



**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 UN MOLINO DE BOLAS PARA  
APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA EN LOS LABORATORIOS DE  
INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y  
MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.”

---

**AUTOR:** Erik Andrés Cabezas Casco

**TUTOR:** Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacis

**AMBATO – ECUADOR**

**2017**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo, Ing. Mg. Gonzalo López en calidad de tutor de proyecto técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS PARA APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” Elaborado por el señor Erik Andrés Cabezas Casco, egresado de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico:

Que el presente trabajo de investigación es original de su autor.

Ha sido revisada en cada uno de sus capítulos.

Esta concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, 23 de junio del 2017

.....  
Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacis

## **AUTORÍA DEL TRABAJO**

Los criterios, contenidos, análisis y conclusiones emitidos en el presente trabajo con el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS PARA APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO” Son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, 23 de junio de 2017

.....  
Erik Andrés Cabeza Casco

180365075-1

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

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

Ambato, 23 de junio de 2017

.....

Erik Andrés Cabezas Casco

180365075-1

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del proyecto técnico realizado por el estudiante Erik Andrés Cabezas Casco de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS PARA APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO”.

Ambato, 4 de septiembre del 2017

Para constancia firma:

.....

Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa

.....

Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega

## **DEDICATORIA**

A DIOS

MIS PADRES

MI HERMANA

MI FAMILIA

MI NOVIA

MIS AMIGOS

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme brindado ciento de bendiciones como son el amor de mis padres Andrés y María y darme una hermana ejemplar, a ellos debo toda mi gratitud en esta vida.

Agradezco a las autoridades de la carrera de ingeniería mecánica de la universidad técnica de Ambato y al personal docente que lo conforma debido que me han brindado sus conocimientos tanto en el ámbito laboral como en lo personal, en especial agradezco a mi tutor al Ing. Mg. Gonzalo López por brindarme su ayuda en la elaboración del presente proyecto.

## ÍNDICE

### PAGINAS PRELIMINARES

Certificación del tutor .....	II
Autoría del trabajo.....	III
Derechos de autor.....	IV
Aprobación del tribunal de grado.....	V
Dedicatoria .....	VI
Agradecimiento .....	VII
Índice.....	VIII
Índice de tablas.....	XIII
Índice de figuras .....	XV
Resumen ejecutivo .....	XVII
Summary .....	XVIII

### CONTENIDO

Capítulo I: Antecedentes .....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Justificación .....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo general: .....	2
1.3.2 Objetivos específicos: .....	2
Capítulo II: Fundamentación.....	3
2.1 Investigaciones previa.....	3
2.2 Fundamentación teórica .....	4
2.2.1 Pulvimetalurgia .....	4
2.2.2 Pulverización.....	4
2.2.3 Molienda .....	4

Elementos de la molienda: .....	4
2.2.3.1 Velocidad de giro .....	4
2.2.3.2 Velocidad crítica .....	6
2.2.3.3 Relaciones entre los elementos variables .....	6
2.2.3.4 Tamaño máximo de elementos moledores .....	6
2.2.3.5 Volumen de Carga.....	7
2.2.3.6 Potencia .....	7
2.2.3.7 Tipos de molienda: molienda húmeda y molienda seca.....	7
2.2.4 Molino de bolas o balines .....	8
2.2.5 Principio de funcionamiento de un molino de bolas .....	8
2.2.6 Componentes de un molino de bolas: .....	9
2.2.7 Tipos de molino de bolas .....	10
2.2.7.1 Molino de bolas Planetario.....	10
2.2.7.2 Molino Attritor .....	11
2.2.7.3 Molino de tambor .....	13
2.2.7.4 Molinos de bolas de alta energía.....	14
2.2.8 Cuproaluminio .....	14
2.2.8.1 Cuproaluminios bifásicos.....	16
Capítulo II: Diseño del proyecto .....	17
3.1 Parámetros para la selección de alternativas .....	17
3.1.1 Tamaño de grano obtenido.....	17
3.1.2 Tiempo de molienda.....	17
3.1.3 Tipos de molienda .....	17
3.1.4 Potencia .....	17
3.1.5 Costo .....	17
3.2 Selección de alternativas .....	18

3.2.1 Tamaño de grano obtenido.....	18
3.2.2 Tiempo de molienda.....	18
3.2.3 Tipo de Molienda .....	19
3.2.4 Potencia requerida.....	19
3.2.5 Costos.....	20
3.2.6 Ponderación de resultados.....	21
3.3 Cálculos o modelo operativo.....	21
3.3.1 Características específicas.....	21
3.3.2 Diseño del tambor .....	21
3.3.2.1 Selección del material del tambor .....	24
3.3.2.2 Espesor del tambor.....	24
3.3.2.3 Dimensionamiento de las tapas del tambor.....	25
3.3.3 Grado de llenado .....	26
3.3.4 Peso de los cuerpos moledores.....	26
3.3.5 Grado de llenado en húmedo.....	27
3.3.6 Tamaño y distribución de las bolas.....	27
3.3.7 Selección de la potencia .....	28
3.3.7.1 Potencia teórica necesaria .....	28
3.3.7.2 Potencia real necesaria .....	29
3.3.8 Cálculo de la Velocidad de giro .....	30
3.3.9 Diseño de transmisión .....	30
3.3.9.1 Selección del tipo de transmisión.....	30
3.3.9.2 Cálculo de una transmisión por cadena.....	31
3.3.9.3 Relación de transmisión y piñones.....	31
3.3.9.4 Paso de la cadena conductora.....	32
3.3.9.5 Cálculo del número de pasos.....	32

3.3.9.6 Velocidad de la cadena.....	32
3.3.9.7 Longitud de la cadena (mm) .....	33
3.3.9.8 Selección de cadena según norma ISO 606 (americana) .....	33
3.3.9.9 Tipo de lubricación de la cadena.....	33
3.3.9.10 Par torsión de la cadena .....	33
3.3.9.11 Fuerza que se produce en el eje.....	34
3.3.9.12 Coeficiente de seguridad .....	34
3.3.10 Diseño del eje.....	34
3.3.10.1 Diseño estático del eje.....	37
3.3.10.1.1 Análisis a flexión .....	37
3.3.10.1.2 Análisis de torsión.....	37
3.3.10.2 Diseño a fatiga.....	38
3.3.10.2.2 Esfuerzos equivalentes .....	39
3.3.10.2.3 Límite de fatiga .....	39
3.3.10.3 Factor de seguridad del eje.....	41
3.3.11 Selección de chumaceras .....	41
3.3.11.1 Cálculo de la carga equivalente estática.....	42
3.3.11.2 Cálculo de la carga equivalente dinámica.....	42
3.3.11.3 Cálculo de la vida nominal.....	42
3.3.11.3 Cálculo del factor K .....	43
3.3.11.4 Cálculo de la vida nominal ajustada SKF .....	43
3.3.12 Diseño de la estructura soporte del molino de bolas.....	44
3.3.13 Juntas soldadas (Tambor-Tapas).....	46
3.3.14 Análisis del tambor mediante software de elementos finitos.....	49
3.4 Presupuesto .....	51
3.4.1 Costo de materiales .....	51

3.4.2 Costo de mano de obra.....	52
3.4.3 Costo total de construcción .....	52
3.5 Especificaciones técnicas .....	53
3.5.1 Características técnicas de la máquina. ....	53
3.5.2 Condiciones de servicio del molino de bolas .....	53
3.5.3 Normas de seguridad .....	53
3.5.4 Instrucciones de Funcionamiento .....	54
3.5.5 Mantenimiento de la máquina .....	55
3.5.6 Componentes principales.....	56
3.5.7 Lista piezas:.....	56
Capítulo IV: Conclusiones y recomendaciones .....	57
4.1 Conclusiones .....	57
4.2 Recomendaciones.....	58
Anexos .....	61
Planos.....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Clasificación del sistema de acoplamiento de acuerdo con el tamaño de los molinos [7]. .....	5
Tabla 2. 2: Carga del molino [7]. .....	7
Tabla 2. 3: Comparación entre molienda seca y húmeda [7]. .....	7
Tabla 2. 4: Ventajas y desventajas de un molino de bolas planetario [3]. .....	11
Tabla 2. 5: Ventajas y desventajas del molino de bolas Attritor [3]. .....	12
Tabla 2. 6: Ventajas y desventajas de un molino de tambor [10] . .....	13
Tabla 2. 7: Ventajas y desventajas de un molino de bolas de alta energía [10]... ..	14
Tabla 3. 1: Valores de tamaño de grano obtenido. ....	18
Tabla 3. 2: Evaluación del Tamaño de grano obtenido.....	18
Tabla 3. 3: Valores del Tiempo de molienda. ....	18
Tabla 3. 4: Evaluación del Tiempo de molienda.....	19
Tabla 3. 5: Valores del tipo de molienda. ....	19
Tabla 3. 6: Evaluación del Tipo de Molienda. ....	19
Tabla 3. 7: Valores del peso específico del criterio Disponibilidad.. ....	19
Tabla 3. 8: Evaluación del peso específico del criterio disponibilidad.....	20
Tabla 3. 9: Valores de los costos.....	20
Tabla 3. 10: Evaluación de los costos. ....	20
Tabla 3. 11: Ponderación de resultados.....	21
Tabla 3. 12: Espesores de la Chapa del tambor. Fuente : [13].....	24
Tabla 3. 13: Distribución de los cuerpos moledores.....	28
Tabla 3. 14: Peso des diferentes elementos que componen el molino de bolas....	29
Tabla 3. 15: Datos básicos para la selección de cadena. ....	31
Tabla 3. 16: Tabla de valores de las reacciones que se producen en el rodamiento. Fuente: [14]. .....	41
Tabla 3. 17: Valores de los datos de la chumacera SYK 30 TEF. Fuente: [14]. ..	42
Tabla 3. 18: Costo de mano de obra.....	51
Tabla 3. 19: Costo de mano de obra.....	52
Tabla 3. 20: Costo total de construcción.....	52
Tabla 3. 21: Características técnicas del molino de bolas.....	53
Tabla 3. 22: Condiciones de servicio del molino de bolas.....	53

Tabla 3. 23: Componentes que comprenden el molino de tambor de bolas.. ..... 56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: Vista de rotación en cascada de un molino de bolas [7].....	5
Figura 2. 2: Molino de bolas. Fuente: Autor.....	8
Figura 2. 3: Partes del molino de tambor de bolas. Fuente: Autor.....	9
Figura 2. 4: Molino de bolas. Fuente: [10]. ....	10
Figura 2. 5: Molino Attritor. Fuente: [1].....	11
Figura 2. 6: Molino de bolas de Tambor. Fuente: [10].....	13
Figura 2. 7: Molino de bolas de alta energía [10]. ....	14
Figura 2. 8: Representación gráfica de la zona rica en cobre del diagrama de equilibrio Cu-Al. Fuente: [12]. ....	15
Figura 3. 1: Tambor. ....	21
Figura 3. 2: Interpolación de los valores de la Tabla 3.12. Fuente: Autor.....	25
Figura 3. 3: Tapa del tambor.....	25
Figura 3. 4: Número de vueltas en % del valor crítico. Fuente: [13].....	26
Figura 3. 5: Cuerpos molidores. ....	26
Figura 3. 6: Motor. ....	28
Figura 3. 7: Eje.....	34
Figura 3. 8: Diagrama de esfuerzos en el eje x-y.....	34
Figura 3. 9: Diagrama de cortante y del momento en el eje x-y. ....	35
Figura 3. 10: Diagrama de cortante y del momento en el eje x-z. ....	36
Figura 3. 11: Rodamiento de bola. Fuente: Autor.....	41
Figura 3. 12: Bancada. Fuente: Autor. ....	44
Figura 3. 13: Dimensionamiento de la estructura. ....	44
Figura 3. 14: Asignación del material de la bancada. ....	45
Figura 3. 15: Selección de contactos para la bancada.....	45
Figura 3. 16: Inserción de carga a la bancada. ....	45
Figura 3. 17: Cargas que se aplican a la estructura. ....	46
Figura 3. 18: Análisis estático de la bancada. ....	46
Figura 3. 19: Patrón de soldadura del soporte para actuador. ....	47
Figura 3. 20: Carga aplicada al tambor. ....	49
Figura 3. 21: Equivalente de Von Mises aplicado al tambor.....	50
Figura 3. 22: Factor de seguridad del tambor. ....	50

Figura 3. 23: Deformación del tambor.....	50
Figura 3. 24: Molino de tambor de bolas.....	56

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS PARA APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

Autor: Erik Andrés Cabezas Casco

Tutor: Ing. Mg. Gonzalo López Villacis

**RESUMEN EJECUTIVO**

El molino de bolas está diseñado para ayudar a obtener nuevas aleaciones mecánicas, el diseño parte de la cantidad en peso de material a moler que es de 2 Kg. El molino de bolas tiene un tambor de acero inoxidable, las dimensiones son de 21 cm de diámetro y 34 cm de longitud ideal para soportar altas temperaturas de molienda, además está diseñado bajo parámetros de molienda como la velocidad crítica a la que debe funcionar el molino , la potencia real la cual debe generar el molina , es capaz de soportar hasta 18 kg los cuales se descomponen en material a moler , 8 kilogramos en peso de los cuerpos moledores y 8 kilogramos en molienda húmeda, la capacidad de soporte del tambor está determinado mediante un software de elementos finos, este tipo de molinos es indispensable el cálculo del sistema de cascada, por lo que en la construcción del molino se añadió 4 rejillas interiores que facilita la obtención del polvo metálico. Para mantener la velocidad crítica de 74 r.p.m., se calcula la relación de transmisión en la que se determina el reductor necesario y el sistema de transmisión mediante cadena. El molino de bolas de acuerdo con la distribución de las bolas es capaz de obtener un tamaño de 20 um de grano, lo que lo torna ideal para realizar nuevas aleaciones mecánicas.

**Palabras claves:** Molino, Molino de bolas, aleaciones, molienda, velocidad crítica, parámetros de molienda, polvo metálico, distribución de bolas, grano, cuerpos moledores.

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

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MILL OF BALLS FOR PULVIMETALURGY APPLICATIONS IN THE MECHANICAL ENGINEERING LABORATORIES OF THE FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING OF THE UNIVERSITY TECHNIQUE OF AMBATO.

Autor: Erik Andrés Cabezas Casco

Tutor: Ing. Mg. Gonzalo López Villacis

**SUMMARY**

The ball mill is designed to help obtain new mechanical alloys, the design part of the amount by weight of material to be ground which is 2 kg. The ball mill has a stainless steel drum, the dimensions are 21 cm diameter and 34 cm in length ideal to withstand high grinding temperatures, it is also designed under milling parameters such as the critical speed at which the mill must operate, the actual power to be generated by the mill, is capable of supporting up to 18 kg which are decomposed into material to be ground, 8 kilograms by weight of the grinding bodies and 8 kilograms in wet milling, the support capacity of the drum is determined by software of fine elements, this type of mills is indispensable the calculation of the system of cascade, so that in the construction of the mill was added 4 interior grids that facilitates the obtaining of the metallic powder. In order to maintain the critical speed of 74 rpm, the transmission ratio in which the required gear unit and chain drive system is determined is calculated. The ball mill according to the distribution of the balls can obtain a size of 20  $\mu\text{m}$  of grain, which makes it ideal for making new mechanical alloys.

**Key words:** Mill, Ball mill, alloys, milling, critical speed, milling parameters, metallic powder, ball distribution, grain, grinding bodies.

## **CAPÍTULO I: ANTECEDENTES**

### **1.1 TEMA**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS PARA APLICACIONES DE PULVIMETALURGIA EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.”

### **1.2 JUSTIFICACIÓN**

El desarrollo industrial en el área automotriz, aérea y náutica se ha logrado gracias a la pulvimetalurgia, por lo cual el laboratorio de materiales de la carrera de ingeniería mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, ambiciona promover el estudio e investigación de aleaciones existentes y nuevas aleaciones mecánicas.

En la actualidad esto no ha sido posible ya que el laboratorio de materiales de la carrera de ingeniería mecánica carece de dispositivos o métodos de obtención de polvos, los cuales son esenciales para la obtención de aleaciones mecánicas por la técnica de pulvimetalurgia.

Al encontrar esta limitación que presenta el laboratorio de materiales de la carrera de ingeniería mecánica se propone diseñar y construir un molino de bolas, el cual se lo utiliza en la pulvimetalurgia, ya que tiene la capacidad de obtener polvos metálicos a partir de virutas finas y también tiene la función de formar aleaciones mecánicas mediante el impacto de elementos esféricos que posee el molino.

Con el diseño y construcción del molino de bolas se cubrirá la necesidad y ayudará al desarrollo del laboratorio de materiales, lo que permitirá estudiar e investigar aleaciones existentes como también crear nuevas aleaciones, contribuyendo de esa manera al desarrollo de investigaciones por parte de docentes y estudiantes en el área de materiales de la facultad de mecánica, por lo cual se lo considera que el proyecto es viable.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL:**

- Diseño y construcción de un molino de bolas para aplicaciones de pulvimetalurgia.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Investigar los diferentes tipos de molinos de bolas.
- Analizar los parámetros de diseño del molino de bolas.
- Calcular y diseñar un molino de bolas de acuerdo a las necesidades del laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica.
- Construir el molino de bolas.
- Puesta en marcha y funcionamiento del molino de bolas.
- Obtención del polvo metálico 90% Cu + 10% Al (cuproaluminio) por aleación mecánica.

## **CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN**

### **2.1 INVESTIGACIONES PREVIA**

La tesis de Alcántara (2008) sobre “Diseño practico de un molino de bolas”, presenta la metodología de investigación, criterio del diseño y mantenimiento de un molino de bolas de una forma concreta, que para realizar la construcción del molino de bolas parte del peso de más de 15 toneladas anuales y normas esenciales para el diseño y construcción del molino como son: AGMA (engranes), ASME (rodamientos, flechas, cojinetes y chumaceras, NEMA ( motores y circuitos eléctricos) y ASTM, ANSI, AISI ( materiales) [1].

La tesis realizada por Portocarrero Camilo y Pastor Carmen (2010) con el tema: “Diseño, construcción y determinación de los parámetros de operación de un molino de bolas para el laboratorio metalúrgico de la Escuela profesional de Ingeniería Química”. destaca los parámetros de diseño, en especial tres variables que intervienen en la molienda como son: distribución del tamaño de bolas, velocidad de operación del molino y tiempo de molienda [2].

En el proyecto profesoral realizado por Grueso Jorge y Herrera Diego (2005) titulado “Diseño y construcción de un molino de bolas de alta energía y alta capacidad”. Este trabajo presenta en el diseño la combinación del movimiento centrífugo y movimiento axial vibratorio, mediante esta combinación el molino tiene una aceleración mayor a 5 veces la gravedad, lo que permite obtener una molienda fina y un tiempo rápido [3].

En el proyecto académico de servicio comunitario para vinculación con la sociedad realizado por López G., Moretta A. y Molina J. (2012) titulado “Rediseño y construcción de una máquina de pulvimetalurgia para la obtención de polvo de aluminio, en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en la carrera de Ingeniería Mecánica, laboratorio de materiales”. Destaca por sus excelentes fuentes bibliográficas de pulvimetalurgia, además presenta un estudio detallado de la pulverización de aluminio y como la pulvimetalurgia ayuda en la obtención de nuevos elementos mecánicos [4].

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.2.1 Pulvimetalurgia**

La pulvimetalurgia es un proceso de conformado metálico, que van desde la obtención de polvos hasta la fabricación de piezas metálicas, esta técnica se desarrolló con el propósito de economizar materia prima y obtener materiales de alta calidad [5].

### **2.2.2 Pulverización**

La pulverización es una técnica que se utiliza para reducir el volumen de partículas, en el proceso de las cerámicas contribuyen varias formas de energía mecánica las que pueden ser mediante compresión impacto y frotamiento.

Se distingue dos tipos operaciones esenciales de pulverización: el triturado y la molienda [6].

En este caso por fines de estudio se considera solo la pulverización mediante molienda la misma que abarca el sistema que necesita el molino de bolas.

### **2.2.3 Molienda**

La molienda es un proceso para reducir el volumen de partículas, los métodos mecánicos que se utilizan son mediante impacto, molienda por compresión, molienda de cizalla y corte [6].

#### **Elementos de la molienda:**

Los elementos que se deben tener en cuenta según [7] son:

- Velocidad de giro
- Velocidad crítica
- Relación entre los elementos variables de los molinos
- Tamaño máximo de los elementos moledores
- Volumen de carga
- Potencia
- Tipos de molienda

#### **2.2.3.1 Velocidad de giro**

La velocidad de rotación del molino abarca el consumo como en la operación del mismo. El giro del molino sobre su eje produce el desplazamiento de la carga, hasta la resistencia que se produce por el peso de la carga iguala a la potencia del motor, esto

produce que el movimiento del molino y sus los elementos que lo componen, de esa forma se realiza la molienda del mineral [7].

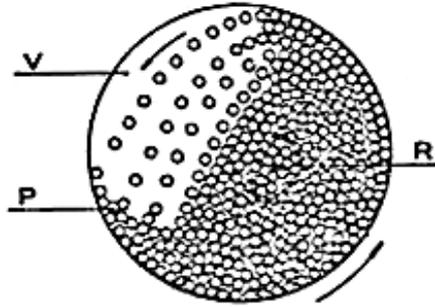


FIGURA 2. 1: VISTA DE ROTACIÓN EN CASCADA DE UN MOLINO DE BOLAS [7].

Este movimiento del molino se produce por diversos sistemas de acoplamiento entre el motor y el molino, normalmente en función del tamaño.

TABLA 2. 1: CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA DE ACOPLAMIENTO DE ACUERDO CON EL TAMAÑO DE LOS MOLINOS [7].

<b>Molinos</b>				
<b>Tamaño</b>	Pequeños (hasta 50 kW)	Medianos (giro menor 20 rpm)	Grandes	Muy grandes (mayor a 6 m de diámetro)
<b>Sistema</b>	Poleas y correas trapezoidales.	Motor, reductor, piñón y corona calada concéntrica con el molino.	Motor síncrono, piñón, y corona calada sobre el molino.	El propio molino es el eje, adherido con un motor síncrono de gran tamaño.

Los sistemas de acoplamientos pueden incorporarse un sistema hidráulico o reguladores de velocidad [7].

La fórmula de la velocidad de giro esta dado por:

$$Vg(rpm) = \frac{42.3}{\sqrt{D(m)}} \quad \text{Ec.( 1)}$$

Donde:

Vg= velocidad de giro en rpm.

D= Diámetro interior del molino en m.

### **2.2.3.2 Velocidad crítica**

La velocidad crítica es un porcentaje de la velocidad de giro o también llamada velocidad de trabajo. Esta velocidad evita la adherencia de los cuerpos moledores a la pared del molino y es la encargada de producir el golpeteo entre sí de los elementos moledores para obtener el polvo metálico. En caso de producirse adherencia en el molino tiene que trabajar a un porcentaje menor de la velocidad crítica [7].

### **2.2.3.3 Relaciones entre los elementos variables**

Las variables principales al momento de realizar la molienda son: la velocidad critica, el diámetro interno del molino y los cuerpos moledores se debe tener en cuenta que en el proceso de molienda se emplea diámetros de diferentes cuerpos moledores [7].

- Mayor diámetro de los cuerpos moledores, mayor rotura de partículas grandes (percusión o choque).
- Menor diámetro de los cuerpos moledores, mayor es la molienda de partículas pequeñas por una mayor superficie de los elementos moledores. (fricción).
- Diámetro mayor de los cuerpos moledores, mejora la molienda de un material duro (percusión o choque).
- Para igual molienda, a mayor diámetro del molino o mayor velocidad, menor el diámetro necesario de bolas.

### **2.2.3.4 Tamaño máximo de elementos moledores**

Es importante el tamaño ya que los cuerpos moledores deben ser de mayor volumen referente al volumen de las partículas a moler, se estima una relación 3 a 1 para producir la reducción del volumen de las partículas y obtener polvos metálicos.

Su tamaño también varía de un diámetro mayor a un diámetro menor con el fin de obtener un polvo metálico más fino.

### 2.2.3.5 Volumen de Carga

El volumen de carga es un factor que afecta directamente al rendimiento del molino porque comprende la proporción del volumen interno del molino que ocupa la carga, el material a moler y elementos moledores [8].

El grado de llenado, en la elaboración de la molienda comprende generalmente el 45 % y lo forman cuerpos moledores y el material a moler [8].

TABLA 2. 2: CARGA DEL MOLINO [7].

Tipo	% huecos	Peso de los cuerpos moledores	Observaciones
Bolas	40	$B = V_m \cdot (0,2 - 0,4) \cdot 0.6 \cdot \delta b$ <p style="text-align: right;">EC. (2)</p>	$\delta b$ : densidad de las bolas $7.8 \text{ kg/dm}^3$ $V_m$ =volumen del material en Kg.

### 2.2.3.6 Potencia

La potencia máxima se desarrolla cuando el volumen de carga es mayor al 30% y se encuentra en un 50%, por lo general se trabaja entre 35% y 40% de la potencia.

### 2.2.3.7 Tipos de molienda: molienda húmeda y molienda seca.

El mayor rendimiento de los molinos se consigue en seco, además este rendimiento puede mejorar con una humedad del 1%, lo que permite la rotura de los granos de una forma más rápida [7].

TABLA 2. 3: COMPARACIÓN ENTRE MOLIENDA SECA Y HÚMEDA [7].

Molienda húmeda	Molienda seca
Menor potencia por kilogramo de material.	Mayor potencia por cada kilogramo de material.
Disminución de ruido, facilidad de transporte y menos polvo.	Ruido excesivo.
Mayor consumo de revestimiento.	Menor consumo de revestimiento.

#### 2.2.4 Molino de bolas o balines

El molino de bolas o balines se caracteriza por utilizar esferas junto con el material a pulverizar dentro de su interior, el cual gira de forma cilíndrica. El movimiento arrastra a las bolas y el material hacia arriba en la pared del recipiente y los hace caer para realizar la molienda por una combinación de impacto y frotamiento, lo que permite obtener polvos metálicos [6].

