011. Derechos reservados © American Institute of Steel Construction. Reproducido con autorización. Todos los derechos reservados.

Fuente: [20]

Anexo 24 Características del “Alambre MIG para acero de bajo carbono”

**ALAMBRE MIG PARA ACERO DE BAJO CARBONO**

**ER 70 S - 6**

Norma: 

AWS	ER 70 S - 6
-----	-------------

Análisis del Metal Depositado:	C	0.1%	Si	0.90%	Mn	1.50%
--------------------------------	---	------	----	-------	----	-------

Descripción: Alambre continuo cobrizado de acero micro-aleado en presentación capa a capa.

Proceso:	MIG/MAG (G.M.A.W.)	GAS DE PROTECCION	
		CO <sub>2</sub>	AGA MIX 20
RESISTENCIA A LA TRACCION		ELONGACION	
58 - 63 kg./mm <sup>2</sup> (80.000 psi)		Lo = 5d 27.3%	

Aplicación: Para soldar acero dulce en toda posición, mediante proceso MIG/MAG usando anhídrico carbónico (CO<sub>2</sub>) o mezcla AGAMIX 20. Utilización en estructuras en general, maquinarias, bastidores de autos, puentes, muelles, torres, etc.

DATOS PARA SOLDAR:	PROCESO MAG (GMAW)	Ø		AMPERAJE	VOLT.	FLUJO GAS lt/min	VELOCIDAD ALIMEN. ALAM cmt/min.
		mm.	Pulg.				
CORTO CIRCUITO	0.8	0.030		90-110	15-21		500-860
	0.9	0.035		90-110	16-22		400-760
	1.0	0.040		100-120	17-22	8-15	310-630
	1.2	0.045		100-130	17-22		250-560
SPRAY	0.8	0.030		140-280	24-28		990-1700
	0.9	0.035		165-300	24-28		910-1320
	1.0	0.040		80-410	24-30	10-20	700-1200
	1.2	0.045		200-450	24-30		530- 990

Estos son datos para equipos convencionales. Para otro tipo de equipos consultar a Escuelas de Soldadura de AGA. Corto circuito se utiliza normal por materiales de espesor menor a 4.0 mm. y para soldadura de raíz y en posiciones difíciles. Para soldaduras en posición vertical y sobrecabeza, reducir el amperaje un 10 a 15%

NOTA: Las mejores condiciones para cada aplicación deben determinarse mediante pruebas al momento de soldar.

IMPORTANTE: Protéjase de la humedad.

PESO POR ROLLO: 20 kg/44 lbs.

Fuente: [23]

## Anexo 25 Pruebas de funcionamiento de la tamizadora



**Figura anexo. 9** Balanza electrónica seteada y con peso (100g)

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 10** Serie de tamices para polvo metálico #20

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 11** Serie de tamices para polvo metálico #40

**Fuente:** Autor





**Figura anexo. 12** Serie de tamices para polvo metálico #60  
**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 13** Serie de tamices para polvo metálico #100  
**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 14** Serie de tamices para polvo metálico #140  
**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 15** Serie de tamices para polvo metálico #200  
**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 16** Serie de tamices para polvo metálico #325

**Fuente:** Autor

## Anexo 26 Fotografías - Componentes



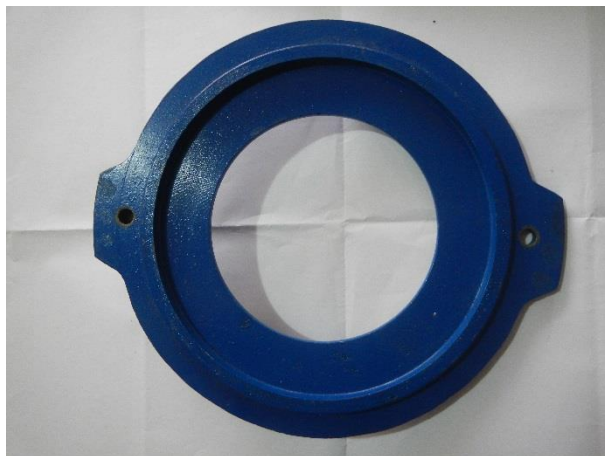
**Figura anexo. 17** Tapa de madera soporte de tamices.

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 18** Base de madera soporte de tamices

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 19** Tapa de hierro fundido soporte de tamices

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 20** Base de hierro fundido soporte de tamices

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 21** Soporte y poste para tamices

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 22** Eje roscado

**Fuente:** Autor





**Figura anexo. 23** Eje conducido

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 24** Eje excéntrico

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 25** Resorte

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 26** Acoplamiento motor-reductor de velocidad

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 27** Cubierta chumacera superior

**Fuente:** Autor

## Anexo 27 Fotografías - Construcción



**Figura anexo. 28** Proceso de armado de estructura

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 29** Soldado de la placa inferior chumacera.

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 30** Torneado de la base porta tamices.

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 31** Estructura completa soldada

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 32** Esmerilado de la estructura completa

**Fuente:** Autor





**Figura anexo. 33** Prueba de funcionamiento del sistema de transmisión

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 34** Comprobación de revoluciones eje motriz (138.4 rpm)

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 35** Comprobación de revoluciones eje conducido (280.1 rpm)

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 36** Ensamblaje y pruebas del sistema de control

**Fuente:** Autor



**Figura anexo. 37** Pruebas de funcionamiento con la torre de tamices

**Fuente:** Autor

Anexo 28 Informes de inspección – Tamices para ensayo

TAMIZ CERTIFICADO PARA ENSAYO  
TEST SIEVE CERTIFICATED



Manufactured by **PINZUAR** LTDA

CONFORME CON LA NORMA  
IN ACCORDANCE WITH NORM  
**ASTM E 11:2013**

ABERTURA PROMEDIO 859,49  $\mu\text{m}$   
AVERAGE APERTURE

ABERTURA MÁXIMA 878,63  $\mu\text{m}$   
MAXIMUM APERTURE

DIÁMETRO PROMEDIO 513,14  $\mu\text{m}$   
AVERAGE DIAMETER

MALLA No. 20  
MESH No.

SERIE No. 53484  
SERIAL No.

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN  $\pm 10,90 \mu\text{m}$   
UNCERTAINTY OF MEASUREMENT

FECHA 2016 - 06 - 13  
DATE

FIRMA  
SIGN



ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO  
PINZUAR LTDA TELS: (571) 7454555  
Calle 18 # 103 B 72  
www.pinzuar.com.co  
BOGOTÁ - COLOMBIA

AC-P-11-F-01 Rev4



## INFORME DE INSPECCIÓN

<b>Fecha</b> Date	2016 - 06 - 13
<b>Instrumento</b> Instrument	TAMIZ PARA ENSAYO TEST SIEVE
<b>Fabricante</b> Manufacturer	PINZUAR LTDA.
<b>Serie No.</b> Serial No.	53484
<b>Malla No.</b> Mesh No.	20

### NORMA DE ENSAYO: ASTM E 11-13

**Trazabilidad :** Sus especificaciones se han verificado en el laboratorio de Control de calidad de Pinzuar Ltda. Por medio de instrumentos de medición calibrados con trazabilidad al sistema internacional de unidades (SI).

**Resultados :** Las dimensiones del marco fueron evaluadas de acuerdo al numeral 6.3 de la Norma ASTM E 11 – 13.  
La abertura de la malla cumple con lo establecido en el numeral 6,1 de la Norma ASTM E 11 – 13  
El diámetro del alambre cumple con lo establecido en el numeral 6,2 de la Norma ASTM E 11–13.

### PINZUAR LTDA

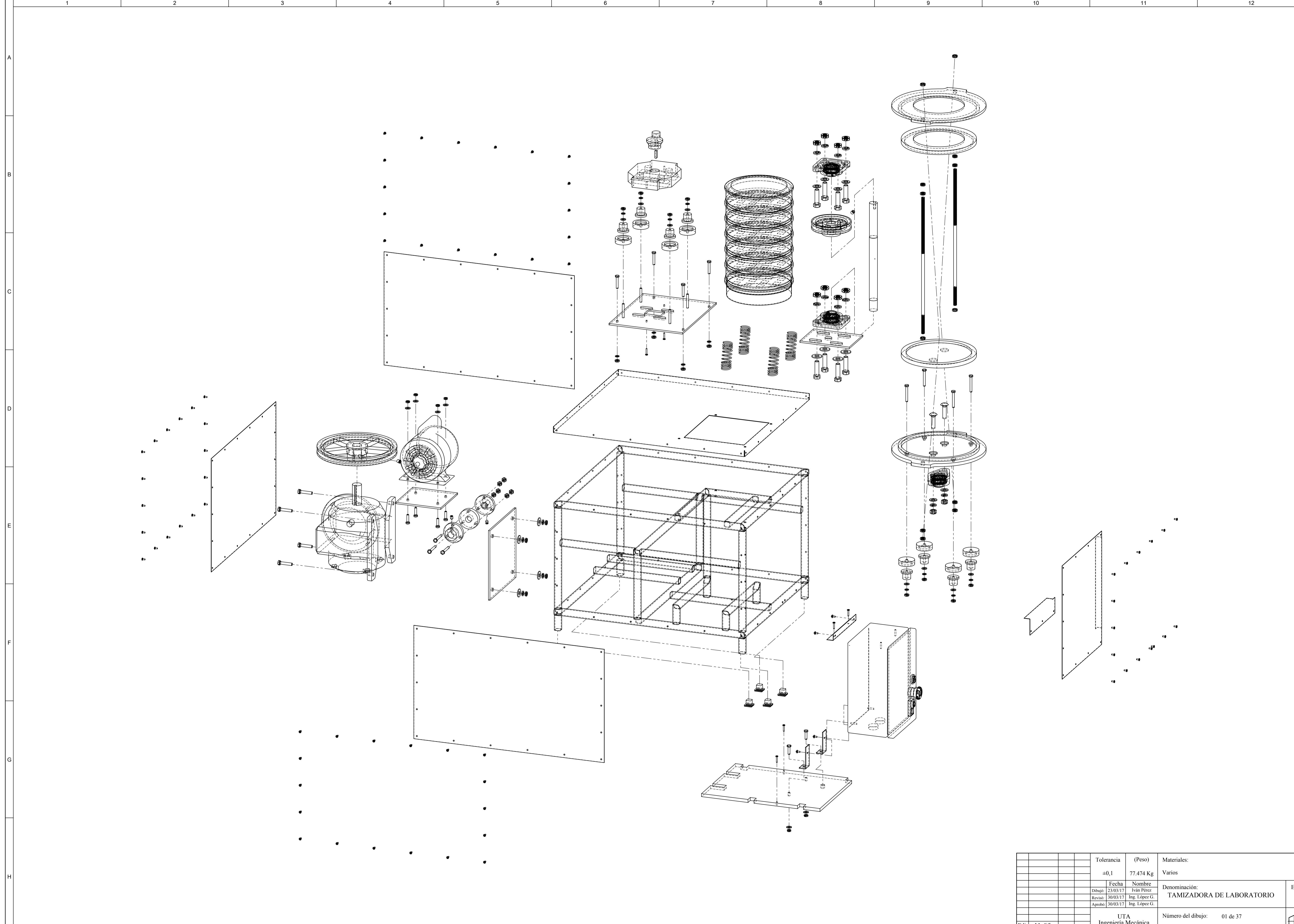
*Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas y se refiere al momento y condiciones en que se realizaron.*

*El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del instrumento.*

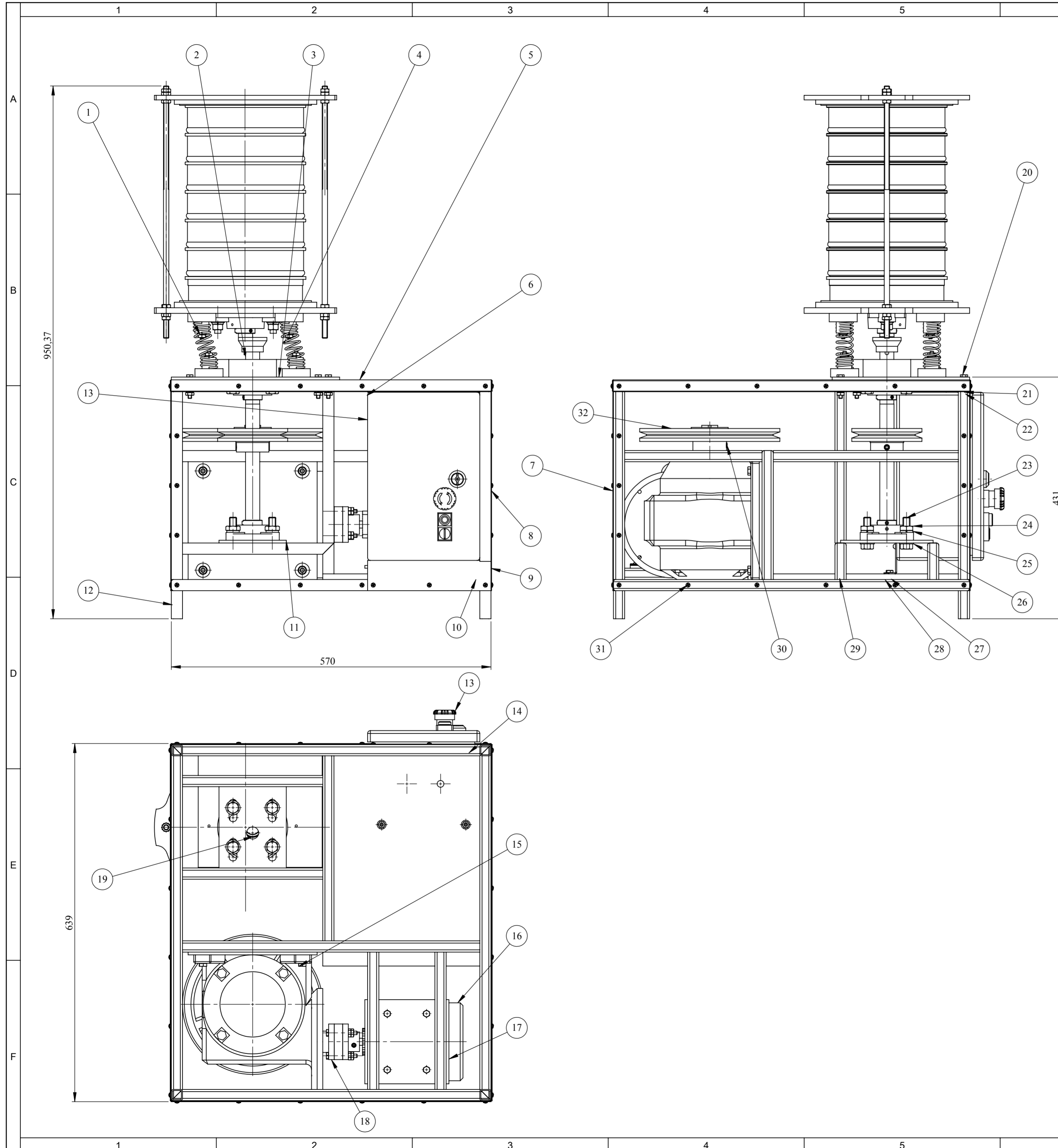


201508342

# PLANOS

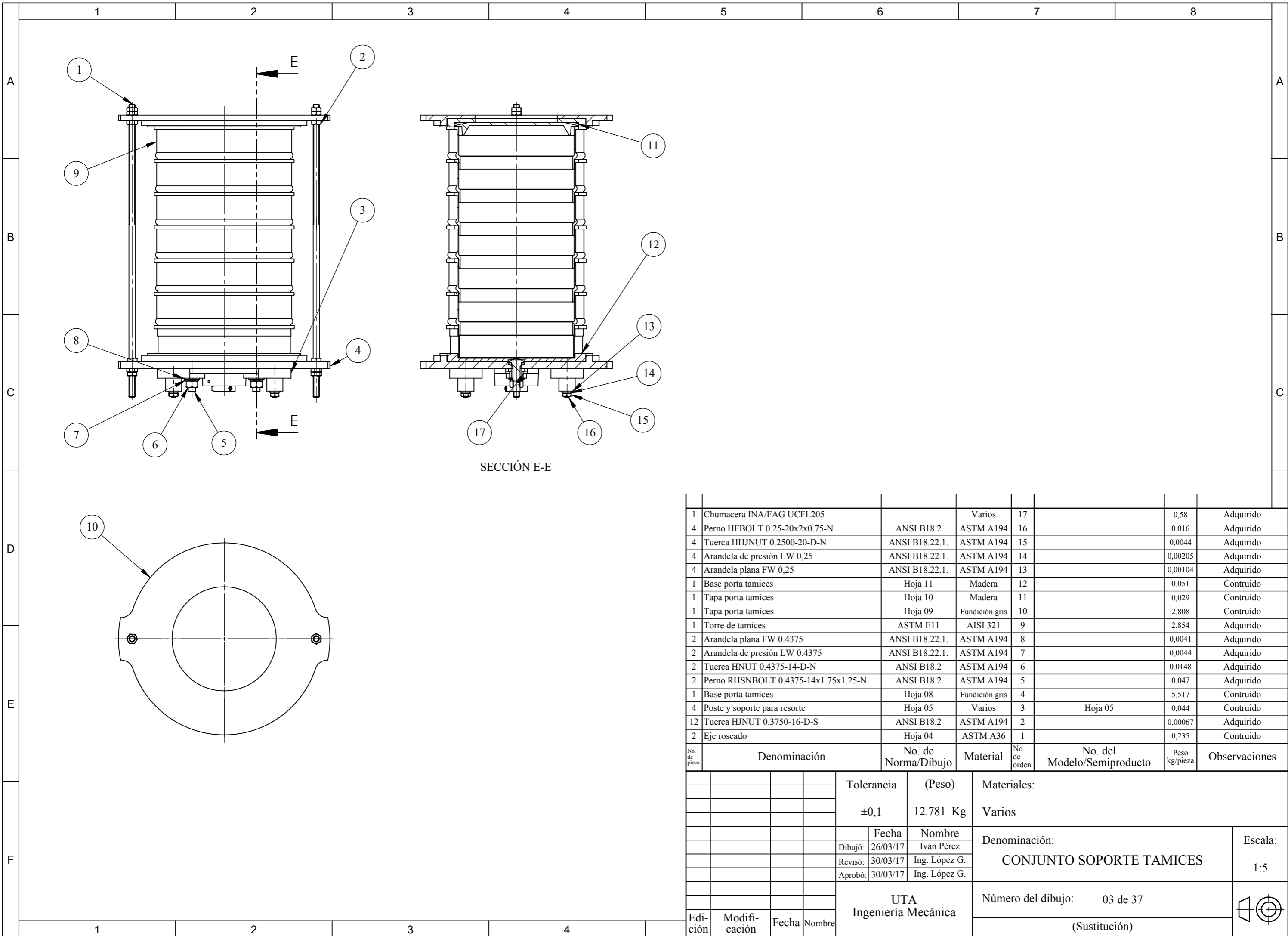


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	77.474 Kg	Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 23/03/17	Iván Pérez	TAMIZADORA DE LABORATORIO	1:5
				Revisó: 30/03/17	Ing. López G.		
				Aprobó: 30/03/17	Ing. López G.		
				UTA		Número del dibujo: 01 de 37	
				Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre				



Especificaciones técnicas	
<b>Fabricante:</b>	Iván Pérez
<b>Modelo:</b>	Tamizadora horizontal inferior
<b>Código:</b>	TMZGM-01
<b>Año:</b>	2017
Motor	
<b>Fabricante:</b>	WEG
<b>Tipo</b>	Monofásico
<b>Potencia</b>	½ Hp (0.37 kW)
<b>Revoluciones</b>	1720
<b>Voltaje</b>	110/220
Reductor de velocidad	
<b>Fabricante:</b>	<b>DODGE MASTER XL</b>
<b>Proporción</b>	12.7
<b>Entrada de rpm</b>	1750
<b>Salida de torque</b>	257 lb-in

