



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO PARA LA  
REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE LOS MINERALES PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DE METALES PRECIOSOS DENTRO DEL  
LABORATORIO DE MINERALOGÍA DE LA ESPOCH**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORAS: MEYBOL PAULINA SAMPEDRO SEMANATE**

**LISETH CAROLINA ZAVALA ROMERO**

**DIRECTOR: Ing. CARLOS RAMIRO CEPEDA GODOY, MSc.**

Riobamba - Ecuador

2022

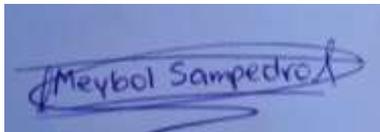
**©2022 Meybol Paulina Sampedro Semanate & Carolina Liseth Zavala Romero**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotras, MEYBOL PAULINA SAMPEDRO SEMANATE y LISETH CAROLINA ZAVALA ROMERO, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 21 de noviembre de 2022.



**Meybol Paulina Sampedro Semanate**  
C.I. 055007223-5



**Liseth Carolina Zavala Romero**  
C.I. 210043854-4

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico. **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO PARA LA REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE LOS MINERALES PREVIO A LA OBTENCIÓN DE METALES PRECIOSOS DENTRO DEL LABORATORIO DE MINERALOGÍA DE LA ESPOCH**, realizado por las señoritas **MEYBOL PAULINA SAMPEDRO SEMANTE** y **LISETH CAROLINA ZAVALA ROMERO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Segundo Hugo Calderón, MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-11-21
Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy, MSc. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-11-21
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza, MSc. <b>ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-11-21

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mis padres José, Elizabeth y mi hermano Santiago por el amor, esfuerzo, apoyo incondicional y sus incansables oraciones durante esta etapa y a lo largo de mi vida, lo que me ha permitido cumplir esta meta.

A mi amada hija Sofía quien me motiva cada día a ser mejor mamá, hija y ser humano.

***Liseth***

El presente Trabajo de Integración Curricular va dedicado a mi madre Teresa Semanate por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi formación tanto personal como académica, a mi padre José Sampedro por ser mi fuente de motivación al apoyarme moralmente, a mis hermanos Wilmer, María José, Cesar, Karla y Renny Sampedro Semanate por su cariño, confianza, apoyo moral y económico que supieron brindarme durante esta etapa de mi vida.

A todos mis sobrinos por la felicidad que generan en mi vida todos los días y darme ánimos en momentos difíciles.

A mis amigos Francis y Adela por estar junto a mí toda mi etapa universitaria, gracias por no dejar que me rindiera y ser mis confidentes.

A mí por ser perseverante durante todos estos años.

***Meybol***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos en primer lugar a Dios por la vida, las bendiciones y por habernos permitido llegar a alcanzar esta meta, a nuestra querida ESPOCH por abrirnos sus puertas y permitirnos ser parte de ella. Agradecemos también a los docentes de la carrera de Ingeniería Química que fueron un ejemplo no solo de profesionales sino de seres humanos también, a la ingeniera Georgina Olalla responsable del laboratorio de mineralogía quien siempre tuvo la predisposición de guiarnos.

De manera especial y con mucha gratitud al Ingeniero Ramiro Cepeda y la Ingeniera Mayra Zambrano, quienes sin dudar confiaron en nosotras y con mucha paciencia nos han acompañado en nuestro trabajo de titulación compartiendo su experiencia y conocimiento, guiándonos para culminar con éxito nuestro trabajo.