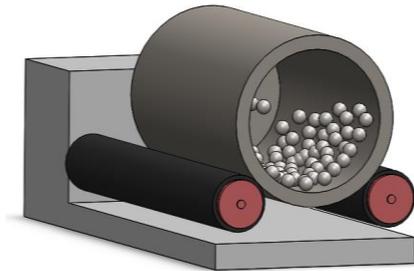


FIGURA 2. 2: MOLINO DE BOLAS. FUENTE: AUTOR

#### 2.2.5 Principio de funcionamiento de un molino de bolas

Los molinos de bolas giran sobre sus apoyos a una determinada velocidad, esto depende de acuerdo con el diámetro del molino. Para realizar la molienda se usa bolas de acero de diferentes diámetros, de distinta dureza y composición siderúrgica [9].

Cuando el molino comienza a funcionar, las bolas junto con el mineral son arrastrados por las ondulaciones de una chaqueta y suben hasta una altura determinada, de donde caen girando sobre sí y golpeándose entre ellas y contra los revestimientos interiores, de forma sucesiva. Los golpes que se producen entre las esferas producen la pulverización del mineral [9].

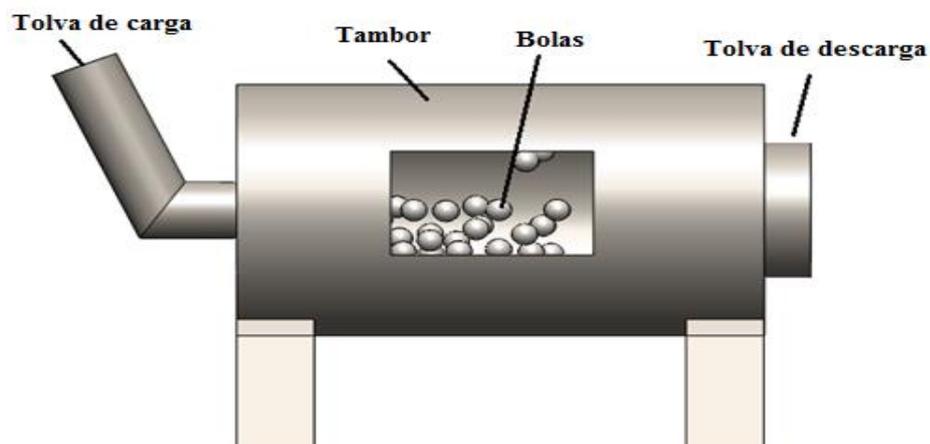


FIGURA 2. 3: MOLINO DE TAMBOR DE BOLAS. FUENTE: AUTOR.

### 2.2.6 Componentes de un molino de bolas:

Las partes principales de un molino de bolas según [7] son:

- a) **Coraza** .- parte exterior resistente de forma cilíndrica.
- b) **Carga y descarga**.- abertura central por donde ingres el material a moler.
- c) **Rodamientos**. –componente que ayuda el movimiento de giro.
- d) **Bancada**. - sostiene de los elementos del molino.
- e) **Muñón**. Sistema de accionamiento
- f) **Rejilla**. -elemento interno de clasificación, puede o no existir en determinados modelos o instalaciones.
- g) **Blindajes**. - protege la carcasa del molino, ayuda al efecto de molienda y facilita la disminución del ruido, entre otros.
- h) **Sistema de acoplamiento**. - corresponde al piñón y corona con el molino.

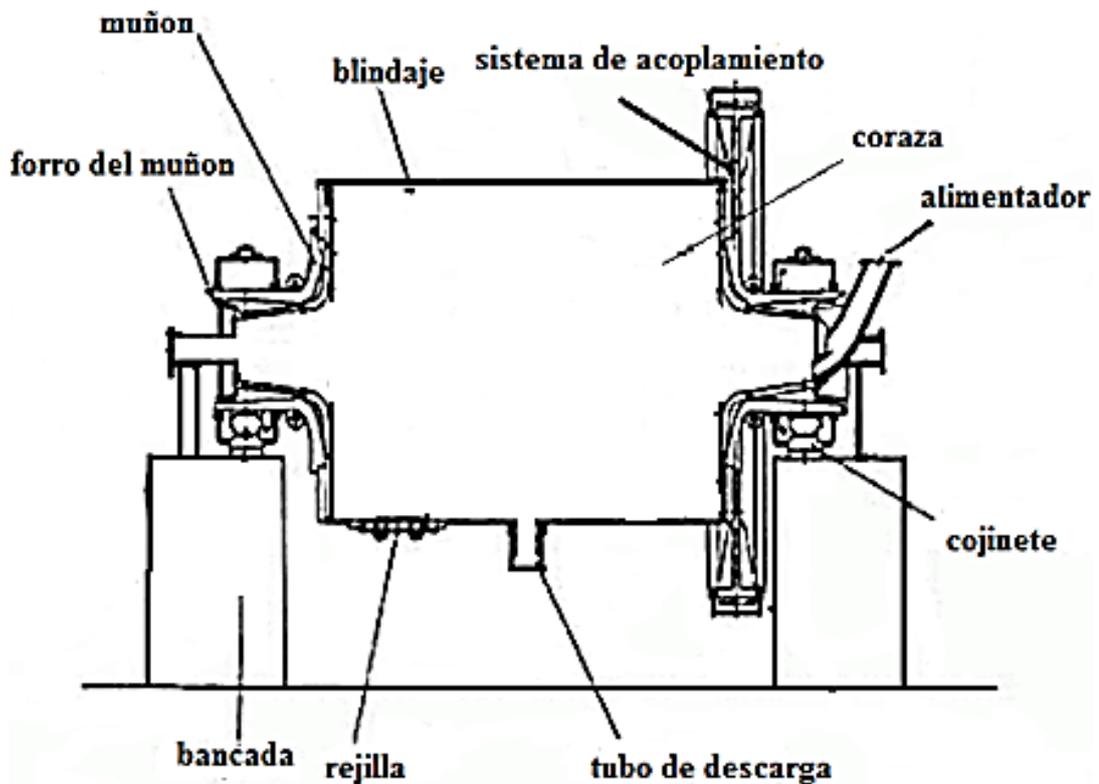


FIGURA 2. 3: PARTES DEL MOLINO DE TAMBOR DE BOLAS. FUENTE: AUTOR

## 2.2.7 TIPOS DE MOLINO DE BOLAS

### 2.2.7.1 Molino de bolas Planetario



FIGURA 2. 4: MOLINO DE BOLAS. FUENTE: [10].

Se caracteriza por poseer una fuerza gravitacional elevada, lo que permite obtener granulometrías muy finas, en corto tiempo, debido a que la fuerza centrífuga puede aumentar de 10 g a más de 40 g [1].

La fuerza centrífuga que se produce por la rotación de los recipientes de molienda está soportada por un disco rotatorio y un mecanismo especial que giran alrededor de sus propios ejes. La aleación mecánica se produce dentro de los recipientes los cuales contienen las bolas y el material a moler [3].

El funcionamiento es por medio de engranajes de un molino tipo planetario, consiste en la entrada de una energía motriz que se transmite del motor al eje central, que es el encargado de transmitir esa rotación a los demás sistemas [3].

TABLA 2. 4: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN MOLINO DE BOLAS PLANETARIO [3].

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Tritura el material rápido y potente.	La velocidad alta produce desgaste de las paredes del molienda y bolas, por lo que pierde energía de impacto.
Molienda en seco y húmedo.	El contenedor sufre desgastes en una determinada superficie ya que las bolas giran en una sola pista del recipiente.
Velocidades de impacto altas.	Las altas velocidades de impacto producen desgaste de las bolas lo que produce contaminación del material que se están aleando.
Facilidad de carga y descarga el material.	Costo elevado de elaboración.

### 2.2.7.2 Molino Attritor



FIGURA 2. 5: MOLINO ATTRITOR. FUENTE: [1].

El molino Attritor tiene una armadura sujeta a un eje lo que permite girar varios ejes o brazos que se encuentran sujetos al eje principal. La molienda se realiza por el acercamiento y alejamiento continuo, aunque irregular, del medio en torno a los brazos. No obstante, se suprime el movimiento de grupo y el impacto de pared [1].

Posee una cámara de molienda en la que se introduce los cuerpos moledores y el material alear, se encuentra acoplado de forma directa al impulsor y las paletas, lo que aprovecha la velocidad del motor y la acción de la gravedad. La entrada de energía es directa para producir la molienda [3].

El material que se molerá se pone en un tanque inmóvil con los medios que muelen. Los materiales y los medios son agitados por un eje con brazos, rotando a alta velocidad, esto hace que los medios ejerzan fuerzas de alto impacto en el material [3].

TABLA 2. 5: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MOLINO DE BOLAS ATTRITOR [3].

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Gran velocidad de impacto entre el impulsor y medios moledores.	Costo del sello para mantener el vacío.
Fácil construcción.	Altas temperaturas de generación.
Fácil Mantenimiento.	Pérdida abundante del material a alear dentro del tazón.
Varias opciones de molienda.	Desgaste de impulsores y bolas por las altas temperaturas que se producen.
Sistema sencillo.	Presenta dificultades para la descarga del material.
Obtención de granulometrías muy finas.	Bajos índices de contaminación a pesar de mantener un sistema de refrigeración constante.
No necesita premezclado.	Contaminación del material a alear por desgaste de los medios moledores e impulsor.

### 2.2.7.3 Molino de tambor



FIGURA 2. 6: MOLINO DE BOLAS DE TAMBOR. FUENTE: [10].

En este tipo de molino el tambor rota sobre su eje horizontal y pueden trabajar con barras o bolas, el material es colocado junto las bolas o barras y sometido a fuerzas externas. Los cuerpos moledores se emplean para la molienda fina de sólidos por efectos de choque y fricción, tanto por vía húmeda como seca [10].

Para obtener mayor cantidad de material se utiliza bolas o barras de mayor diámetro, o para obtener granulometrías más finas se debe utilizar cuerpos moledores de menor tamaño [10].

TABLA 2. 6: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN MOLINO DE TAMBOR [10] .

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Molienda rápida y potente.	Material previamente triturado.
Grandes cantidades de muestra.	Contaminación del material a alear por desgaste de los medios moledores.
Operación con barras o bolas.	

#### 2.2.7.4 Molinos de bolas de alta energía



FIGURA 2. 7: MOLINO DE BOLAS DE ALTA ENERGÍA [10].

Son molinos para realizar moliendas de máxima intensidad, este molino se caracteriza por combinar mecanismos complejos de trituración, lo que permite obtener partículas muy finas en poco tiempo [10].

TABLA 2. 7: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN MOLINO DE BOLAS DE ALTA ENERGÍA [10].

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Tiempos cortos de molienda.	Costo elevado de elaboración.
Obtención de aleaciones nanométricas.	Contaminación del material a alear por desgaste de los medios molidores.

#### 2.2.8 Cuproaluminio

Los cuproaluminios o bronce al aluminio son aleaciones de cobre con un 5-11% de Al, pueden contener en algunos casos hierro, níquel o manganeso. Los cuproaluminio tienen un coeficiente de contracción superior al de los bronce, poseen una resistencia mecánica alta casi similar a las de los aceros al carbono de tipo medio y su precio es inferior [11].

Es resistente a la corrosión, incluso a temperaturas intermedias, por la formación de una capa de alúmina superficial, son mecanizables y de acuerdo con las fases presentes, admiten la unión por soldadura. Frecuentemente, los aceros medios de carbono son sustituidos por cuproaluminios, pues para la misma resistencia mecánica presenta una resistencia a la corrosión mucho más elevada, posee gran resistencia a la fatiga y al desgaste y su color es parecido al oro [12].

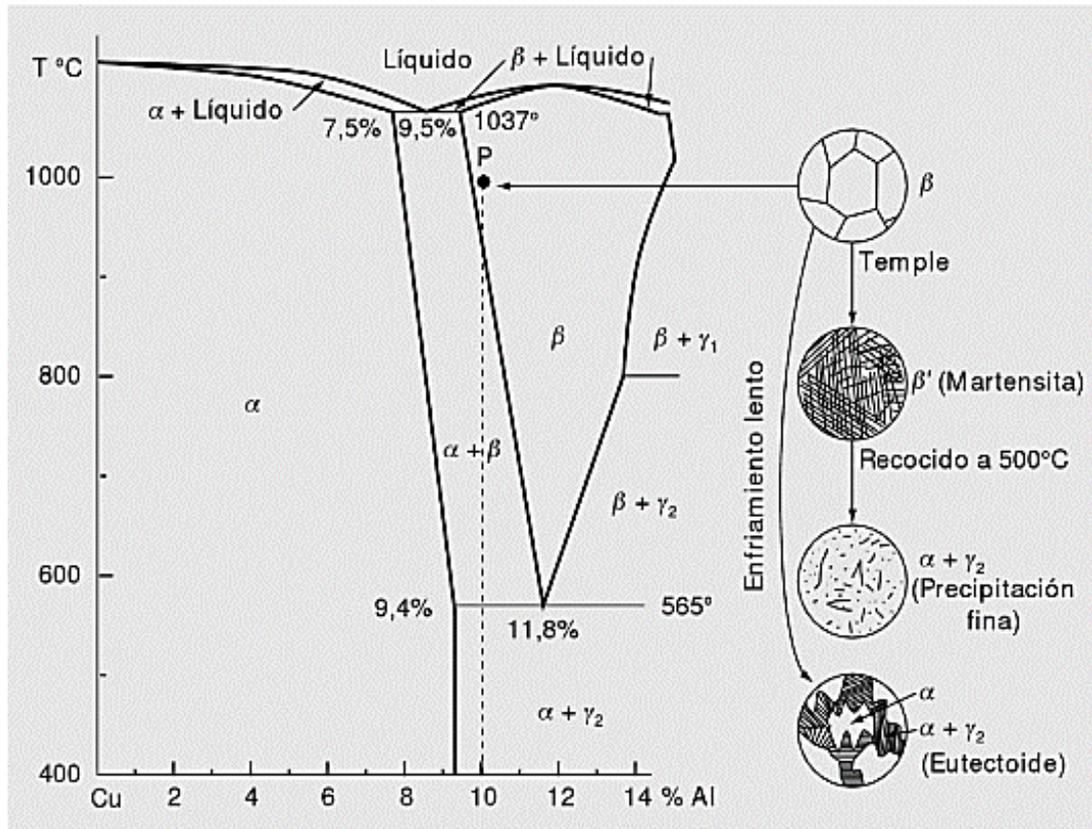


FIGURA 2. 8: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ZONA RICA EN COBRE DEL DIAGRAMA DE EQUILIBRIO CU-AL. FUENTE: [12].

La solución sólida de Al en Cu (fase  $\alpha$ ) con una composición que varía con la temperatura entre un 7.5% a 1037 °C y un 9.4% a 565°C. Esta fase no es fácil de mecanizar, aunque es muy dúctil y admite deformación en frío [12].

La fase  $\beta$  es una solución sólida de estructura cubica centrada (CC) y es fácilmente deformable en caliente. A la temperatura de 565 °C se descompone de acuerdo con la reacción eutectoide  $\beta \rightarrow \alpha + \gamma_2$ , similar a la de los aceros  $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ , dando lugar a un agregado parecido a la perlita. Este agregado de tipo perlítico se conserva hasta temperatura ambiente a velocidades de enfriamiento convencionales [12].

Las fases  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$  comprenden al compuesto Inter metálico  $\text{Cu}_9\text{Al}_4$  con estructuras cristalinas complejas, equivalentes a las fases  $\gamma$  de los latones. La fase  $\gamma_2$  aparece como consecuencia de la descomposición eutectoide de la fase  $\beta$  y es muy frágil y dura [12].

### **2.2.8.1 Cuproaluminios bifásicos**

Desde el procedimiento de fabricación, la fase  $\beta$ , establece en caliente, es muy maleable, son muy aptas para la deformación en caliente y soldables, incluso aceros, ya que su gran plasticidad a temperaturas elevadas las hace poco susceptibles a las grietas de contracción [12].

Como consecuencia de las variaciones de solubilidad de las regiones  $\alpha$  y  $\alpha + \beta$ , así como de la transformación eutécticoide de  $565^{\circ}\text{C}$ , los cuproaluminios bifásicos son composiciones entre 7-12% de Al admiten tratamiento térmico similares a los de los aceros [12].

Los cuproaluminio bifásicos se usan en aplicaciones especiales de ingeniería general como asientos de válvulas, tuberías de escape de gases, accesorios para turbinas de gas, implantaciones para bloques motores de aleaciones ligeras entre otros [12].

## **CAPÍTULO II: DISEÑO DEL PROYECTO**

### **3.1 PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

De acuerdo con las investigaciones realizadas en el marco teórico del capítulo II los parámetros para la selección de alternativas se consideran:

- Tamaño de grano obtenido
- Tiempo de molienda
- Tipo de molienda
- Potencia requerida
- Costo

#### **3.1.1 Tamaño de grano obtenido**

Es de gran importancia el tamaño de grano obtenido debido a que de ella dependen las propiedades mecánicas que se desean obtener.

#### **3.1.2 Tiempo de molienda**

El tiempo de molienda tiene una relación proporcional con el consumo energético, por lo que representa un costo a mayor tiempo de molienda mayor consumo energético.

#### **3.1.3 Tipos de molienda**

El rendimiento de los molinos aumenta cuando se utiliza una humedad del 1% con el fin de disminuir ruido, facilidad de reducir el volumen del material, además se debe considerar con algunas excepciones que se puedan producir oxidación o contaminación del material al momento de producirse la molienda.

#### **3.1.4 Potencia**

Para realizar una determinada operación de fragmentación, se debe tener en cuenta la potencia necesaria para la molienda, la cual realiza las necesidades básicas de trabajo del molino, y el tiempo de molienda.

#### **3.1.5 Costo**

- Costes energéticos. Esto se tomará de acuerdo con la potencia que requiera el molino.
- Mantenimiento. Se considera los elementos que se puedan adquirir en el entorno.
- Costes de construcción. Abaratar costos de materiales como mano de obra.

### 3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

De acuerdo con los parámetros de alternativas que se consideraron, las ventajas y desventajas de los tipos de molinos de laboratorio que se tomaron como referencia en el capítulo anterior se procede a realizar una ponderación de los mismos con el objetivo de seleccionar un molino de acuerdo con las necesidades del laboratorio de la carrera de ingeniería mecánica.

#### 3.2.1 Tamaño de grano obtenido

TABLA 3. 1: VALORES DE TAMAÑO DE GRANO OBTENIDO. FUENTE: AUTOR.

Tamaño de grano obtenido		
Muy fino	5	$\leq 5 \mu m$
Fino	3	$10 - 20 \mu m$
Grueso	1	$\geq 32 \mu m$

TABLA 3. 2: EVALUACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO OBTENIDO. FUENTE: AUTOR.

Tamaño de grano obtenido				
Tipo de molino	Muy fino	Fino	Grueso	Total
Planetario	X			5
Attritor		X		3
Tambor		X		3
Alta energía	X			5

#### 3.2.2 Tiempo de molienda

TABLA 3. 3: VALORES DEL TIEMPO DE MOLIENDA. FUENTE: AUTOR.

Tiempo de molienda		
Rápido	5	$< 1 \text{ hora}$
Normal	3	1
Lento	1	$\geq 2 \text{ horas}$

TABLA 3. 4: EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE MOLIENDA. FUENTE: AUTOR.

<b>Tiempo de molienda</b>				
Tipo de molino	Alto	Media	Baja	Total
Planetario	X			5
Attritor		X		3
Tambor		X		3
Alta energía	X			5

### 3.2.3 Tipo de Molienda

TABLA 3. 5: VALORES DEL TIPO DE MOLIENDA. FUENTE: AUTOR.

<b>Tipo de molienda</b>	
Húmeda y seca	5
Seca	1

TABLA 3. 6: EVALUACIÓN DEL TIPO DE MOLIENDA. FUENTE: AUTOR.

<b>Tipo de molienda</b>			
Tipo de molino	Húmeda y seca	Seca	Total
Planetario		X	1
Attritor	X		5
Tambor	X		5
Alta energía		X	1

### 3.2.4 Potencia requerida

TABLA 3. 7: VALORES DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO DISPONIBILIDAD. FUENTE: AUTOR.

<b>Potencia requerida</b>		
Alto	1	Mayor a 1 HP
Medio	3	½ a 1 HP
Bajo	5	Menor a 1/2 HP

TABLA 3. 8: EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO DISPONIBILIDAD. FUENTE: AUTOR.

<b>Potencia requerida</b>				
Tipo de molino	Alto	Media	Baja	Total
Planetario		X		3
Attritor		X		3
Tambor		X		3
Alta energía	X			1

### 3.2.5 Costos

TABLA 3. 9: VALORES DE LOS COSTOS. FUENTE: AUTOR.

<b>Costo</b>					
<b>Energético</b>		<b>Mantenimiento</b>		<b>Construcción</b>	
Alto	1	Alto	1	Alto	1
Medio	3	Medio	3	Medio	3
Bajo	5	Bajo	5	Bajo	5

TABLA 3. 10: EVALUACIÓN DE LOS COSTOS. FUENTE: AUTOR.

<b>Costo</b>										
<b>Tipo de molino</b>	<b>Energético</b>			<b>Mantenimiento</b>			<b>Construcción</b>			<b>Total</b>
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	
Planetario		X		X			X			5
Attritor			X		X			X		9
Tambor		X				X		X		11
Alta energía	X			X			X			3

### 3.2.6 Ponderación de resultados

TABLA 3. 11: PONDERACIÓN DE RESULTADOS. FUENTE: AUTOR.

Ponderación						
Tipo de molino	Costo	Potencia requerida	Tiempo de molienda	Tamaño de grano obtenido	Tipo de molienda	Total
Planetario	5	3	5	5	1	19
Attritor	9	3	3	3	5	23
Tambor	11	3	3	3	5	25
Alta energía	3	1	5	5	1	15

De acuerdo con la ponderación obtenida, el molino de tambor es ideal para el laboratorio ya que cumple con: costo bajo, potencia alta, tamaño de grano fino y el tipo de molienda puede ser húmedo o seco.

### 3.3 CÁLCULOS O MODELO OPERATIVO

#### 3.3.1 Características específicas

Para el cálculo según [7] los molinos se pueden clasificar de acuerdo con su uso:

- Si los molinos son para aleaciones aplicaciones, la relación L/D corta es de 1 a 2 para limitar la producción de finos que consumen mucha energía [7].
- Cuando las bolas son mayores a 60 mm, los forros de caucho disminuyen la potencia y se deterioran de forma rápida.
- Utilizar en la molienda húmeda un 55% y 70 en % de líquido.

#### 3.3.2 Diseño del tambor



FIGURA 3. 1: TAMBOR. FUENTE: AUTOR.

El tambor se va a diseñar para moler 2 kg de polvos mecánicos como referencia partimos de la aleación de CuAl al 10% donde se ocupará 1.8 Kg de Cu y 0.2 kg de Al. Para realizar el cálculo partimos de las densidades de los mismos materiales obtenidos (Anexo B2), los cuales son de  $8.96 \text{ g/cm}^3$  en el cobre y  $2.70 \text{ g/cm}^3$  en el aluminio.

$$\delta = \frac{m}{V} \quad \text{Ec.( 3 )}$$

Donde:

$\delta$ : densidad en  $\text{g/cm}^3$ .

m= masa en g.

V= volumen en  $\text{cm}^3$ .

De la Ec. (3) despejamos el volumen lo cual obtenemos:

$$V = \frac{m}{\delta}$$

Remplazamos la masa y la densidad del cobre para hallar su volumen.

$$VCu = \frac{18000 \text{ g}}{8.96 \text{ g/cm}^3}$$

$$V = 2008.93 \text{ cm}^3$$

$$V = 2.0089 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Remplazamos la masa y la densidad aluminio para hallar su volumen.

$$VAl = \frac{200 \text{ g}}{2.70 \text{ g/cm}^3}$$

$$V = 74.07 \text{ cm}^3$$

$$V = 7.047 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Volumen total que va a ocupar el tambor es el sumatorio total entre el volumen del cobre y el volumen del aluminio.

$$Vt = VCu + VAl$$

$$Vt = 2.0089 \times 10^{-3} \text{ m}^3 + 7.047 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$Vt = 2.092 \times 10^{-3} m^3$$

Debido a que el volumen del cilindro debe ser mayor al volumen total del cobre y del aluminio se asume un valor a 4 veces mayor, ya que necesita un espacio adicional para poder ingresar los elementos molidores y el material a moler y se pueda realizar la molienda.

$$Vc = 4 Vt$$

$$Vc = 4 * 2.092 \times 10^{-3} m^3$$

$$Vc = 8.368 \times 10^{-3} m^3$$

$$Vc = \pi * r^2 * L \quad \text{EC.(4)}$$

La relación normal de la longitud diámetro de los molinos de bolas es de 1 a 2.

$$\frac{L}{D} = 1 a 2$$

$$\frac{L}{D} = 1.6$$

$$L = 1.2 r$$

$$Vc = \pi * r^2 * 1.2r$$

$$r^3 = \frac{Vc}{2.2 * \pi}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{Vc}{2.2 * \pi}}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{8.368 \times 10^{-3} m^3}{2.2 * \pi}}$$

$$r = 0.106 m$$

$$D = 2 * r$$

$$D = 2 * 0.106 m$$

$$D = 0.21 m$$

$$\frac{L}{D} = 1.6$$

$$L = 1.6 * D$$

$$L = 1.6 * 0.21 \text{ m}$$

$$L = 0.33 \text{ m}$$

El tambor para la molienda tendrá un diámetro de 0.21 m y la longitud de 0.33 m.

### 3.3.2.1 Selección del material del tambor

Debido a que el tambor debe resistir desgaste, impacto, frotamiento, altas temperaturas y anticorrosivo, se utilizara acero inoxidable AISI 304 debido a que este material se encuentra en el mercado y es comercial.

### 3.3.2.2 Espesor del tambor

El espesor del tambor es indispensable debido a que debe soportara el choque que se produce al momento de realizar la molienda.

TABLA 3. 12: ESPESORES DE LA CHAPA DEL TAMBOR. FUENTE: [13].