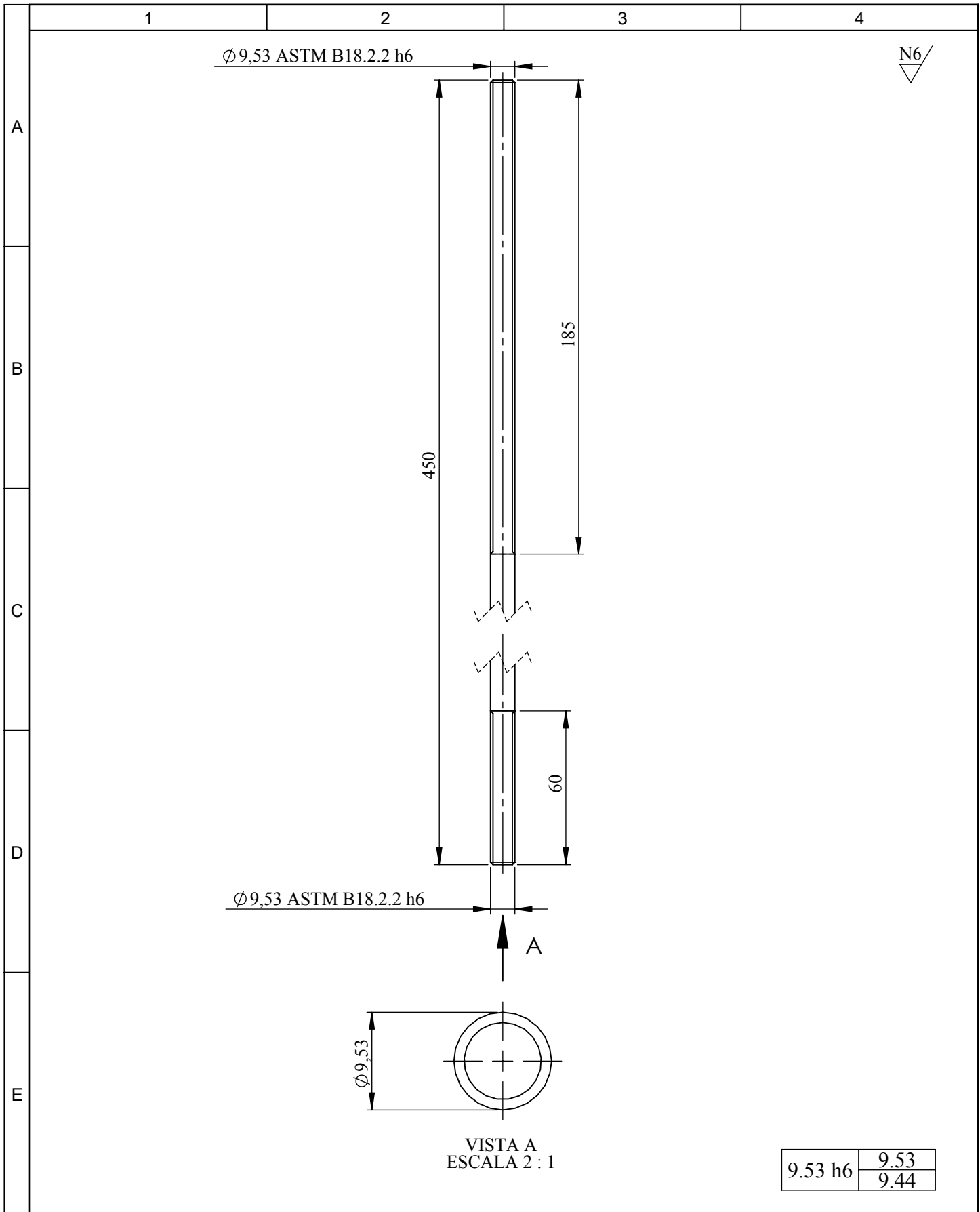
1	Polea 10x1 ECUAPOLEA		Aluminio	32		13,095	Adquirido
70	Tornillo CR-BHMS 0,138x0,3125x0,3125-N	ANSI B18	ASTM A194	31		0,00111	Adquirido
1	Prisionero 0,375-16x0,625-HX-N	ANSI B18.3	ASTM A194	30		0,006	Adquirido
2	Tornillo CR-BHMS 0,138-40-0,75X0,75-N	ANSI B18	ASTM A194	29		0,00195	Adquirido
6	Arandela plana FW 0,25	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	28		0,00205	Adquirido
6	Perno HFBOLT 0.25-20x1x0.75-N	ANSI B18.2	ASTM A194	27		0,0097	Adquirido
4	Arandela plana FW 0,5	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	26		0,00058	Adquirido
4	Arandela de presión LW 0,5	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	25		0,00077	Adquirido
4	Tuerca HHJNUT 0.50-13-B-S	ANSI B18.2	ASTM A194	24		0,0026	Adquirido
4	Perno HBOLT 0.50-13x1.875x1.875-N	ANSI B18.2	ASTM A194	23		0,0089	Adquirido
10	Tuerca HJNUT 0.25-20-D-N	ANSI B18.2	ASTM A194	21		0,0027	Adquirido
4	Regular LW 0.25	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	21		0,00013	Adquirido
4	Perno HFBOLT 0.25-20x1.5x0.75-N	ANSI B18.2	ASTM A194	20		0,0016	Adquirido
1	Chumacera INA/FAG UCF 205		Varios	19		0,80	Adquirido
1	Acoplamiento motor - reductor	Hoja 34	Varios	18		0,704	Construido
1	Placa de apoyo motor	Hoja 33	ASTM A36	17		0,878	Construido
1	Motor monofásico WEG 1-2 HP		Varios	16		2,664	Adquirido/Construido
1	Conjunto reductor de velocidad	Hoja 31	Varios	15		18,07	Adquirido/Construido
2	Remache POP 1/8x1/4		Aluminio	14		0,00076	Adquirido
1	Conjunto caja de control	Hoja 28	Varios	13		10,72	Adquirido/Construido
1	Estructura	Hoja 27	ASTM A36	12		12,068	Construido
1	Placa de apoyo inferior	Hoja 26	ASTM A36	11		0,682	Construido
1	Placa de apoyo - caja de control	Hoja 25	ASTM A36	10		0,724	Construido
1	Chapa frontal - caja de control	Hoja 24	ASTM A36	9		0,122	Construido
2	Chapa lateral	Hoja 23	ASTM A36	8		1,868	Construido
1	Chapa posterior	Hoja 22	ASTM A36	7		1,676	Construido
1	Chapa frontal - poleas	Hoja 21	ASTM A36	6		1,096	Construido
1	Chapa superior	Hoja 20	ASTM A36	5		2,879	Construido
4	Resorte	Hoja 19	AISI 1010	4		0,044	Construido
1	Conjunto placa superior	Hoja 16	Varios	3		4,140	Adquirido/Construido
1	Conjunto eje conducido	Hoja 12	Varios	2		2,184	Adquirido/Construido
1	Conjunto soporte tamices	Hoja 03	Varios	1		12,781	Adquirido/Construido
No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
			Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
			±0,1	77,474 Kg	Varios		
			Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:
			Dibujó: 25/03/17	Iván Pérez	TAMIZADORA DE LABORATORIO		1:5
			Revisó: 30/03/17	Ing. López G.			
			Aprobó: 30/03/17	Ing. López G.			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	02 de 37
						(Sustitución)	



SECCIÓN E-E

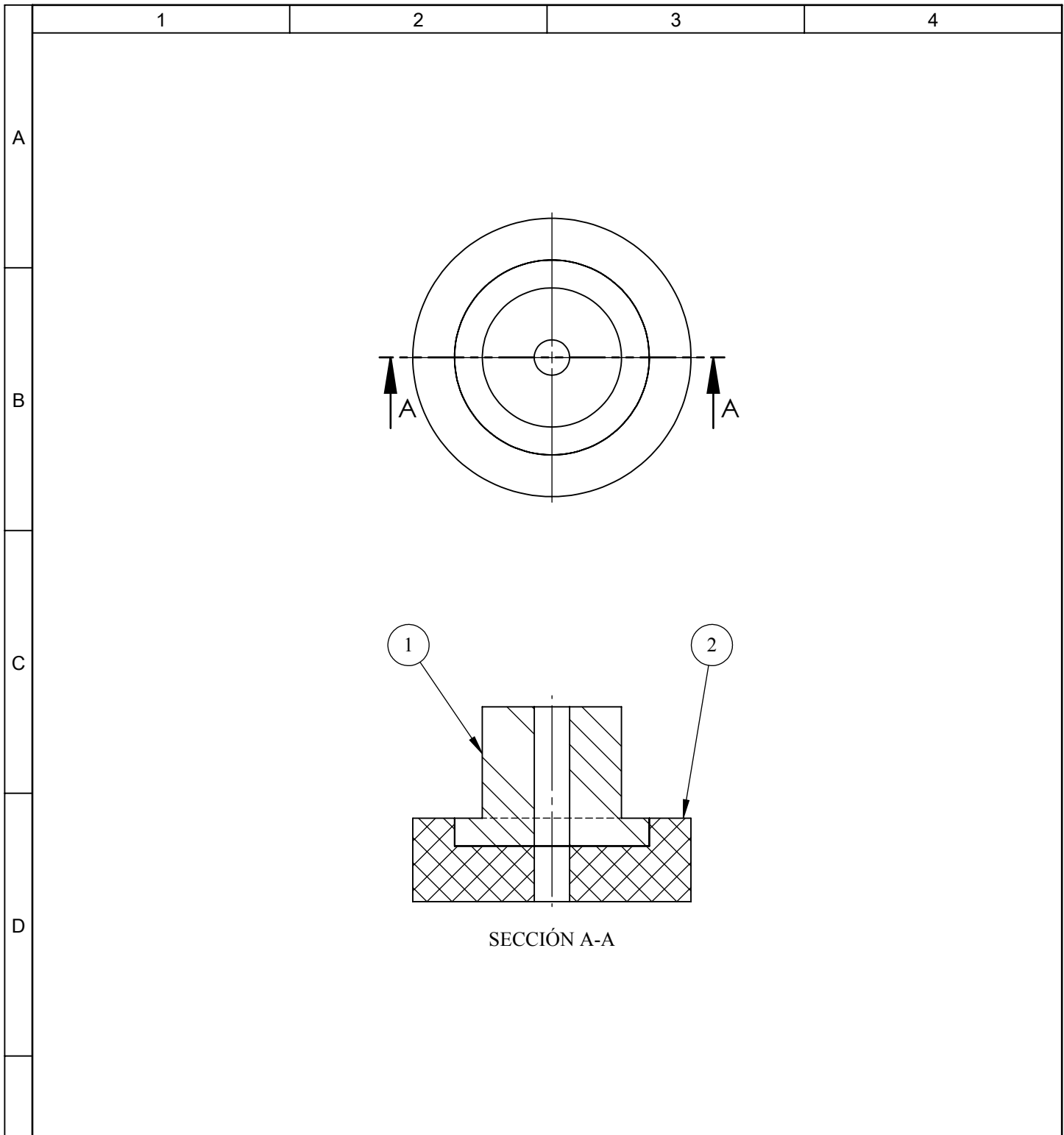
1	Chumacera INA/FAG UCFL205		Varios	17		0,58	Adquirido	
4	Perno HFBOLT 0.25-20x2x0.75-N	ANSI B18.2	ASTM A194	16		0,016	Adquirido	
4	Tuerca HHJNUT 0.2500-20-D-N	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	15		0,0044	Adquirido	
4	Arandela de presión LW 0,25	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	14		0,00205	Adquirido	
4	Arandela plana FW 0,25	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	13		0,00104	Adquirido	
1	Base porta tamices	Hoja 11	Madera	12		0,051	Contruido	
1	Tapa porta tamices	Hoja 10	Madera	11		0,029	Contruido	
1	Tapa porta tamices	Hoja 09	Fundición gris	10		2,808	Contruido	
1	Torre de tamices	ASTM E11	AISI 321	9		2,854	Adquirido	
2	Arandela plana FW 0.4375	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	8		0,0041	Adquirido	
2	Arandela de presión LW 0.4375	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	7		0,0044	Adquirido	
2	Tuerca HNUT 0.4375-14-D-N	ANSI B18.2	ASTM A194	6		0,0148	Adquirido	
2	Perno RHSNBOLT 0.4375-14x1.75x1.25-N	ANSI B18.2	ASTM A194	5		0,047	Adquirido	
1	Base porta tamices	Hoja 08	Fundición gris	4		5,517	Contruido	
4	Poste y soporte para resorte	Hoja 05	Varios	3	Hoja 05	0,044	Contruido	
12	Tuerca HJNUT 0.3750-16-D-S	ANSI B18.2	ASTM A194	2		0,00067	Adquirido	
2	Eje roscado	Hoja 04	ASTM A36	1		0,235	Contruido	
No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones	
		Tolerancia	(Peso)	Materiales:				
		±0,1	12.781 Kg	Varios				
		Fecha	Nombre	Denominación: <b>CONJUNTO SOPORTE TAMICES</b>				
		Dibujó: 26/03/17	Iván Pérez					Escala: 1:5
		Revisó: 30/03/17	Ing. López G.					
		Aprobó: 30/03/17	Ing. López G.					
		UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 03 de 37				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)				



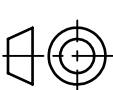


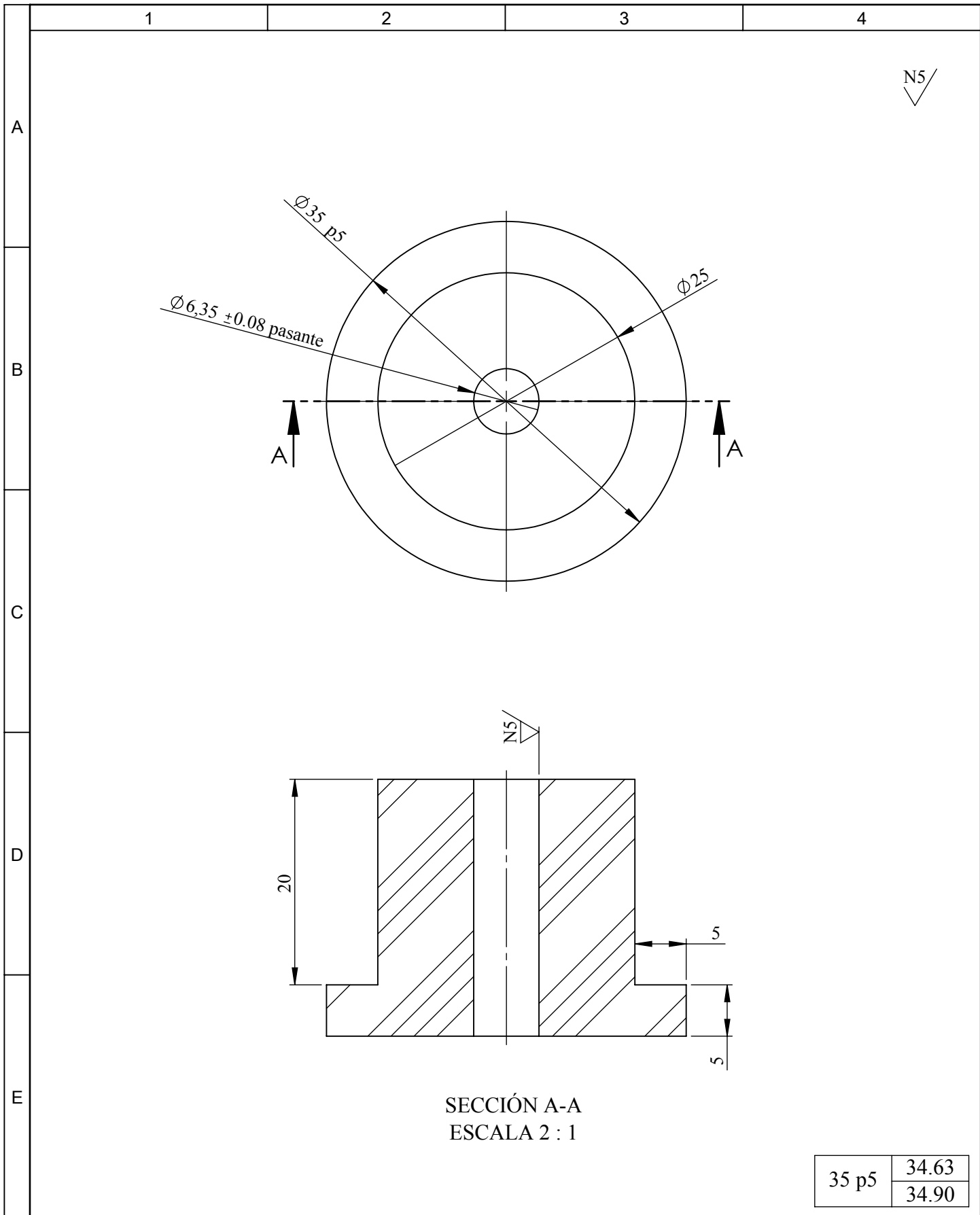
9.53 h6	9.53
	9.44

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.235 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 27/03/17	Iván Pérez		
				Revisó: 30/03/17	Ing. López G.		
				Aprobó: 30/03/17	Ing. López G.	EJE ROSCADO	1:2
				UTA			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	



1	2	3	4	5
No. de orden	No. de pieza	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
2	1	Soporte de poste para resortes	Hoja 07	Construido
1	1	Poste para resorte	Hoja 06	Contruido

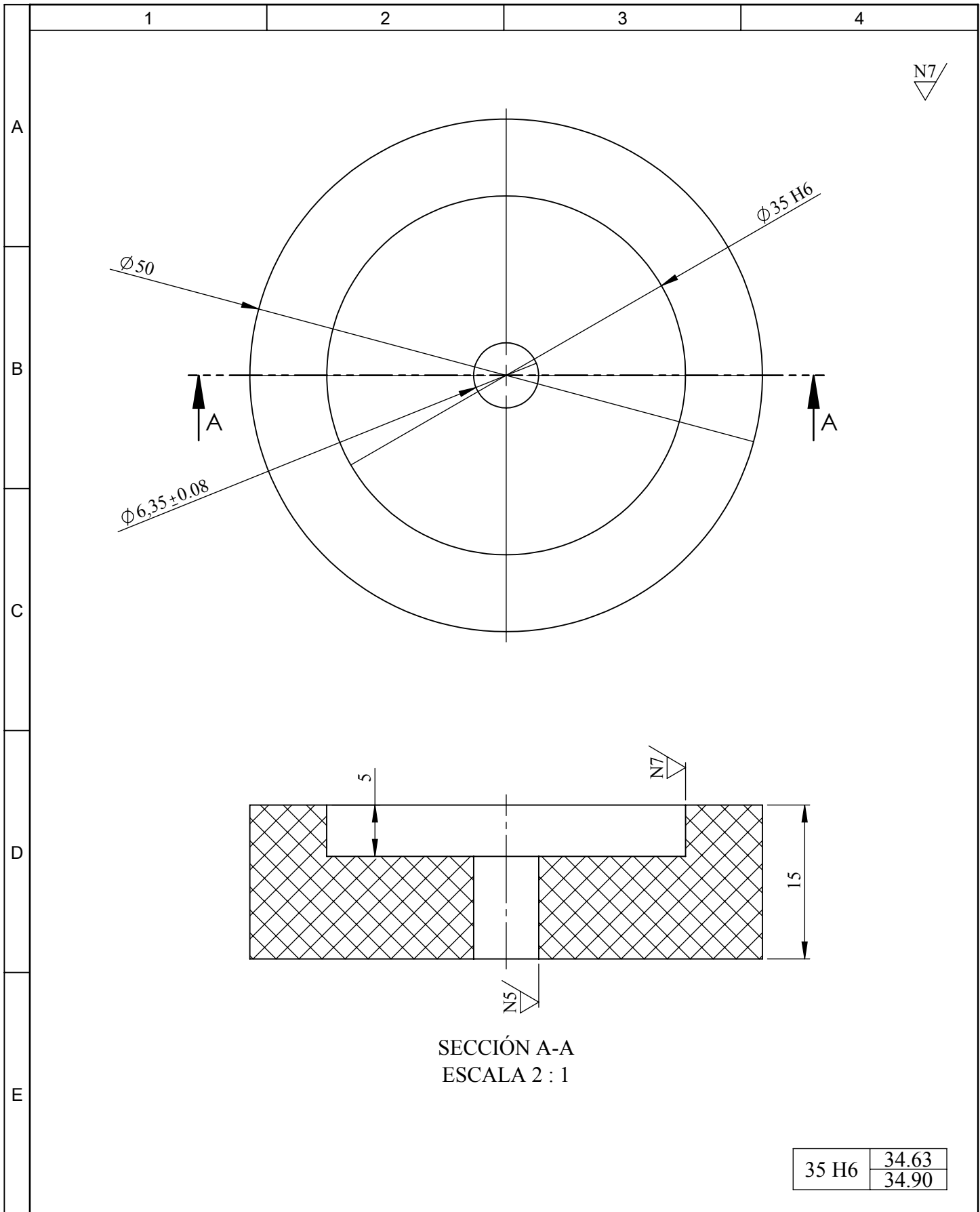
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				$\pm 0,1$	0.044 Kg	Varios		
				Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:
				Dibujó: 27/03/17	Iván Pérez	POSTE Y SOPORTE PARA RESORTE		1:1
				Revisó: 30/03/17	Ing. López G.	Número del dibujo: 05 de 37		
				Aprobó: 30/03/17	Ing. López G.			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica		(Sustitución)		



SECCIÓN A-A  
ESCALA 2 : 1

35 p5	34.63
	34.90

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.016 Kg	Caucho	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez		
			Revisó:	30/03/17	Ing. López G.		
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	2:1
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 06 de 37	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



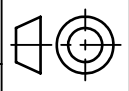
SECCIÓN A-A  
ESCALA 2 : 1

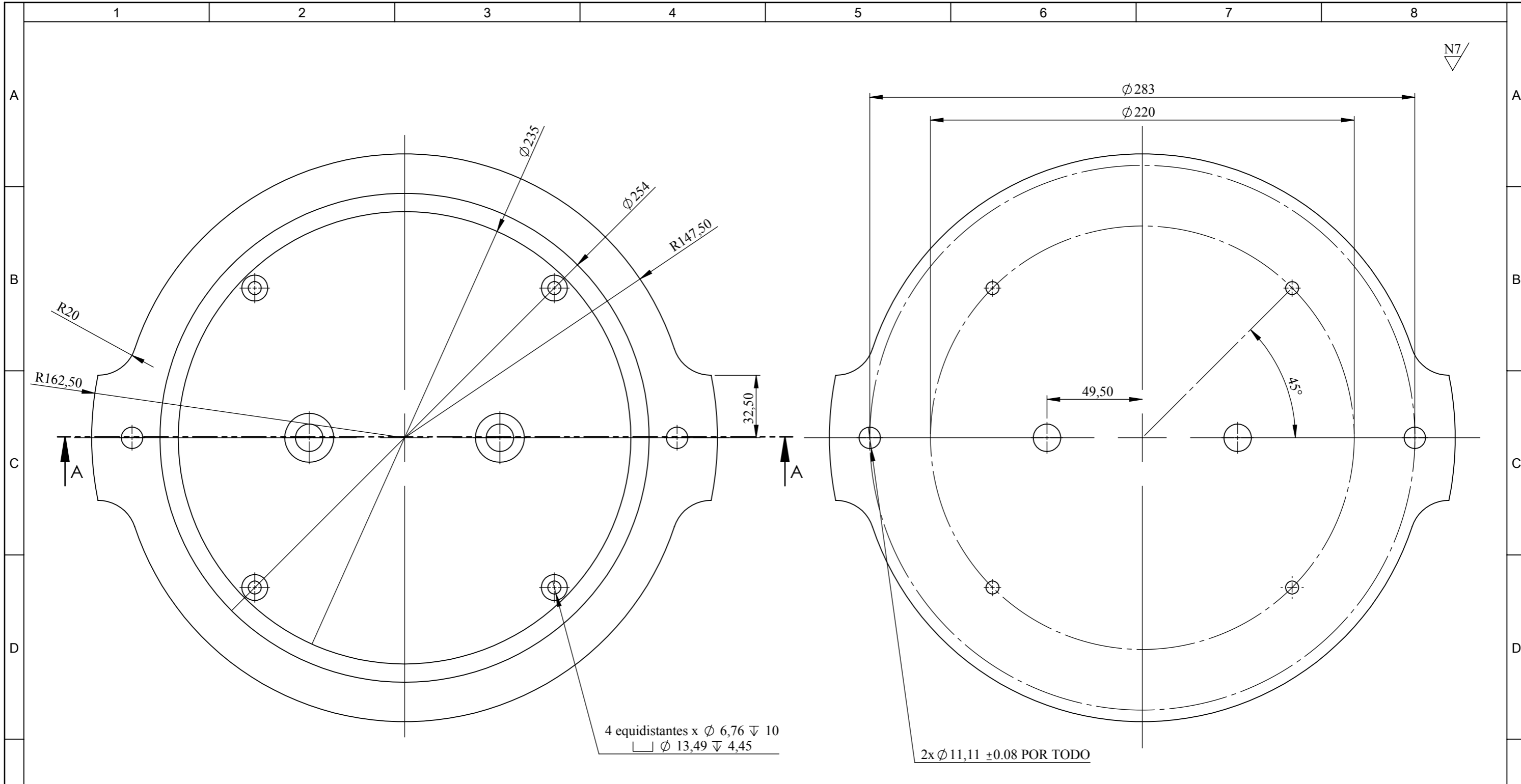
35 H6	34.63
	34.90

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.028 Kg	Nailon	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez		
			Revisó:	30/03/17	Ing. López G.		
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	2:1
				UTA		Número del dibujo:	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre	Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	