*Meybol & Carolina*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	<b>DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
1.1	<b>Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
1.2.	<b>Planteamiento del Problema .....</b>	<b>2</b>
1.3.	<b>Justificación .....</b>	<b>3</b>
1.4.	<b>Objetivos .....</b>	<b>4</b>
1.4.1.	<i>Objetivo General .....</i>	<i>4</i>
1.4.2.	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>4</i>

### CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1.	<b>Antecedentes de investigación.....</b>	<b>5</b>
2.2.	<b>Referencias Teóricas.....</b>	<b>5</b>
2.2.1.	<i>Minerales .....</i>	<i>6</i>
2.2.1.1.	<i>Propiedades .....</i>	<i>6</i>
2.2.1.2.	<i>Clasificación de los minerales .....</i>	<i>8</i>
2.2.2.	<i>Prospección Química .....</i>	<i>10</i>
2.2.3.	<i>Minerales extraídos en el Ecuador .....</i>	<i>11</i>
2.2.4.	<i>Clasificación de molinos .....</i>	<i>12</i>
2.2.4.1.	<i>Molino de martillos.....</i>	<i>12</i>
2.2.4.2.	<i>Molino vertical o de rodillos.....</i>	<i>12</i>
2.2.4.3.	<i>Molinos Pendulares .....</i>	<i>13</i>
2.2.4.4.	<i>Molinos de barras .....</i>	<i>14</i>

2.2.4.5.	<i>Molino de bolas</i> .....	144
2.2.5.	<b><i>Parámetros para la selección de alternativas</i></b> .....	16
2.2.5.1.	<i>Tamaño de la partícula de ingreso</i> .....	166
2.2.5.2.	<i>Tiempo de molienda</i> .....	166
2.2.5.3.	<i>Tipo de molienda</i> .....	166
2.2.5.4.	<i>Potencia requerida para el molino</i> .....	166
2.2.6.	<b><i>Equipos y herramientas</i></b> .....	17
2.2.6.1.	<i>Prensa hidráulica</i> .....	17
2.2.6.2.	<i>Roladora tipo Pinch</i> .....	177
2.2.6.3.	<i>Fresadora</i> .....	177
2.2.6.4.	<i>Pulidora</i> .....	178
2.2.6.5.	<i>Taladro</i> .....	18
2.2.6.6.	<i>Compresor</i> .....	18
2.2.7.	<b><i>Materiales</i></b> .....	18

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	19
3.1.	<b>Localización del Proyecto</b> .....	19
3.2.	<b>Metodología</b> .....	200
3.3.	<b>Selección del molino</b> .....	200
3.4.	<b>Análisis de alternativas</b> .....	211
3.5.	<b>Ensayos para determinar las propiedades de los minerales</b> .....	22
3.5.1.	<i>Microscopia de barrido electrónico</i> .....	222
3.5.2.	<i>Dureza</i> .....	222
3.5.3.	<i>Fragilidad</i> .....	233
3.5.4.	<i>Densidad</i> .....	233
3.6.	<b>Diseño</b> .....	233
3.6.1.	<i>Densidad del mineral</i> .....	233
3.6.2.	<i>Diseño del tambor</i> .....	233
3.6.3.	<i>Volumen del cilindro</i> .....	244
3.6.4.	<i>Peso de los cuerpos moledores</i> .....	24
3.6.5.	<i>Dimensionamiento de las tapas del tambor</i> .....	255
3.6.6.	<i>Potencia Teórica necesaria</i> .....	255
3.6.7.	<i>Potencia real necesaria</i> .....	255
3.6.8.	<i>Velocidad de giro</i> .....	25
3.6.9.	<i>Cálculo de la velocidad crítica</i> .....	266

3.6.10.	<i>Diseño del eje</i> .....	266
3.6.10.1.	<i>Torque</i> .....	266
3.6.10.2.	<i>Cargas y momento flector</i> .....	266
3.6.10.3.	<i>Diámetro mínimo de eje</i> .....	277
3.6.10.4.	<i>Factor de seguridad</i> .....	277
3.6.11.	<i>Diseño de la transmisión</i> .....	28
3.6.11.1.	<i>Relación de transmisión</i> .....	28
3.6.11.2.	<i>Selección de correas</i> .....	28
3.6.11.3.	<i>Diámetro del eje de transmisión</i> .....	29
3.6.12.	<i>Estimación de vida útil</i> .....	30

## CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS</b> .....	311
4.1.	<b>Datos</b> .....	311
4.2.	<b>Diseño del molino</b> .....	322
4.2.1.	<i>Prueba en el Microscopio Electrónico de barrido</i> .....	322
4.2.2.	<i>Densidad del mineral</i> .....	333
4.2.3.	<i>Diseño del tambor</i> .....	344
4.2.4.	<i>Espesor del tambor</i> .....	355
4.2.5.	<i>Dimensionamiento de las tapas del tambor</i> .....	366
4.2.6.	<i>Peso de los cuerpos moledores</i> .....	366
4.2.7.	<i>Tamaño y distribución de los cuerpos moledores</i> .....	37
4.2.8.	<i>Velocidad de giro</i> .....	38
4.2.9.	<i>Selección de la potencia</i> .....	38
4.2.10.	<i>Potencia real necesaria</i> .....	39
4.2.11.	<i>Cálculo de la velocidad crítica</i> .....	39
4.2.12.	<i>Sistema de transmisión</i> .....	400
4.2.12.1.	<i>Relación de transmisión y poleas</i> .....	400
4.2.12.2.	<i>Selección de correas</i> .....	411
4.2.12.3.	<i>Condiciones</i> .....	433
4.2.13.	<i>Estimación de vida útil</i> .....	47
4.2.14.	<i>Análisis del proceso de molienda</i> .....	48
4.2.14.1.	<i>Rendimiento del proceso</i> .....	48
4.2.15.	<i>Balance de masa de la molienda</i> .....	49
4.3.	<b>Porcentaje de pérdida</b> .....	49
4.4.	<b>Construcción del molino</b> .....	50

<b>4.5.</b>	<b>Equipos.....</b>	<b>511</b>
<b>4.6.</b>	<b>Análisis de costos.....</b>	<b>511</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>544</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Escala de Mohs .....	7
<b>Tabla 2-2:</b>	Ventajas y desventajas del molino de bolas.....	155
<b>Tabla 3-2:</b>	Materiales A36.....	188
<b>Tabla 1-3:</b>	Localización del proyecto .....	19
<b>Tabla 2-3:</b>	Parámetros de selección .....	211
<b>Tabla 3-3:</b>	Alternativas .....	211
<b>Tabla 4-3:</b>	Selección de correas.....	29
<b>Tabla 1-4:</b>	Peso del mineral .....	311
<b>Tabla 2-4:</b>	Resultados de la prueba de barrido .....	311
<b>Tabla 3-4:</b>	Propiedades del mineral .....	311
<b>Tabla 4-4:</b>	Espesor del tambor.....	355
<b>Tabla 5-4 :</b>	Tamaño y distribución de las esferas .....	37
<b>Tabla 6-4:</b>	Elementos y pesos.....	38
<b>Tabla 7-4:</b>	Características del motor.....	39
<b>Tabla 8-4:</b>	Equipos utilizados en la construcción del molino de bolas.....	511
<b>Tabla 9-4:</b>	Presupuesto y mano de obra .....	522

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2.</b> Molino de martillos .....	122
<b>Ilustración 2-2.</b> Molino vertical o de rodillos .....	13
<b>Ilustración 3-2.</b> Martillo de Péndulos .....	14
<b>Ilustración 4-2.</b> Molino de barras.....	144
<b>Ilustración 5-2.</b> Molino de bolas .....	155
<b>Ilustración 1-3.</b> Localización del laboratorio de Mineralogía.....	19
<b>Ilustración 1-4.</b> Muestra 001 Entrada al molino de bolas .....	333
<b>Ilustración 2-4.</b> Muestra 003 Salida del molino de bolas.....	333
<b>Ilustración 3-4.</b> Extrapolación de la longitud del cilindro .....	366
<b>Ilustración 4-4.</b> Sistema de poleas .....	400
<b>Ilustración 5-4.</b> Selección de las bandas .....	422
<b>Ilustración 6-4.</b> Rango de ejes.....	433
<b>Ilustración 7-4.</b> Factor de seguridad .....	444
<b>Ilustración 8-4.</b> Par torsional.....	455
<b>Ilustración 9-4.</b> Par torsional.....	455
<b>Ilustración 10-4.</b> Selección de chumaceras.....	47
<b>Ilustración 11-4.</b> Sistema de poleas .....	47
<b>Ilustración 12-4.</b> Reacción en el rodamiento (carga).....	48
<b>Ilustración 13-4.</b> Balance de masa .....	49
<b>Ilustración 14-4.</b> Proceso de una construcción del molino .....	500