<b>Diámetro del tambor del molino</b>	<b>Espesor de la chapa</b>
Hasta 1.6 m	18 mm
de 1.6 a 2.0 m	20 mm
de 2.0 a 2.2 m	25.5 mm
de 2.2 a 2.4 m	28 mm
de 2.5 a 3.5 m	38 mm
de 3.5 a 4.50 m	52 mm
De 4.25 a 4.50 m	58 mm
5.0 m	63,5 mm

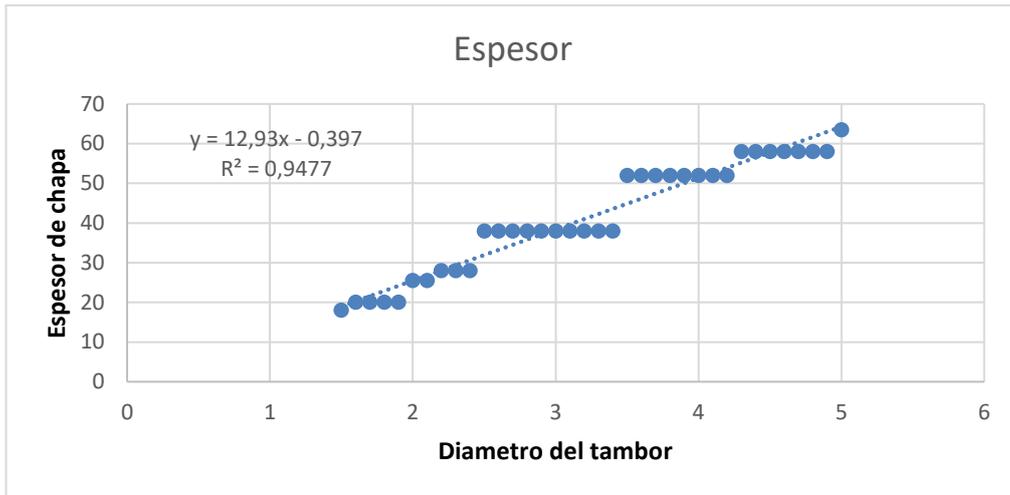


FIGURA 3. 2: INTERPOLACIÓN DE LOS VALORES DE LA TABLA 3.12. FUENTE: AUTOR.

De acuerdo con la interpolación obtenida se encuentra espesores estándar con diámetros de 1.6 m a 5 m por lo cual se extrapola para el molino que es de diámetro 0.21 m con lo cual se ha obtiene un espesor de 2.31 mm, pero por motivos de cotización de material se utilizara una plancha de 4 mm de espesor.

### 3.3.2.3 Dimensionamiento de las tapas del tambor

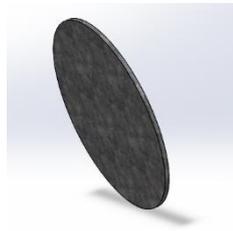


FIGURA 3. 3: TAPA DEL TAMBOR. FUENTE: AUTOR.

$$Dt = D + 2f \quad \text{EC. (6)}$$

Donde:

Dt: diámetro de las tapas del tambor en m.

D: diámetro interior del tambor en m.

f: espesor en m.

$$Dt = 0.21 + 2 * 0.004$$

$$Dt = 0.218 \text{ m}$$

### 3.3.3 Grado de llenado

Debido a que el porcentaje o grado de llenado varía entre 0,20 – 0,45, para poder escoger un porcentaje de llenado adecuado, vamos a la siguiente.

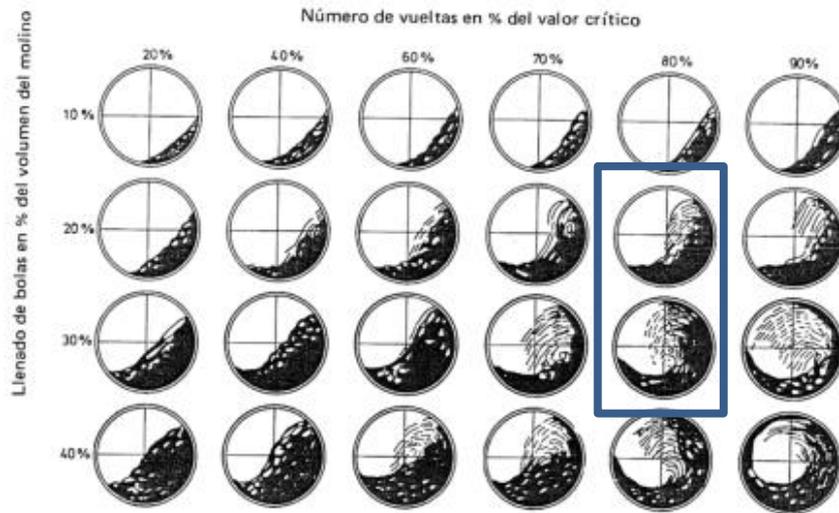


FIGURA 3. 4: NÚMERO DE VUELTAS EN % DEL VALOR CRÍTICO. FUENTE: [13].

Teóricamente se debe producir un sistema de cascada dentro del molino por lo que se escoge a una velocidad crítica del 80% y un grado de llenado del 0,25 el cual cómo se puede observar tiene una buena capacidad de respuesta para que se produzca el sistema mencionado.

### 3.3.4 Peso de los cuerpos molidores

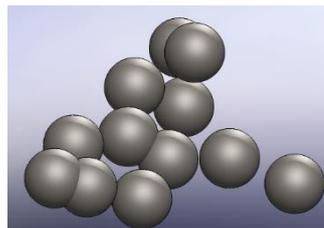


FIGURA 3. 5: CUERPOS MOLEDORES. FUENTE: AUTOR.

El porcentaje de llenado obtenido del 20 % y remplazamos en Ec. (2) para poder obtener el valor del peso que soportara el tambor.

$$P_{bolas} = V_m * 0.25 * 0.6 * \delta_{bolas}$$

$$V_m = \frac{\pi * D^2 * L}{4}$$

Dónde:

$V_m$ : volumen real del tambor en  $m^3$ .

$$V_m = \frac{\pi * 0.21^2 * 0.33}{4}$$

$$V_m = 0.01143 \text{ m}^3$$

$$B = 0.01143 \text{ m}^3 * 0.25 * 0.6 * 4.48 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$B = 7.68096 \times 10^{-3} \text{ ton}$$

$$B = 6.97 \text{ Kg}$$

El peso total de los cuerpos molidores que se debe colocar en el tambor es de 6,97 Kg.

### 3.3.5 Grado de llenado en húmedo

La molienda húmeda trabaja en un porcentaje de líquidos entre el 60% - 70% y trabaja a una velocidad entre 80% - 90% de la velocidad crítica, despejando la masa de la ecuación Ec. (3) y utilizando la densidad específica del agua como referencia obtenemos:

$$\delta * V = m$$

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 65\% * 0.01143 \text{ m}^3 = m$$

$$m = 7.43 \text{ kg}$$

Para realizar la molienda húmeda, con el 65% del llenado, lo cual el peso que se debe añadir es hasta de 7.43 kg o 7.43 litros.

### 3.3.6 Tamaño y distribución de las bolas

El tamaño de los cuerpos molidores es importante para asegurar un rompimiento de las partículas grandes. En general, el tamaño de los medios de molienda es necesario para realizar la fractura, mientras mayor sea la partícula, mayor será el tamaño del medio de molienda.

TABLA 3. 13: DISTRIBUCIÓN DE LOS CUERPOS MOLEDORES. FUENTE: AUTOR.

Diámetro de la bola (mm)	Nro. Bolas	Masa (kg)
22	90	3,65
20	45	1,45
15	25	1,7
12	15	0,1
<b>Total</b>	<b>175</b>	<b>6,9</b>

### 3.3.7 Selección de la potencia

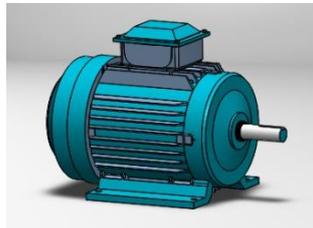


FIGURA 3. 6: MOTOR. FUENTE: AUTOR.

#### 3.3.7.1 Potencia teórica necesaria

Los molinos con el grado de llenado y velocidad crítica adecuados, se puede determinar mediante la siguiente formula:

$$P_t = 12.5 \cdot H \quad \text{Ec.(5)}$$

Dónde:

P<sub>t</sub>: potencia teórica necesaria en CV

H: peso neto total de la carga [ton].

TABLA 3. 14: PESO DES DIFERENTES ELEMENTOS QUE COMPONEN EL MOLINO DE BOLAS. FUENTE: AUTOR.

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Total (kg)</b>
Peso de las bolas	1	6.97	6.97
Material a moler	1	2	2
Tambor	1	6.1	6.1
Tapas del tambor	2	1.12	2.24
65% molienda húmeda	1	7.43	7.43
7 % adicional del peso de soldadura del tambor	1	1.83	1.83
Recubrimiento del tambor	1	1	1
Total (H)			27.57 Kg (0.03 ton)

$$Pt = 12.5 * 0.03 \text{ ton}$$

$$Pt = 0.38 \text{ CV}$$

$$Pt = 0.37 \text{ HP}$$

### 3.3.7.2 Potencia real necesaria

Debido a que los molinos de bolas trabajan con una potencia adicional de 15% a 20%, por lo que de acuerdo con los grados de llenado el molino requiere entre un 6% y 11% más de la potencia real teórica.

$$P = Pt + 20\%.Pt$$

$$P = 0.37 + 0.074$$

$$P = 0.44 \text{ HP}$$

Como en el mercado no se encuentran motores de 0.44 HP se procede a escoger un motor bajo norma el cual es de 0.5 HP.

El motor se seleccionó es un motor trifásico de acuerdo al (Anexo C1), el cual tiene bajo costo de operación, mantenimiento, buena eficiencia y torque.

### **3.3.8 Cálculo de la Velocidad de giro**

En un molino de bolas, la velocidad óptima se ubica entre 65% a 80% de la velocidad crítica, en molienda seca se sitúa hacia el limite menor.

Remplazando los valores en la ecuación Ec. (1) se obtiene:

$$Vg = 92.31 \text{ rpm}$$

#### **3.3.8.1 Cálculo de la Velocidad crítica**

Como la velocidad que con la cual debe girar el molino se encuentra en un rango del 60% al 90% se va utilizar una velocidad operación del 80%.

$$Vr = n * \%de \text{ giro}$$

$$Vr = 92.31 \text{ rpm} * 0.80$$

$$Vr = 74 \text{ rpm}$$

### **3.3.9 Diseño de transmisión**

#### **3.3.9.1 Selección del tipo de transmisión**

Los tipos de transmisión que se pueden tener para este tipo de molino son mediante bandas o cadenas.

Para la selección de la transmisión se considera que las bandas tienden a disminuir de un 98 % a un 93% y produce un deslizamiento por lo que disminuye la exactitud en la relación de velocidad en caso contrario esto no se produce en las cadenas, por lo que se va utilizar para la transmisión una cadena.

### 3.3.9.2 Cálculo de una transmisión por cadena

TABLA 3. 15: DATOS BÁSICOS PARA LA SELECCIÓN DE CADENA. FUENTE: AUTOR.

Datos	
Potencia a transmitir	0.5 HP (0.37 KW)
Reductor de velocidad	20
Mecanismo a accionar	Molino de bolas
Rpm de los ejes	74 rpm
Distancia entre centros	250.74 mm

### 3.3.9.3 Relación de transmisión y piñones

En este tipo de molinos debido a su funcionamiento y largo periodo de trabajo es necesario un reductor de velocidad.

$$i = \frac{n1}{n2}$$

$$i = \frac{84}{74}$$

$$i = 1.14$$

Debido a que necesitamos obtener una relación de velocidad de 1.14 se utilizara un piñón conductor de 14 dientes y un piñón conducido de 16 dientes.

$$i = \frac{z2}{z1}$$

$$i = \frac{16}{14}$$

$$i = 1.14$$

Los piñones cumplen con la relación de transmisión necesaria para que el molino trabaje a la velocidad requerida de 74 rpm.

### 3.3.9.4 Paso de la cadena conductora

$$P = \sqrt[3]{\left(\frac{3640}{n^2}\right)^2} \quad \text{EC.(6)}$$

$$P = \sqrt[3]{\left(\frac{3640}{84}\right)^2}$$

$$P = 12.33 \text{ mm}$$

Como no se tiene un paso de 12.33 escogemos un paso normalizado de 12.7 mm.

### 3.3.9.5 Cálculo del número de pasos

$$Cx = \frac{c}{P} \quad \text{EC.(7)}$$

$$Cx = \frac{250.74}{12.7}$$

$$Cx = 19.7$$

De acuerdo con la EC. (8) la cadena debe tener 19.7 pero como esta medida no es comercial se utiliza 20 pasos.

### 3.3.9.6 Velocidad de la cadena

$$v = \frac{Pz1n1}{1000} \quad \text{EC.(8)}$$

$$v = \frac{12.7 * 16 * 74}{1000}$$

$$v = 15.03 \text{ m/min}$$

$$v = 2.64 \text{ m/seg}$$

### 3.3.9.7 Longitud de la cadena (mm)

$$L = 2c + \frac{Z1 + Z2}{2}p + \frac{\left(\frac{Z1 + Z2}{6.28}\right)^2}{c} p^2 \quad \text{Ec.(9)}$$

$$L = 2c + \frac{Z1 + Z2}{2}p + \frac{\left(\frac{Z1 + Z2}{6.28}\right)^2}{c} p^2$$

$$L = 2 * 250.74 + \frac{14 + 16}{2} * 12.33 + \frac{\left(\frac{14 + 16}{6.28}\right)^2}{250.74} 13.42$$

$$L = 501.48 + 15 + 1.22 = 517.7 \text{ mm}$$

### 3.3.9.8 Selección de cadena según norma ISO 606 (americana)

De acuerdo con el Anexo C1 obtenemos una cadena tipo 40(08 A) y de acuerdo con el Anexo D2 obtenemos los datos técnicos de una cadena de rodillo.

### 3.3.9.9 Tipo de lubricación de la cadena

De acuerdo con el anexo 8 se obtiene un factor de 0.5876 a 84 rpm y 0.5236 a 74 rpm el cual se encuentra en el rango A lo que nos indica que su lubricación es manual o por goteo.

### 3.3.9.10 Par torsión de la cadena

$$T = \frac{P}{n} \quad \text{Ec.(10)}$$

$$n = 74 \frac{\text{rev}}{\text{m}} \times \frac{2\pi}{\text{rev}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 7.75 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$T = \frac{0.37 \frac{\text{KNm}}{\text{s}}}{7.75 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T = 0.048 \text{ KNm}$$

### 3.3.9.11 Fuerza que se produce en el eje

$$T = F \cdot r \quad \text{Ec. (11)}$$

$$F = \frac{T}{r}$$

$$F = \frac{0.048 \text{ KNm}}{0.028 \text{ m}}$$

$$F = 1.71 \text{ KN}$$

### 3.3.9.12 Coeficiente de seguridad

$$k = \frac{\text{carga cadena}}{\text{carga sopotada}} \quad \text{Ec. (12)}$$

$$k = \frac{19 \text{ KN}}{1,71 \text{ KN}}$$

$$k = 11$$

### 3.3.10 Diseño del eje

El eje es un componente principal porque este permite el movimiento del tambor.



FIGURA 3. 7: EJE. FUENTE: AUTOR.

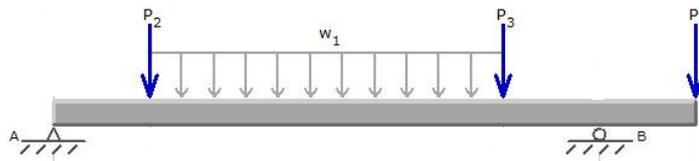


FIGURA 3. 8: DIAGRAMA DE ESFUERZOS EN EL EJE X-Y. FUENTE: AUTOR.

### Diagrama en el eje x-y

Las fuerzas que se van a generar en P1 y p2 es de 10 N y en w de su carga distribuida de 91,86 Nm.

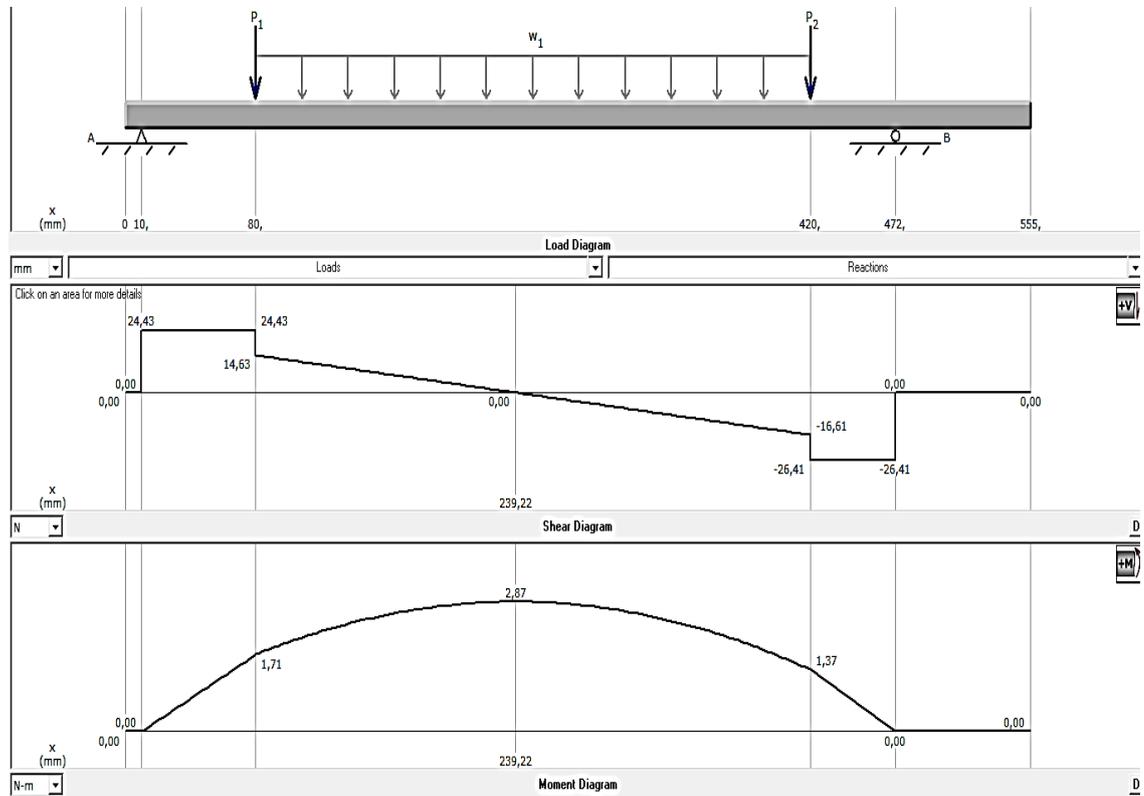


FIGURA 3. 9: DIAGRAMA DE CORTANTE Y DEL MOMENTO EN EL EJE X-Y. FUENTE: AUTOR.

En el análisis del programa nos da como resultado un momento máximo de x-y de 2,87 Nm.

### Diagrama del eje x-z

Para el análisis de las coordenadas x-z utilizamos las fuerzas de p1 y p2 un valor de 10 N cada una en w la carga distribuida utilizamos la carga de 91,86 Nm y la carga p3 que sería donde actúa el eje del piñón sería de 1,71 KN.

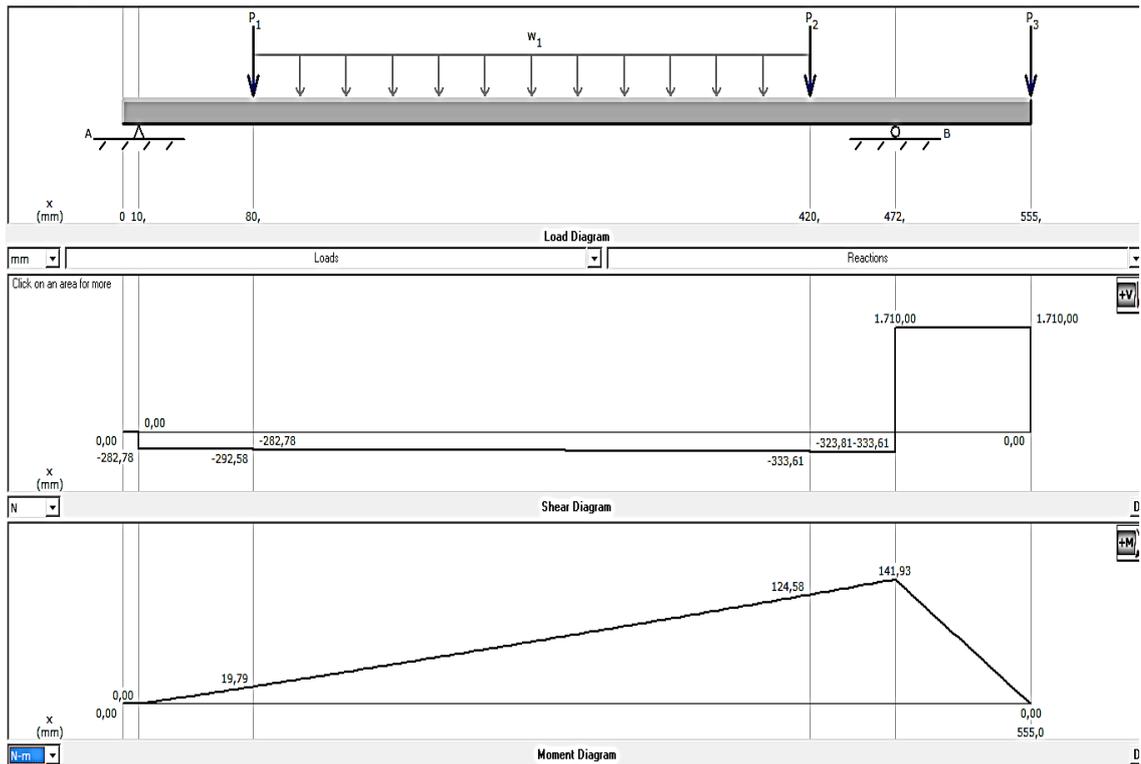


FIGURA 3. 10: DIAGRAMA DE CORTANTE Y DEL MOMENTO EN EL EJE X-Z. FUENTE: AUTOR.

El momento máximo que se genera en el sistema de coordenadas x-z es de 141,93 Nm siendo el momento máximo entre las dos coordenadas.

Se determina todas las reacciones que se generan en el eje y escogemos el momento máximo para realizar los cálculos:

$$M_{max} = 141.93 \text{ N.m.}$$

Se trabajará con un factor de seguridad de  $n = 3.5$ , y el material con el que se fabricará el eje es AISI 304 ( $s_y = 310 \text{ MPa}$ ), y tenemos que:

$$n = \frac{s_y}{\sigma_{eq}} \quad \text{EC.(13)}$$

$$3.5 = \frac{310 \text{ MPa}}{\sigma_{eq}}$$

$$\sigma_{eq} = \frac{310 \text{ MPa}}{3,5}$$

$$\sigma_{eq} = 88.57 \text{ MPa}$$

### 3.3.10.1 Diseño estático del eje

#### 3.3.10.1.1 Análisis a flexión

$$\sigma = \frac{M \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi * d^4}{64}} \quad \text{Ec.( 14)}$$

$$\sigma = \frac{141.93 \text{ N.m.} \cdot 32}{\pi * d^3}$$

$$\sigma = \frac{1.445 \text{ KN.m}}{d^3}$$

#### 3.3.10.1.2 Análisis de torsión

$$\tau_T = \frac{16T}{\pi * d^3} \quad \text{Ec.( 15)}$$

$$F_1 = 1.71 \text{ KN}$$

Para calcular el torque que se genera en el eje por acción de la cadena se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$T = F * r \quad \text{Ec.( 16)}$$

$$T = 1.71 \text{ KN} * 0,0282\text{m} = 48.22 \text{ N.m}$$

$$T = 48.22 \text{ N.m}$$

$$\tau = \frac{16(48.22) \text{ N.m}}{\pi * d^3}$$

$$\tau = \frac{245.58 \text{ N.m}}{d^3}$$

Utilizando la ecuación de esfuerzo equivalente de Von Mises.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad \text{Ec.( 17)}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{1.445 \text{ KN.m}}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{245.58 \text{ N.m}}{d^3}\right)^2}$$

$$(88.57 * 10^6)^2 = \left(\sqrt{\frac{2.088 * 10^6}{d^6} + 3 * \frac{60.310 * 10^3 \cdot \text{m}}{d^6}}\right)^2$$

$$7,84 * 10^{15} = \frac{2.065 * 10^6 + 180.93 * 10^3}{d^6}$$

$$d = \sqrt[6]{\frac{2.24 * 10^6}{7,84 * 10^{15}}}$$

$$d = 0,0257 \text{ m}$$

$$d = 25.7 \text{ mm}$$

Se selecciona un eje con un diámetro igual a  $1\frac{1}{4}" = 31.75 \text{ mm} = 0,03175 \text{ m}$ , disponible en el mercado local.

Y se comprueba su resistencia de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{141.10 \text{ N.m} * 32}{\pi * (0,03175 \text{ m})^3}$$

$$\sigma = 44,90 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{16(48.22 \text{ N.m})}{\pi * (0,03175 \text{ m})^3}$$

$$\tau = 7.67 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(44,90 \text{ MPa})^2 + 3(7.67 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_{eq} = 46.82 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{310 \text{ MPa}}{46.82 \text{ MPa}}$$

$$n = 6.6$$

### 3.3.10.2 Diseño a fatiga

#### 3.3.10.2.1 Flexión

Debido a que la flexión en las fibras internas es mínima esta es igual a cero.

$$\sigma_{xm} = 0$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32 M}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32 (141.10 \text{ N.m})}{\pi * (0,03175\text{m})^3}$$

$$\sigma_{xa} = 44,90 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xya} = 0$$

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

$$\tau_{xym} = \frac{16 (48.22 \text{ N.m})}{\pi * (0,03175\text{m})^3}$$

$$\tau_{xym} = 7.67 \text{ MPa}$$

### 3.3.10.2.2 Esfuerzos equivalentes

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + 3\tau_{xym}^2}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{0^2 + 3(7.67 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_{eqm} = 13.28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + 3\tau_{xya}^2}$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{(44,90 \text{ MPa})^2 + 3(0)^2}$$

$$\sigma_{eqa} = 44.9 \text{ MPa}$$

### 3.3.10.2.3 Límite de fatiga

$$Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Kf * Se' \quad \text{Ec.( 18)}$$

Se asume un diámetro de 31.75 mm para los cálculos

Ka = factor de modificación

Se va encontrar maquinado

$$Ka = aSut^b \quad \text{Ec.( 19)}$$

$$Ka = 4.51 * 310^{-0.265}$$

$$K_a = 0.98$$

Factor del tamaño

$$K_b = 0.879 * d^{-0.107} \quad \text{Ec. (20)}$$

$$K_b = 0.879 * 1.25 \text{ in}^{-0.107}$$

$$K_b = 0.85$$

Factor de modificación de carga

$$K_c = 0.85$$

Factor de modificación de temperatura

$$K_d = 1$$

Para una confiabilidad del 99.99%

$$K_e = 0.702$$

Factor de modificación de efectos varios

$$K_f = 1$$

Para un acero AISI 304

$$S_{ut} = 620 \text{ MPa}$$

$$S_e' = 0.5 * S_{ut} \quad \text{Ec. (21)}$$

$$S_e' = 0.5 * 620 \text{ MPa}$$

$$S_e' = 310 \text{ MPa}$$

Límite de fatiga para AISI 304

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S_e'$$

$$S_e = 0.98 * 0.85 * 0.85 * 1 * 0.702 * 1 * 310 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$S_e = 154.08 \text{ MPa}$$

### 3.3.10.3 Factor de seguridad del eje

$$\frac{\sigma_{eqa}}{S_e} + \frac{\sigma_{eqm}}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad \text{Ec.( 22)}$$

$$\frac{44.9}{154.08} + \frac{13.28}{620} = \frac{1}{n}$$

$$n = 3.2$$

El eje soportara adecuadamente las cargas aplicadas en él, ya que los factores de seguridad obtenidos son mayores a 2.