SOPORTE DE POSTE PARA RESORTE

Número del dibujo: 07 de 37

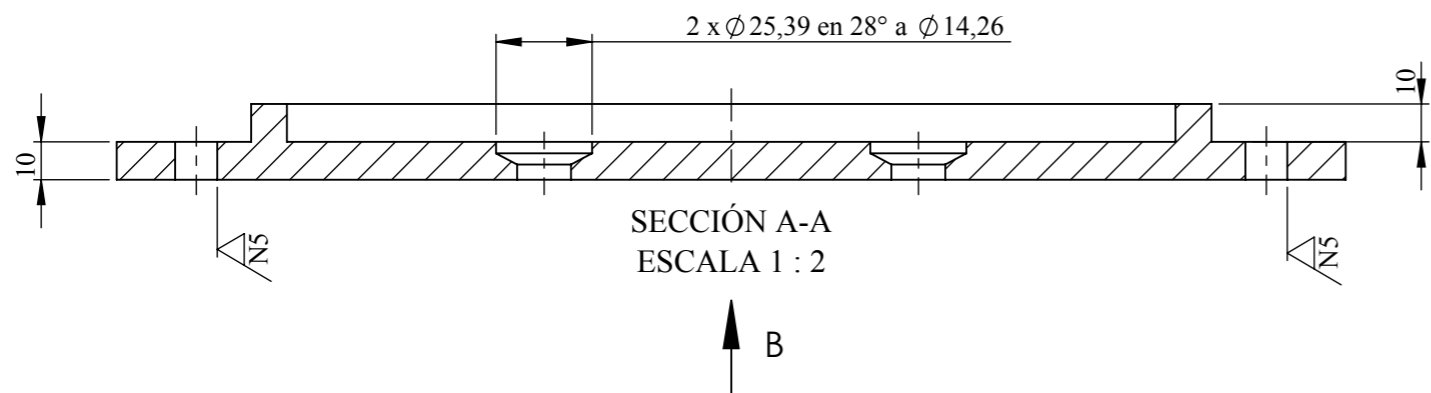




4 equidistantes x  $\phi 6,76 \pm 10$   
 $\square \phi 13,49 \pm 4,45$

2x  $\phi 11,11 \pm 0,08$  POR TODO

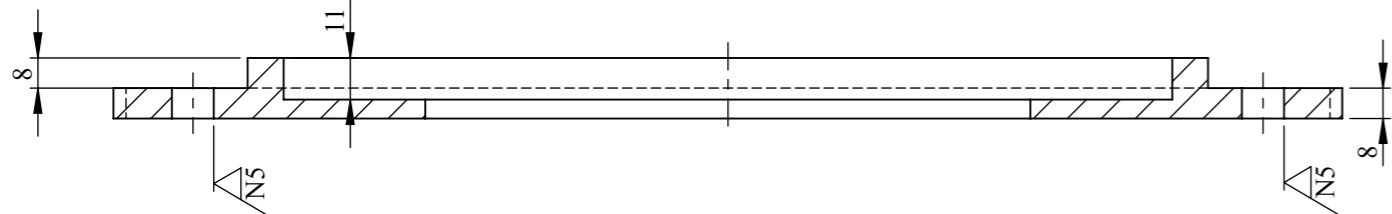
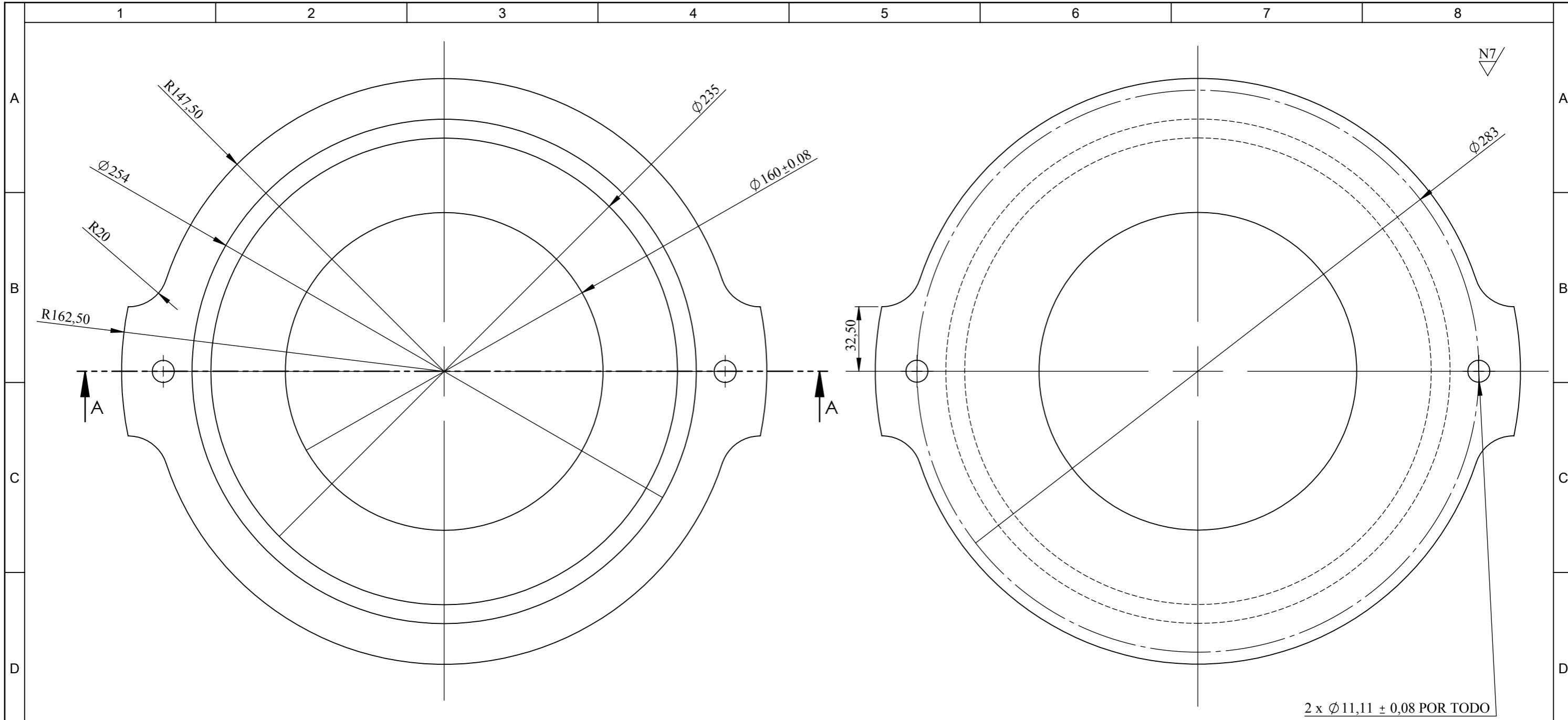
VISTA B  
 ESCALA 1 : 2



SECCIÓN A-A  
 ESCALA 1 : 2

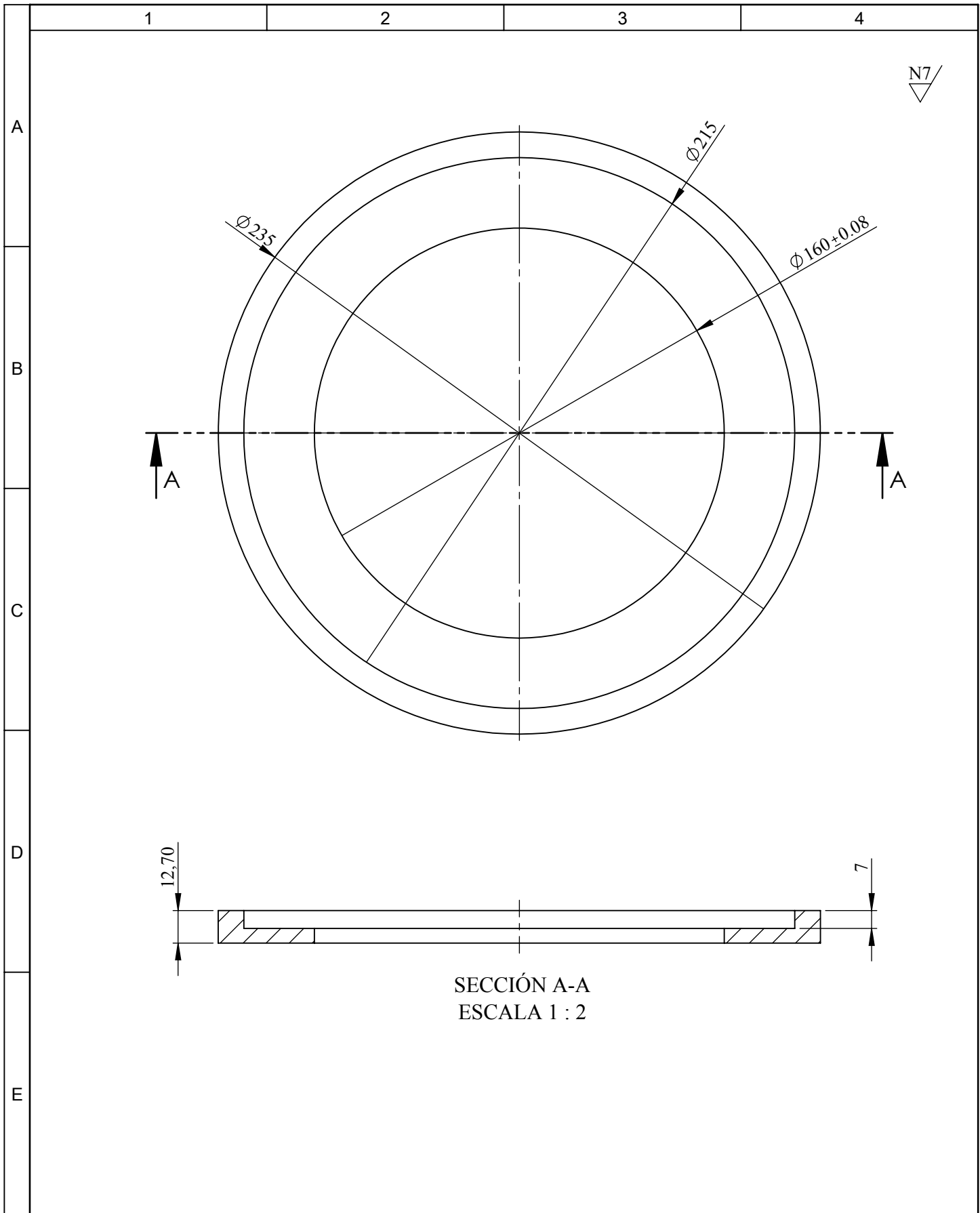
B

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	5.517 Kg	Fundición gris	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>BASE PORTA TAMICES</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:2
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 08 de 37
							(Sustitución)
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



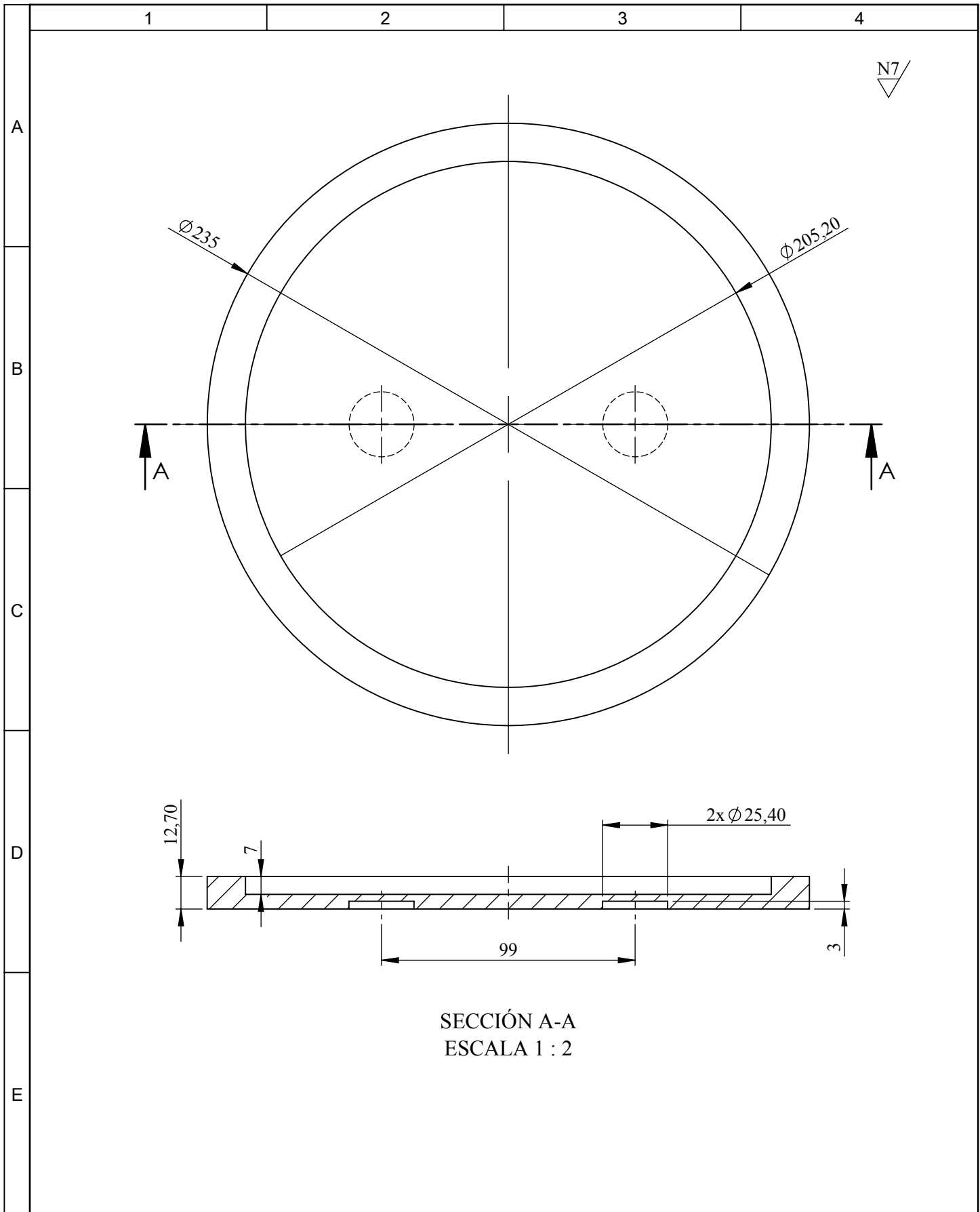
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	2.808 Kg	Fundición gris	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>TAPA PORTA TAMICES</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:2
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 09 de 37	
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre
						(Sustitución)	



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	0.029 Kg	Madera	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 27/03/17	Iván Pérez		
				Revisó: 30/03/17	Ing. López G.		
				Aprobó: 30/03/17	Ing. López G.	TAPA PORTA TAMICES	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	10 de 37
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.051 Kg	Madera	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>BASE PORTA TAMICES</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:2
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 11 de 37	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	





1

2

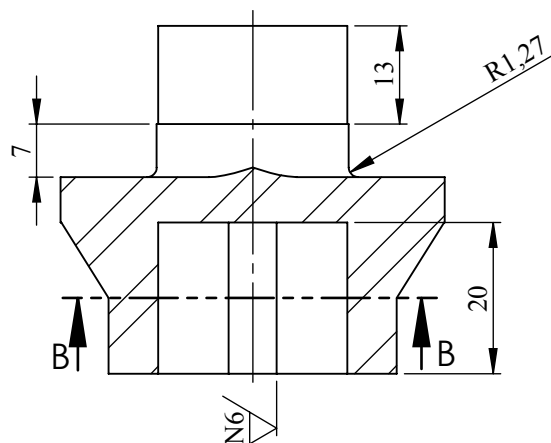
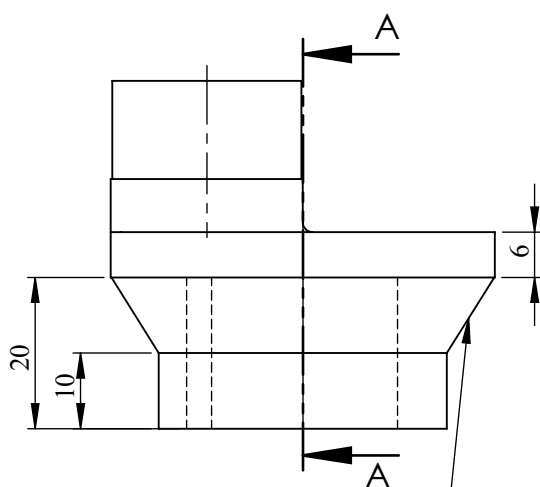
3

4

A

N7

B

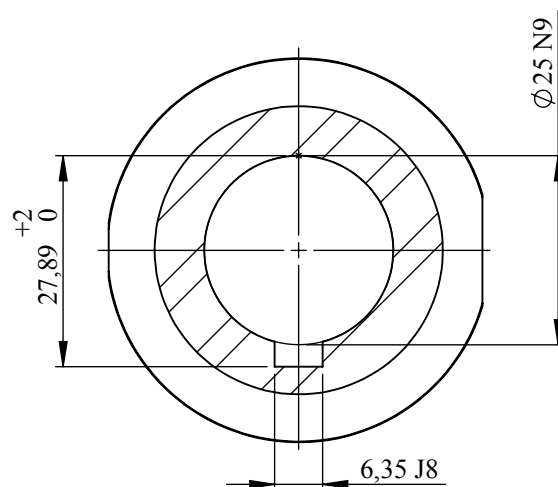
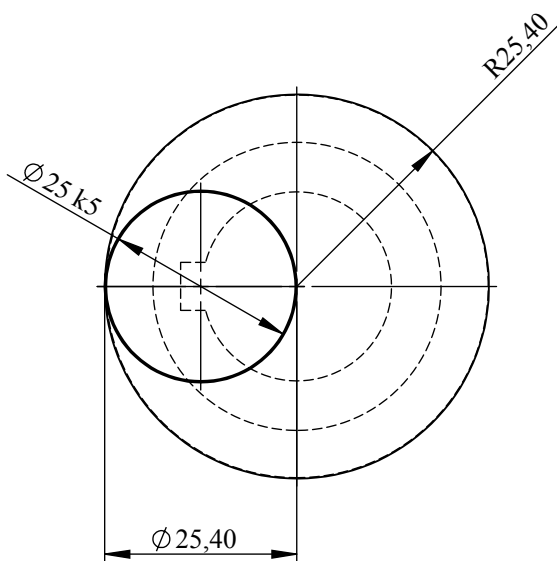


SECCIÓN A-A

C

(ER70S5-6) I01

D

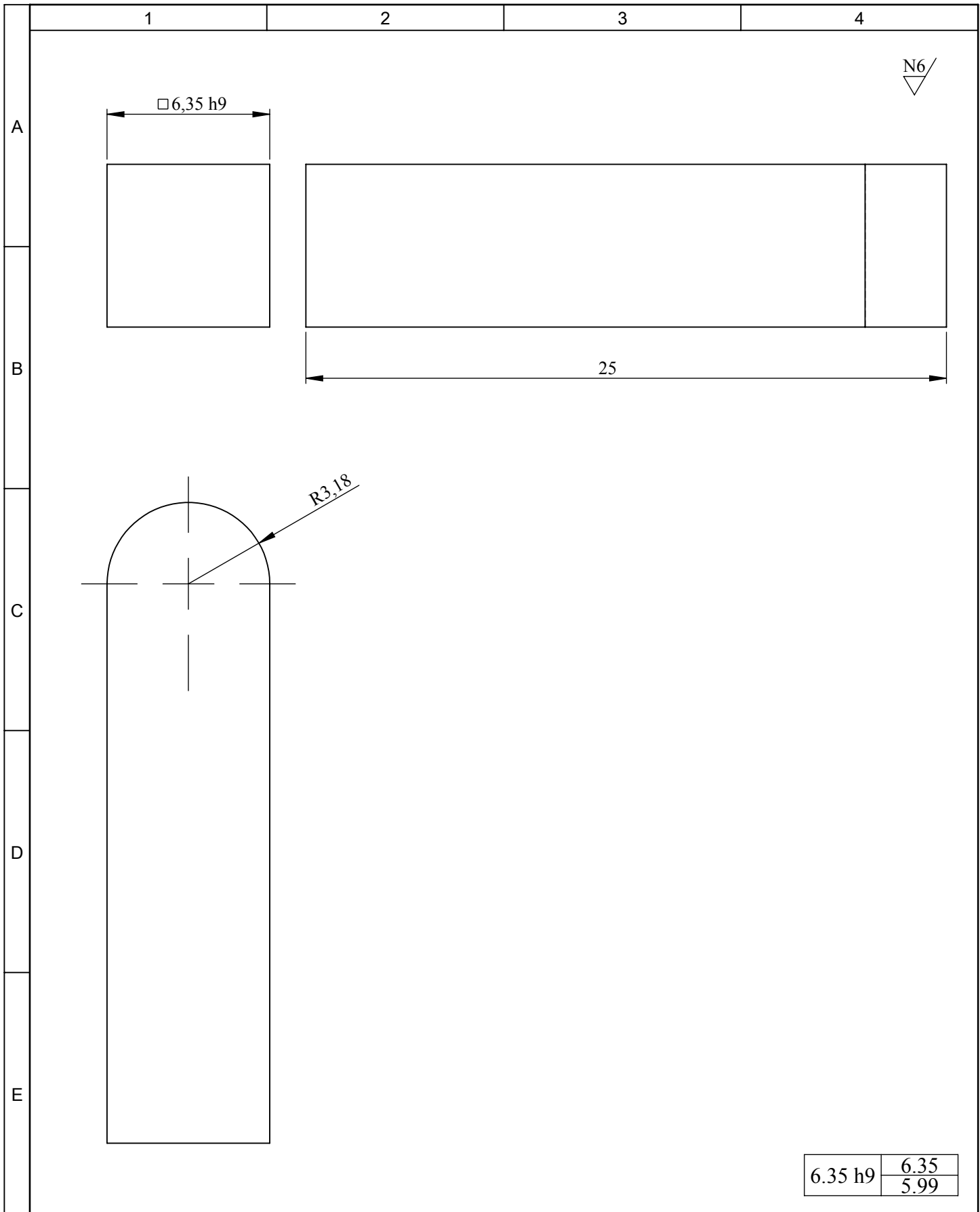


SECCIÓN B-B

E

6.35 J8	6.47
	6.25
25 k5	24.87
	25.14
25 N9	24.48
	25

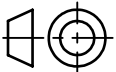
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				$\pm 0,1$	0.306 Kg	Acero AISI 1010		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
			Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez			
			Revisó:	06/04/17	Ing. López G.			
				Aprobó:	06/04/17	Ing. López G.	1:1	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:		13 de 37
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		
<b>EJE EXCÉNTRICO</b>								