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-3.</b> .....	233
<b>Ecuación 2-3.</b> .....	233
<b>Ecuación 3-3.</b> .....	244
<b>Ecuación 4-3.</b> .....	244
<b>Ecuación 5-3.</b> .....	244
<b>Ecuación 6-3.</b> .....	24
<b>Ecuación 7-3.</b> .....	255
<b>Ecuación 8-3.</b> .....	255
<b>Ecuación 9-3.</b> .....	255
<b>Ecuación 10-3.</b> .....	266
<b>Ecuación 11-3.</b> .....	266
<b>Ecuación 12-3.</b> .....	266
<b>Ecuación 13-3.</b> .....	266
<b>Ecuación 14-3.</b> .....	277
<b>Ecuación 15-3.</b> .....	27
<b>Ecuación 16-3.</b> .....	277
<b>Ecuación 17-3.</b> .....	277
<b>Ecuación 18-3.</b> .....	277
<b>Ecuación 19-3.</b> .....	28
<b>Ecuación 20-3.</b> .....	29
<b>Ecuación 21-3.</b> .....	29
<b>Ecuación 22-3.</b> .....	29
<b>Ecuación 23-3.</b> .....	29
<b>Ecuación 24-3.</b> .....	30
<b>Ecuación 25-3.</b> .....	300

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** DESPIECE GENERAL DEL EQUIPO
- ANEXO B.** ESTRUCTURA DEL EQUIPO
- ANEXO C.** ESTRUCTURA DE LA BASE
- ANEXO D.** ESTRUCTURA DEL EJE DE TRANSMISIÓN
- ANEXO E.** ESTRUCTURA DE LA POLEA
- ANEXO F.** ESTRUCTURA FILTRO DE BOLAS
- ANEXO G.** ESTRUCTURA DE POLEA DE 42CM
- ANEXO H.** ESTRUCTURA DE POLEA DE 7CM
- ANEXO I.** ESTRUCTURA DE LA POLEA DE 30CM
- ANEXO J.** ESTRUCTURA DEL TAMBOR
- ANEXO K.** ESTRUCTURA DE LA TOLVA
- ANEXO L.** EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
- ANEXO M.** LABORATORIO
- ANEXO N.** RESULTADO DEL ANÁLISIS SEM-EDS DE LA MUESTRA QUE INGRESA AL MOLINO DE BOLAS.
- ANEXO O.** RESULTADO DEL ANÁLISIS SEM-EDS DE LA MUESTRA QUE SALE DEL MOLINO DE BOLAS
- ANEXO P.** ANUAL DE USO

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>Mon</b>	Monoclínico
<b>Rom</b>	Romboédrico
<b>Iso</b>	Isoclínico
<b>Hex</b>	Hexagonal
<b>Ort</b>	Ortorrómbico
<b>SENPLADES</b>	Secretaría nacional de Planificación y Desarrollo
<b>ARCERNNR</b>	Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b><math>\delta</math></b>	Densidad en ( $g/cm^3$ )
<b>m</b>	Masa (g)
<b>V</b>	Volumen ( $cm^3$ )
<b>Vc</b>	Volumen del cilindro
<b>Vt</b>	Volumen total
<b>r</b>	Radio
<b>L</b>	Longitud
<b>Vm</b>	Volumen real del tambor ( $m^3$ )
<b><math>\delta_{bolas}</math></b>	Densidad de los cuerpos molidores
<b>D</b>	Diámetro del tambor
<b>Dt</b>	Diámetro de las tapas del tambor (m)
<b>Pt</b>	Potencia teórica necesaria HP
<b>H</b>	Peso neto total de la carga (ton)
<b>P</b>	Potencia teórica necesaria
<b>Pt</b>	Potencia teórica necesaria
<b>Vg</b>	Velocidad de giro (rpm)
<b>kW</b>	Potencia del motor
<b>rpm</b>	Velocidad de rotación del eje
<b><math>r_{ext}</math></b>	Radio externo del tambor
<b><math>r_{int}</math></b>	Radio interno del tambor
<b><math>S_{sy}</math></b>	Capacidad a roturas corregida
<b><math>K_b</math> y <math>K_t</math></b>	Coefficientes de diseño
<b><math>M_b</math></b>	Momento máximo
<b><math>S_y</math></b>	Capacidad a roturas aplicando un factor de seguridad