### 3.3.11 Selección de chumaceras

Las consideraciones de tipo estructural exigen que el recipiente rotatorio cargado se monte con el eje horizontal para evitar el empuje axial sobre el cojinete, y los inconvenientes consiguientes de desgaste y calor.

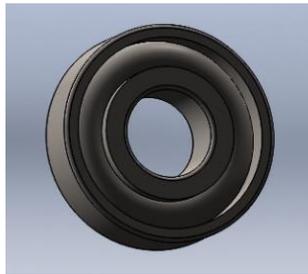


FIGURA 3. 11: RODAMIENTO DE BOLA. FUENTE: AUTOR.

Debido a que las cargas en los apoyos en el punto B soportan mayor carga.

TABLA 3. 16: TABLA DE VALORES DE LAS REACCIONES QUE SE PRODUCEN EN EL RODAMIENTO. FUENTE: [14].

Reacciones x-y		Reacciones x-z	
RAy	24.43 N	RAz	282.78 N
RBy	26.41 N	RBz	333.61 N

Debido a que el mayor esfuerzo se aplica en la reacción B sacamos la resultante entre los dos valores RBY y RBz obteniendo como resultado: 334.65 N.

### 3.3.11.1 Cálculo de la carga equivalente estática

$$P_o = 2.7.Tr + Ta \quad \text{Ec.( 23)}$$

$$P_o = 2.7(334.65 N) + Ta$$

*Tr*: Carga radial

*Ta*: Carga axial

$$P_o = 903.55 N$$

### 3.3.11.2 Cálculo de la carga equivalente dinámica

$$P = 1.2.Fr + Fa \quad \text{Ec.( 24)}$$

*Fr*: Carga radial

*Fa*: Carga axial

$$P = 401.58 N$$

De acuerdo con el diámetro del eje escogemos el tipo de chumacera que se va utilizar con el cual obtenemos del Anexo E1. La chumacera SYK 30 TEF.

### DATOS DE LA CHUMACERA SELECCIONADA

TABLA 3. 17: VALORES DE LOS DATOS DE LA CHUMACERA SYK 30 TEF. FUENTE: [14].

D	D	C	Co	Pu
30 mm	72 mm	19.5 KN	11.2 KN	0.475 KN

### 3.3.11.3 Cálculo de la vida nominal

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad \text{Ec.( 25)}$$

$$L_{10} = \left(\frac{19.5 KN}{401.58N}\right)^3$$

$$L_{10} = 114495.286$$

Con una Confiabilidad del 99%, vamos al (ANEXO E2) para obtener el valor de  $a_1$  el cual es de 0.21.

$$dm = \frac{d + D}{2} \quad \text{Ec. (26)}$$

$$dm = \frac{31.75 + 72}{2}$$

$$dm = 51.87 \text{ mm}$$

La temperatura de trabajo del molino oscila entre 25° a 60° con lo que obtenemos la viscosidad de trabajo V1 en el Anexo E3 el cual obtenemos un valor de 30 mm<sup>2</sup>/s, y en el (Anexo E4) obtenemos el grado de viscosidad V2 que nos da como resultado 32 mm<sup>2</sup>/s.

### 3.3.11.3 Cálculo del factor K

$$k = \frac{v2}{v1} \quad \text{Ec. (27)}$$

$$k = \frac{32 \text{ mm}^2/\text{s}}{30 \text{ mm}^2/\text{s}}$$

$$k = 1.06$$

El valor de a2.3 con el valor de K encontramos en el Anexo E5 a23 = 1.1.

$$Lnm = 0.21 * 1.1 * 114495.286$$

$$Lnm = 26448.411$$

### 3.3.11.4 Cálculo de la vida nominal ajustada SKF

$$Lnm = a1 * a_{skf} * L10 \quad \text{Ec. (28)}$$

$$r = \frac{hc * Pu}{P} \quad \text{Ec. (29)}$$

$$r = \frac{0.1 * 0.475 \text{ KN}}{401.58 \text{ N}}$$

$$r = 0.12$$

hc= grado de contaminación

Con el valor de r y k buscamos en el Anexo E6 el valor de aSKF es igual a 2.2.

$$Lnm = 0.21 * 2.2 * 26448.411$$

$$L_{nm} = 12219.165$$

$$L_{SKF} = \frac{10^6 * L_{nm}}{60 * V_c}$$

$$L_{SKF} = \frac{10^6 * 12219.165}{60 * 74 \text{ rpm}}$$

$$L_{SKF} = 27520641.89 \text{ Horas.}$$

### 3.3.12 Diseño de la estructura soporte del molino de bolas.

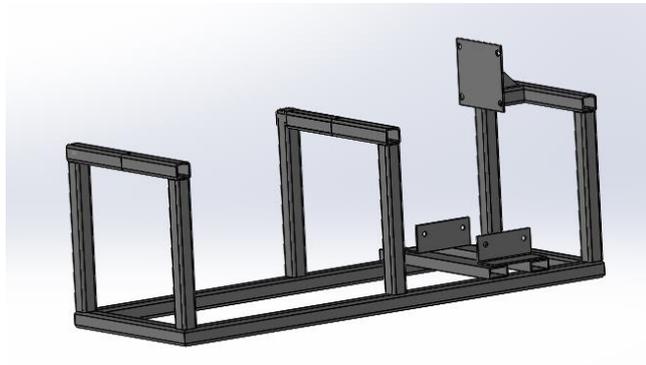


FIGURA 3. 12: BANCADA. FUENTE: AUTOR.

La estructura soportará el peso de todos los componentes de la máquina como son, motor, reductor, tambor, cuerpos moledores, y su diseño es de suma importancia ya que debe proporcionar rigidez y resistencia.

El proceso de análisis es el siguiente:

1. Dimensionamiento y aplicación del tubo cuadrado 30X30X2 mm.

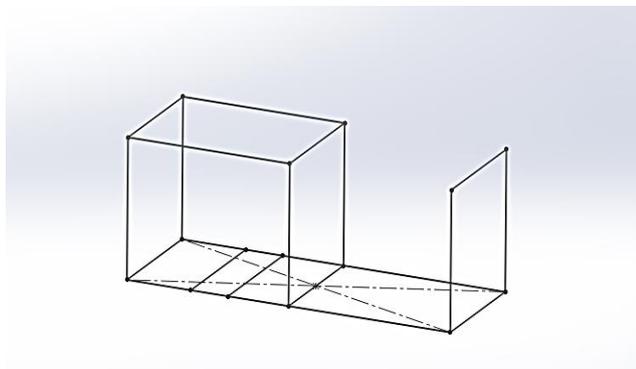


FIGURA 3. 13: DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA. FUENTE: AUTOR.

2. Selección del perfil y extrusión de partes de la bancada. y asignación del material.

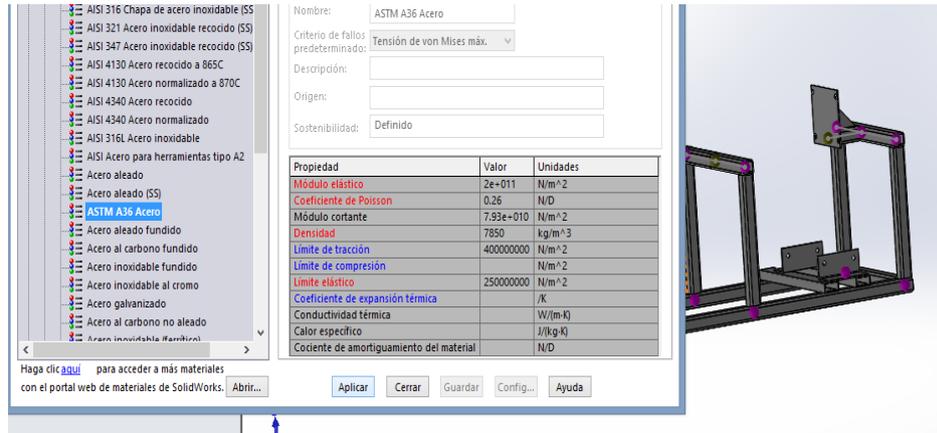


FIGURA 3. 14: ASIGNACIÓN DEL MATERIAL DE LA BANCADA. FUENTE: AUTOR.

3. Asignación de contactos.

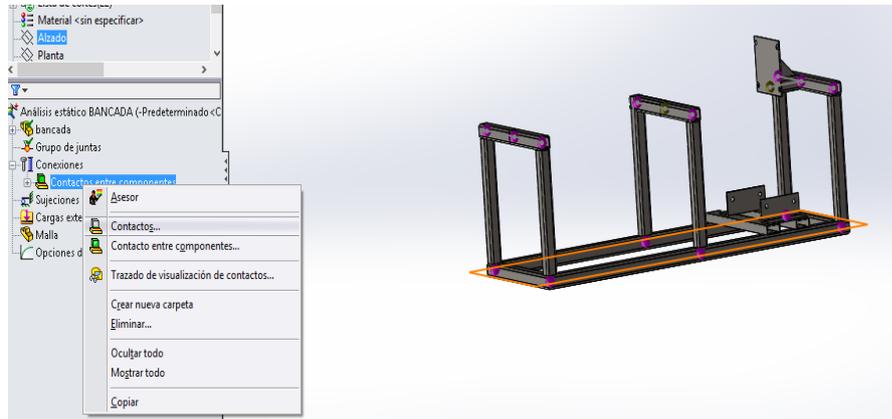


FIGURA 3. 15: SELECCIÓN DE CONTACTOS PARA LA BANCADA. FUENTE: AUTOR.

4. Asignación de cargas a la bancada, reacciones generadas durante el funcionamiento de la maquina  $F \cong 283.78 N$  RA  $F \cong 334.65 N$  RB .

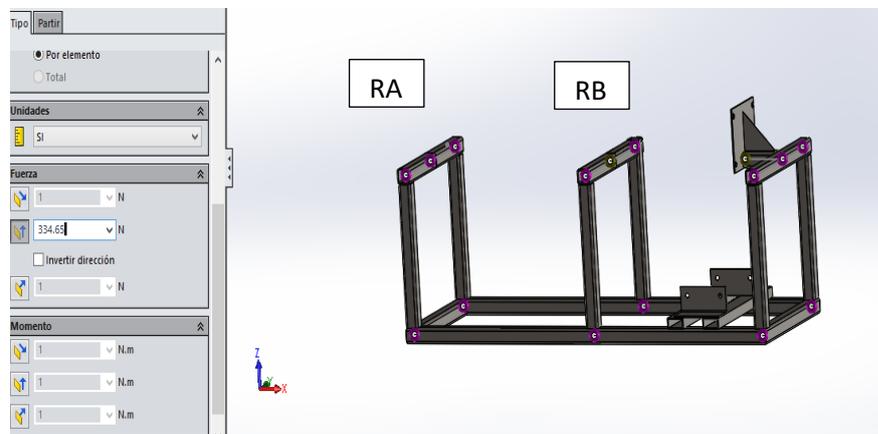


FIGURA 3. 15: INSERCIÓN DE CARGA A LA BANCADA. FUENTE: AUTOR.

## 5. Creación de mallado y ejecución del análisis.

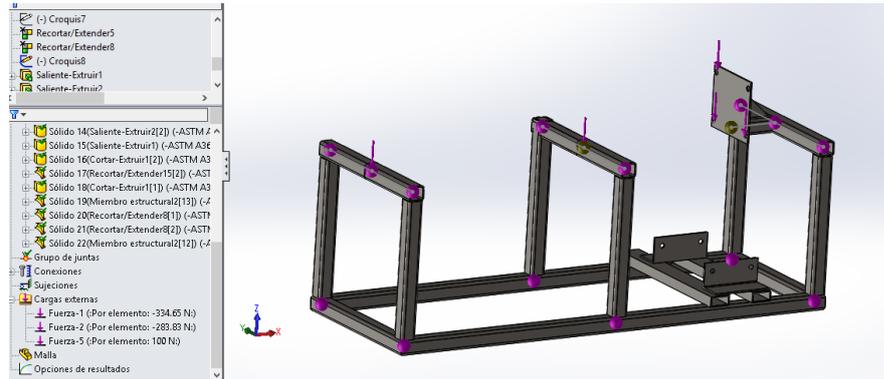


FIGURA 3. 16: CARGAS QUE SE APLICAN A LA ESTRUCTURA. FUENTE: AUTOR.

## 6. Obtención del factor de seguridad.

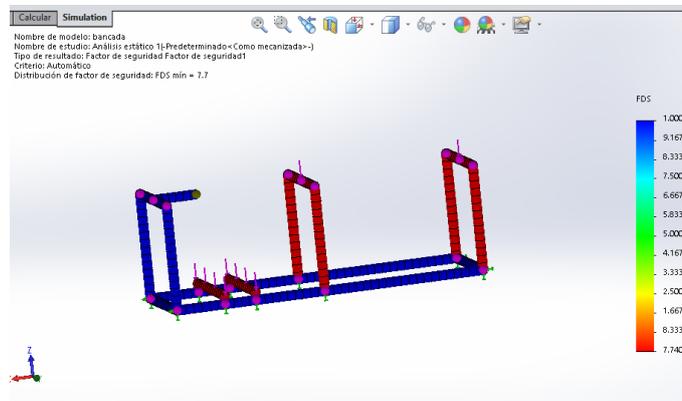


FIGURA 3. 17: ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA BANCADA. FUENTE: AUTOR.

El programa nos arroja que la bancada tiene un factor de seguridad de 7,7 lo cual nos indica que soporta adecuadamente las cargas que se van aplicar.

### 3.3.13 Juntas soldadas (Tambor-Tapas)

Además, se debe tener en cuenta que los soportes serán soldados a la estructura, por lo que es necesario comprobar la resistencia de la soldadura en las juntas.

Se tiene las siguientes consideraciones para la comprobación:

- Es una viga en voladizo.
- La carga se puede considerar estática ( $F = 334,65 N$ ).
- Material base (estructura y soporte) son de acero AISI 304.
- La soldadura es a filete.
- El electrodo utilizado es ER 308 L.
- Se trabajará con un factor de seguridad  $n = 3$ .

El proceso para el diseño es el siguiente:

1. Se obtienen las siguientes ecuaciones de acuerdo con la configuración de la junta soldada.

$$\begin{aligned} A &= 1,414\pi hr \\ I &= 0,707hI_u \\ I_u &= \pi r^3 \end{aligned} \quad \text{EC.(30)}$$

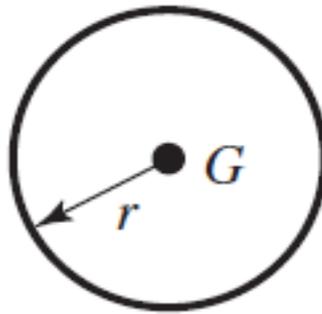


FIGURA 3. 18: PATRÓN DE SOLDADURA DEL SOPORTE PARA ACTUADOR. FUENTE: AUTOR.

Donde:

$A$  = Área de la garganta.

$I_u$  = Segundo momento unitario del área.

$h$  = Tamaño de la soldadura.

$r$  = radio del elemento soldado.

Datos:

$$h = 12 \text{ mm} = 0,012 \text{ m}$$

$$r = 0,089 \text{ m}$$

2. Se calcula  $A, I_u, I$ , reemplazando los datos necesarios en las ecuaciones anteriores:

$$A = 1,414\pi(0,012)(0,089) = 4,74 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_u = \pi(0,089)^3 = 2,21 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$I = 0,707(0,012)(2,21 * 10^{-3} \text{ m}^3) = 1,875 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

3. Cálculo del esfuerzo cortante primario.

$$\tau' = \frac{F}{A} \quad \text{EC. (31)}$$

$$\tau' = \frac{334,65 \text{ N}}{4,74 * 10^{-3}}$$

$$\tau' = 70,6 \text{ KPa}$$

4. Cálculo del esfuerzo cortante secundario.

$$\tau'' = \frac{Mr}{I} \quad \text{EC.( 32)}$$

$$\tau'' = \frac{(1,71 \text{ KN} * 0,105 \text{ m})(0,0625 \text{ m})}{1,875 * 10^{-5} \text{ m}^3}$$

$$\tau'' = 28,875 \text{ MPa}$$

5. Se determina la magnitud del esfuerzo cortante  $\tau$  utilizando la ecuación de Pitágoras:

$$\tau = (\tau'^2 + \tau''^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{EC.( 33)}$$

$$\tau = (16540 \text{ Pa}^2 + 28,875 * 10^6 \text{ Pa}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\tau = 28,875 \text{ MPa}$$

Comprobación de la resistencia del material de aporte bajo el criterio de energía de la distorsión [15]:

$$n = \frac{S_{Sy}}{\tau} \quad \text{EC.(34)}$$

$$n = \frac{0,577(315 \text{ MPa})}{28,875 \text{ MPa}}$$

$$n = 6,29$$

6. Comprobación de la resistencia de metal de unión.

$$\sigma = \frac{M}{I/c} = \frac{M}{b \cdot d^2/6} \quad \text{Ec.(35)}$$

$$\sigma = \frac{(78,4 \text{ N} * 0,0125 \text{ m})}{0,025 \text{ m} * (0,125 \text{ m})^2/6} = 133,056 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{250 \text{ MPa}}{133,056 \text{ MPa}}$$

$$n = 1,88$$

Estos factores de seguridad se producen cuando el molino se encuentra en funcionamiento lo que indica que el material de aporte y el metal base tienen una resistencia satisfactoria.

### 3.3.14 Análisis del tambor mediante software de elementos finitos.

Por seguridad del tambor se realiza un estudio de resistencia del tambor por lo que se comprueba mediante la carga de a distintas presiones con el objetivo de obtener su factor de seguridad.

1. Colocamos la presión que va a soportar el tambor en una cara.

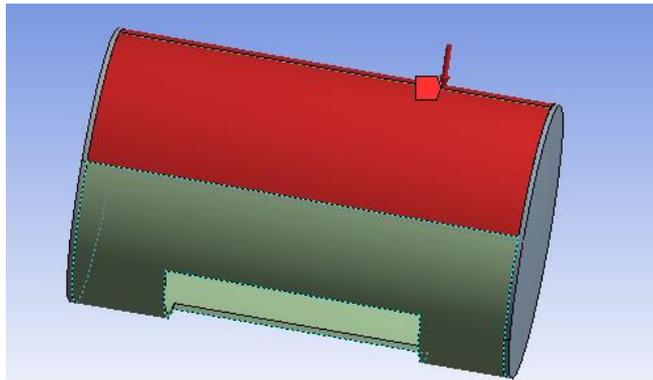


FIGURA 3. 19: CARGA APLICADA AL TAMBOR. FUENTE: AUTOR.

- Los resultados arrojados nos indican que el equivalente de Von Mises soporta hasta 147,78 MPa máximo.

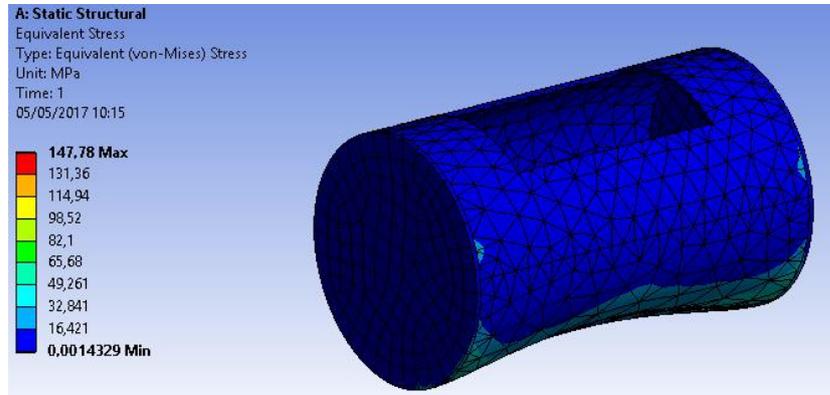


FIGURA 3. 20: EQUIVALENTE DE VON MISES APLICADO AL TAMBOR. FUENTE: AUTOR.

- El factor de seguridad que nos arroja el programa es de 1,6 lo que nos indica que el tambor es seguro.

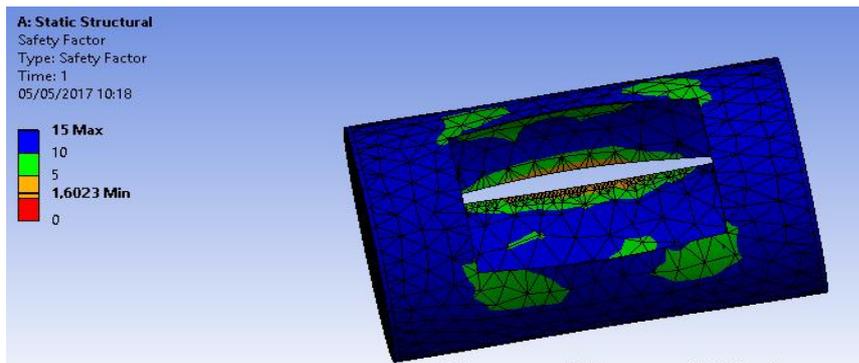


FIGURA 3. 21:FACTOR DE SEGURIDAD DEL TAMBOR. FUENTE: AUTOR.

- La deformación estática es de 0,3 mm con una carga de 148 MPa.

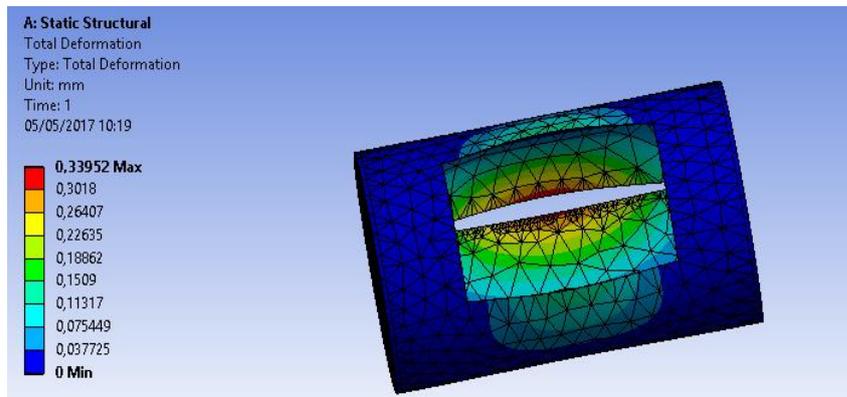


FIGURA 3. 22:DEFORMACIÓN DEL TAMBOR. FUENTE: AUTOR.

Como se puede observar el tambor puede soportar hasta una presión de 148 MPa con un factor de seguridad de 1,6 siendo un factor de seguridad aceptable.

### 3.4 Presupuesto

#### 3.4.1 Costo de materiales

TABLA 3. 18: COSTO DE MANO DE OBRA. FUENTE: AUTOR.

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Total (\$)</b>
<b>Materiales de construcción</b>			
Tubo cuadrado 30*30*2 mm de 6 m	2	11,2	22,40
Perfil rectangular de 60 cm	1	4	4,00
Plancha de acero inoxidable 4 mm	1	80	80,00
Plancha de acero inoxidable 2 mm	1	15	15,00
Perno 1/4 * 2 "	4	0,32	1,28
Bisagras acero inoxidable	2	13,2	26,40
Perno 1/2 *2,5"	4	0,8	3,20
Arandelas de presión	8	0,2	1,60
Arandelas planas	8	0,2	1,60
1 kilogramo Bolas de acero	8	8	64,00
Plancha de tol 1 mm	1	22	22,00
Barra de Cobre	1	87	87,00
Barra de aluminio	1	15	15,00
Eje de acero inoxidable 1 1/4" de 20 cm	1	10,5	10,50
1 lb electrodo 6011	1	2,8	2,80
Chumacera SKF 1 1/4 "	2	11,2	22,40
Material de aporte de acero inoxidable	2	15	30,00
Cadena de rodillos	1	7	7,00
Piñón 14 dientes	1	3	3,00
Piñón 16 dientes	1	3	3,00
Ejes de transmisión 1 pulgada 10 cm	2	2	4,00
Subtotal			422,18
<b>Componentes del sistema eléctrico</b>			
Base del temporizador	1	8	8,00
Temporizador	1	20	20,00
Contactador	1	50	50,00
Caja de conexiones	1	35	35,00
Fuente de voltaje	1	30	30,00
Cables de conectores y amarres	1	12	12,00
Reductor de velocidad ratio 20	1	420	420,00
Motor 1/2 HP	1	120	120,00
Subtotal			695,00
<b>Total</b>			1117,18

### 3.4.2 Costo de mano de obra

El costo de mano de obra según el sector de comisión salarial (Anexo G1), se encuentra de un metalmecánico y un obrero entre los 3 y 2 dólares americanos la hora respectivamente.

TABLA 3. 19: COSTO DE MANO DE OBRA. FUENTE: AUTOR.

<b>Costo mano de obra</b>	<b>Horas laborables</b>	<b>Número de operarios</b>	<b>Valor unitario (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
<b>Metalmecánico</b>	120	1	3	360
<b>Obrero</b>	120	1	2	240
<b>Total</b>				600

### 3.4.3 Costo total de construcción

TABLA 3. 20: COSTO TOTAL DE CONSTRUCCIÓN. FUENTE: AUTOR.

<b>Tipo de costo</b>	<b>Total</b>
Costo de materiales	1117,18
Costo de mano de obra	600
<b>Total</b>	<b>1717.18 \$</b>

El costo total de la elaboración del molino de bolas es de 1717.18 dólares americanos.