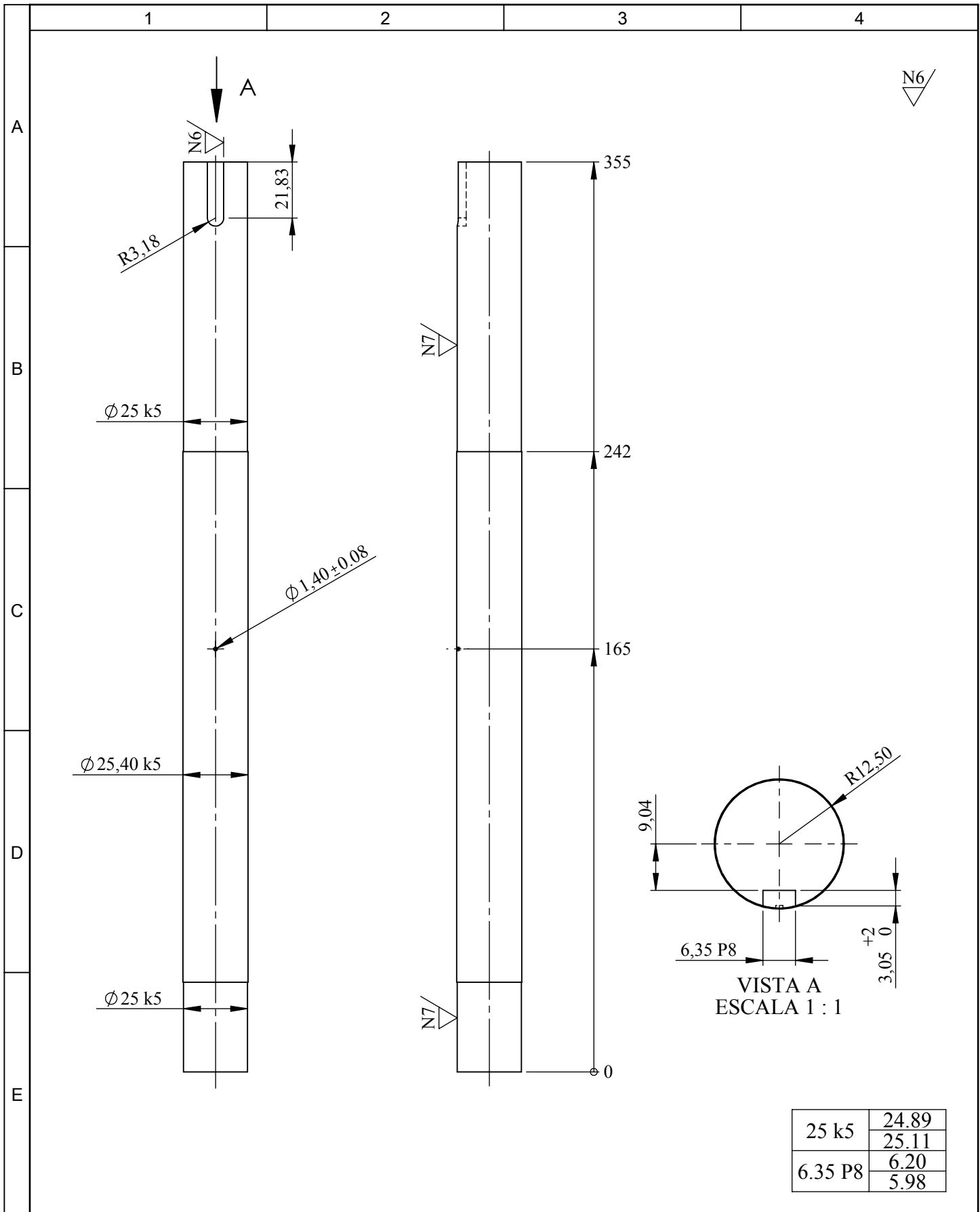


6.35 h9	6.35
	5.99

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	0.0078 Kg	Acero AISI 1006	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>CHAVETA</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
					Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.
				UTA		Número del dibujo: 14 de 37	
				Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

Escala:  
5:1



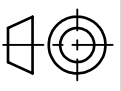


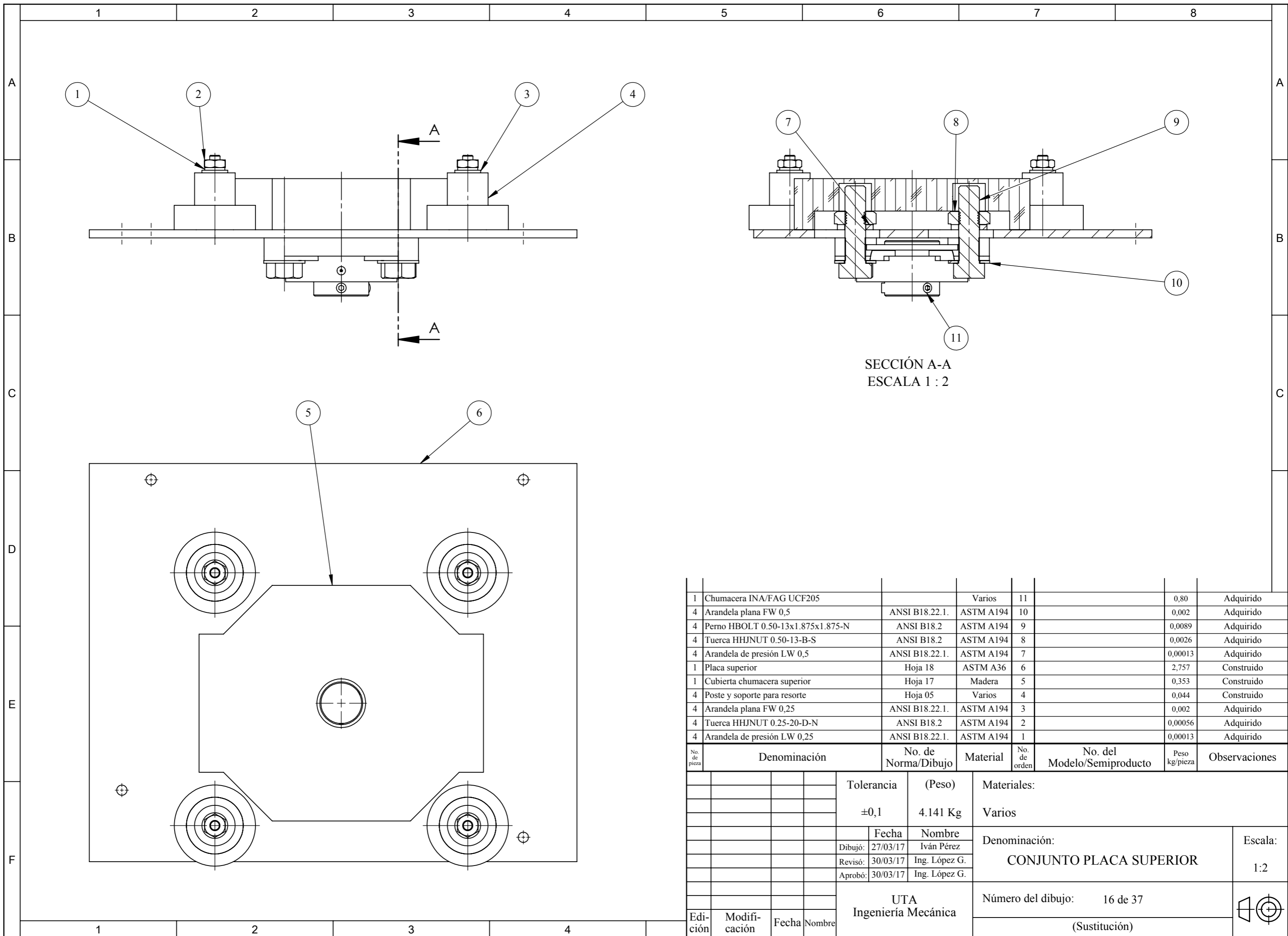
25 k5	24.89
	25.11
6.35 P8	6.20
	5.98

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1.393 Kg	Acero AISI 1010	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez		
			Revisó:	30/03/17	Ing. López G.		
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	1:2
				UTA		Número del dibujo:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	

N6/

VISTA A  
ESCALA 1 : 1

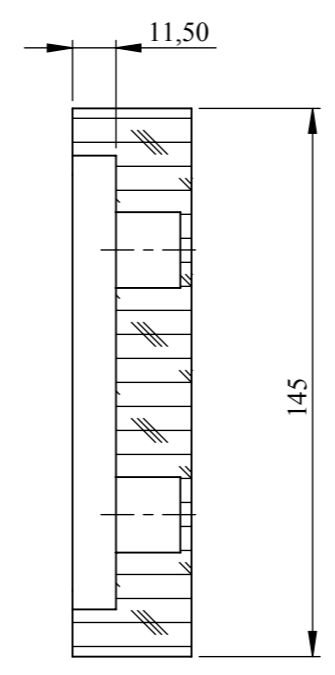
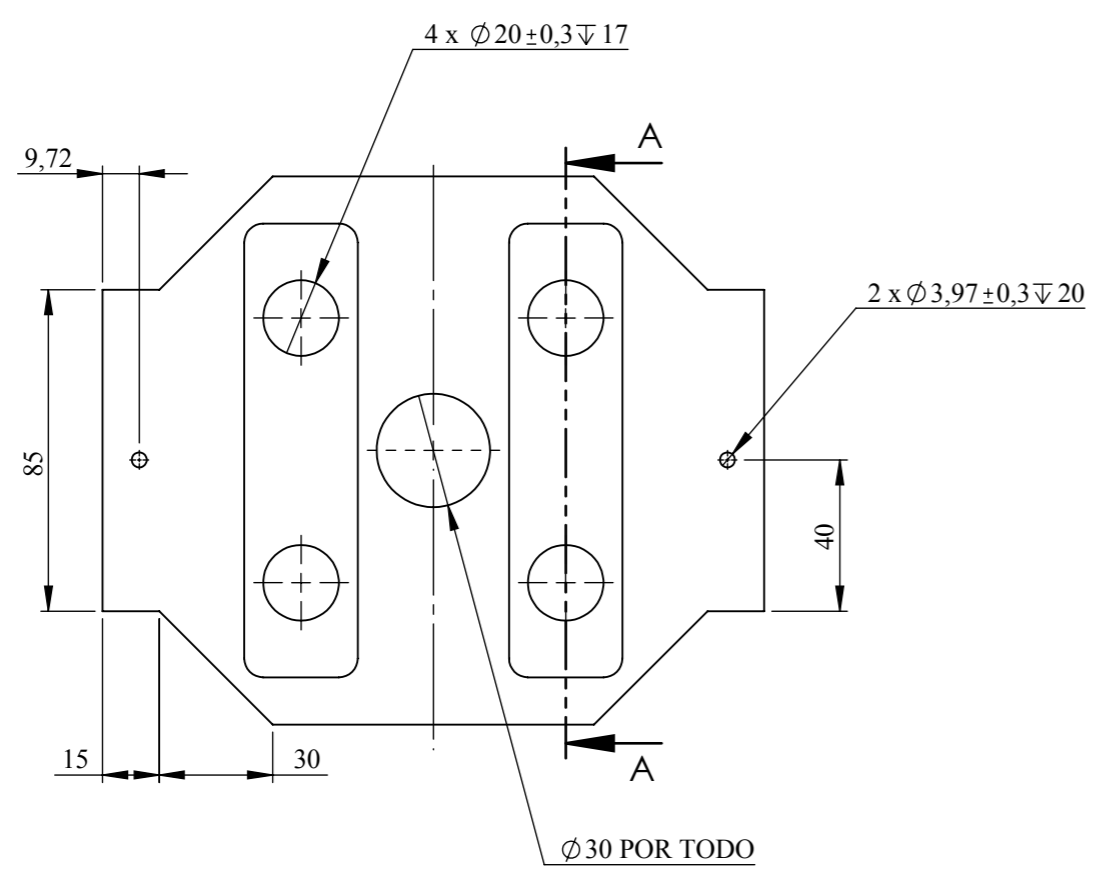




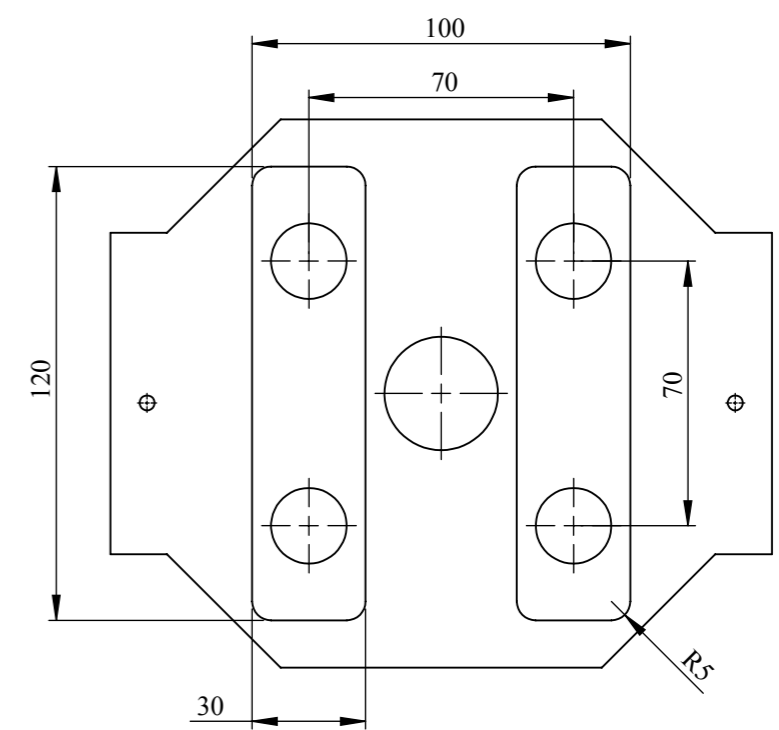
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2

1	Chumacera INA/FAG UCF205		Varios	11	0,80	Adquirido	
4	Arandela plana FW 0,5	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	10	0,002	Adquirido	
4	Perno HBOLT 0.50-13x1.875x1.875-N	ANSI B18.2	ASTM A194	9	0,0089	Adquirido	
4	Tuerca HHJNUT 0.50-13-B-S	ANSI B18.2	ASTM A194	8	0,0026	Adquirido	
4	Arandela de presión LW 0,5	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	7	0,00013	Adquirido	
1	Placa superior	Hoja 18	ASTM A36	6	2,757	Construido	
1	Cubierta chumacera superior	Hoja 17	Madera	5	0,353	Construido	
4	Poste y soporte para resorte	Hoja 05	Varios	4	0,044	Construido	
4	Arandela plana FW 0,25	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	3	0,002	Adquirido	
4	Tuerca HHJNUT 0.25-20-D-N	ANSI B18.2	ASTM A194	2	0,00056	Adquirido	
4	Arandela de presión LW 0,25	ANSI B18.22.1.	ASTM A194	1	0,00013	Adquirido	
No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
		Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
		±0,1	4.141 Kg	Varios			
		Fecha	Nombre	Denominación:			Escala:
		Dibujó: 27/03/17	Iván Pérez	CONJUNTO PLACA SUPERIOR			1:2
		Revisó: 30/03/17	Ing. López G.				
		Aprobó: 30/03/17	Ing. López G.				
		UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 16 de 37			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)			

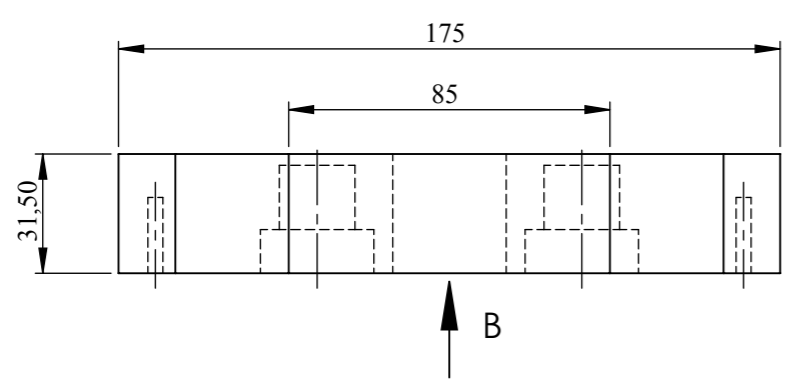
N7/



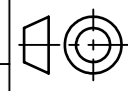
SECCIÓN A-A

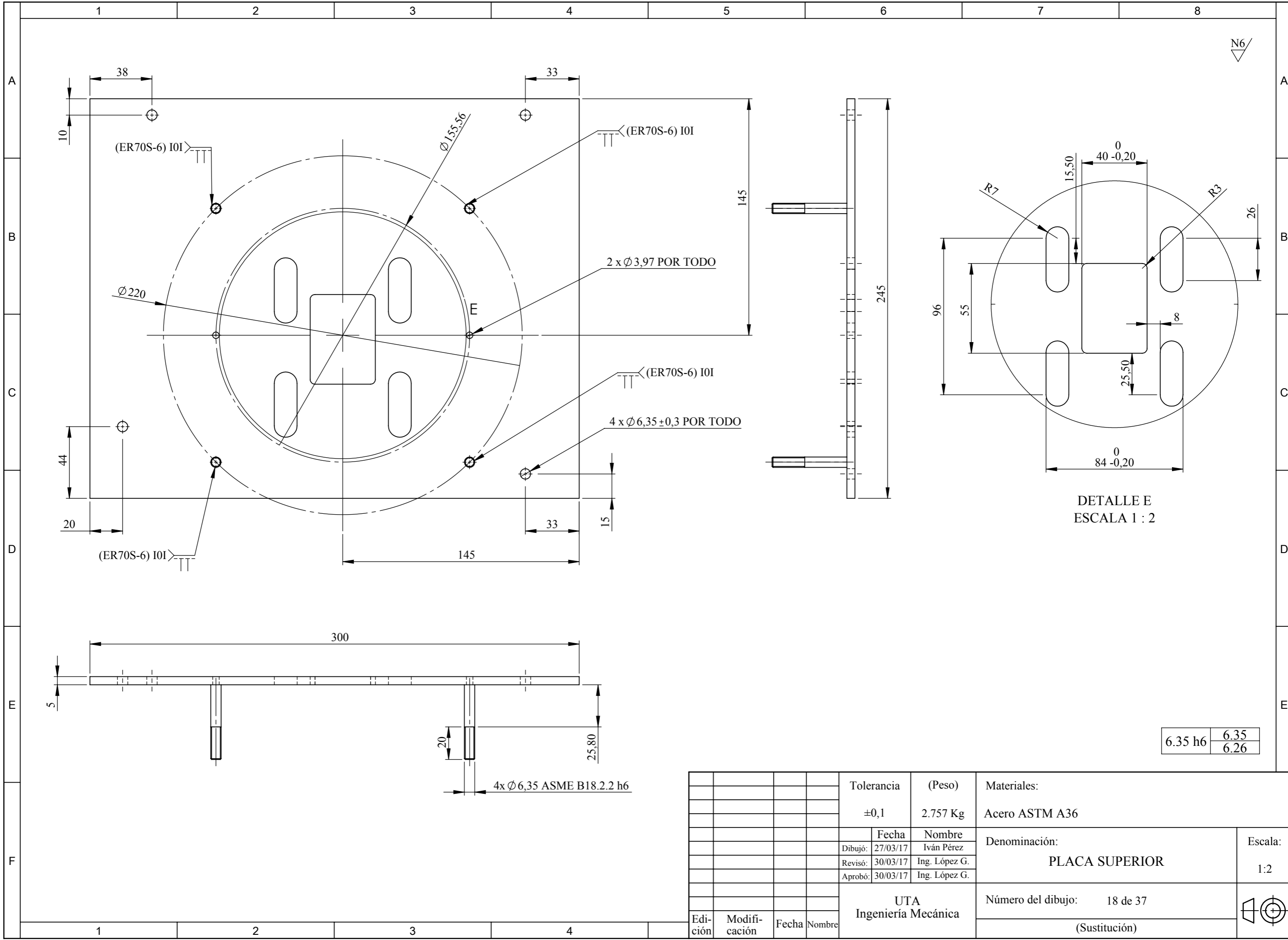


VISTA B



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	0.353 Kg	Madera	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	CUBIERTA CHUMACERA SUPERIOR
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	17 de 37
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Escala: 1:2





DETALLE E  
ESCALA 1 : 2

6.35 h6	6.35
	6.26

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	2.757 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:2
				UTA Ingeniería Mecánica			
				Número del dibujo:		18 de 37	
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

N6

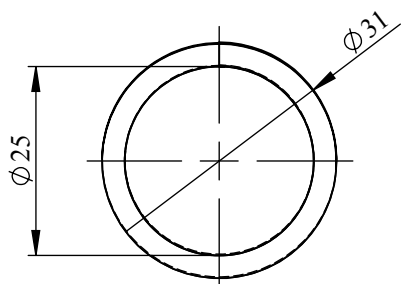
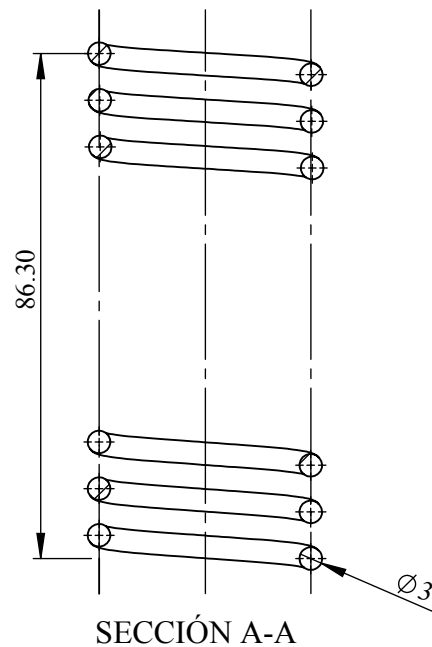
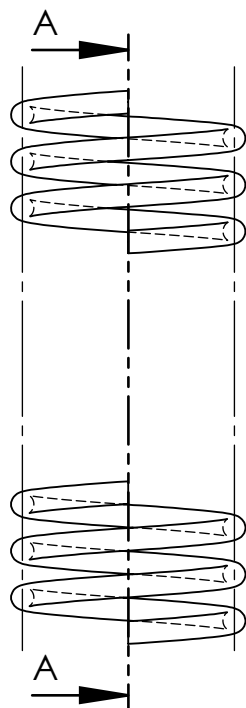
A

B

C

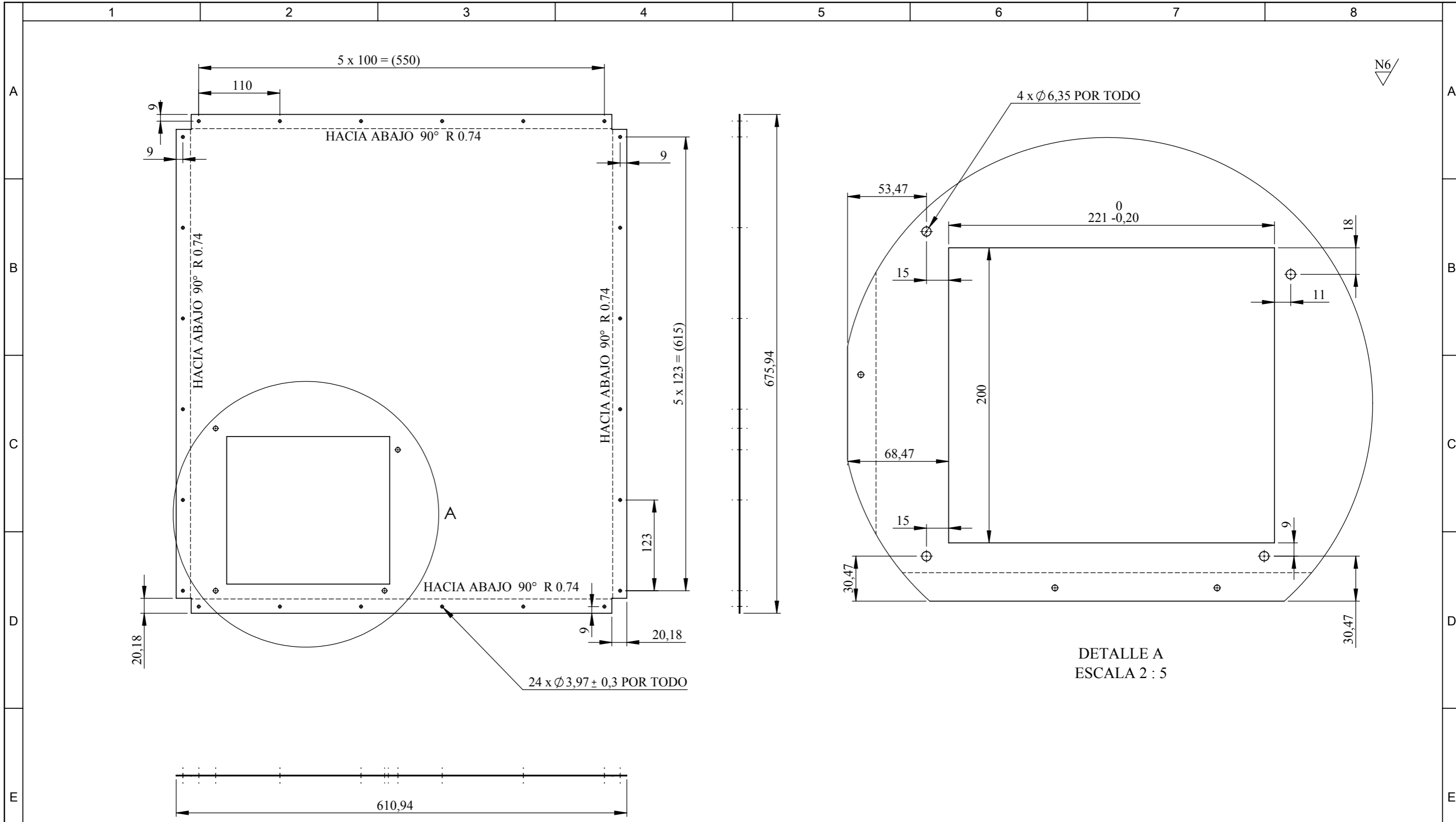
D

E



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	0.044 Kg	Acero AISI 1010	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>RESORTE</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:1
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo:	19 de 37
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

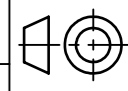


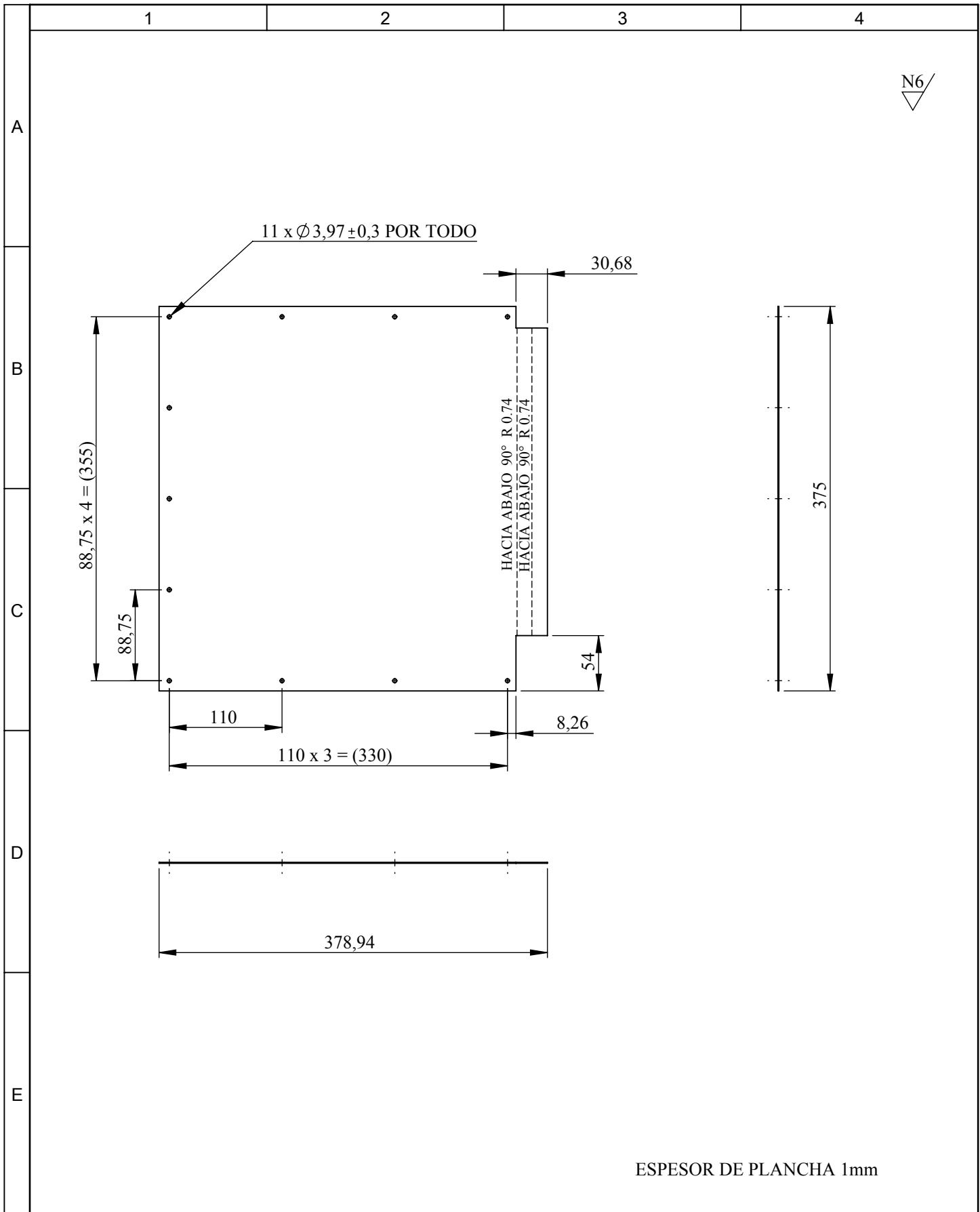


DETALLE A  
ESCALA 2 : 5

ESPESOR DE PLANCHA 1mm

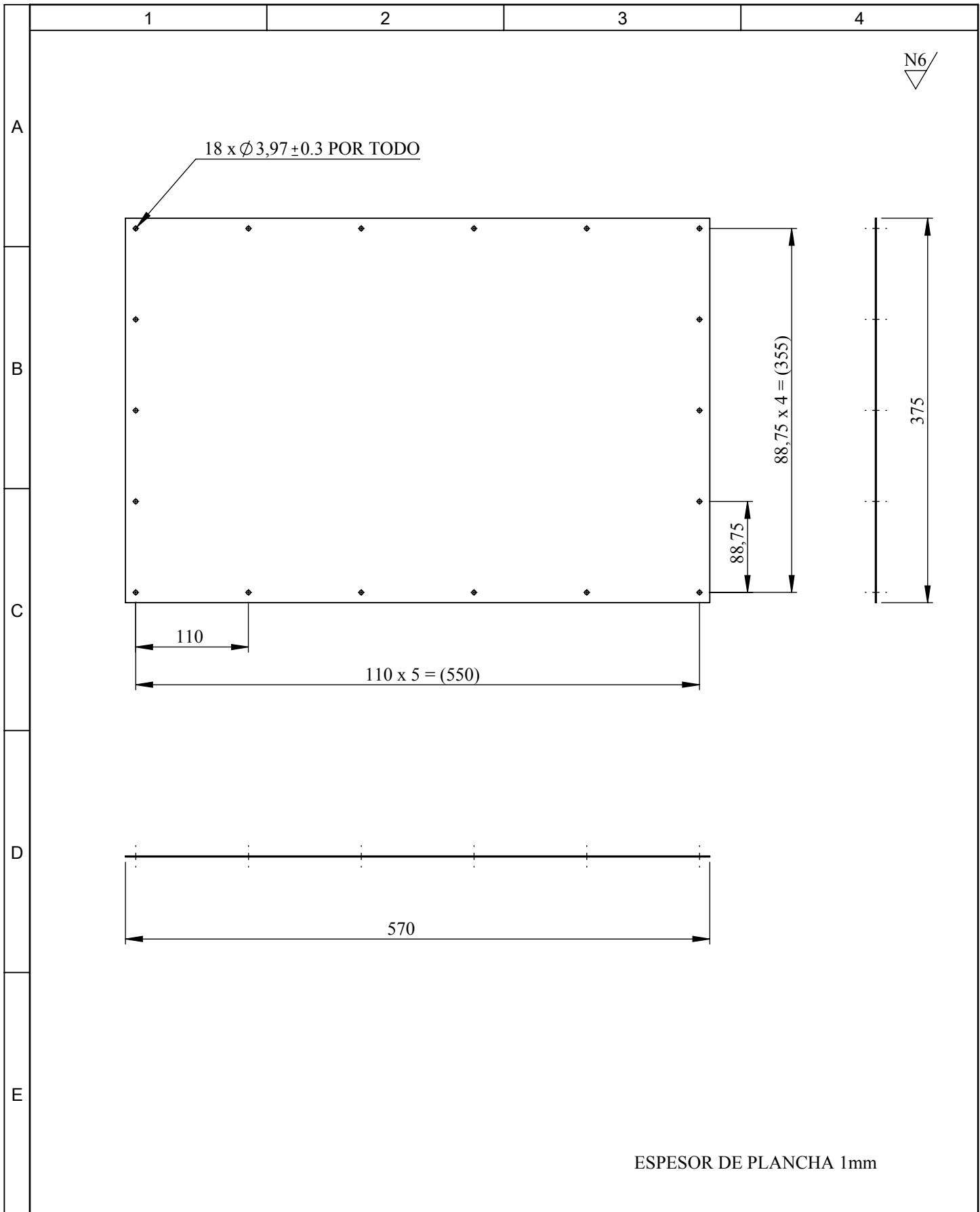
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	2.879 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>CHAPA SUPERIOR</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Número del dibujo: 20 de 37
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)
1	2	3	4				Escala: 1:5





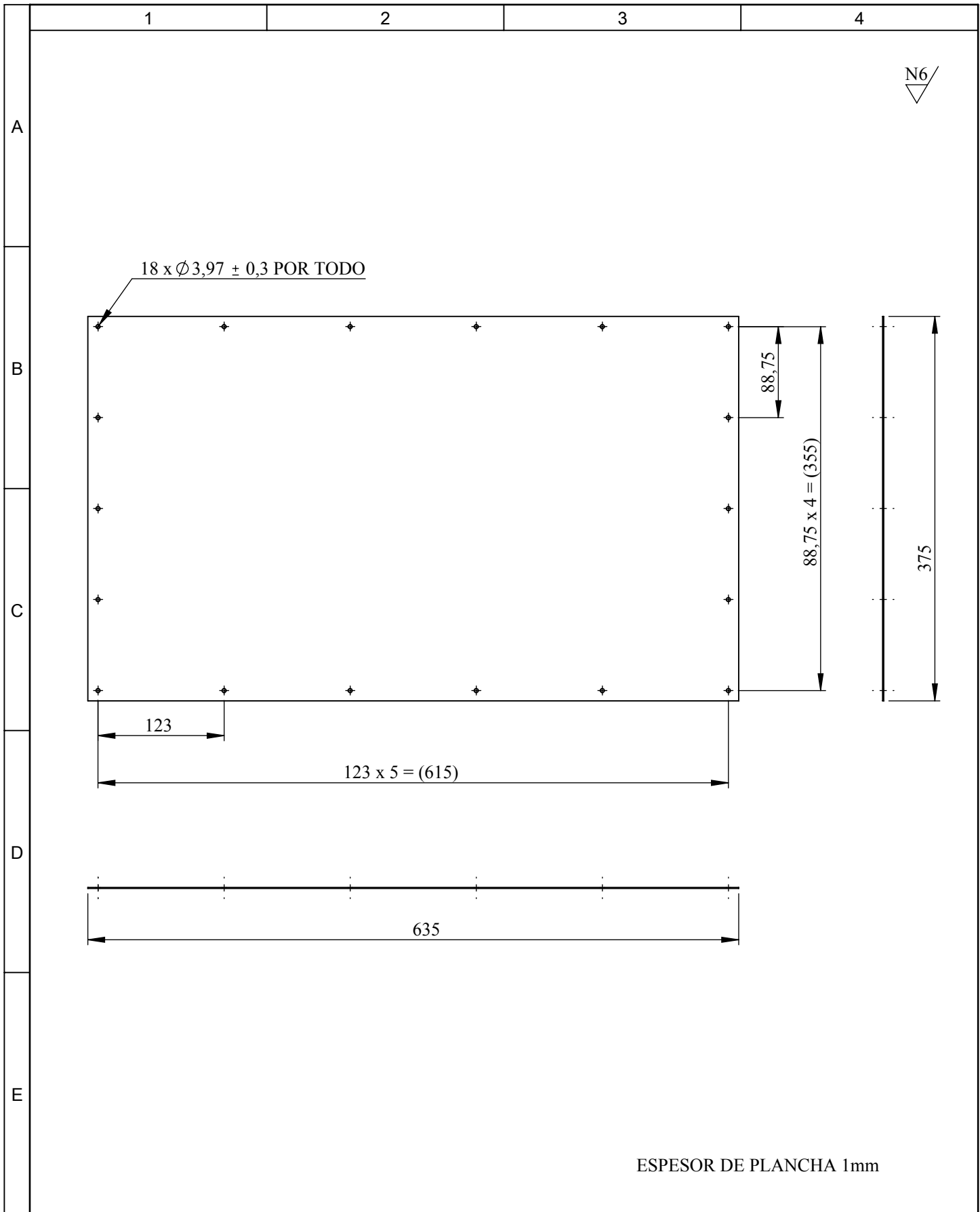
N6/

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	1.096 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>CHAPA FRONTAL - POLEAS</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:5
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 21 de 37	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

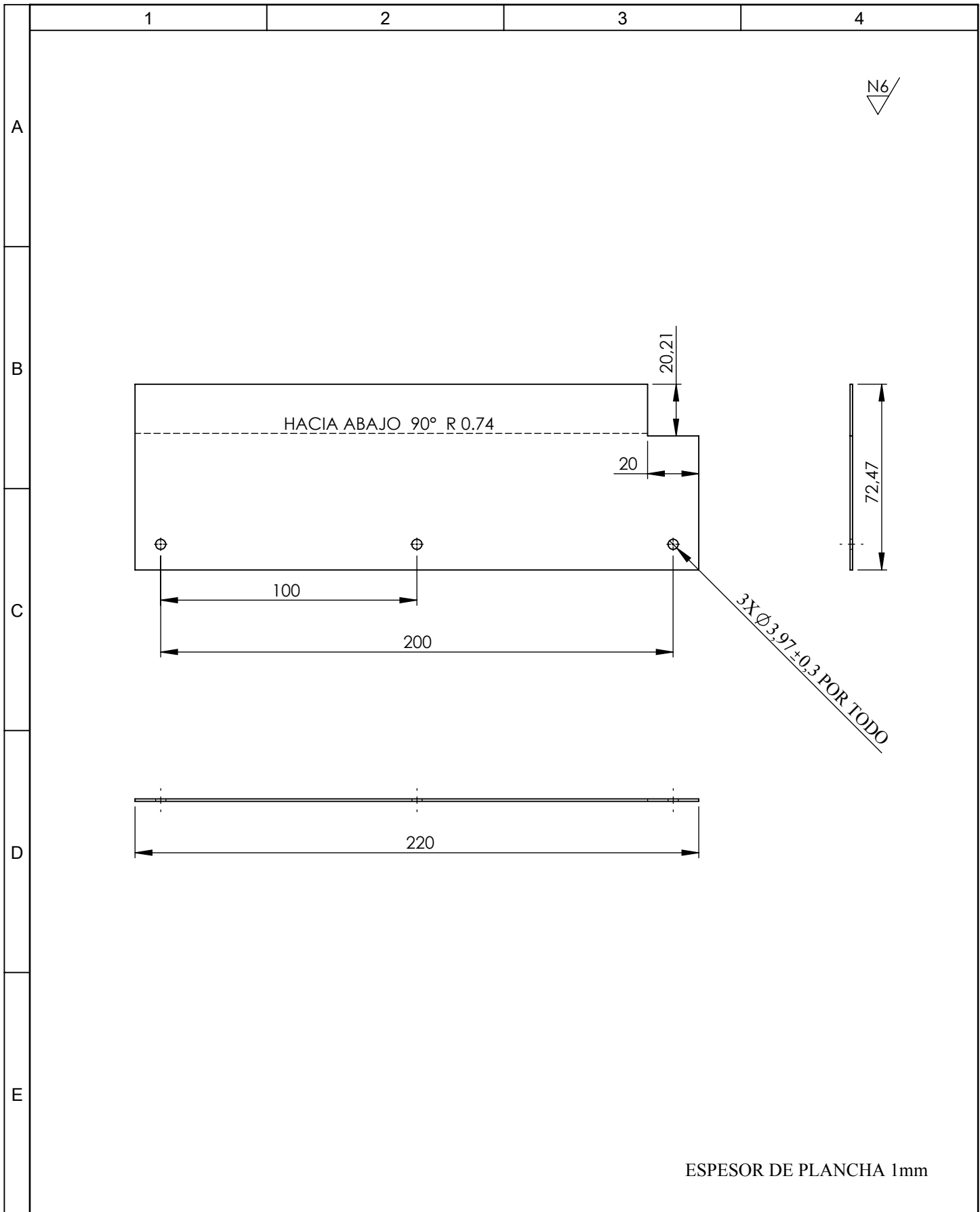


ESPESOR DE PLANCHA 1mm

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1.676 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>CHAPA POSTERIOR</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:5
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 22 de 37	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