### 3.5 Especificaciones técnicas

#### 3.5.1 Características técnicas de la máquina.

TABLA 3. 21: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MOLINO DE BOLAS. FUENTE: AUTOR.

Datos técnicos del molino de tambor	
Potencia	0.5 HP
Reductor de velocidad	1:20
Velocidad de giro	74 rpm
Máx. Capacidad de carga	18 kg
Peso del tambor	8,5 kg
Tiempo de molienda	1 – 10 horas
Longitud del molino	95 cm
Alto	51 cm
Diámetro del tambor	21 cm
Longitud del tambor	34 cm
Nivel de ruido	85 dB

#### 3.5.2 Condiciones de servicio del molino de bolas

TABLA 3. 22: CONDICIONES DE SERVICIO DEL MOLINO DE BOLAS. FUENTE: AUTOR.

Capacidad de carga molienda seca	8,97 kg
Capacidad de carga molienda húmeda	16,4 kg

#### 3.5.3 Normas de seguridad

1. Utilizar gafas, mandil, guantes y protectores auriculares.
2. Utilizar guantes de látex al momento de manipular las esferas y los polvos metálicos, para evitar la oxidación.
3. Utilizar protectores auriculares al momento de efectuar la molienda debido al sonido que produce el golpeteo de las bolas contra el tambor.
4. Limpiar el tambor del molino de bolas antes y después de la molienda.

5. Colocar el protector de seguridad antes de realizar la molienda.
6. Utilizar gafas y mascarilla al momento de terminar el proceso de molienda.

### **3.5.4 Instrucciones de Funcionamiento**

#### **a) Antes de realizar la molienda**

1. Regular el temporizador de acuerdo con el tiempo del material que se desea moler.
2. Retire el protector de seguridad que cubre el tambor del molino.
3. Mediante el interruptor on/off posicione la compuerta del tambor hacia arriba.
4. Retire la forma de tapa del aislante acústico estirando de una forma suave hacia abajo y luego jale hacia arriba.
5. Abra la compuerta del molino y cerciore que se encuentre limpio.

#### **b) Accionamiento del molino**

6. Después de cerciorar que se encuentre limpio coja el recipiente que se encuentre con las esferas metálicas y vierta dentro del tambor a una altura de 5 a 15 cm o coloque las esferas manualmente.
7. Vierta el polvo metálico o la viruta que desea obtener.
8. Cierre la compuerta y asegure el pasador posicionando con la cara del botón de que se encuentra en la compuerta.
9. Colocar el aislante de ruido y el protector.
10. Accione el interruptor on/off.

#### **c) Durante el proceso de molienda**

11. Si desea tomar una muestra del proceso de obtención de la aleación aplaste el paro de emergencia o botón rojo y proceda a realizar el proceso 3 y 4.
12. Después de obtener la muestra cierre la compuerta, coloque el protector de seguridad y gire el paro de emergencia hacia el lado izquierdo.

#### **d) Culminación de molienda**

13. Terminado el tiempo del temporizador retire el protector de seguridad y regule el temporizador en el número 1.

14. Posicione la compuerta hacia abajo mediante el interruptor on/off.

15. Retire el pasador de la compuerta mediante una palanca o martillo permitiendo que caigan las esferas y el polvo metálico al contenedor.

16. Asegúrese de retirar todas las esferas y el polvo metálico con ayuda de una broca.

17. Cierre la compuerta y retire el recipiente que contiene las esferas y el polvo metálico.

18. Utilice una bandeja para colocar el polvo metálico obtenido.

#### **3.5.5 Mantenimiento de la máquina**

1. Limpiar el tambor antes y después de utilizar.

2. Colocar las componentes del tambor en la posición correspondiente.

3. Mantener en un área seca libre de humedad con la finalidad de evitar la corrosión.

4. En caso de sufrir un desperfecto las chumaceras cambiarlas por otra de la misma especificación.

5. Engrasar la cadena mediante goteo o manualmente (grasa multipropósito grado NLGI 2).

6. Los rodamientos del motor y del reductor deben ser cambiados de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

### 3.5.6 Componentes principales

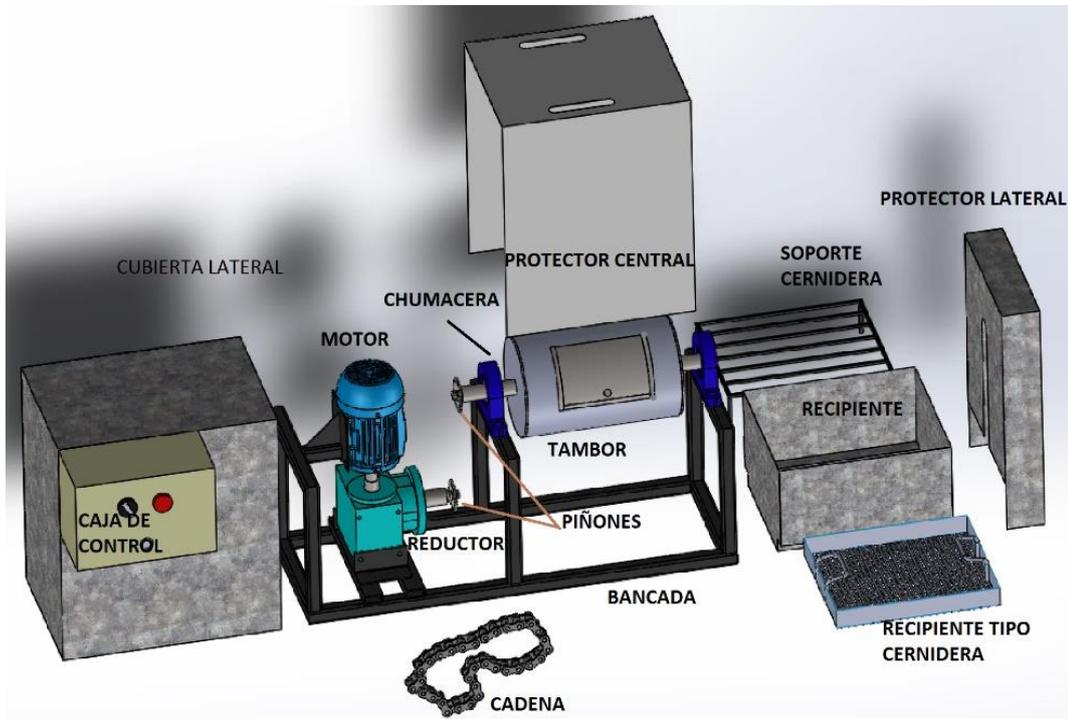


FIGURA 3. 23: MOLINO DE TAMBOR DE BOLAS. FUENTE: AUTOR.

### 3.5.6. Lista de piezas:

TABLA 3. 23: COMPONENTES QUE COMPRENEN EL MOLINO DE TAMBOR DE BOLAS. FUENTE: AUTOR.

Cantidad	Componente	Mantenimiento	Frecuencia
1	Cubierta	Limpiar las superficies con una franela.	Después de cada uso.
3	Recipientes	Limpiar las superficies con una franela.	Después de cada uso.
1	Tambor	Limpiar las rejillas de rebalse.	Después de cada uso.
2	Chumacera 1 ¼''	Engrasar	Cada 3 meses.
1	Motor 1/2 hp	Revisión eléctrica	Cada 6 meses.
1	Reductor de velocidad ratio 20	Cambio de aceite	Cada 6 meses.
1	Bancada	Limpiar las superficies con una franela.	Cada 6 meses.
1	Cadena	Engrasar manualmente	Cada 2 meses.
1	Soporte del tamiz	Limpiar las superficies con una franela.	Después de cada uso.

## **CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 CONCLUSIONES**

- Al investigar los diferentes tipos de molinos de bolas se determinó que el molino de tambor es idóneo para el laboratorio de la carrera de ingeniería mecánica porque cumple con los parámetros de diseño.
- El molino de bolas está diseñado para moler 2 kilogramos debido al espacio disponible en el laboratorio de la carrera de ingeniería mecánica, el molino tiene dimensiones de 95 cm de longitud y 51 cm de alto.
- Cuando el molino de bolas está en funcionamiento produce ondas acústicas iguales a 112 decibeles (dB) debido al impacto entre las esferas y el tambor del molino, por lo que es necesario el aislante de ruido, lo que permite disminuir a 85 dB.
- El tipo de ruido que produce el tambor es de impacto y esto dentro de la norma NTP: 270 no puede superar los 130 dB, a plena carga de operación se obtuvo una medición de 85 dB quedando dentro del rango.
- La medición sobre el equipo es de 85 dB y a un operador a un metro de distancia de pie con una estatura promedio de 1,70 m a la entrada auditiva fue de 70 dB.
- El cuproaluminio se obtuvo en 4 horas de molienda y su tamaño de grano fue de 15 $\mu$ m que se verificó en los tamices del laboratorio de la carrera de ingeniería mecánica.
- El tiempo de molienda para obtener una aleación, tiene una relación entre el tamaño, distribución de las bolas y la densidad del material.
- La construcción del molino de bolas se concluyó con éxito, este molino de tambor ayudara a la obtención de nuevas aleaciones mecánicas.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Verificar los cálculos obtenidos mediante software de elementos finitos para obtener resultados precisos.
- Realizar la construcción del molino de tambor en talleres metalmecánicos especializados en soldadura de acero inoxidable para garantizar la construcción del molino.
- Para próximos análisis de obtención de una aleación es importante revisar el diseño de elementos discretos (DEM) el cual se puede visualizar el comportamiento del material al momento de alear.
- Para la construcción de un molino de bolas es importante utilizar un reductor de velocidad para mantener el torque de trabajo.
- Buscar los materiales que se encuentren disponibles en el mercado para evitar inconvenientes al momento de construir.
- De acuerdo con el material que se va a moler el operador debe considerar el nivel de oxidación del material y a partir del grado de oxidación evaluar si es oportuno la molienda húmeda.
- Evitar introducir granos demasiado gruesos que tengan un espesor mayor a 8 mm ya que esto produce un tiempo de molienda prolongada y mayor consumo energético.
- Las dimensiones de las esferas deben tener una relación tres veces mayor al del material para poder moler y obtener la aleación en polvo.
- Utilizar el molino bajo la supervisión del ayudante de laboratorio para evitar inconvenientes con la manipulación del equipo.
- Ubicar el molino en un lugar con suficiente aislamiento acústico para evitar que el ensayo no perturbe a los docentes y estudiantes.

## **Bibliografía**

- [1] J. Alcántara, Diseño práctico de un molino de bolas, México, D.F., 2008.
- [2] N. Portocarrero y C. Pastor, Diseño, construcción y determinación de los parámetros de operación de un molino de bolas para el laboratorio metalúrgico de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, Arequipa, 2010.
- [3] J. Grueso y D. Herrera, Diseño y construcción de un molino de bolas de alta energía y alta capacidad, Santiago de Cali, 2005.
- [4] A. Moretta, G. López y J. Molina, Rediseño y construcción de una máquina de pulvimetalurgia para la obtención de polvo de aluminio, en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en la Carrera de Ingeniería Mecánica, Laboratorio de Materiales, Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Vinculación de la Carrera de Ingeniería Mecánica, 2012.
- [5] J. Morral, E. Jimeno y p. Molera, Metalurgia general, Barcelona: Reverté. S.A., 2004.
- [6] M. P. Goover, Fundamentos de manufactura moderna, Tercera ed., P. Roig, Ed., México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2007.
- [7] E. Andrade, Tecnología mineralúrgica, Cantabria , p. 55.
- [8] Industrias , «Industrias I,» Molienda , vol. I, n° 72.02-92.02, p. 26, 2015.
- [9] W. Quitiaquez y C. Reina, Diseño y construcción de un molino para la extracción de aceite de chonta ( fruto de palmeras),. Quito, 2011.
- [10] RETSH solution in Milling and Sleving, «molinos de bolas de alto rendimiento,» VERDER SCIENTIFIC, p. 39.
- [11] ASM SPECIALTY HANDBOOK, Copper and Copper Alloys, ASM Internacional, 2001, p. 652.

- [12] S. Barroso y J. Ibañez, Introducción al conocimiento de materiales, Madrid: UNED, 2014.
- [13] DUDA, Manual tecnológico del cemento, 1997.
- [14] SKF, RODAMIENTOS, EEUU: GRUPO SKF 2015, 2015.
- [15] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Octava ed., México D.F.: McGraw-Hill/interamericana editores, S.A. de C.V., 2008, pp. 85-86.
- [16] D. Giancoli, Física : principios con aplicaciones, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2006.
- [17] A. Guano y J. Tierra, Diseño y construcción de una máquina para el reciclado de fibra de vidrio, Riobamba, 2012.
- [18] JORESA, Cálculo de una transmisión por cadena.
- [19] R. Mott, Resistencia de Materiales, México: Pearson , 2009.
- [20] D. Rueda y S. Geovanny, Diseño y construcción de una máquina para acondicionamiento final de chocolate, Quito , 2015.
- [21] Shanghai Zenith Company, «Shanghai Zenith Company,» 2000-2015. [En línea]. Available: <http://es.zenithcrusher.com/>. [Último acceso: 29 07 2016].
- [22] P. Ángela, Diseño de un sistema de molienda para reciclaje seco en la producción de láminas de Fibro Cemento, Riobamba, 2012.
- [23] F. P. Beer, E. R. Johnston, J. T. DoWolf y D. F. Mazurek, Mecánica de materiales, Quinta ed., México D.F.: McGraw-Hill/interamericana editores, S.A. de C.V., 2010, pp. 216-218.
- [24] G. WEG, «Soluciones para Minería,» 7 2015.

# Anexos

Anexo A1: Datos técnicos de un molino Attritor de laboratorio.

<b>MODELOS SERIE 01</b>	
MODELO	01-HD mecánico
Capacidad del Tanque (cc)	750 o 1400
Capacidad de Operación (cc)	250 o 500
Volumen de Bolas para Molienda (cc)	380 o 760
HP	1/4
Voltaje**	208/230/460 3 fases*
Sistema con Variador de Velocidad	mecánico
Motor a prueba de explosión.	sí
Altura (pulg/mm)	37/940
Altura (pulg/mm)	17x36/432x914
Peso (lb./kg)	240/109

**Fuente:** [http://unionprocess.com/spanish/wet\\_lab.html](http://unionprocess.com/spanish/wet_lab.html)

## Anexo A2: Molino planetario de bolas PM 100.

Aplicación	pulverización, mezcla, homogeneización, molienda coloidal, aleación mecánica
Campos de aplicación	agricultura, biología, geología / metalurgia, ingeniería / electrónica, materiales de construcción, medicina / farmacia, medio ambiente / reciclaje, Química, vidrio / cerámica
Tipo de material	blando, duro, frágil, fibroso - seco o húmedo
Principio de molienda	impacto, fricción
Granulometría inicial*	< 10 mm
Granulometría final*	<1 micra, para molienda coloidal < 0,1 micras
Carga / cant. material alimentado*	max. 1 x 220 ml, max. 2 x 20 ml con tarros apilados
Número de recipientes de molienda	1
Relación de velocidad	1 : -2
Velocidad máx. rueda principal	100 - 650 min <sup>-1</sup>
Ø efectivo rueda principal	141 mm
Fuerza G	33.3 g
Tipo de rcpte. de molienda	"comfort", tapa con válvula especial opcional, dispositivo de cierre de seguridad
Material de las herramientas de molienda	acero templado, acero inoxidable, carburo de tungsteno, ágata, corindón sinterizado, silicon nitride, óxido de circonio
Vol. rcptes. de molienda	12 ml / 25 ml / 50 ml / 80 ml / 125 ml / 250 ml / 500 ml
Duración de la molienda	digital, 00:00:01 to 99:59:59
Operación por intervalos	sí, con inversión del sentido de giro
Tiempo de ejecución	00:00:01 hasta 99:59:59
Tiempo de pausa	00:00:01 hasta 99:59:59
Rutinas SOP	10
Medida de energía de entrada posible	sí
Puertos	RS 232 / RS 485
Motor	motor asíncrono trifásico con convertidor de frecuencia
Potencia motriz	750 W
Conexión eléctrica	voltajes diferentes
Alimentación de red	monofásica
Tipo de protección	IP 30
Consumo de potencia	~ 1250W (VA)
A x H x F cerrado	630 x 468 x 415 mm
Peso neto	~ 86 kg
Normas	CE
Patente/diseño	Counter weight (DE 20307741), FFCS (DE 20310654), SafetySlider (DE 202008008473)

**Fuente:** <http://www.retsch.es>

Anexo A3: Datos técnicos molino de tambor M 300 x 1.

## Características

Aplicación	trituración, mezcla
Campos de aplicación	agricultura, biología, geología / metalurgia, ingeniería / electrónica, materiales de construcción, medicina / farmacia, medio ambiente / reciclaje, Química, vidrio / cerámica
Tipo de material	blando, duro, frágil, fibroso - seco o húmedo
Principio de molienda	fricción
Granulometría inicial*	< 20 mm
Granulometría final*	< 20 $\mu\text{m}$
Carga / cant. material alimentado*	mín. 1 litro / máx. 20 litros
Velocidad de rotación	0 - 80 $\text{min}^{-1}$
Número de recipientes de molienda	1
Material de las herramientas de molienda	acero templado
Grinding drum sizes	5 l / 10 l / 21.7 l / 43.3 l
Duración de la molienda	digital
Motor	motor asíncrono trifásico con convertidor de frecuencia
Potencia motriz	0,75 kW
Conexión eléctrica	voltajes diferentes
Alimentación de red	monofásica
Tipo de protección	IP 50
Consumo de potencia	$\sim$ 750 W (VA)
A x H x F cerrado	1500 x 1200 x 700 mm
Peso neto	$\sim$ 295 kg
Normas	CE

Fuente: <http://www.retsch.es>

## Anexo A4: Molino de alta energía.

### Características

Aplicación	trituration, homogeneización, nanomolienda, aleación mecánica, molienda coloidal, molienda de alta energía
Campos de aplicación	agricultura, biología, geología / metalurgia, ingeniería / electrónica, materiales de construcción, medicina / farmacia, medio ambiente / reciclaje, Química, vidrio / cerámica
Tipo de material	semiduro, duro, frágil, fibroso - seco o húmedo
Principio de molienda	impacto, fricción
Granulometría inicial*	< 5 mm
Granulometría final*	< 80 nm
Carga / cant. material alimentado*	máx. 2 x 45 ml
Velocidad a 50 Hz (60 Hz)	300-2000 rpm
Refrigeración	refrigeración interna por agua, controlada (posible conexión al grifo de agua o a un recirculador de refrigeración opcional)
Control de temperatura	sí (temperaturas mínima y máxima definibles)
Número de recipientes de molienda	2
Tipo de rcpte. de molienda	con cierre de seguridad integrado
Material de las herramientas de molienda	acero inoxidable, carburo de tungsteno, óxido de circonio
Vol. rcptes. de molienda	50 ml / 125 ml
Duración de la molienda	00:01:00 to 99:59:59
Operación por intervalos	sí, inversión opcional del sentido de giro
Tiempo de ejecución	00:01:00 to 99:59:59
Tiempo de pausa	00:01:00 to 99:59:59
Rutinas SOP	10
Puertos	USB / LAN ( RJ45)
Motor	motor asíncrono trifásico con convertidor de frecuencia
Potencia motriz	2600 W
Conexión eléctrica	voltajes diferentes
Alimentación de red	monofásica
Tipo de protección	IP 30
Consumo de potencia	~ 3100W (VA)
A x H x F cerrado	625 x 525 x 645 mm
Peso neto	~ 120 kg
Normas	CE
Patente/diseño	molino de laboratorio con recipientes inclinados (US 8042754 B2)

**Fuente:** <http://www.retsch.es>

Anexo B2: Selección de motor.

MATERIAL	GRAVEDAD ESPECÍFICA	DENSIDAD APARENTE	MATERIAL	GRAVEDAD ESPECÍFICA	DENSIDAD APARENTE
Aluminio	2.70	0.7-1	Molibdeno	10.2	3-6.5
Antimonio	6.68	2-2.5	Níquel	8.9	2.5-3.5
Cadmio	8.65	3	Plata	10.50	1.2-1.7
Cobalto	8.9	1.5-3	Plomo	11.3	4-6
Cobre	8.93	0.7-4	Silicio	2.42	0.5-0.8
Cromo	7.1	2.5-3.5	Tungsteno	19.3	5-10
Estaño	5.75	1-3	Zinc	7.14	2.5-3
Magnesio	1.74	0.3-0.7	Hierro y acero	7.85	1-4

**Fuente:** Introducción a la Metalurgia Física de Avner, 2 da edición.

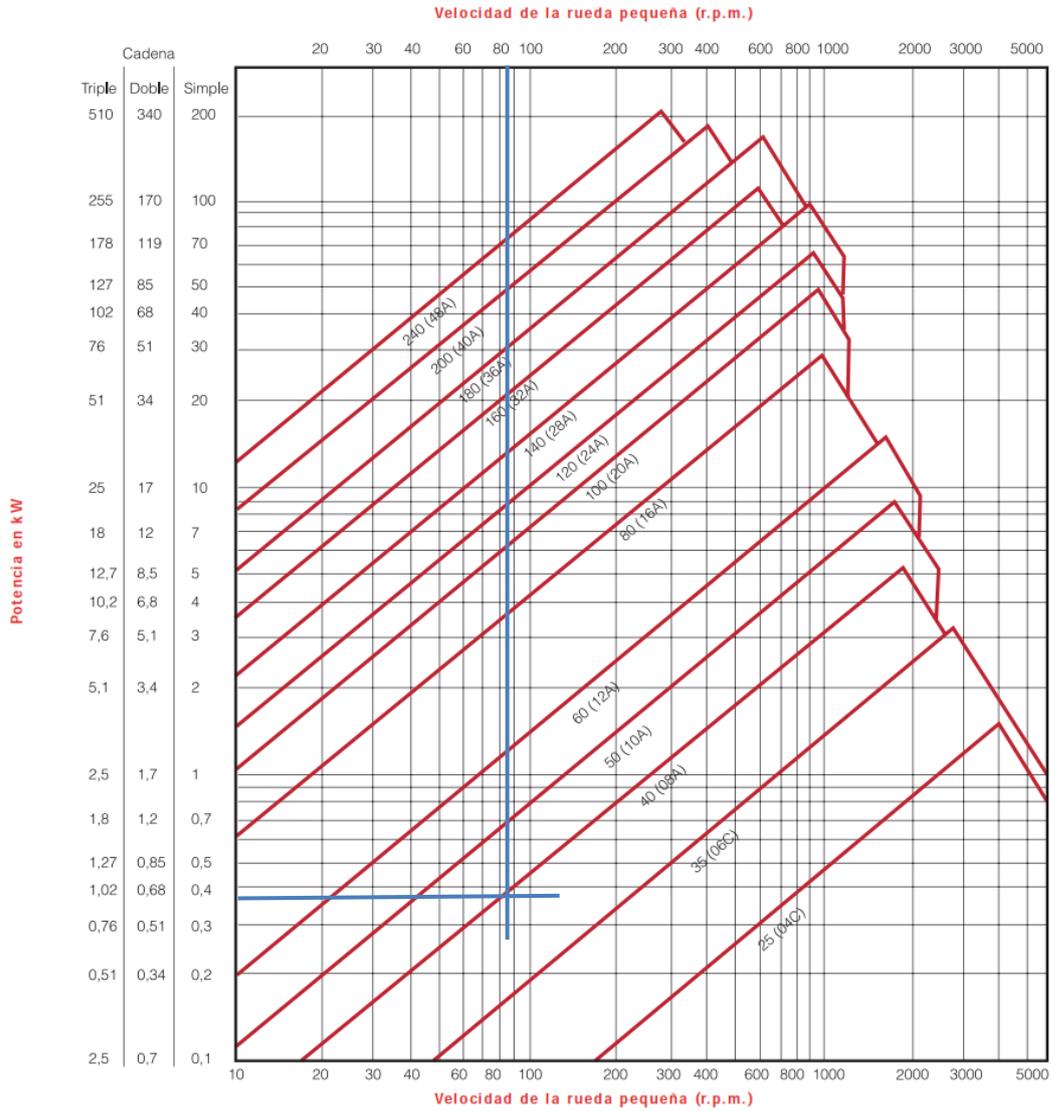
Anexo C1: Selección de motor W22-IE1.

W22 - IE1 Standard Efficiency - 60 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor trabado I/In	Par con rotor trabado Tl/Tn	Par máximo Tb/Tn	Momento de Inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB(A)	RPM	220 V						Corriente nominal In (A)	
kW	HP							% de la potencia nominal					50	75	100	Factor de potencia				
								50	75							100	50	75		100
IV Polos																				
0,09	0,12	63	0,051	5,2	3,2	3,4	0,0003	22	48	7,0	48	1725	45,0	53,0	55,0	0,44	0,52	0,61	0,704	
0,12	0,16	63	0,068	4,5	2,1	2,4	0,0004	25	55	7,0	48	1710	49,0	55,0	58,0	0,45	0,57	0,66	0,830	
0,18	0,25	63	0,103	4,7	2,2	2,4	0,0004	16	35	7,5	48	1710	51,0	58,0	62,0	0,45	0,58	0,67	1,14	
0,37	0,5	71	0,215	4,3	2,1	2,2	0,0007	12	26	10,0	47	1680	60,0	66,0	67,0	0,46	0,59	0,69	2,10	

**Fuente:** Catálogo de motores WEG.

## Anexo D1: Selección de tipo de cadena.



**Fuente:** Catálogo de cadenas de rodillos JORESA.

Anexo D2: Datos de cadenas de rodillos simples.

**Cadenas de rodillos simples, ISO 606 / DIN 8188**

B   A   E   S   L   C  
 Eslabón interior   Eslabón exterior   Eslabón de unión de clip   Eslabón de unión de clip con dos pasadores   Eslabón simple acodado   Eslabón de unión doble codo

ANSI Nr.	Paso p		Ancho b <sub>1</sub> min. mm	Ø rodillo d <sub>1</sub> max. mm	Ø eje d <sub>2</sub> max. mm	Ancho de la malla b <sub>2</sub> max. mm	Altura de la malla g mm	Entrejes de dientes e mm	Longitud del eje a <sub>1</sub> max. mm	Longitud del eje de cierre a <sub>3</sub> max. mm	Superficie de trabajo A cm <sup>2</sup>	Carga de rotura mínima requerida según DIN / ISO F <sub>B</sub> N	Peso ≈ q kg/m	Piezas individuales			
	Inch	mm												S	C	E	L
● 35	0,375	9,525	4,68	5,08 <sup>1)</sup>	3,58	7,47	9,0	-	12,0	14,4	0,27	7 900	0,33	x	x	x	
40	0,50	12,7	7,85	7,95	3,96	11,15	11,6	-	16,3	19,1	0,44	14 100	0,62	x	x	x	
50	0,625	15,875	9,40	10,16	5,08	13,8	14,6	-	20,3	23,0	0,70	22 200	1,01	x	x	x	
■ 60	0,75	19,05	12,57	11,91	5,94	17,7	17,7	-	25,7	28,6	1,05	31 800	1,48	x	x	x	x
80	1,00	25,4	15,75	15,88	7,92	22,5	23,5	-	33,0	38,0	1,78	56 700	2,60	x	x	x	x
100	1,25	31,75	18,90	19,05	9,53	27,4	29,2	-	39,4	44,9	2,61	88 500	3,76	x			x
120	1,50	38,1	25,22	22,23	11,10	35,3	34,4	-	49,8	56,1	3,92	127 000	5,50	x			x

Fuente: Catálogo de cadenas de rodillos JORESA.

Anexo D3: Datos de cadena con denominación 428H.

Denominación	Paso (Distancia entre eje de los pines)	Diametro del Diente	Ancho entre placas interiores	Diametro del Pin	Longitud del Pin	Diametro externo eslabon	Espesor de la placa del eslabon	Resistencia a la tracción
	P	d1	b1	d2	L	h2	T	KN
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
25H	6.35	3.3	3.18	2.31	8.88	6.0	1.0	4.9
270H	8.5	5	4.75	3.28	13.15	8.45	1.8	9.9
420	12.7	7.77	6.25	3.96	14.9	12.0	1.5	16.2
420H	12.7	7.77	6.25	3.96	15.0	12.0	1.55	17.4
428	12.7	8.51	7.75	4.45	16.7	11.8	1.6	18.9
<b>428H</b>	<b>12.7</b>	<b>8.51</b>	<b>7.75</b>	<b>4.45</b>	<b>18.7</b>	<b>11.8</b>	<b>2.03</b>	<b>20.8</b>
520	15.875	10.16	6.25	5.08	17.5	15.09	2.03	26.7
520H	15.875	10.16	6.25	5.08	18.9	15.09	2.42	28.1
530	15.875	10.16	9.4	5.08	20.7	15.09	2.03	26.7
530H	15.875	10.16	9.4	5.08	22.1	15.09	2.42	28.2

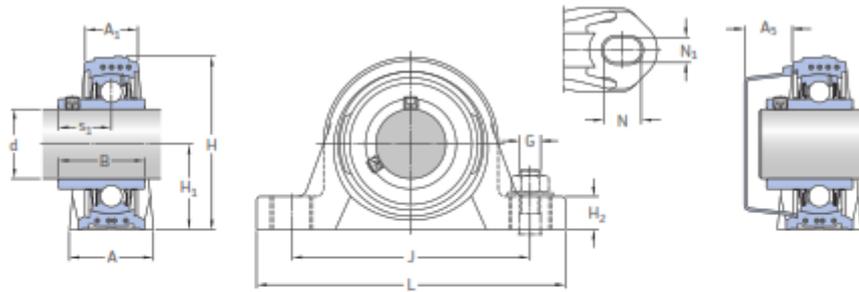
Fuente: Catálogo de cadenas NPC.



Anexo E1: Selección de chumacera.

Unidades de rodamientos Y SKF E2 con soporte de pie de material compuesto y prisioneros, para ejes métricos

d 20 – 40 mm



Dimensiones

d	A	A <sub>1</sub>	B	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	J	L	N	N <sub>1</sub>	G	s <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>
mm													
20	32	21	31	64	33,3	16	96	126	17,6	12,4	M10	18,3	18,5
25	32	22	34,1	70,5	36,5	16	105	134	17,6	12,4	M10	19,8	18
30	40	25	38,1	82	42,9	19	121	159	21,4	14,4	M12	22,2	20
35	45	27	42,9	93	47,6	19	126	164	21,4	14,4	M12	25,4	22
40	48	30	49,2	99	49,2	19	136	176	21,4	14,4	M12	30,2	23,5

Capacidad de carga básica	Carga límite de fatiga	Velocidad límite	Masa	Designación del soporte	Designación del rodamiento	Designación adecuada de la tapa lateral	Designación de la unidad
C	C <sub>G</sub>	P <sub>G</sub>					
kN	kN	r. p. m.	kg	-	-	-	-
12,7	6,55	0,28	8 500	SYK 504	E2.YAR 204-2F	ECY 204	SYK 20 TEF
14	7,8	0,335	7 000	SYK 505	E2.YAR 205-2F	ECY 205	SYK 25 TEF
19,5	11,2	0,475	6 300	SYK 506	E2.YAR 206-2F	ECY 206	SYK 30 TEF
25,5	15,3	0,655	5 300	SYK 507	E2.YAR 207-2F	ECY 207	SYK 35 TEF
30,7	19	0,8	4 800	SYK 508	E2.YAR 208-2F	ECY 208	SYK 40 TEF

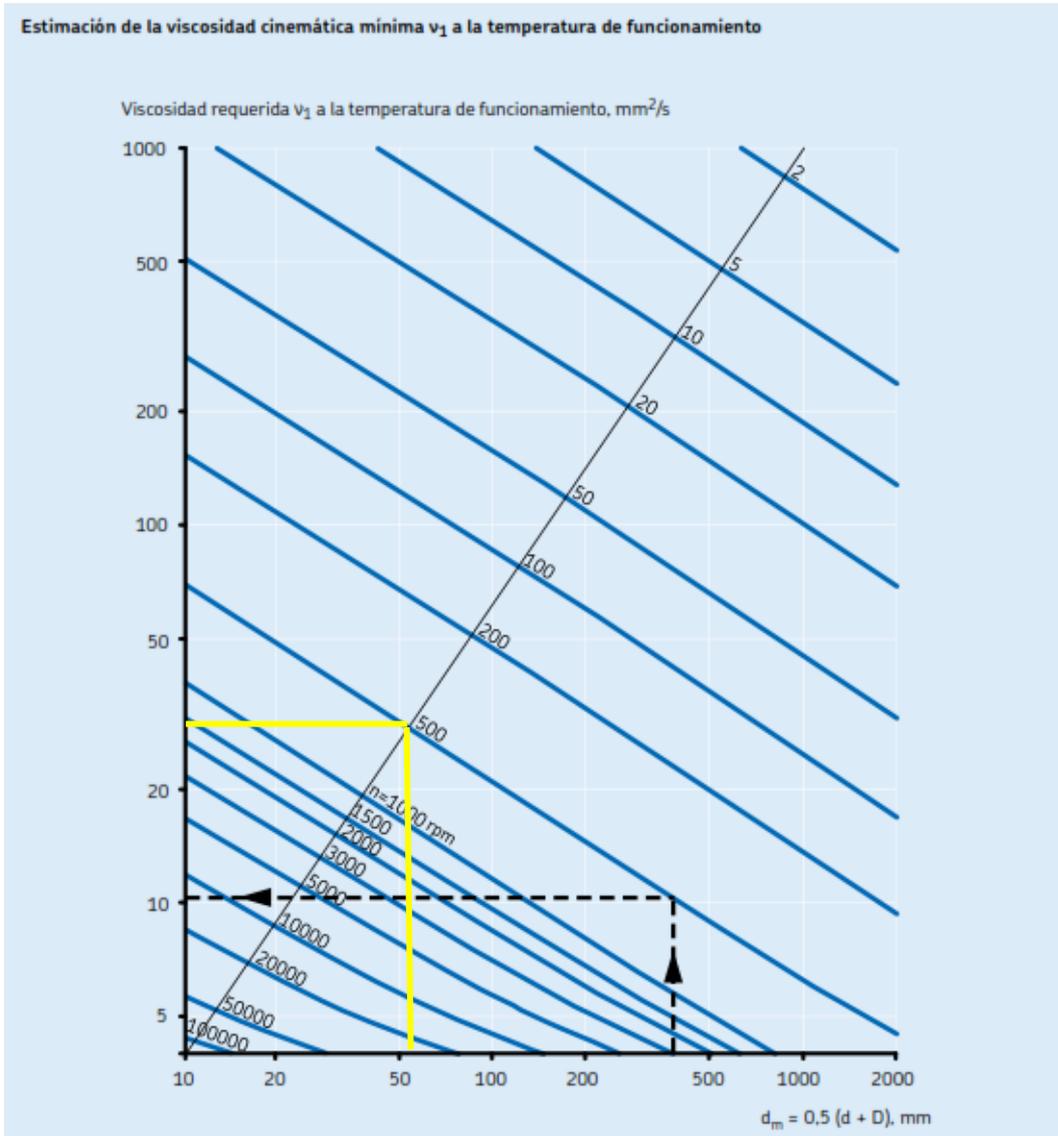
Fuente: Catálogo de chumaceras SKF.

Anexo E2: Tabla de valores el factor de ajuste de la vida a<sub>1</sub>.

Valores para el factor de ajuste de la vida a <sub>1</sub>			
Fiabilidad %	Probabilidad de fallo n %	Vida nominal SKF L <sub>nm</sub>	Factor a <sub>1</sub>
90	10	L <sub>10m</sub>	1
95	5	L <sub>5m</sub>	0,62
96	4	L <sub>4m</sub>	0,53
97	3	L <sub>3m</sub>	0,44
98	2	L <sub>2m</sub>	0,33
99	1	L <sub>1m</sub>	0,21

**Fuente:** Catálogo de rodamientos SKF.

Anexo E3: Selección de la viscosidad cinemática.



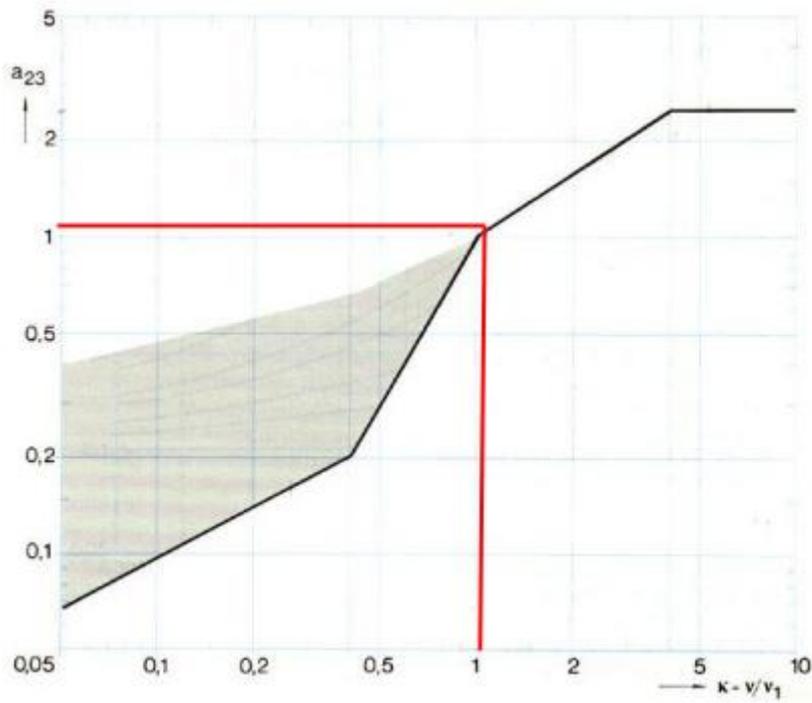
Fuente: Catálogo de rodamientos SKF.

Anexo E4: Grado de viscosidad.

ISO viscosity classification to ISO 3448			
ISO viscosity grade	Kinematic viscosity limits at 40 °C		
	mean	min	max
–	mm <sup>2</sup> /s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165

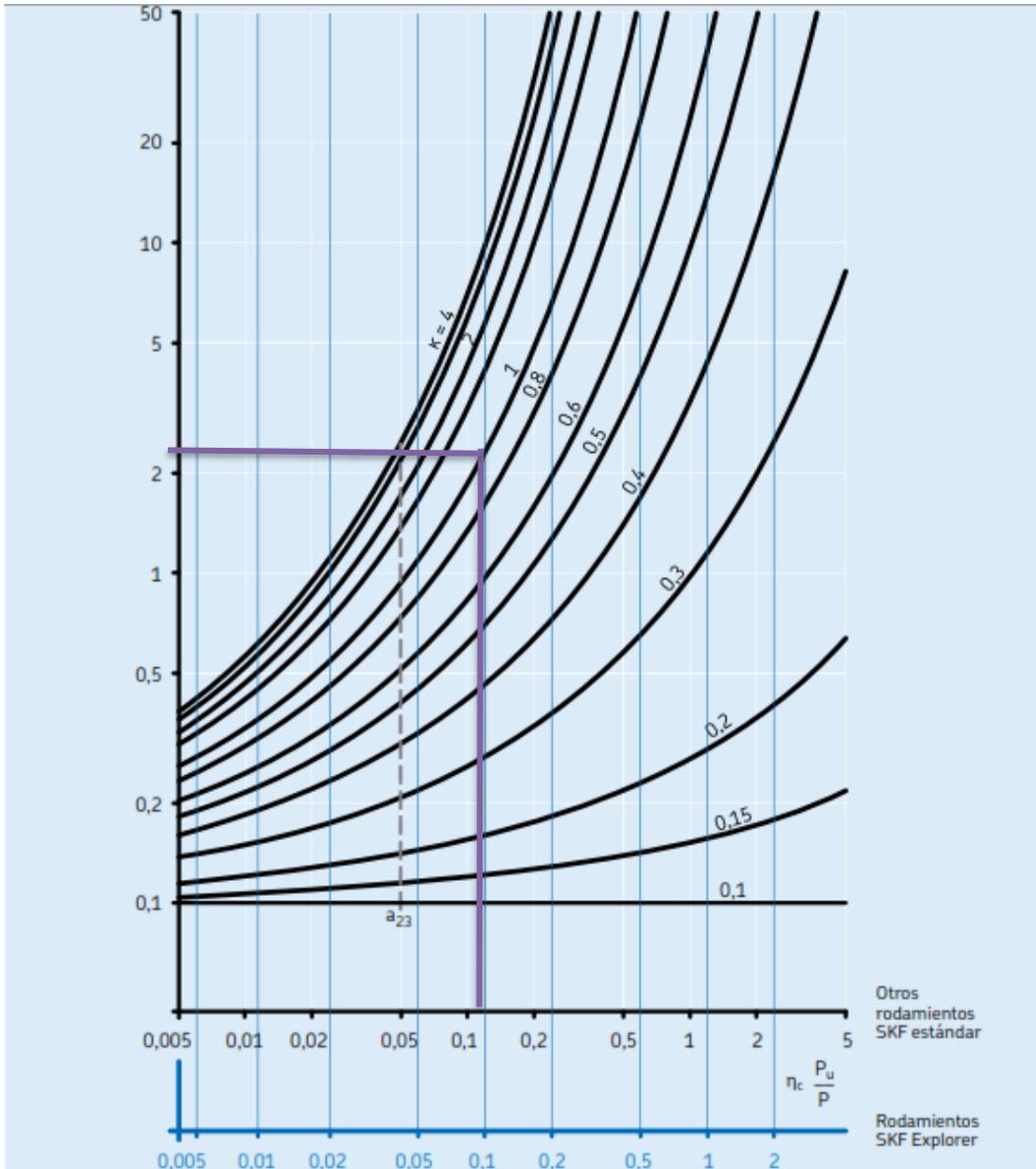
**Fuente:** Catálogo de rodamientos SKF.

Anexo E5: Selección del factor  $a_{23}$ .



**Fuente:** Catálogo de rodamientos SKF.

Anexo E6: Grado de contaminación.



Fuente: Catálogo de rodamientos SKF.

Anexo F1: Proceso de construcción del molino de bolas.

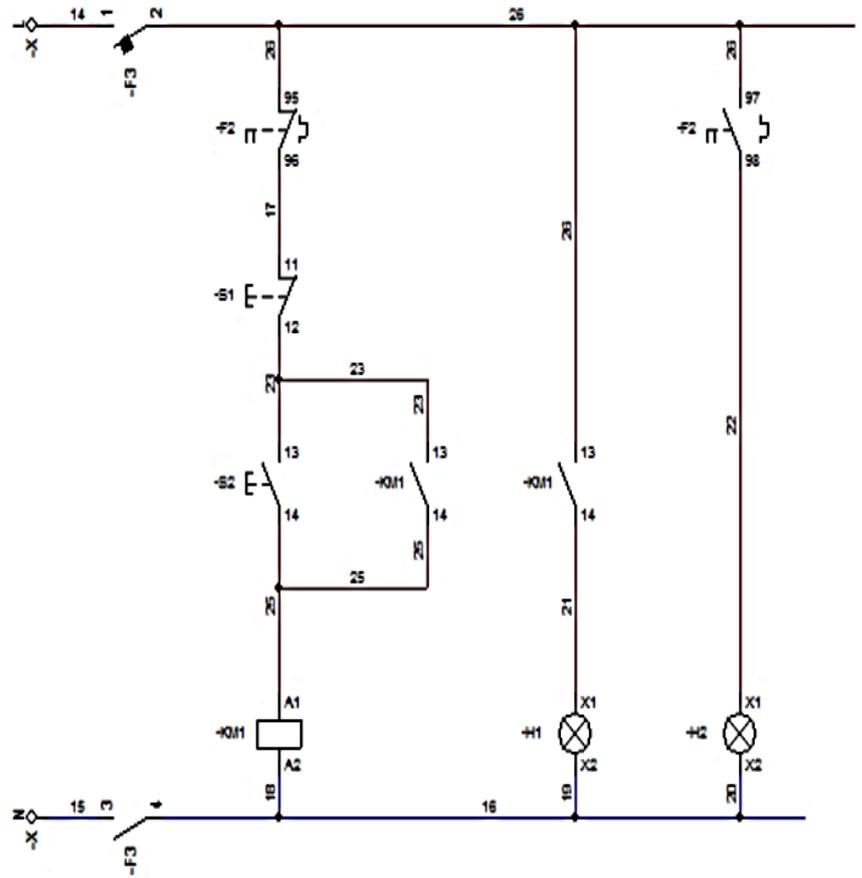
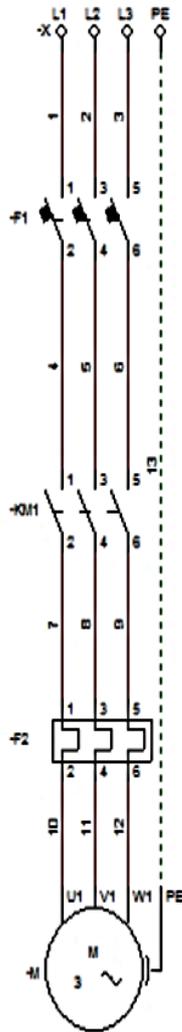






Fuente: Autor.

Anexo F2: Diagrama del circuito eléctrico.



Fuente: Autor.

Anexo F3: Obtención del cuproaluminio.



Fuente: Autor

Anexo F4: Tamaño de grano obtenido.



Fuente: Autor.

Anexo G1: Tabla de remuneraciones.

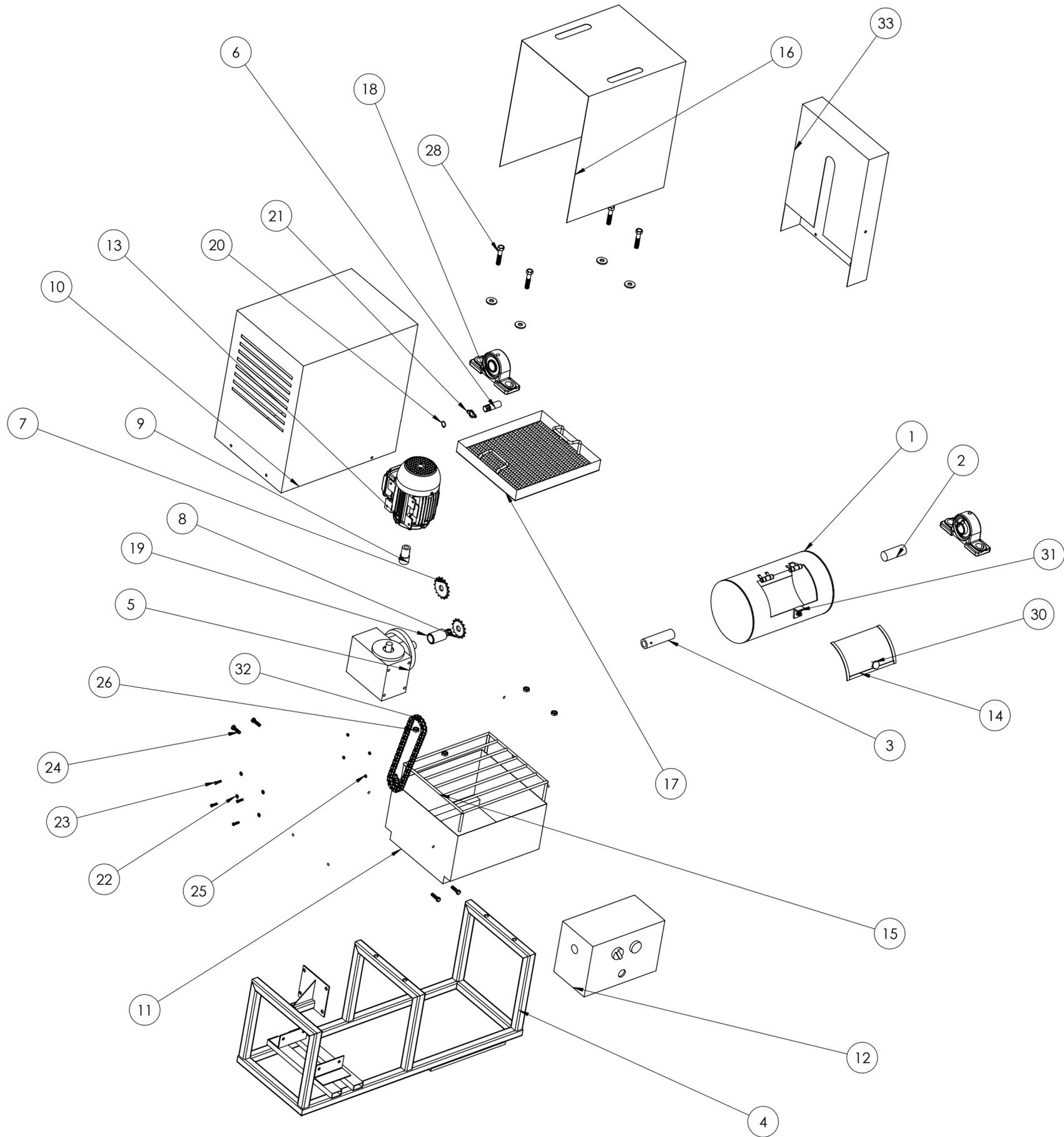
RAMAS DE ACTIVIDAD ECONÓMICA:

- 1.- INDUSTRIAS BÁSICAS DEL HIERRO, ACERO Y METALES NO FERROSOS
- 2.- FABRICACIÓN DE MUEBLES Y ACCESORIOS METÁLICOS
- 3.- FABRICACIÓN DE OTROS PRODUCTOS METÁLICOS (ENVASES, RECIPIENTES, UTENSILLOS DE USO DOMÉSTICO, PRODUCTOS DE TORNILLERÍA, CLAVOS,
- 4.- TUERCAS, ARTÍCULOS DE ALAMBIRE), EXCEPTO MAQUINARIA Y EQUIPOS
- 5.- FABRICACIÓN DE PRODUCTOS METÁLICOS ESTRUCTURALES

CARGO / ACTIVIDAD	ESTRUCTURA OCUPACIONAL	COMENTARIOS / DETALLES DEL CARGO O ACTIVIDAD	CÓDIGO IESS	SALARIO MÍNIMO SECTORIAL 2016
JEFE DE PRIMER NIVEL DEL SECTOR DE METALMECÁNICA	B1	INCLUYE: JEFE DE MANTENIMIENTO, JEFE DE DISTRIBUCIÓN Y LOGÍSTICA, JEFE DE CONTROL DE CALIDAD, JEFE DE RECURSOS HUMANOS, JEFE DE PRODUCCIÓN, JEFE DE BODEGA, JEFE DE PLANTA, JEFE DE PROYECTO, JEFE DE VENTAS, JEFE DE COMPRAS	08100000000001	380,71
JEFE/COORDINADOR DEL SECTOR DE METALMECÁNICA	B2	INCLUYE: JEFE DE SECCIÓN, JEFE DE INSTALACIÓN, JEFE DE TALLER, JEFE DE ENDEZADOR, JEFE DE MAESTRANZA, JEFE DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS; JEFE DE MATRICEROS INCLUYE RODILLOS Y CAJAS DE LAMINACIÓN, JEFE DE TALLERES DE REPETIDORES, JEFE DE MANTENIMIENTO MECÁNICO Y ELÉCTRICO	0804289300002	380,60
ANALISTA/ESPECIALISTA/ INSPECTOR/SUPERVISOR DEL SECTOR DE METALMECÁNICA	B3	INCLUYE: SUPERVISOR DE PRODUCCIÓN, SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO MECÁNICO, SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO, SUPERVISOR DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS, SUPERVISOR DE PATIOS Y MOVIMIENTO, SUPERVISOR DE ENDEZADORA, SUPERVISOR DE BODEGA, SUPERVISOR DE ABASTECIMIENTO DE MATERIA PRIMA, INSPECTOR DE CONTROL DE CALIDAD, INSPECTOR DE PALANQUILLA, INSPECTOR MANTENIMIENTO ELÉCTRICO PREVENTIVO, INSPECTOR MANTENIMIENTO MECÁNICO PREVENTIVO	083000000000003	380,45
TÉCNICOS DEL SECTOR DE METALMECÁNICA	C1	INCLUYE: OPERADOR OMICORTE DIGITAL, OPERADOR BARROADORA DIGITAL, ELECTROMECÁNICO, ELECTRÓNICO, OPERADOR DE CORTE DE HILO, OPERADOR DE MÁQUINAS DE ELECTROEROSIÓN, PREPARADOR DE COLORES, OPERADOR DE SECCIÓN, TORNERO, SOLDADOR ESPECIALIZADO, ELECTRICISTA ESPECIALIZADO, MECÁNICO ESPECIALIZADO, OPERADOR SENIOR	08200000000006	380,35
OPERADOR GENERAL DE MAQUINARIA/EQUIPO DEL SECTOR DE METALMECÁNICA	C2	INCLUYE: OPERADOR JUNIOR, CERRAJERO	08200000000005	380,09
ESMALTADOR Y ENLOZADOR DE UTENSILLOS DE USO DOMÉSTICO	C3		0804289900106	380,09
AUXILIAR / AYUDANTE DEL SECTOR DE METALMECÁNICA	D2	INCLUYE: AYUDANTES EN GENERAL	08200000000009	377,75
AUXILIAR / AYUDANTE DEL SECTOR DE METALMECÁNICA SIN EXPERIENCIA	E2	INCLUYE: AYUDANTES SIN EXPERIENCIA PREVIA	08200000000010	375,37