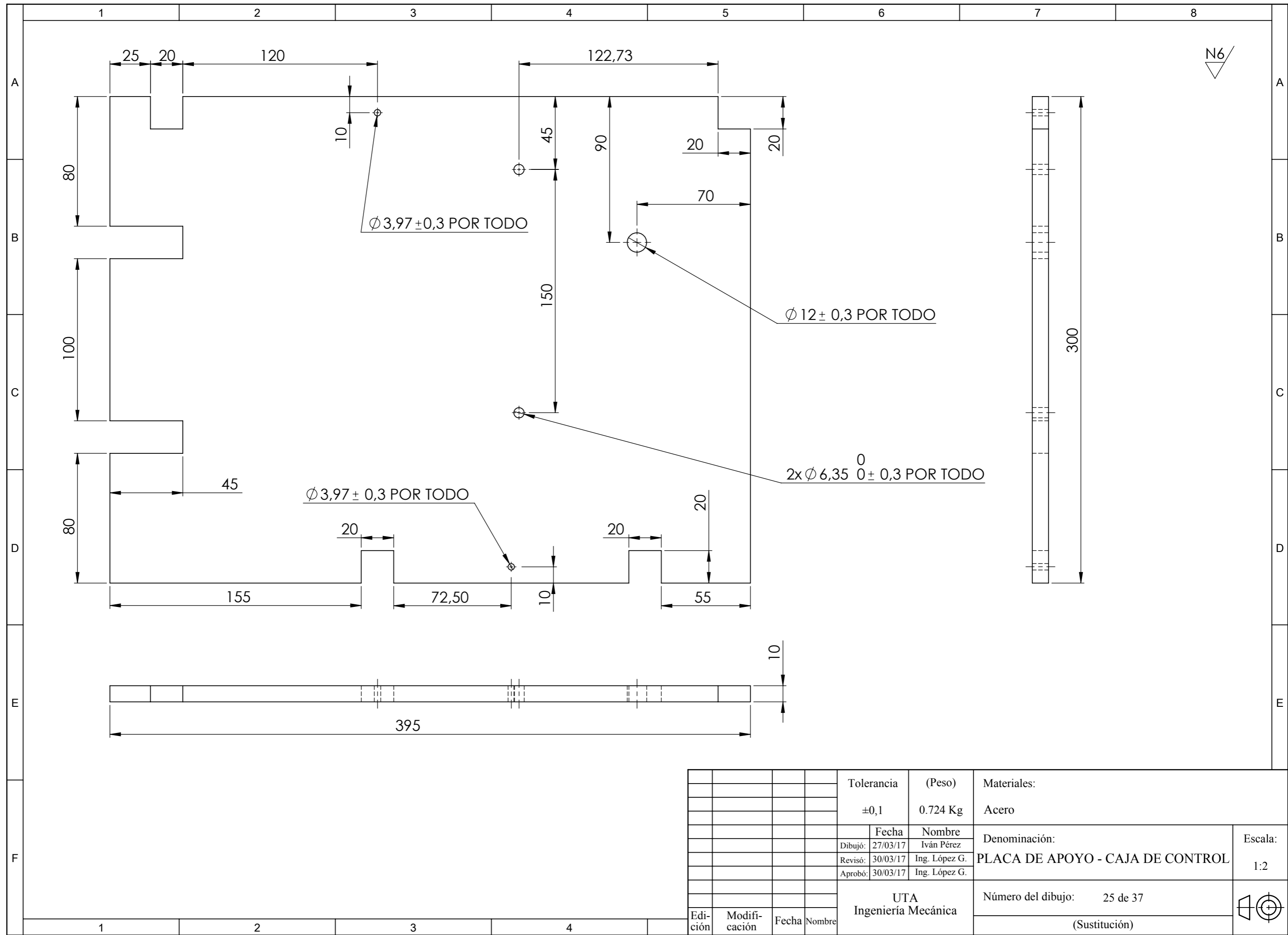


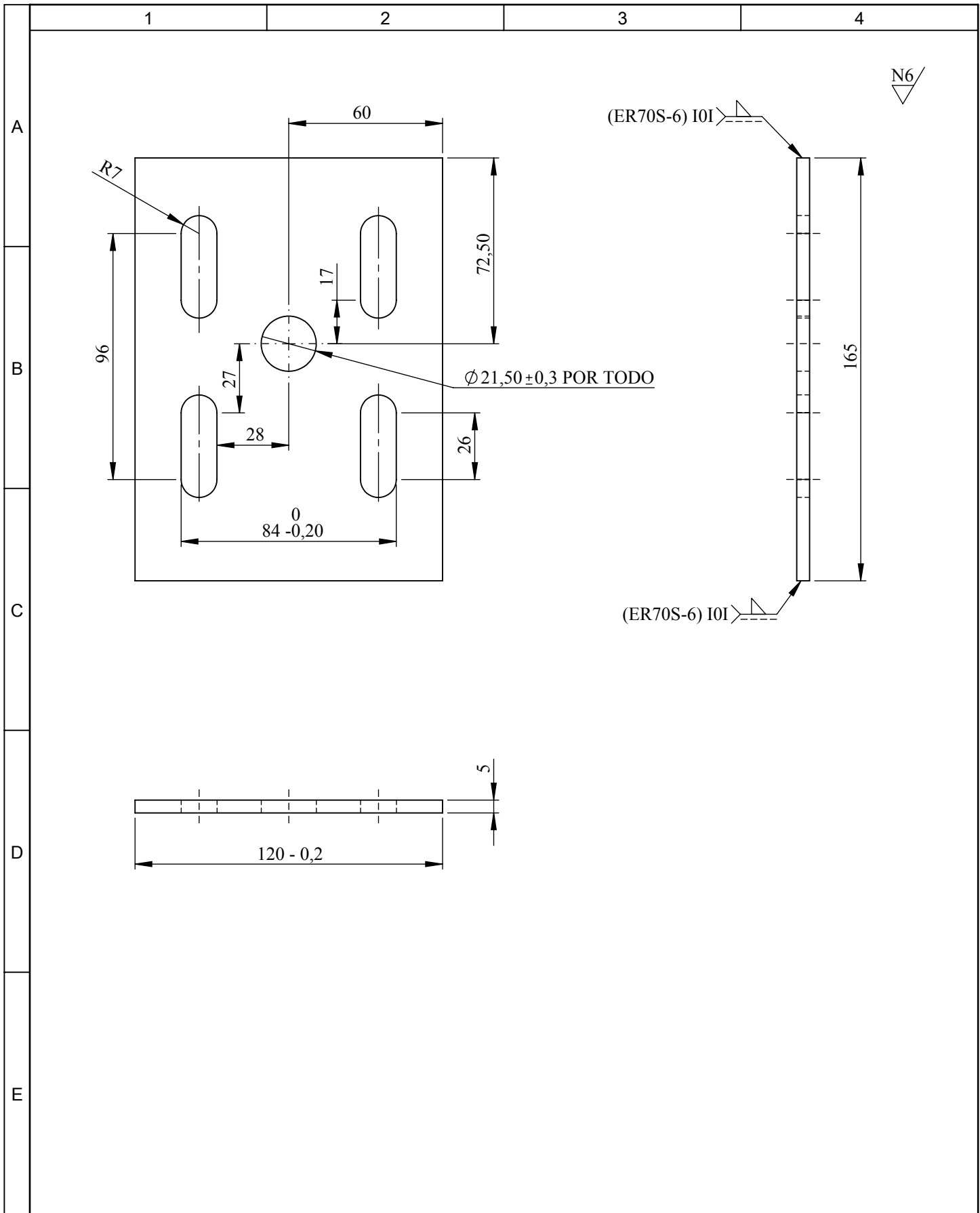
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	1.868 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>CHAPA LATERAL</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:5
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 23 de 37	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



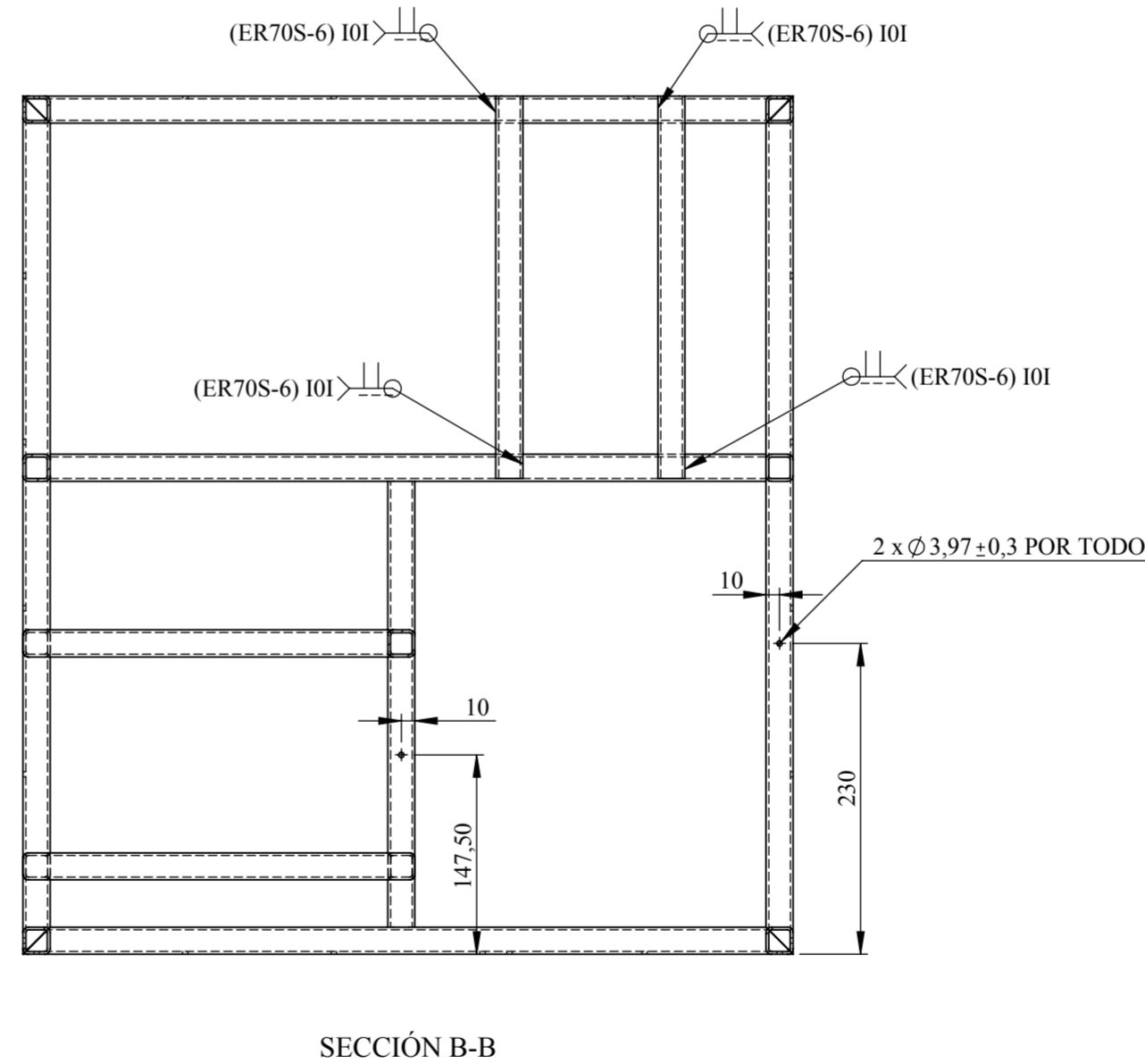
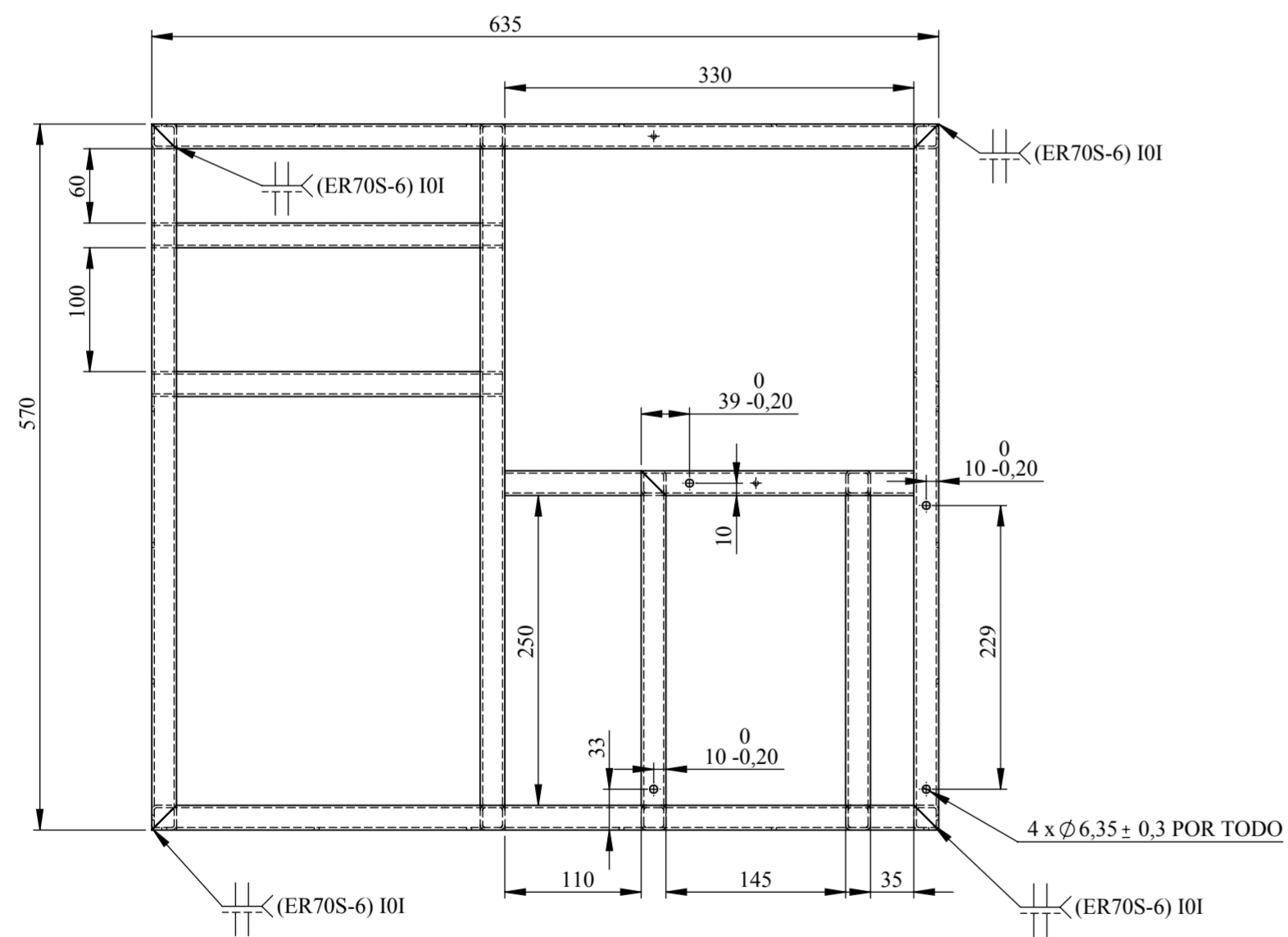
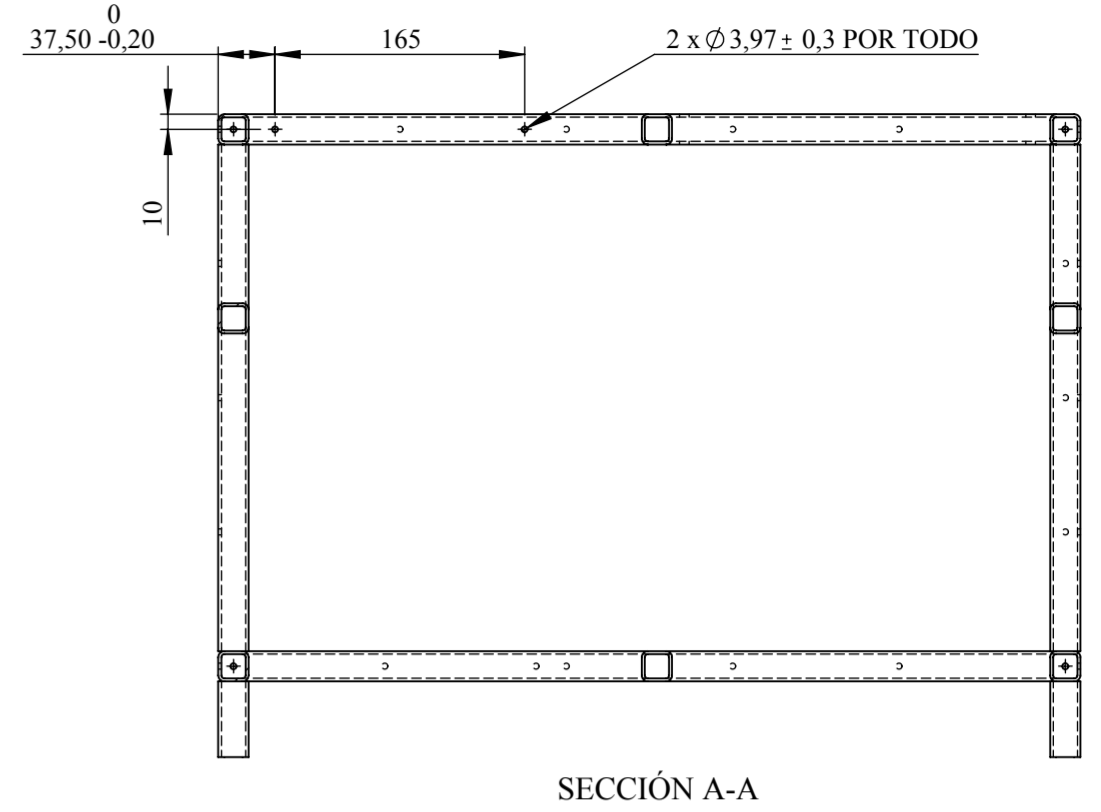
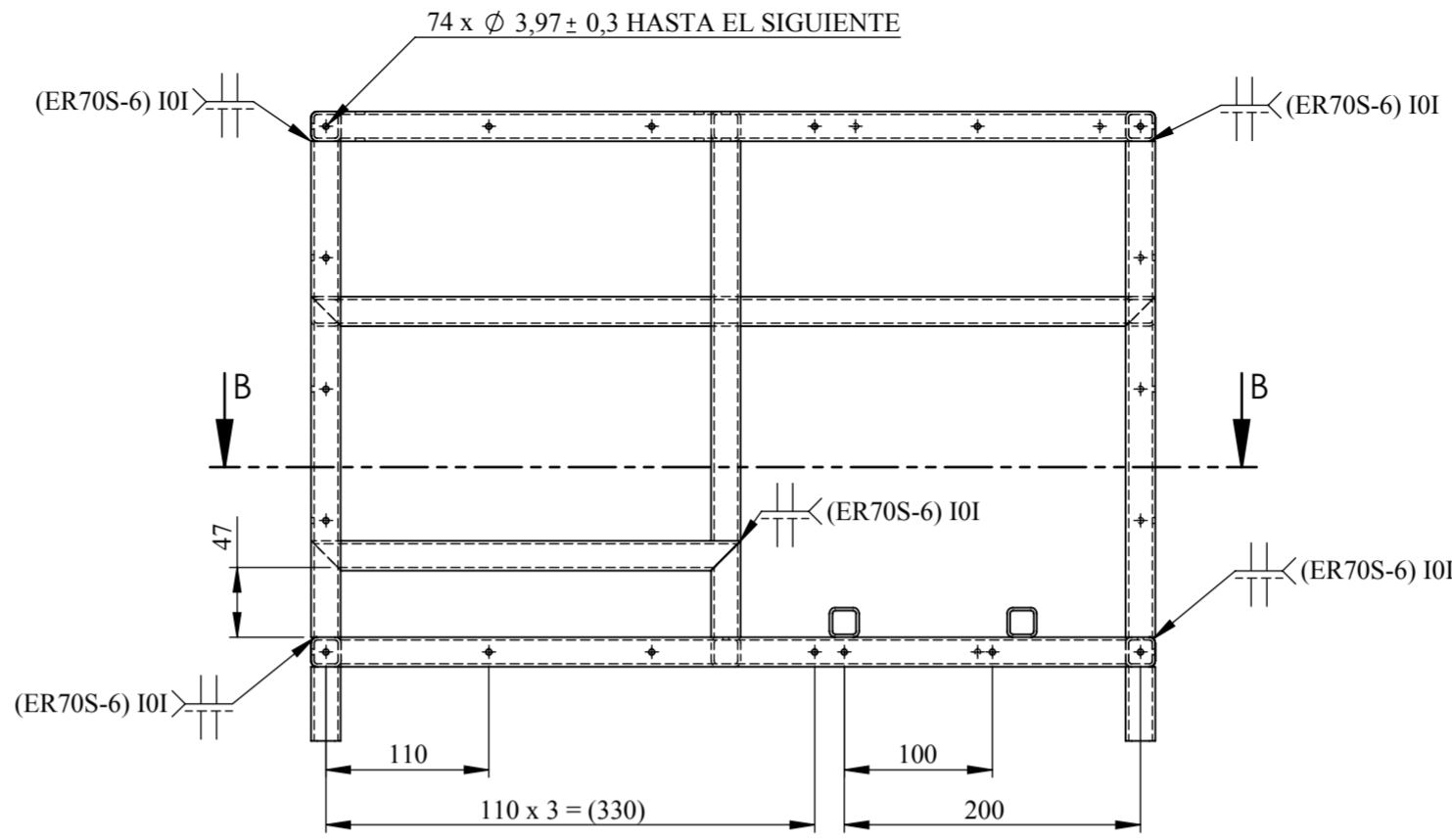
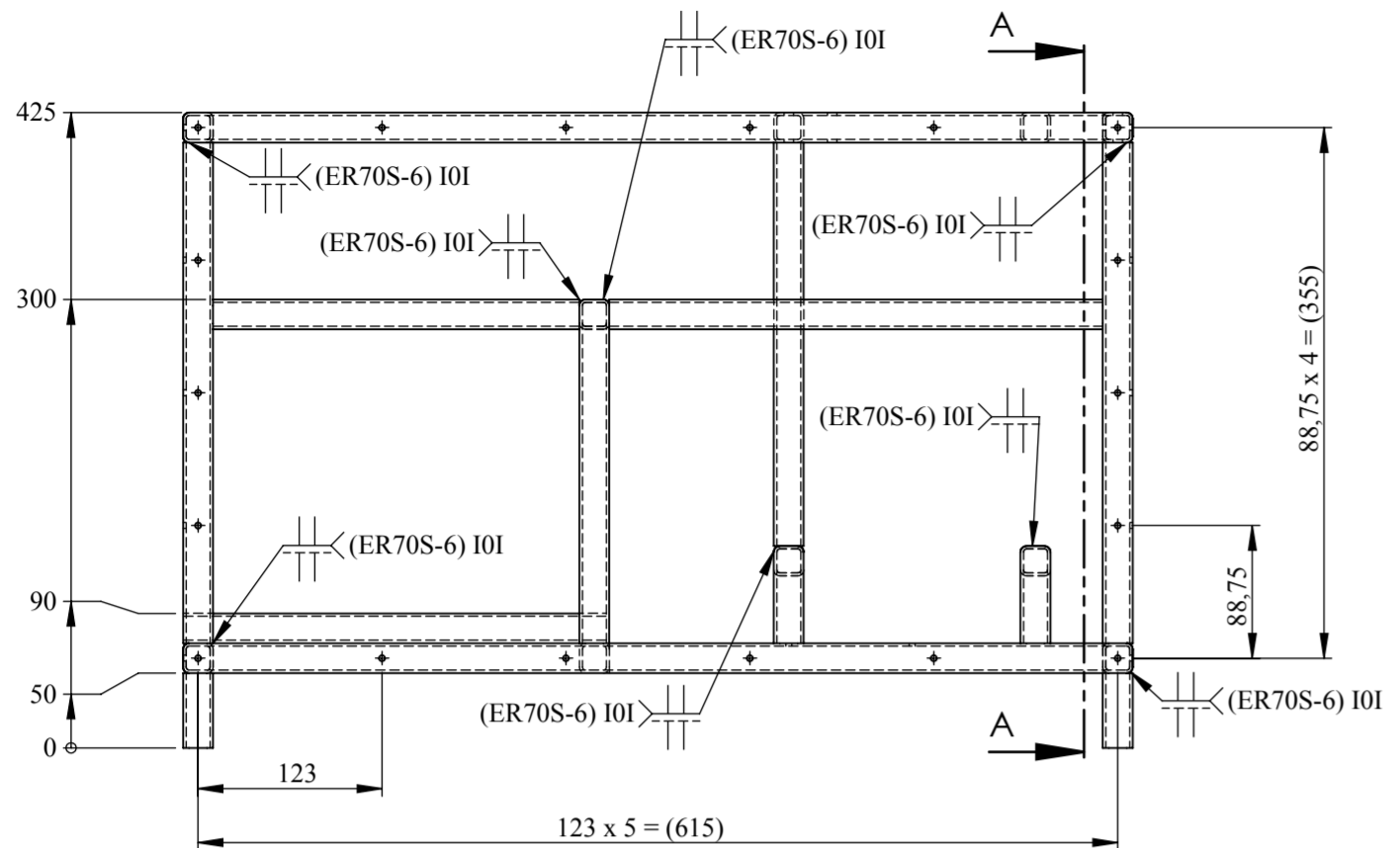
ESPESOR DE PLANCHA 1mm

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.122 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: CHAPA FRONTAL - CAJA DE CONTROL
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:2
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 24 de 37	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



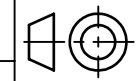


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	0.682 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez		
			Revisó:	30/03/17	Ing. López G.		
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	1:2
				UTA		Número del dibujo:	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre	Ingeniería Mecánica		26 de 37	
						(Sustitución)	

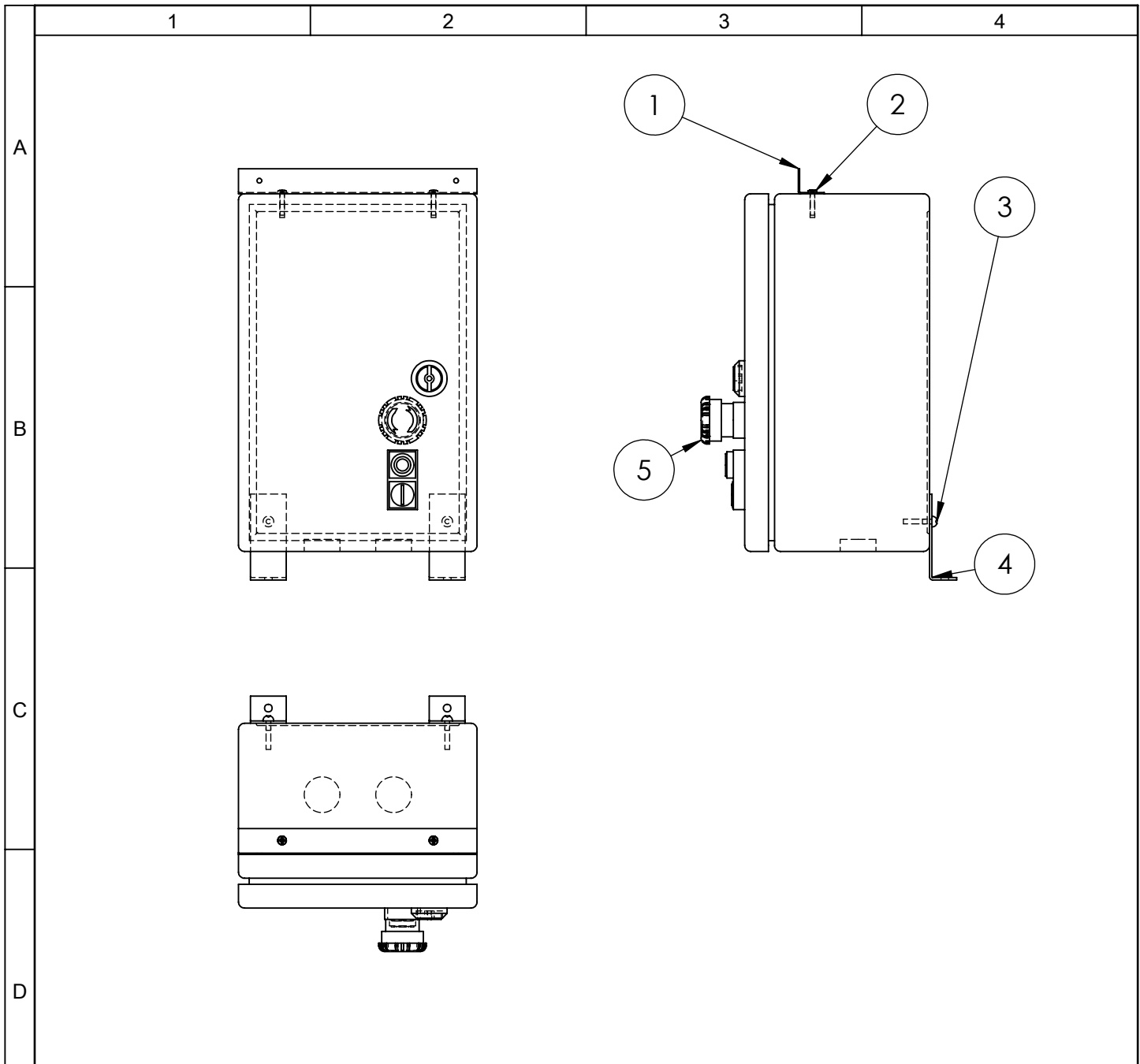


No. de pieza	Denominación	Longitud mm	Peso kg/Pieza
1	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	570	0,656
1	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	635	0,73
4	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	50	0,058
1	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	330	0,379
1	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	530	0,609
4	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	65	0,0748
2	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	290	0,334
2	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	230	0,265
1	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	270	0,31
3	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	335	0,385
2	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	245	0,282
1	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	270	0,31
1	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	220	0,253
1	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	250	0,288
2	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	283	0,326
1	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	570	0,656
3	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	635	0,73
2	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	330	0,38
2	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	570	0,656
1	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	570	0,656
1	Tubo estructural cuadrado 20x20x2	335	0,385

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	12.068 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				27/03/17	Iván Pérez	ESTRUCTURA	
				Revisó:	Ing. López G.	Escala:	
				30/03/17	Ing. López G.	1:5	
				Aprobó:	Ing. López G.	Número del dibujo: 27 de 37	
				UTA		Escala:	
				Ing. Mecánica		1:5	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				
				(Sustitución)			

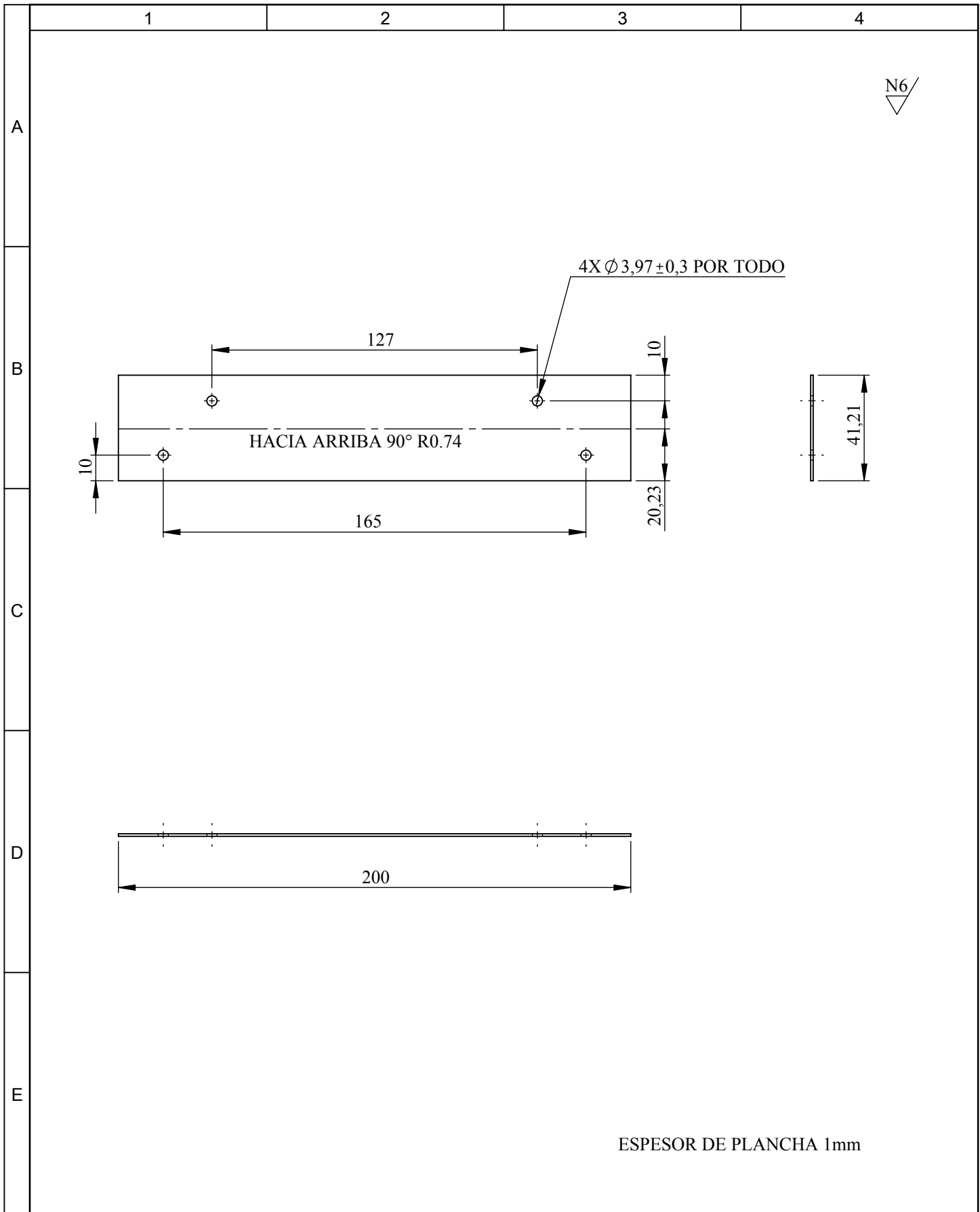






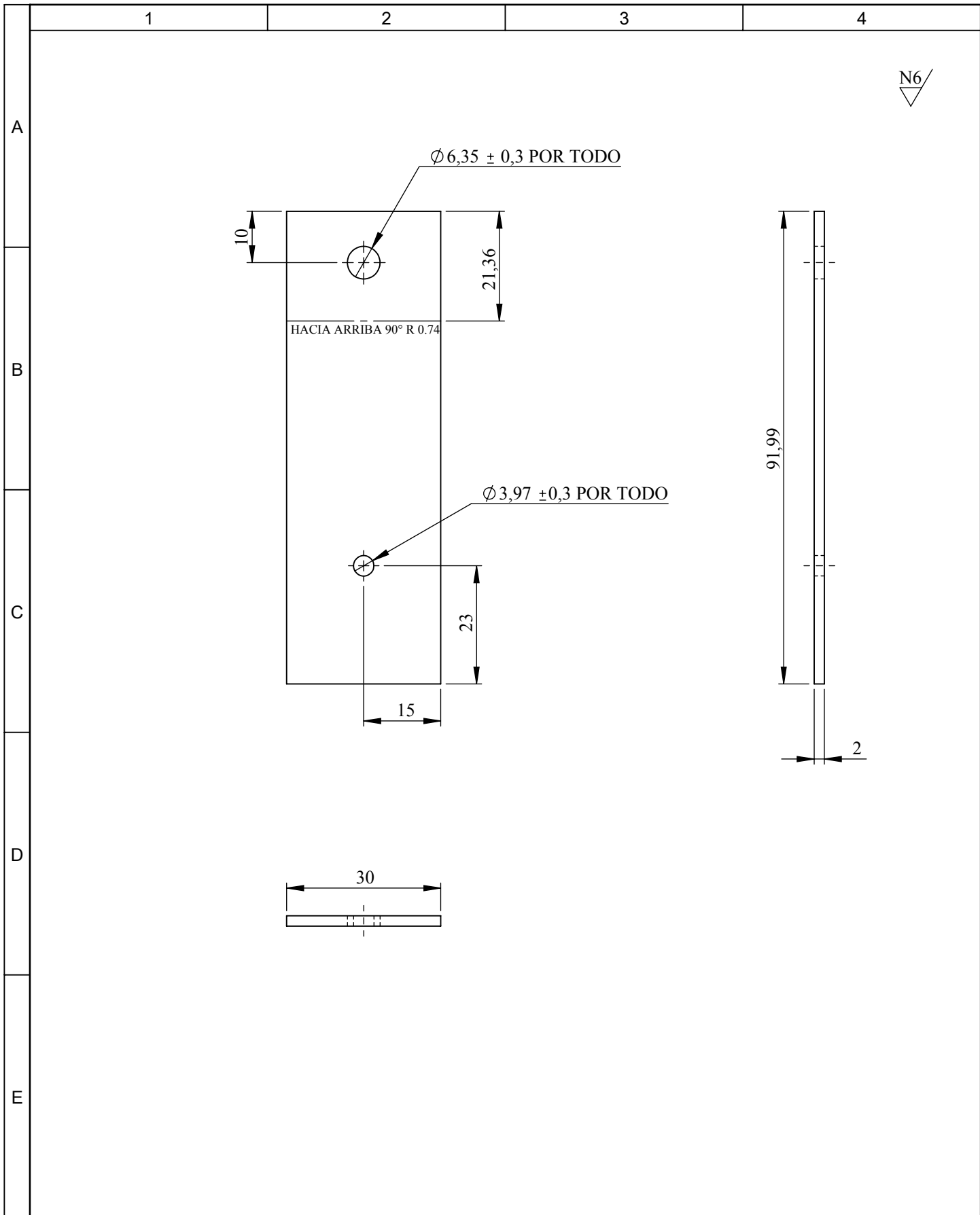
1	2	3	4	5
No. de orden	No. de pieza	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
5	1	Caja de control		Adquirida
4	2	Placa de apoyo inferior - caja de control	Hoja 30	Construida
3	2	Remache POP 1/8x1/4		Adquirida
2	2	Tornillo CR-BHMS 0,138-40-0,75X0,75-N	ANSI B18	Adquirida
1	1	Placa de apoyo superior - caja de control	Hoja 29	Construida

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	10.71 Kg	Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>CONJUNTO CAJA DE CONTROL</b>	Escala: 1:5
				Dibujó: 27/03/17	Iván Pérez		
				Revisó: 30/03/17	Ing. López G.		
				Aprobó: 30/03/17	Ing. López G.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 28 de 37	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



ESPESOR DE PLANCHA 1mm

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.064 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>PLACA DE APOYO SUPERIOR CAJA DE CONTROL</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:2
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	29 de 37
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

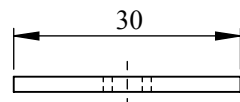


N6

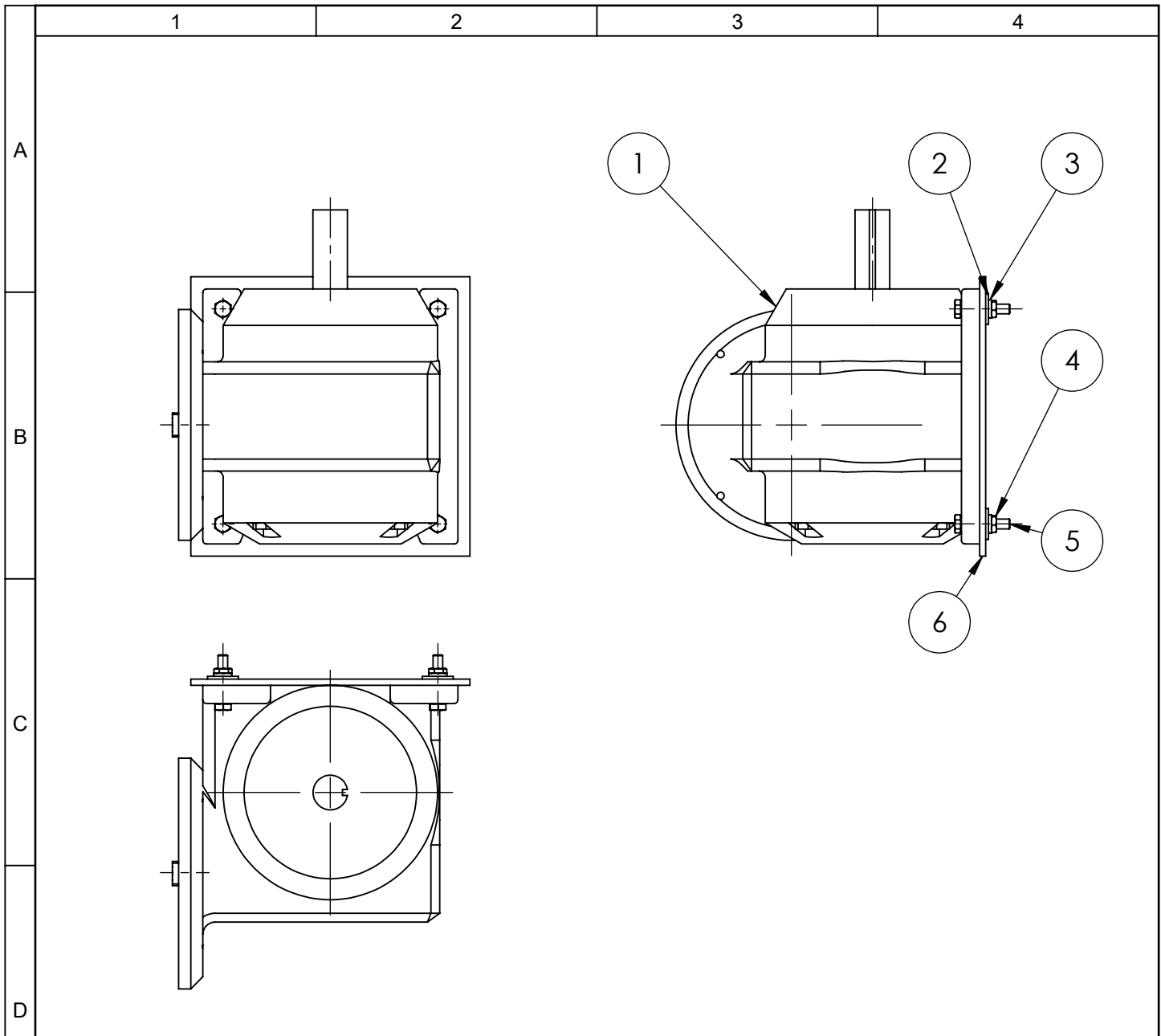
$\varnothing 6,35 \pm 0,3$  POR TODO

HACIA ARRIBA 90° R 0.74

$\varnothing 3,97 \pm 0,3$  POR TODO



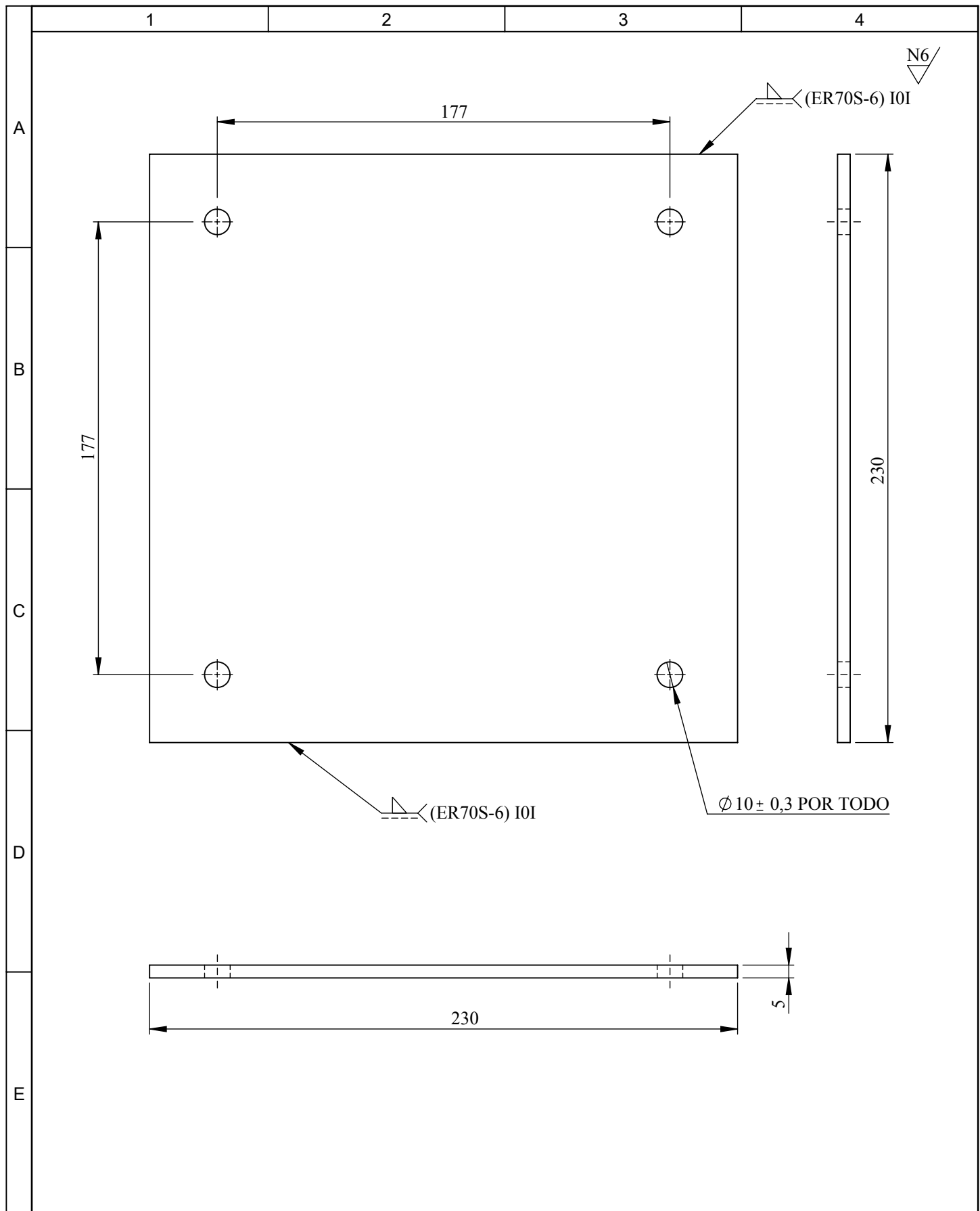
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	0.043 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>PLACA DE APOYO INFERIOR CAJA DE CONTROL</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:1
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	30 de 37
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