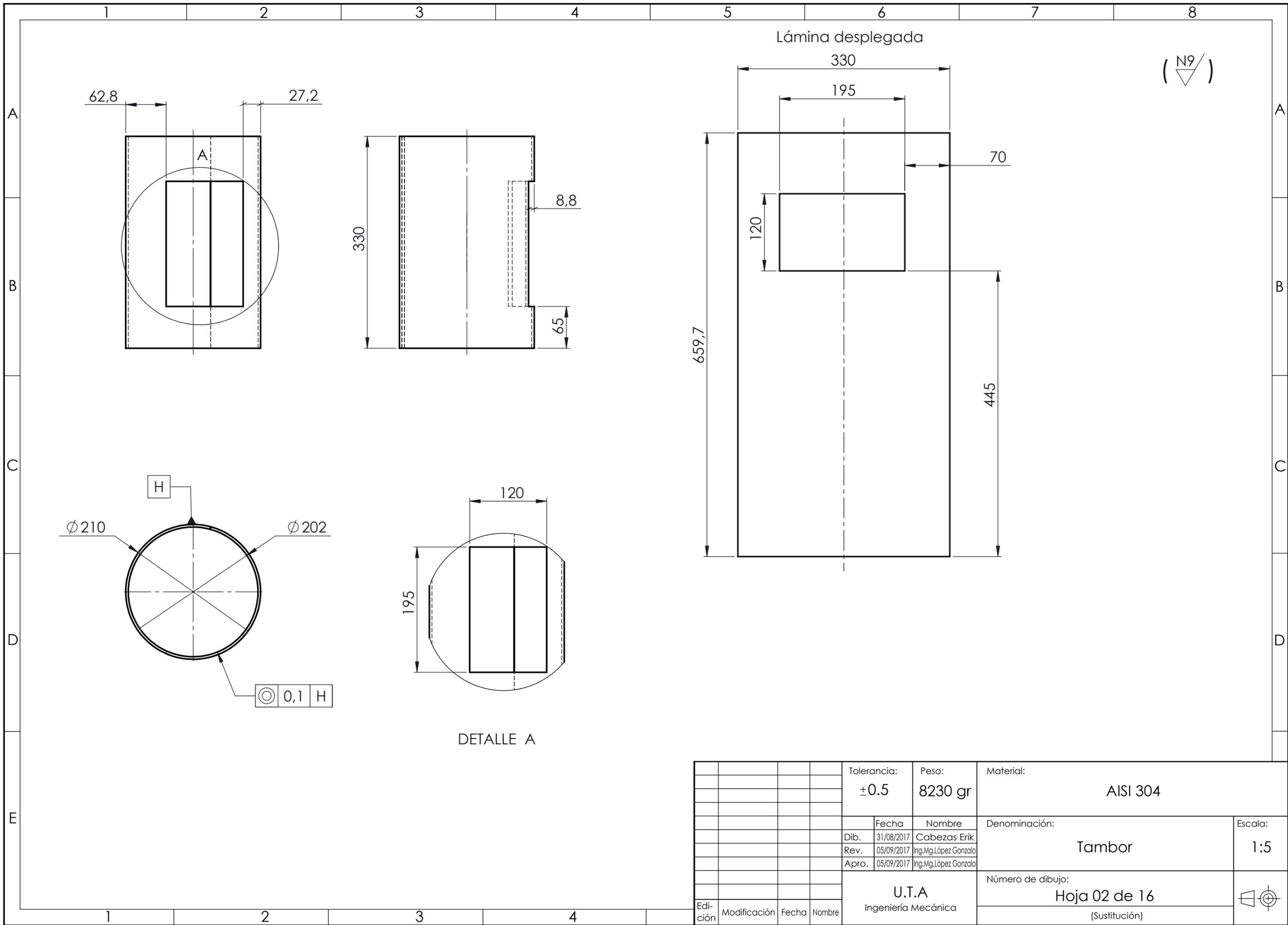
Fuente <http://www.trabajo.gob.ec/>

# Planos



No de Piez	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No de Ord	No. del Modelo/semiproducto	Peso kg/pz	Observaciones
1	Cubierta derecha		Acero galvanizado	33		3,15	
1	Cadena		Varios	32			56 eslabones
1	Picaporte		AISI 304	31			
1	Manija del tambor		AISI 304	30		0,15	
1	Perno hexagonal	ASTM A325	ASTM A354	29			M 8X1,25
4	Perno hexagonal	ASTM A325	ASTM A354	28			M 12X60
1	Tuerca hexagonal	ASTM A563	ASTM A354	27			M 12X1,75
4	Tuerca Hexagonal	ASTM A563	ASTM A354	26			M 5X0,8
4	Perno hexagonal	ASTM A325	ASTM A354	25			M 5X20
4	Perno hexagonal	ASTM A325	ASTM A354	24			M 8X30
4	Arandela plana	ASTM A325	ASTM A354	23			M12X4
4	Arandela plana	ASTM A325	ASTM A354	22			M 5x4
2	Prisionero de piñon			21			
2	Retenedor de piñon			20			
1	Eje de piñon motoreductor	Hoja 14	AISI 1020 Acero laminado en frío	19		0,18	
2	Chumacera		Varios	18			Diam. 1 1/4 "
1	Ensamble tamiz	Hoja 13	Varios	17		0,67	
1	Cubierta central	Hoja 12	Acero galvanizado	16		4,23	
1	Soporte de tamiz	Hoja 11	ASTM A36 Acero	15		1,37	
1	Tapa central del tambor	Hoja 10	AISI 304	14		0,88	
1	Motor		Varios	13			Adquirido
1	Caja de control		Varios	12			Adquirido
1	Recipiente	Hoja 9	Acero galvanizado	11		2,92	
1	Cubierta izquierda	Hoja 8	Acero galvanizado	10		7,15	
1	Acople eje motoreductor	Hoja 7	AISI 1020	9		0,24	
1	Piñon conducido			8			16 dientes
1	Piñon conductor			7			14 dientes
1	Eje piñon conducido	Hoja 6	AISI 1020	6		0,14	
1	Motoreductor		Varios	5			Adquirido
1	Bancada	Hoja 5	ASTM A36	4		12,89	
1	Eje izquierdo	Hoja 4	AISI 304	3		0,62	
1	Eje derecho	Hoja 3	AISI 304	2		0,5	
1	Tambor	Hoja 2	AISI 304	1		8,23	

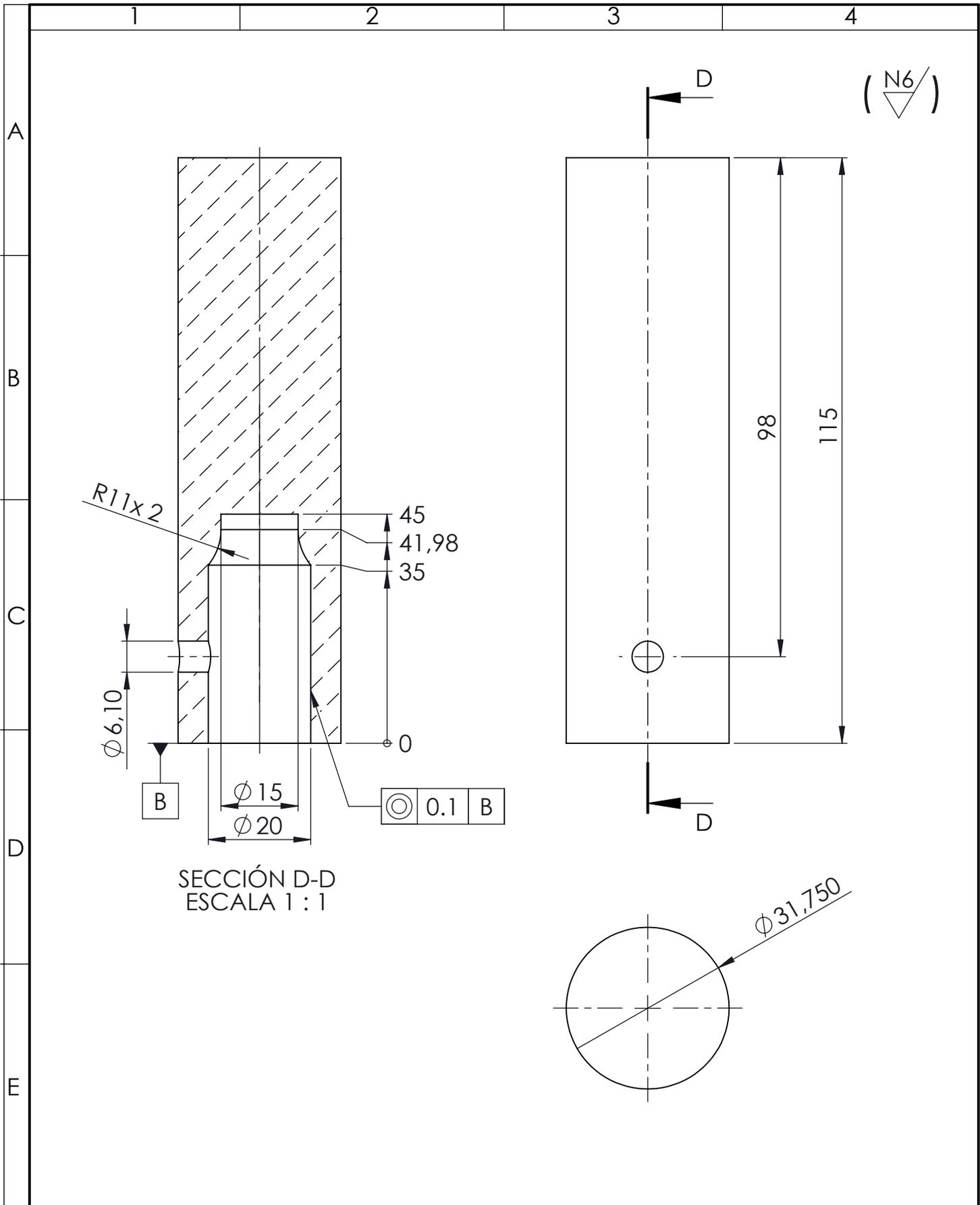
Tolerancia: ±0.5		Peso: 8230 gr		Material: AISI 304	
Fecha: 31/08/2017		Nombre: Cabezas Erick		Denominación: Tambor	
Dib.:		Rev.:		Escala: 1:5	
Rev.:		Apro.:		Número de dibujo: Hoja 01 de 16	
Apro.:				(Sustitución)	
Edición:		U.T.A Ingeniería Mecánica			
Modificación:					
Fecha:					
Nombre:					



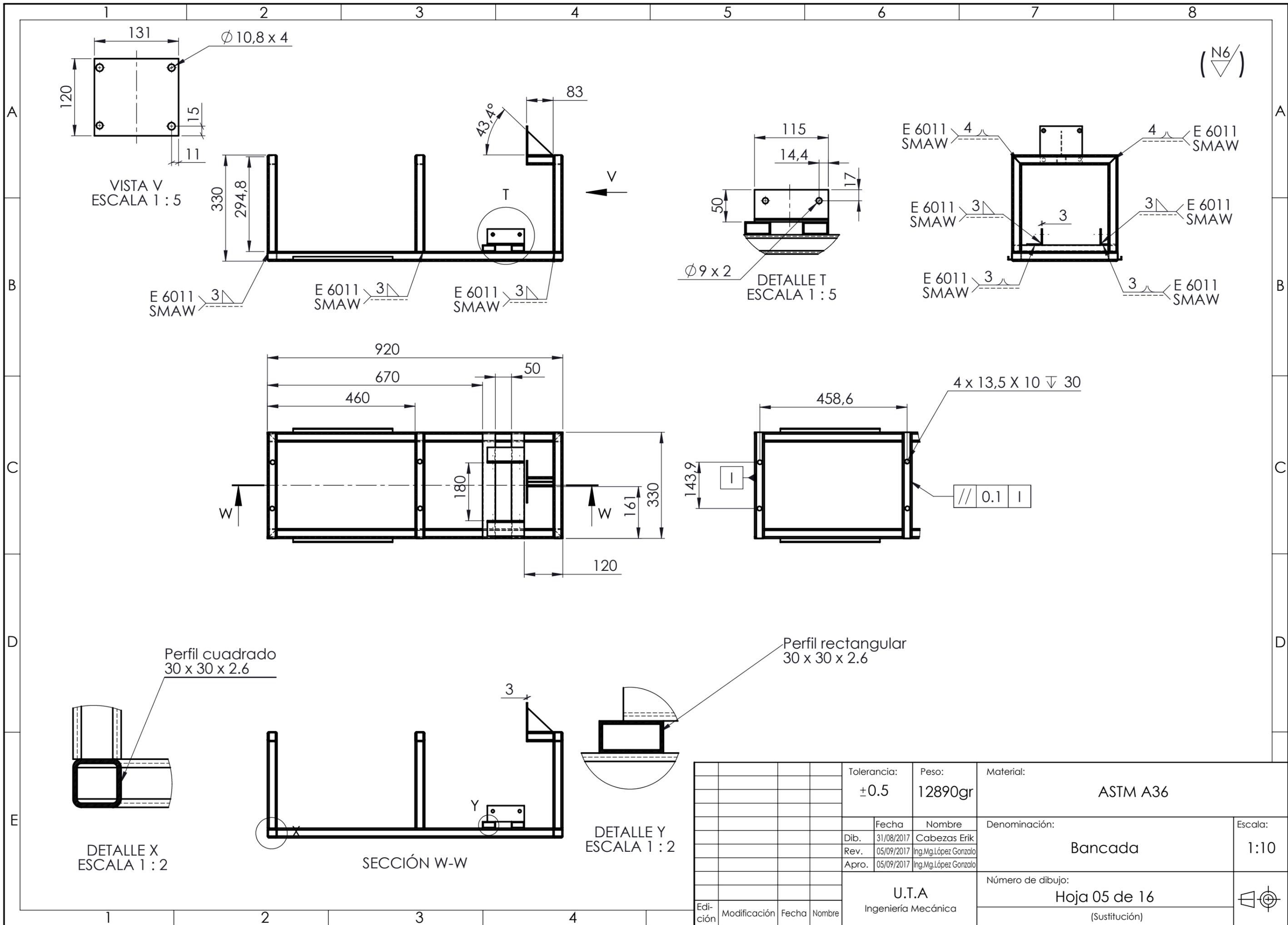
DETALLE A

				Tolerancia: ±0.5	Peso: 8230 gr	Material: AISI 304	
						Denominación: Tambor	Escala: 1:5
						Número de dibujo: Hoja 02 de 16 (Sustitución)	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	U.T.A Ingeniería Mecánica			
				Dib.	31/08/2017	Cabezas Erik	
				Rev.	05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo	
				Apro.	05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo	

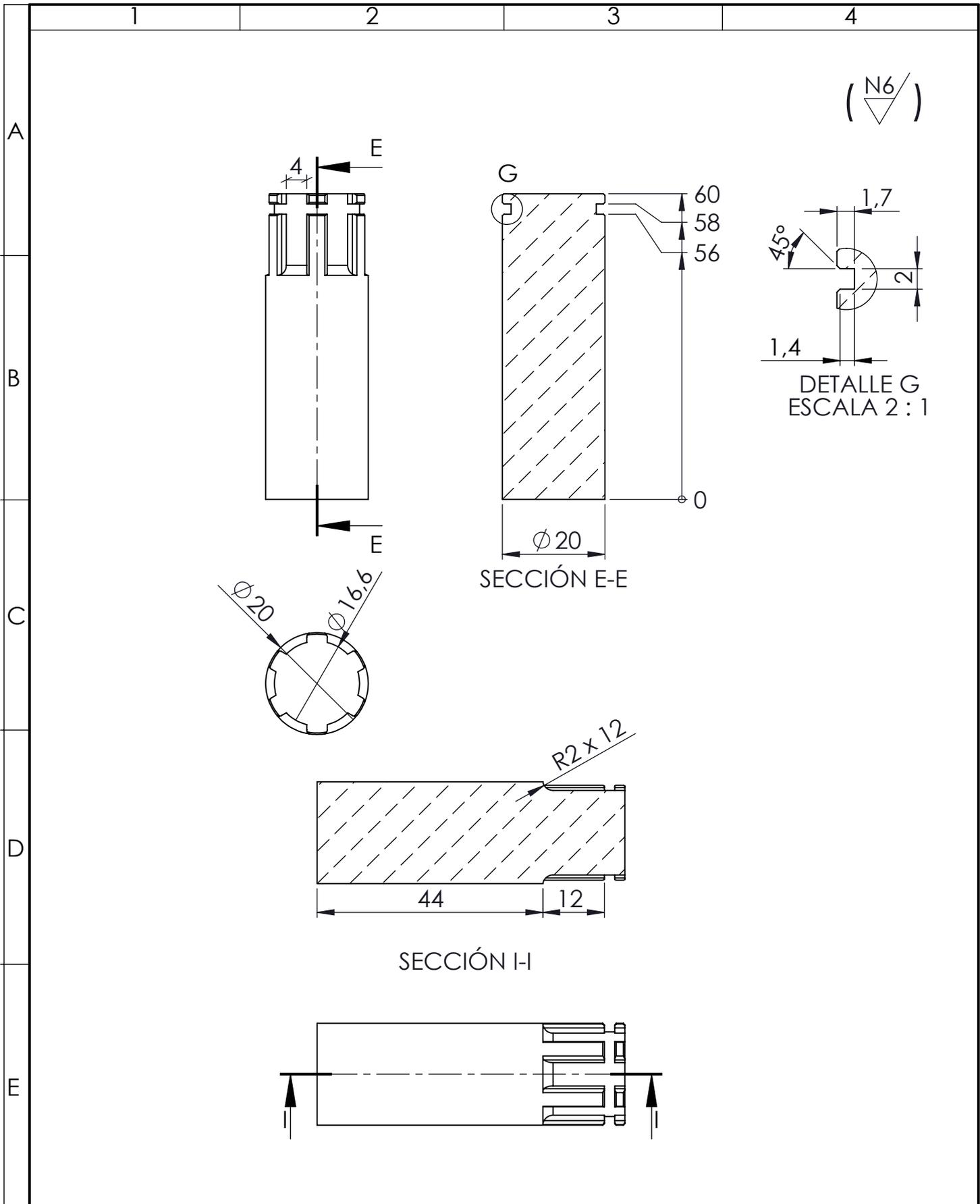




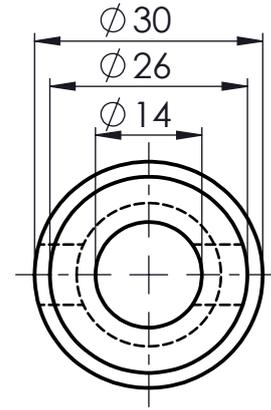
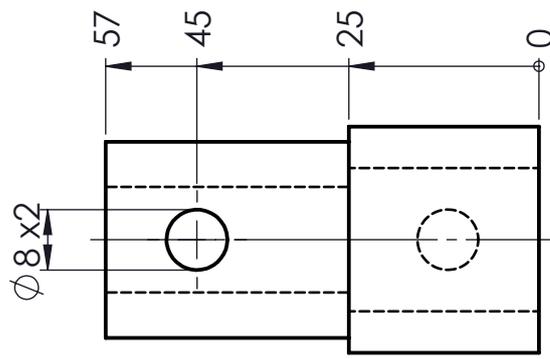
				Tolerancia: $\pm 0.5$	Peso: 620 gr	Material: AISI 304	
						Denominación: Eje izquierdo	Escala: 1:1
				Fecha	Nombre		
				Dib. 31/08/2017	Cabezas Erik		
				Rev. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo		
				Apro. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo		
				U.T.A Ingeniería Mecánica		Número de dibujo: Hoja 04 de 16	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



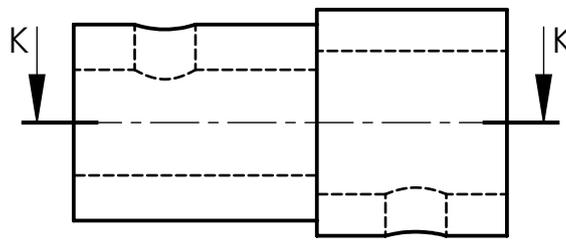
Tolerancia:		Peso:	Material:	
$\pm 0.5$		12890gr	ASTM A36	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Denominación:
		Dib. 31/08/2017	Cabezas Erik	Bancada
		Rev. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo	1:10
		Apro. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo	
U.T.A			Número de dibujo:	Escala:
Ingeniería Mecánica			Hoja 05 de 16	
				(Sustitución)



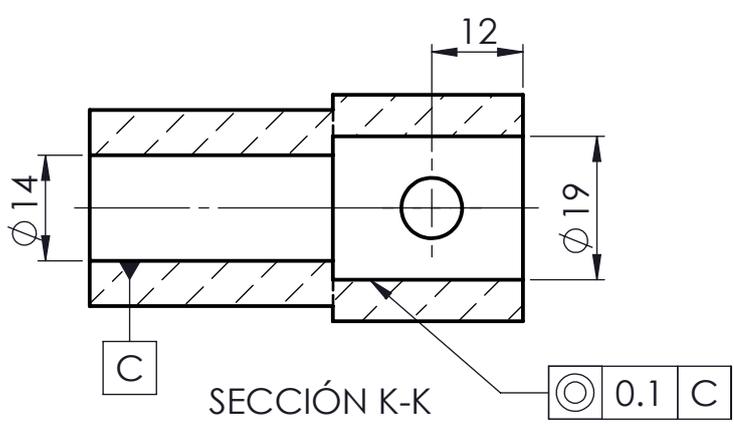
				Tolerancia: $\pm 0.5$	Peso: 1400 gr	Material: AISI 1018 Laminado en frío		
						Denominación: Eje piñon conducido		Escala: 1:1
				Fecha	Nombre			
				Dib. 31/08/2017	Cabezas Erik			
				Rev. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo			
				Apro. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo			
				U.T.A Ingeniería Mecánica		Número de dibujo: Hoja 06 de 16		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		



(N6/)

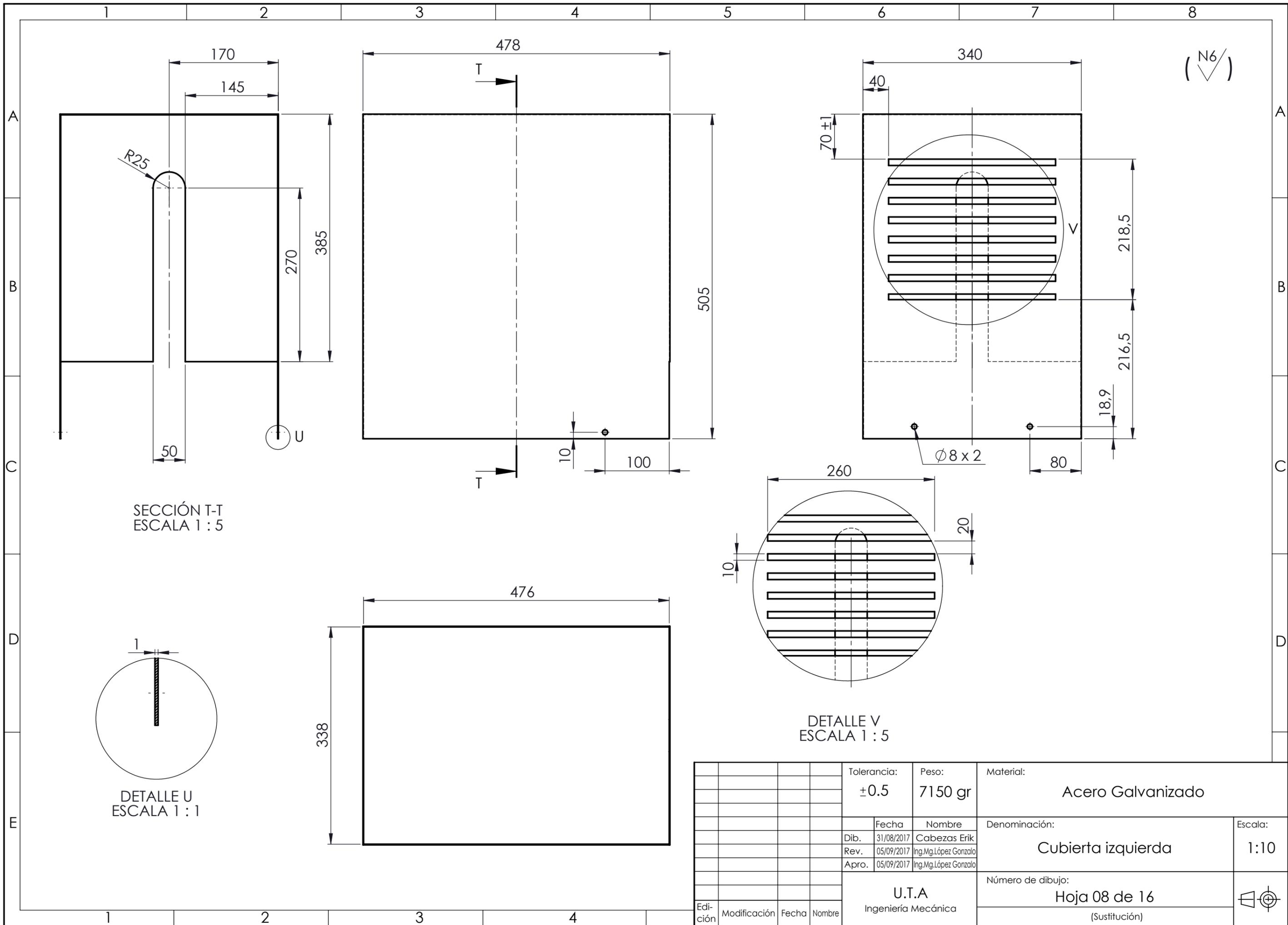


VISTA

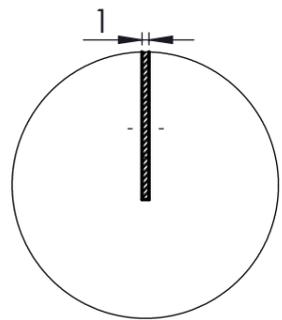


SECCIÓN K-K

				Tolerancia: $\pm 0.5$	Peso: 2400 gr	Material: AISI 1018 Laminado en frío	
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Acople motoreductor</b>	Escala: <b>1:1</b>
				Dib. 31/08/2017	Cabezas Erik		
				Rev. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo		
				Apro. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo	Número de dibujo: <b>Hoja 07 de 16</b>	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	U.T.A Ingeniería Mecánica			