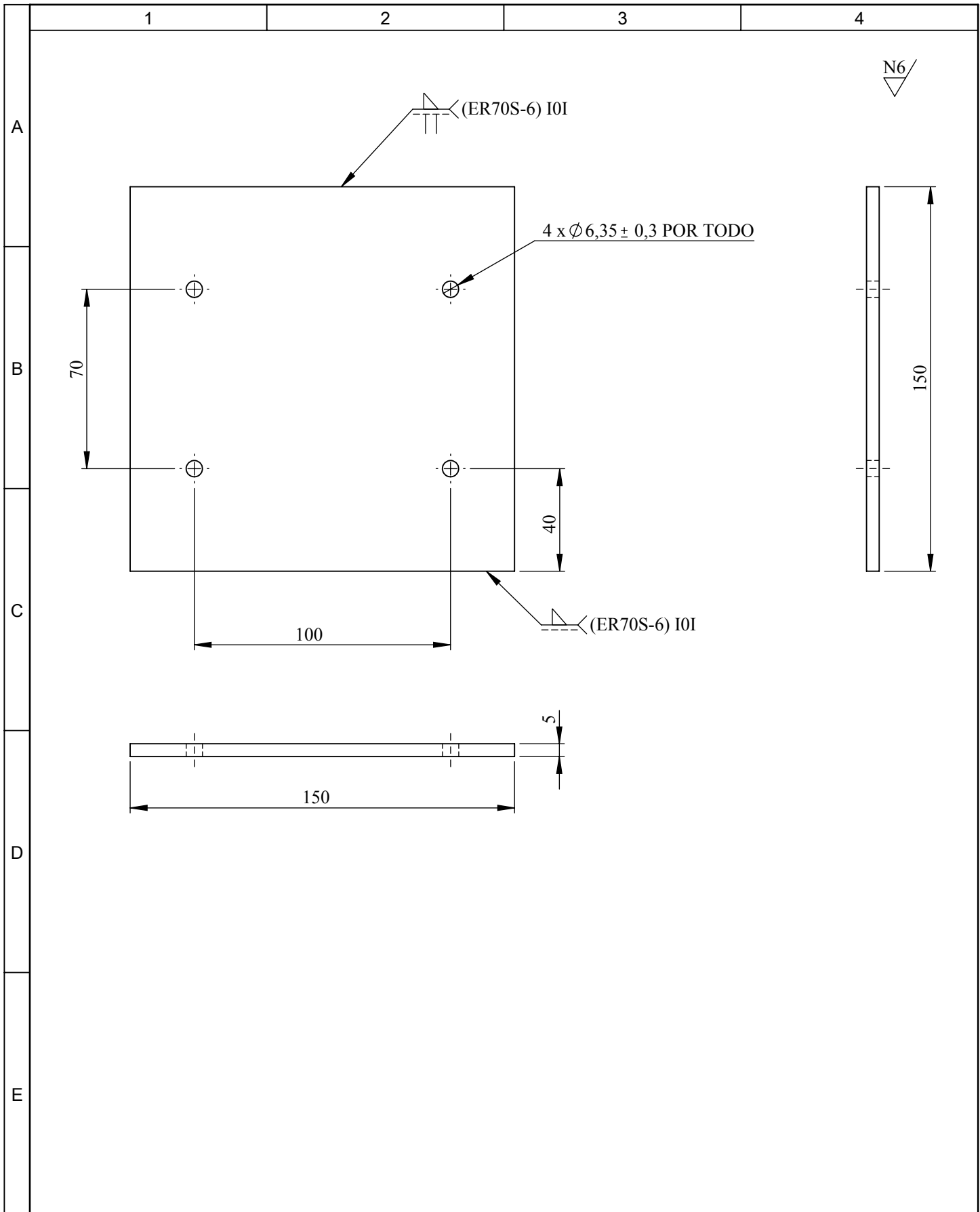
1	2	3	4	5
No. de orden	No. de pieza	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
6	1	Placa de apoyo reductor de velocidad	Hoja 32	Construido
5	4	Perno hexagonal Hex M8 x 1.25 x 40 --40N	ANSI/ASME B18.2.3.1M	Adquirido
4	4	Terca hexagonal M8 x 1.25 --D-N	ANSI/ASME B18.2.4.5M	Adquirido
3	4	Arandela de presión pesada LW 0,3125	ANSI B18.22.1.	Adquirido
2	4	Arandela plana 8mm regular	ANSI/ASME B18.22M	Adquirido
1	1	Reductor de velocidad MASTER XLM60803		Adquirido

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	18.07 Kg	Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez		
			Revisó:	30/03/17	Ing. López G.		
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	1:5
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	31 de 37
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

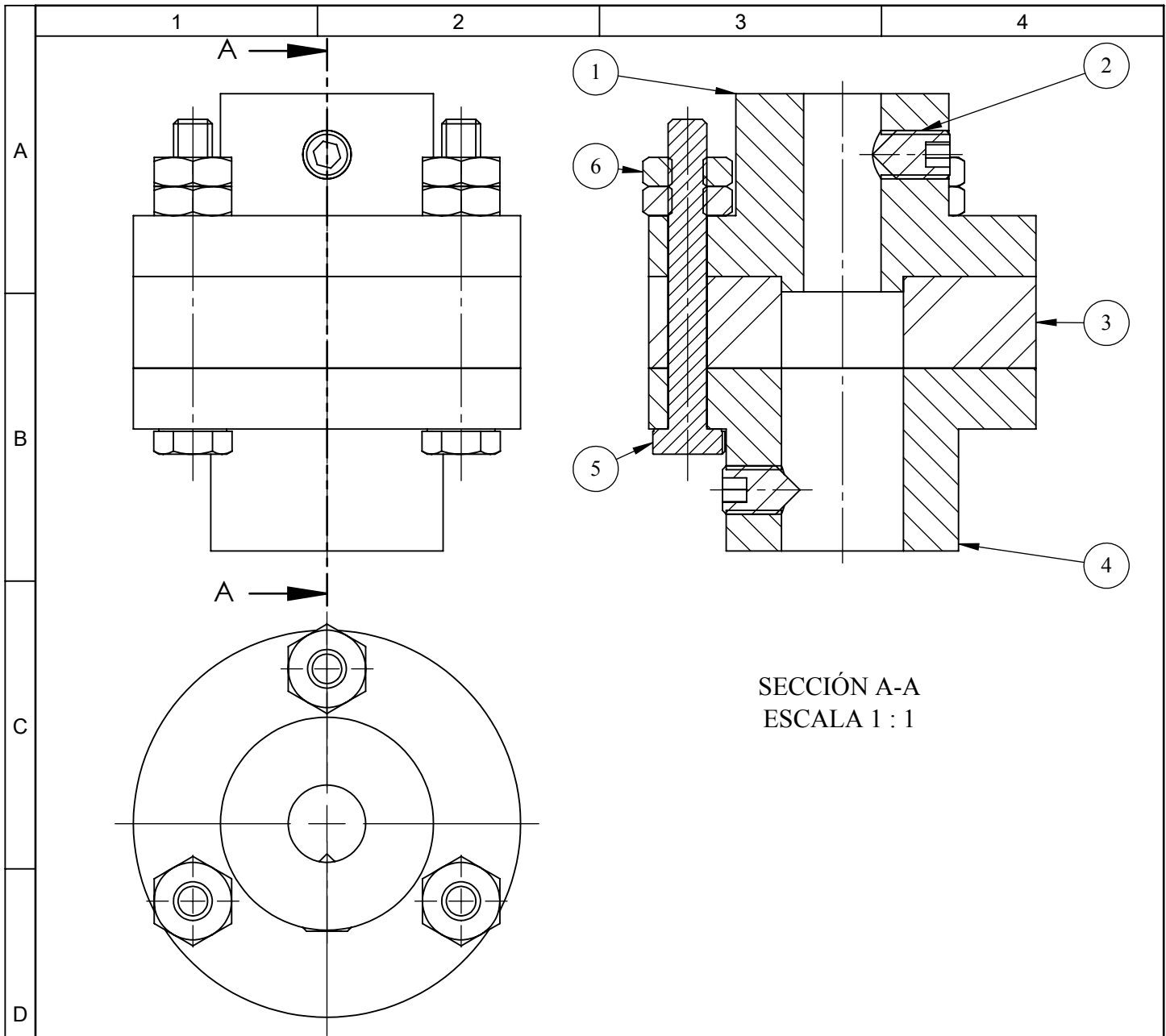
CONJUNTO REDUCTOR DE VELOCIDAD



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	2.064 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>PLACA DE APOYO REDUCTOR DE VELOCIDAD</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:2
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	32 de 37
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.878 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: <b>PLACA DE APOYO MOTOR</b>
				Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez	
				Revisó:	30/03/17	Ing. López G.	
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	Escala: 1:2
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 33 de 37	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1

1	2	3	4	5
No. de orden	No. de pieza	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
6	6	Tuerca HHJNUT 0.25-20-D-N	ANSI B18.2	Adquirido
5	3	Perno HFBOLT 0.25-20x1x0.75-N	ANSI B18.2	Adquirido
4	1	Acoplamiento reductor de velocidad	Hoja 37	Construido
3	1	Acoplamiento motor - reductor	Hoja 36	Construido
2	2	Prisionero 0.3125-24x0.5-HX-N	ANSI B18.3	Adquirido
1	1	Acoplamiento motor	Hoja 35	Construido

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.704 Kg	Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>ACOPLAMIENTO MOTOR - REDUCTOR</b>	Escala: 1:1
				Dibujó: 27/03/17	Iván Pérez		
				Revisó: 30/03/17	Ing. López G.		
				Aprobó: 30/03/17	Ing. López G.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 34 de 37	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

N7/

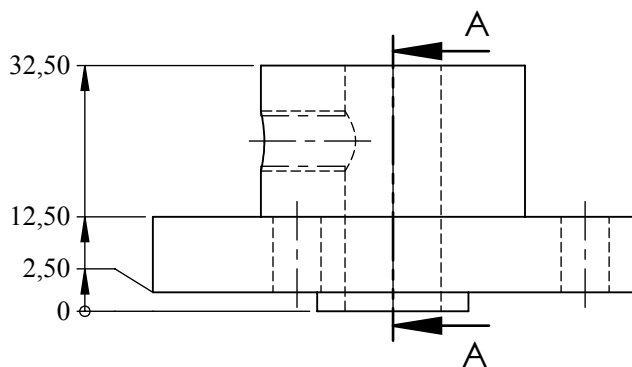
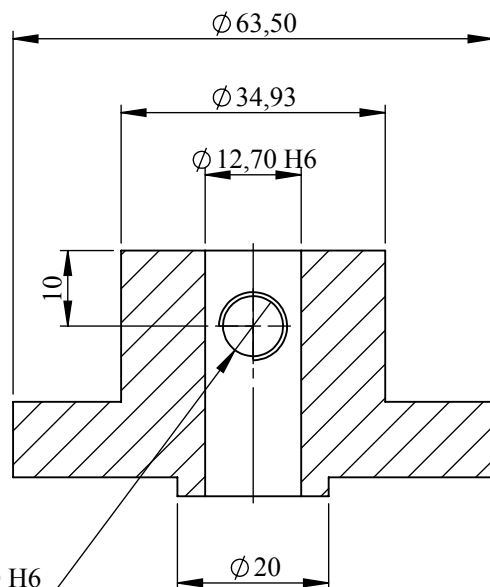
A

B

C

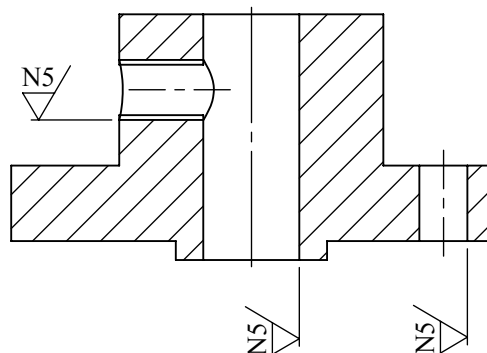
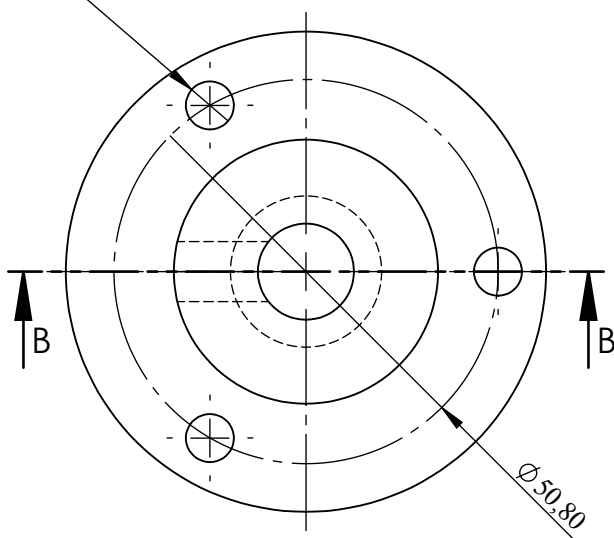
D

E


 $\varnothing 7,94 \text{ M8 POR TODO H6}$ 


SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1

3x  $\varnothing 6,35 \pm 0,3$  EQUIDISTANTES POR TODO



SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 1

7.94 H6	7.57
	7.84
12.7 H6	12.33
	12.6

Tolerancia

(Peso)

Materiales:

 $\pm 0,1$ 

0.331 Kg

Fundición gris

Fecha

Nombre

Denominación:

Escala:

Dibujó: 27/03/17

Iván Pérez

ACOPLAMIENTO MOTOR

1:1

Revisó: 30/03/17

Ing. López G.

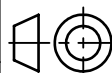
Aprobó: 30/03/17

Ing. López G.

Número del dibujo: 35 de 37

UTA  
Ingeniería Mecánica

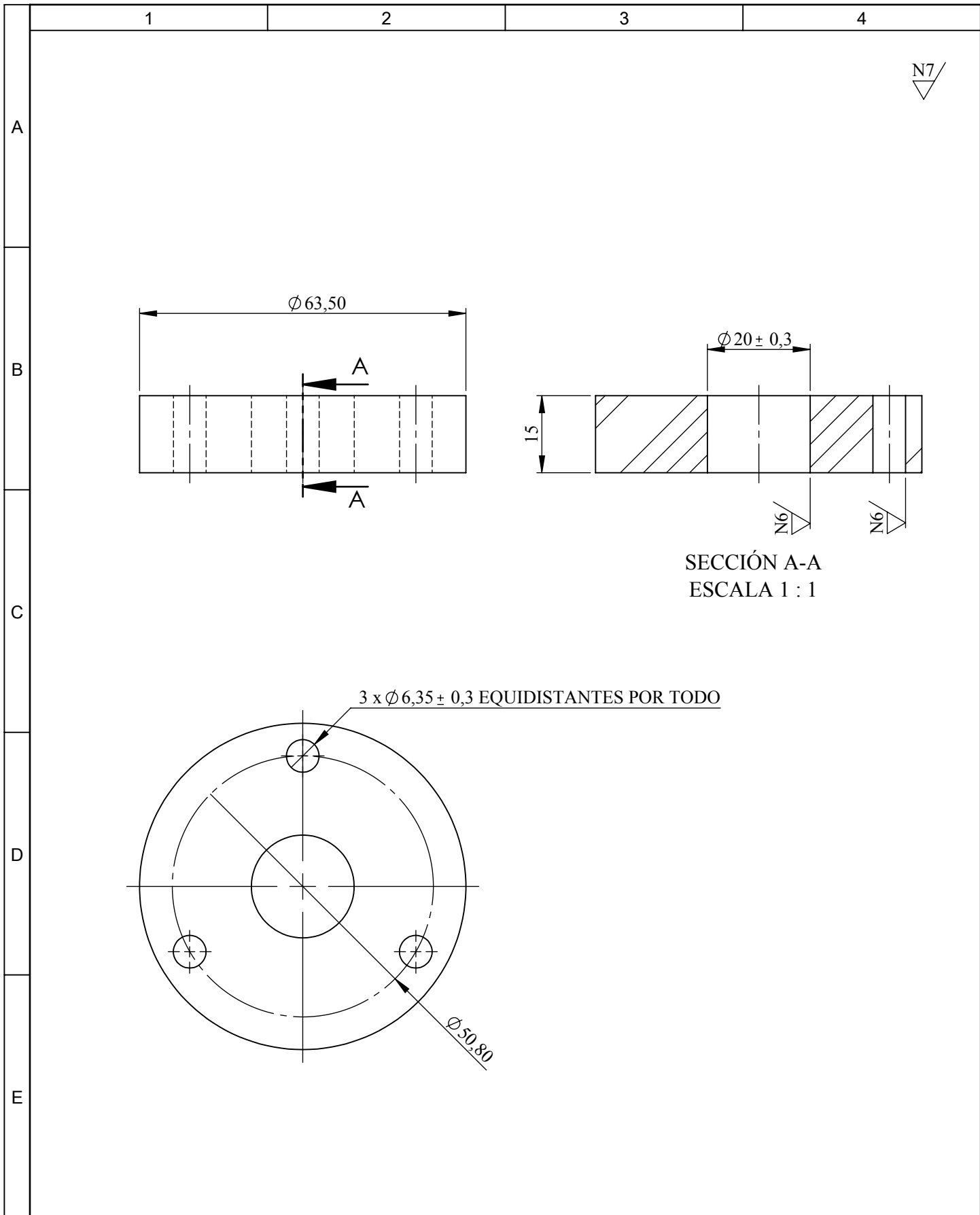
(Sustitución)

Edi-  
ciónModifi-  
cación

Fecha

Nombre





SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1

3 x  $\varnothing 6,35 \pm 0,3$  EQUIDISTANTES POR TODO

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	0.048 Kg	Caucho	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	27/03/17	Iván Pérez		
			Revisó:	30/03/17	Ing. López G.		
				Aprobó:	30/03/17	Ing. López G.	1:1
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 36 de 37	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

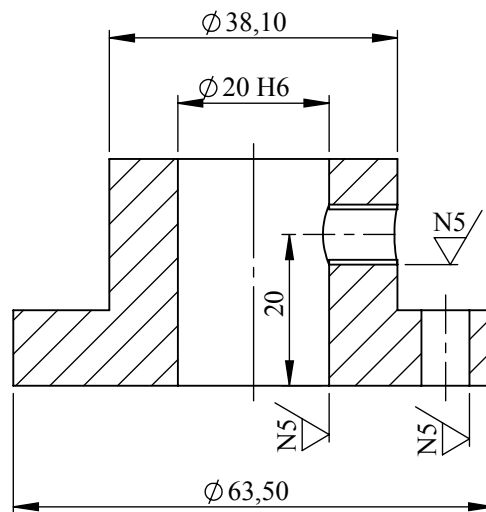
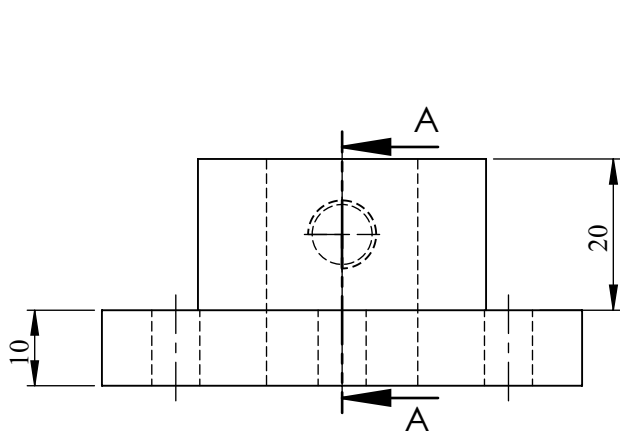
3

4

A

N7/

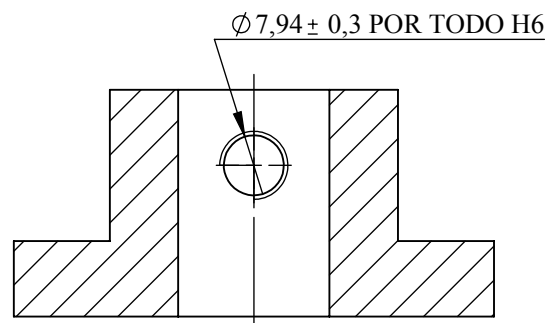
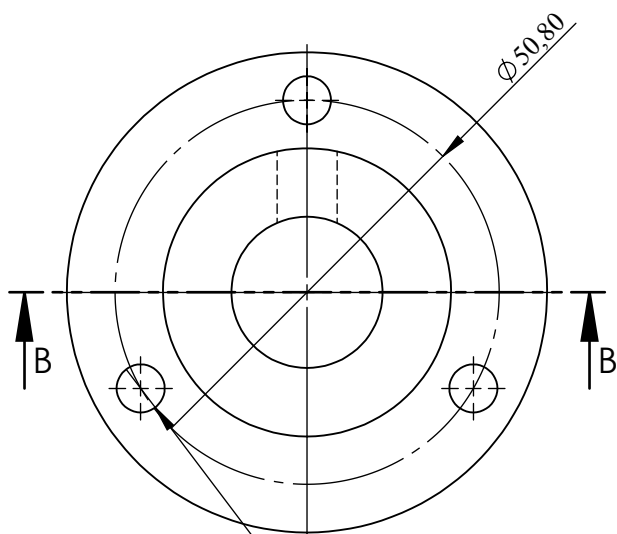
B



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1

C

D



SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 1

3 x  $\varnothing 6,35 \pm 0,3$  EQUIDISTANTES POR TODO

7.94 H6	7.57
	7.84
20 H6	19.63
	19.90

E

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	0.314 Kg	Fundición gris	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó: 27/03/17	Iván Pérez	ACOPLAMIENTO REDUCTOR	
				Revisó: 30/03/17	Ing. López G.	DE VELOCIDAD	
				Aprobó: 30/03/17	Ing. López G.	Escala:	
				UTA		Número del dibujo: 37 de 37	
				Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			1:1	