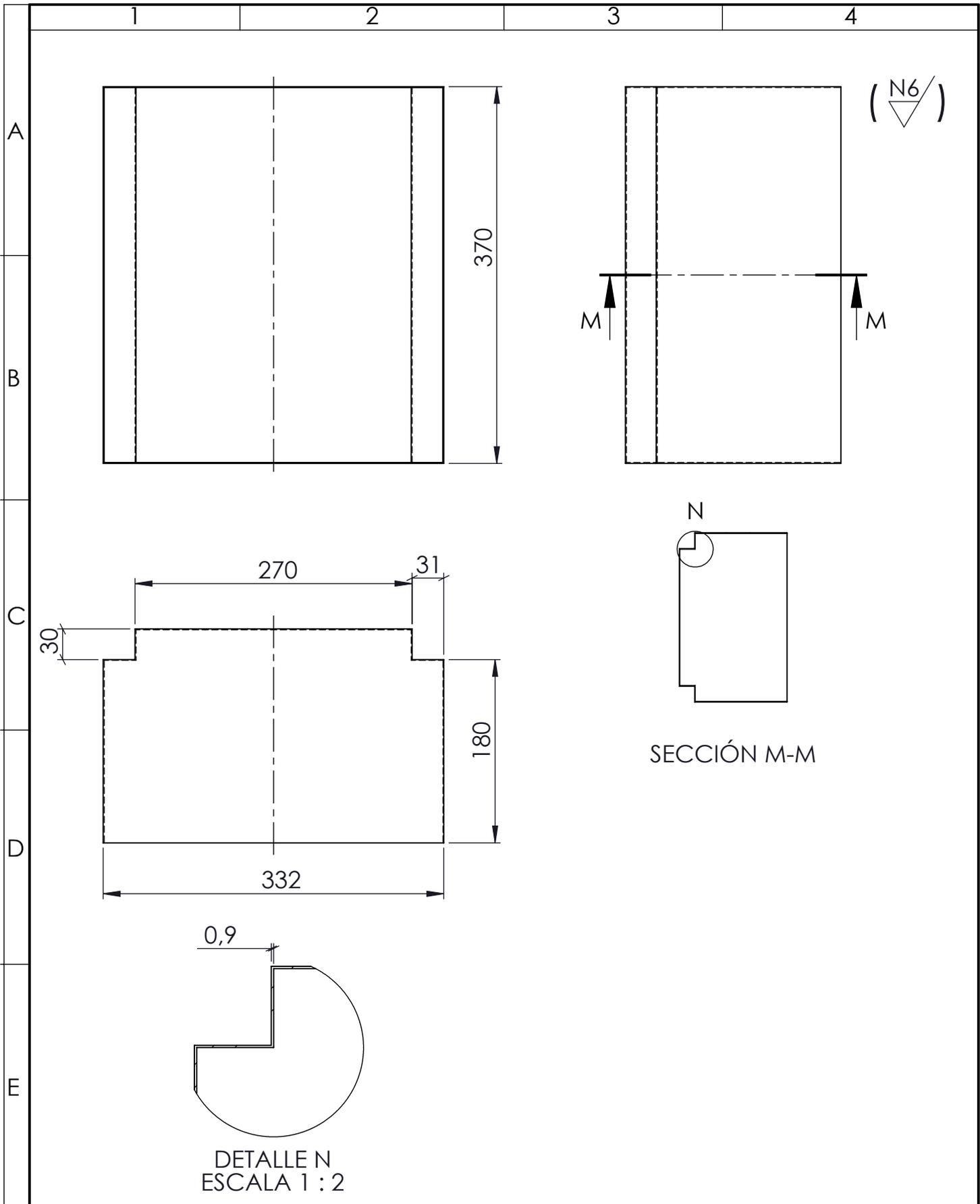
SECCIÓN T-T  
ESCALA 1 : 5



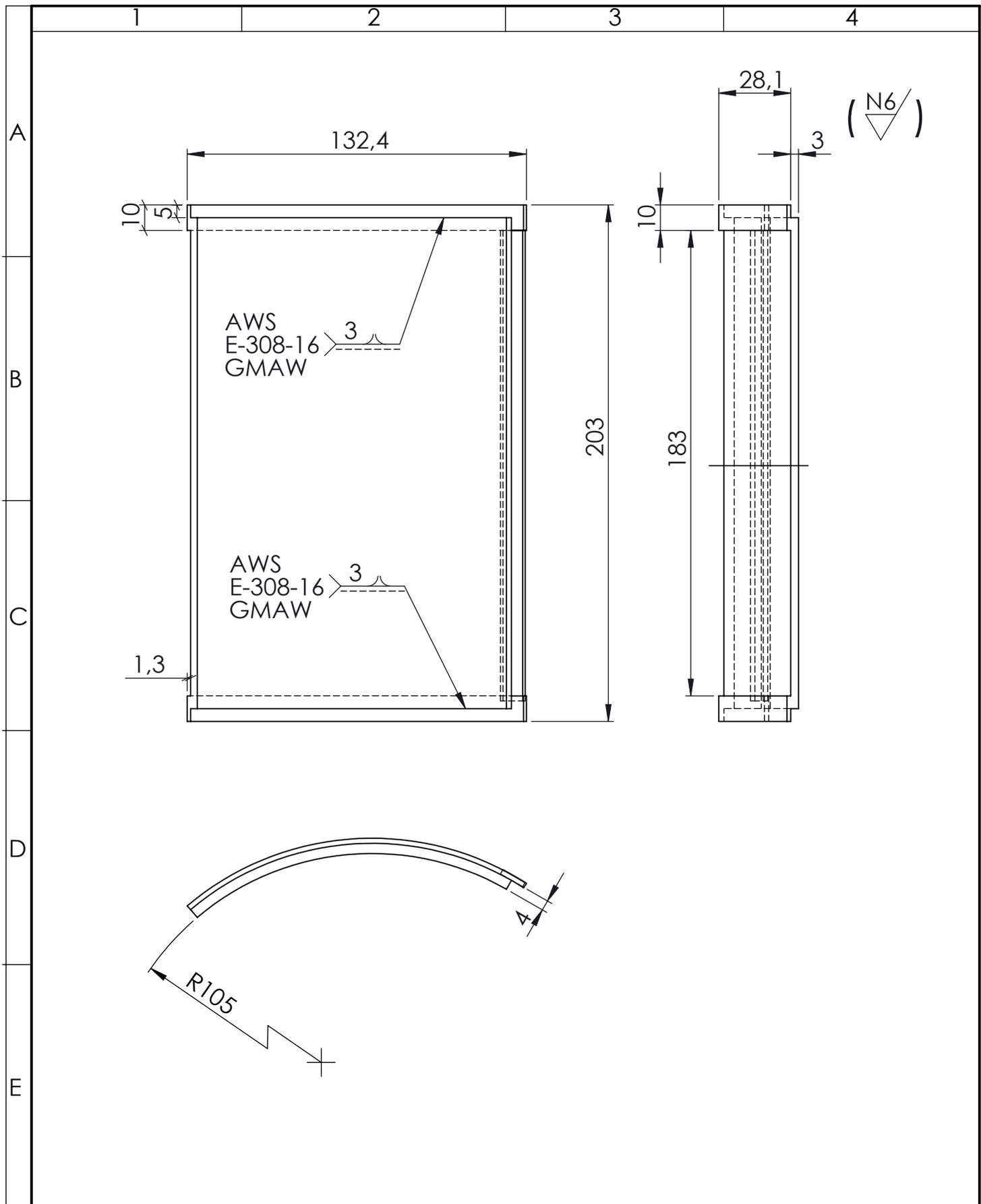
DETALLE U  
ESCALA 1 : 1

DETALLE V  
ESCALA 1 : 5

				Tolerancia: ±0.5	Peso: 7150 gr	Material: Acero Galvanizado	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib. 31/08/2017	Cabezas Erik	Cubierta izquierda	
				Rev. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo	Escala: 1:10	
				Apro. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo	Número de dibujo: Hoja 08 de 16	
				U.T.A Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				

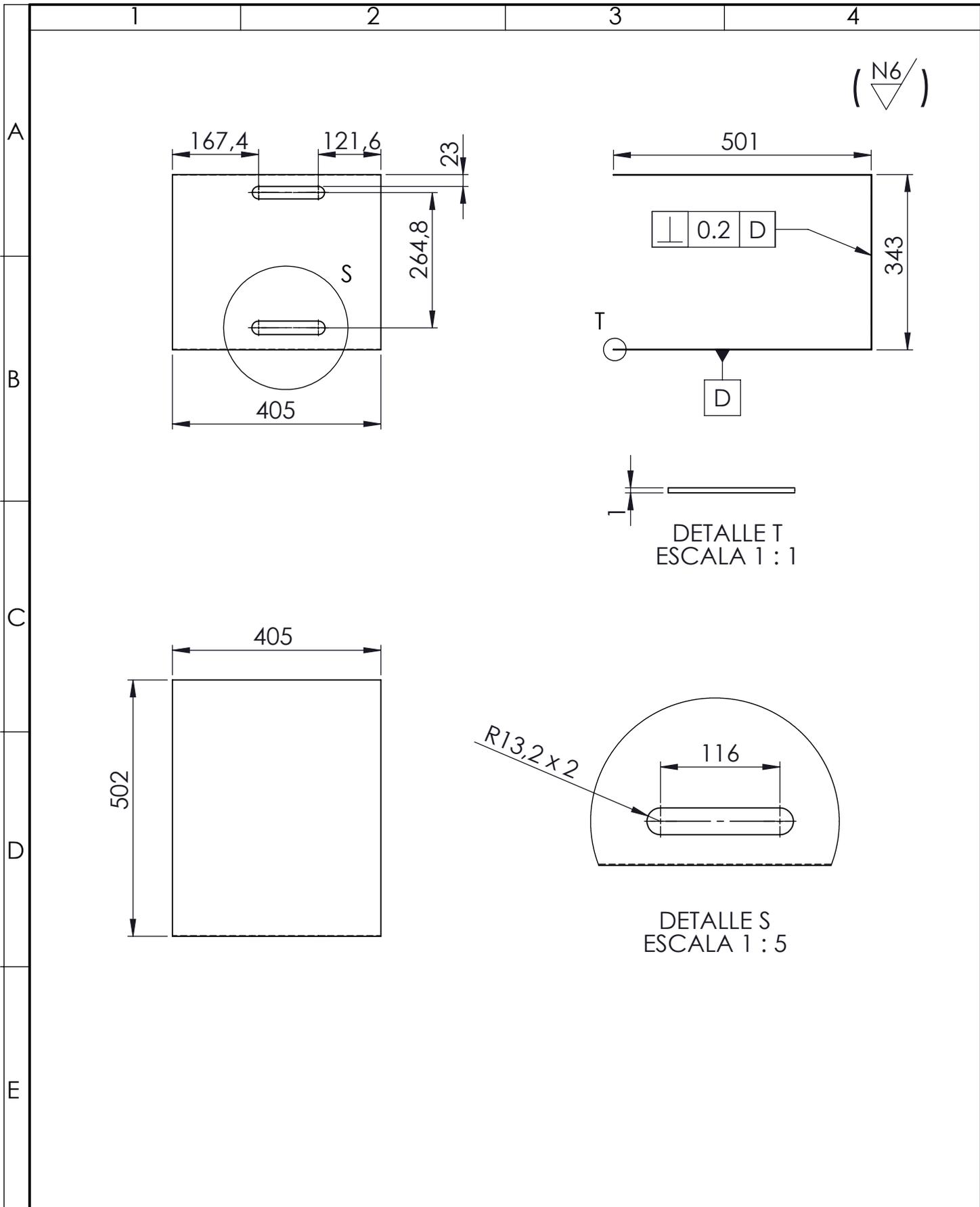


				Tolerancia: $\pm 0.5$	Peso: 2920 gr	Material: Acero Galvanizado	
						Denominación: Recipiente	Escala: 1:5
				Fecha	Nombre		
				Dib. 31/08/2017	Cabezas Erik		
				Rev. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo		
				Apro. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo		
				U.T.A Ingeniería Mecánica		Número de dibujo: Hoja 09 de 16	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia: $\pm 0.5$	Peso: 880 gr	Material: AISI 304		
						Denominación: Tapa central de tambor	Escala: 1:2	
				Dib.	31/08/2017			Cabezas Erik
				Rev.	05/09/2017			Ing.Mg.López Gonzalo
				Apro.	05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo		
				U.T.A Ingeniería Mecánica		Número de dibujo: Hoja 10 de 16		
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

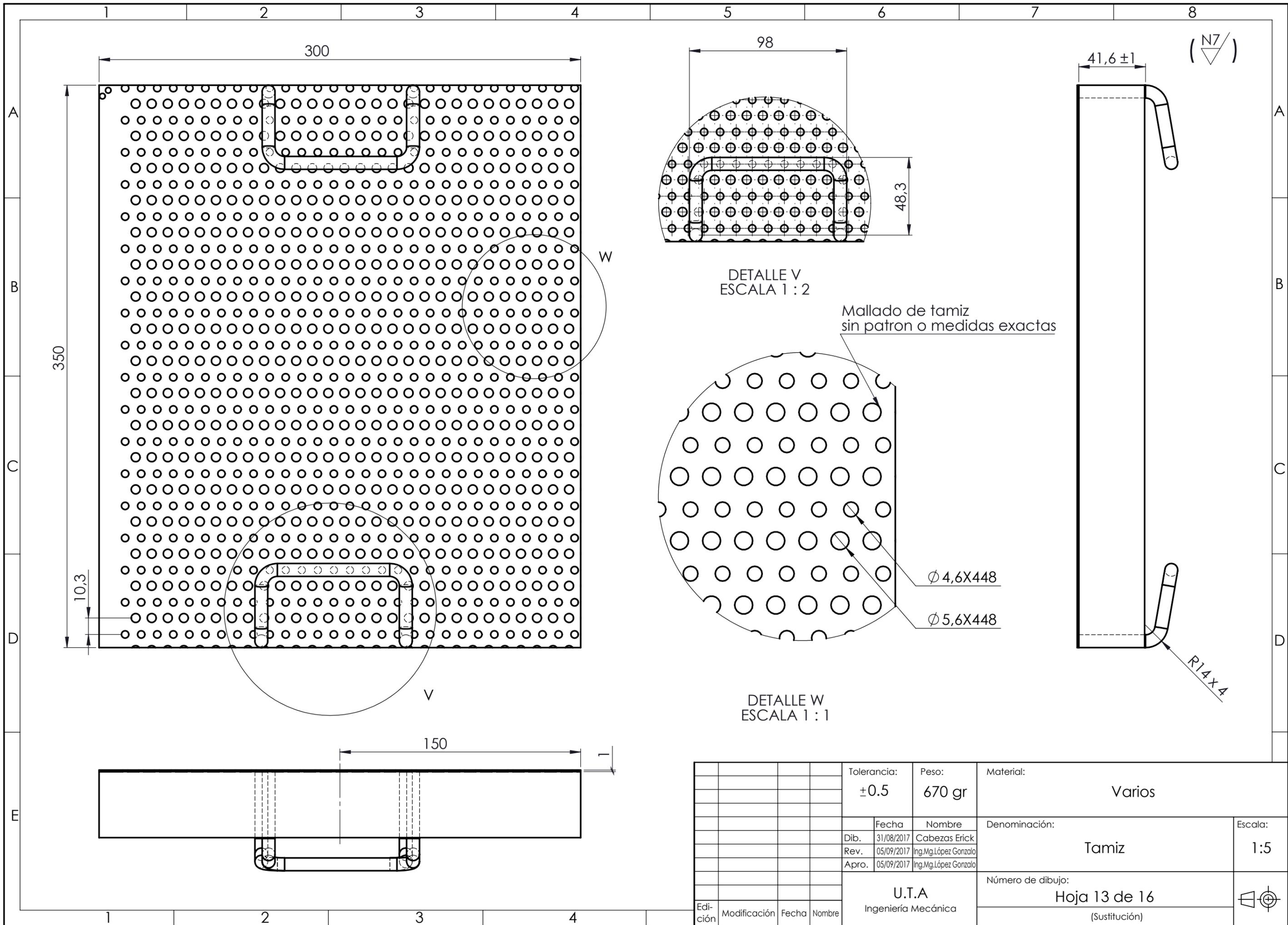




DETALLE T  
ESCALA 1 : 1

DETALLE S  
ESCALA 1 : 5

				Tolerancia: $\pm 0.5$	Peso: 4230 gr	Material: Acero Galvanizado	
						Denominación: Cubierta Central	Escala: 1:10
				Fecha	Nombre		
				Dib. 31/08/2017	Cabezas Erik		
				Rev. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo		
				Apro. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo		
				U.T.A Ingeniería Mecánica		Número de dibujo: Hoja 12 de 16	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



DETALLE V  
ESCALA 1 : 2

DETALLE W  
ESCALA 1 : 1

Mallado de tamiz  
sin patron o medidas exactas

Ø 4,6X448

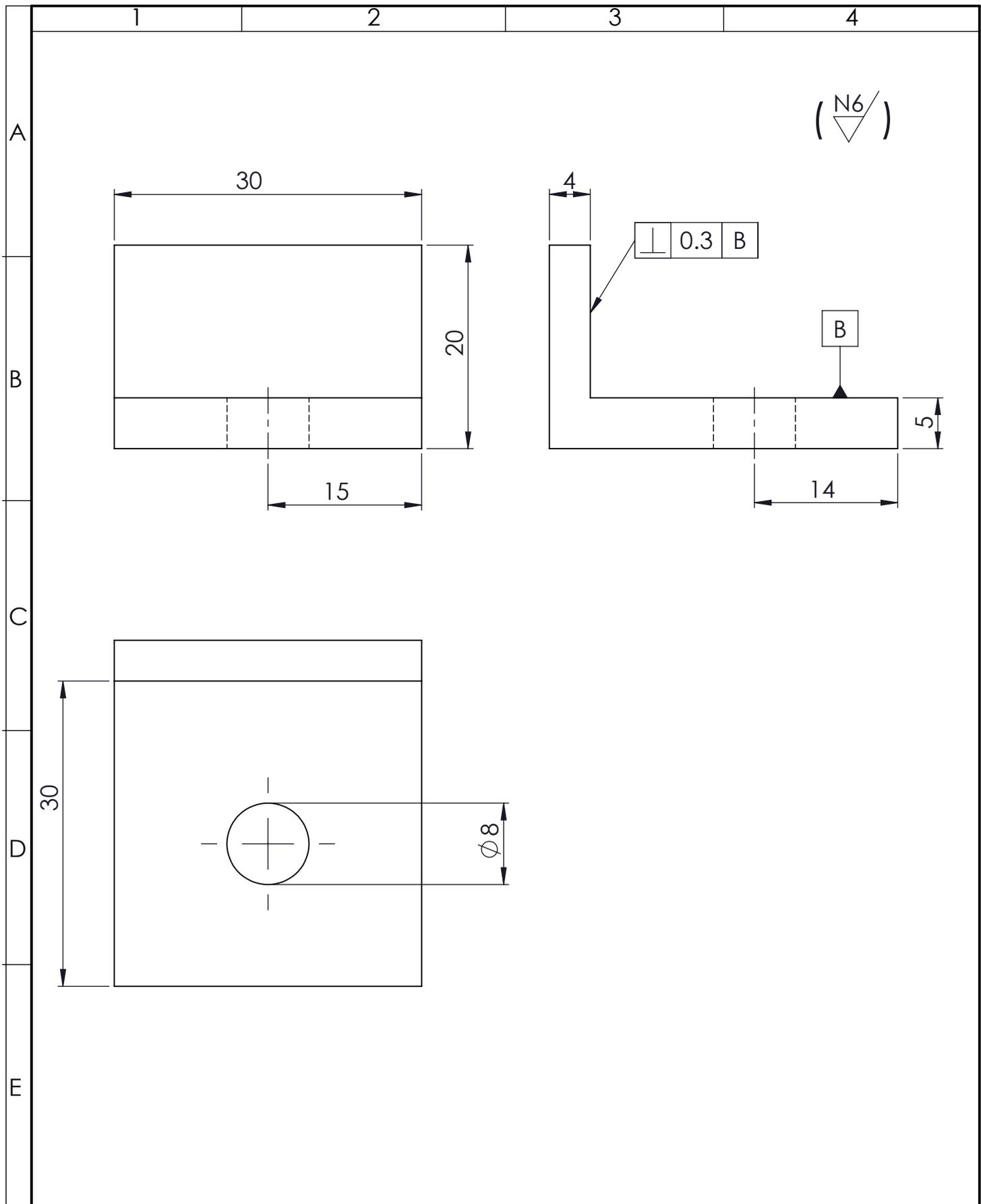
Ø 5,6X448

(N7/)

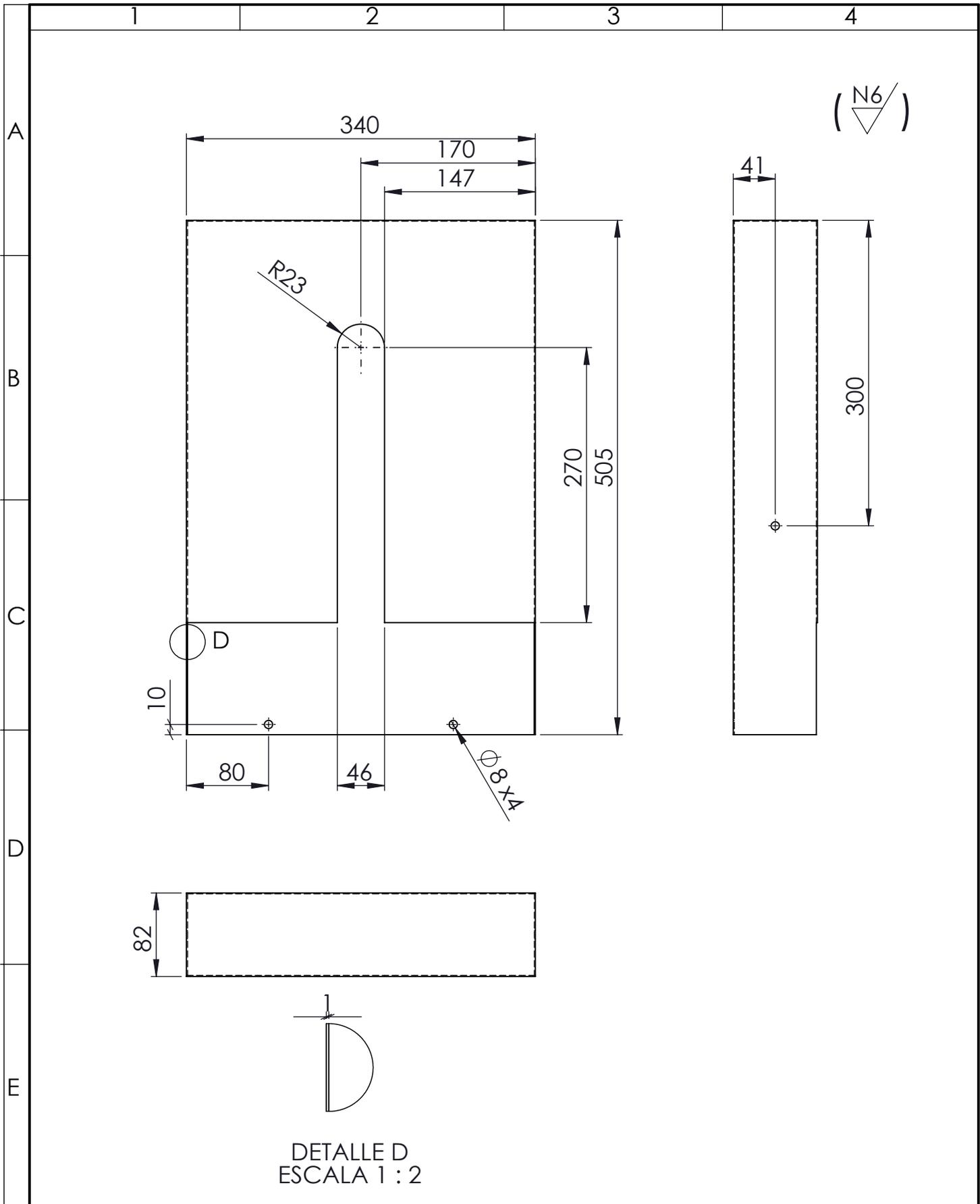
R14x4

				Tolerancia: ±0.5	Peso: 670 gr	Material: Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib. 31/08/2017	Cabezas Erick	Tamiz	
				Rev. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo	Escala: 1:5	
				Apro. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo		
				U.T.A Ingeniería Mecánica		Número de dibujo: Hoja 13 de 16 (Sustitución)	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				





				Tolerancia: $\pm 0.5$	Peso: 500 gr	Material: AISI 304	
						Denominación: Picaporte	Escala: 2:1
				Dib.	31/08/2017		
				Rev.	05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo	
				Apro.	05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo	
				U.T.A Ingeniería Mecánica		Número de dibujo: Hoja 15 de 16 (Sustitución)	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				



DETALLE D  
ESCALA 1 : 2

				Tolerancia: $\pm 0.5$	Peso: 3150 gr	Material: Acero Galvanizado	
						Denominación: Cubierta Derecha	Escala: 1:5
				Fecha	Nombre		
				Dib. 31/08/2017	Cabezas Erik		
				Rev. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo		
				Apro. 05/09/2017	Ing.Mg.López Gonzalo		
				U.T.A Ingeniería Mecánica		Número de dibujo: Hoja 16 de 16	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	