<b>d</b>	Diámetro mínimo de eje
<b>Dp0</b>	Polea conectada al eje del motor
<b>Dp1</b>	Primera polea del eje de transmisión
<b>Dp2</b>	Segunda polea del eje de transmisión
<b>Dp3</b>	Polea del eje del tambor
<b>C</b>	Distancia entre centros
<b>Dp<sub>m</sub></b>	Diámetro de la polea del tambor
<b>Dp<sub>n</sub></b>	Diámetro de polea pequeña
<b>P<sub>diseño</sub></b>	Potencia
<b>P<sub>máxima trabajo</sub></b>	Potencia máxima de trabajo
<b>Se</b>	Límite de resistencia
<b>Cs</b>	Factor de tamaño
<b>Cr</b>	Factor de confiabilidad
<b>Cm</b>	Factor del material
<b>C<sub>st</sub></b>	Factor de tipo de carga
<b>a1</b>	Factor de ajuste de la vida útil para mayor confiabilidad
<b>askf</b>	Factor de modificación de la vida útil

## RESUMEN

El presente proyecto técnico tuvo como objetivo el diseño y construcción de un molino para la reducción del tamaño de los minerales previo a la obtención de metales preciosos dentro del laboratorio de Mineralogía de la carrera de Ingeniería Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica sobre la clasificación y caracterización de los minerales, así como los tipos de equipos mineros utilizados para la molienda, específicamente se analizaron cinco alternativas, de las cuales se eligió el molino de bolas por su capacidad de trituración de partículas. Una vez determinado el tipo de molino, se realizaron los cálculos de ingeniería pertinentes para su diseño, obteniendo así un molino de bolas con un tambor de 0.388 m de diámetro, una longitud de 0.3104 m y una altura de 0.803 m teniendo una capacidad de molienda de 5 kilogramos de mineral, para la estructura del molino se utilizó acero A-36 y para el cuerpo de molienda acero 705 debido a sus propiedades mecánicas. Finalmente, para verificar el correcto funcionamiento del equipo, se utilizó una muestra extraída de la mina Asociación Minera Rica Suave en Portovelo, provincia de Oro, obteniendo como resultado un rendimiento del molino de bolas del 81,62%, ya que se redujo el tamaño de la muestra de 500 micras a 125 micras. De esta manera se completó la primera etapa de la planta piloto para la obtención de minerales preciosos, la cual servirá para la experimentación por parte de los estudiantes en el laboratorio. Antes de utilizar el equipo por primera vez, se recomienda leer los manuales de operación y seguridad para evitar daños y accidentes en el laboratorio.

**Palabras clave:** <EQUIPO DE MOLIENDA>, <MOLINO DE BOLAS>, <MINERALES PRECIOSOS>, <ASOCIACIÓN MINERA RICA SUAVE>, <MANUALES DE FUNCIONAMIENTO Y SEGURIDAD>.

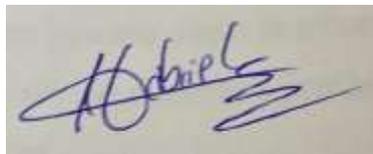


2428-DBRA-UTP-2022

## ABSTRACT

The objective of this technical project was the design and construction of a mill for the size reduction of minerals prior to obtain precious metals in the Mineralogy laboratory of the Chemical Engineering program of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. First, a bibliographic review was carried out on the classification and characterization of minerals, as well as the types of mining equipment used for grinding, specifically five alternatives were analyzed, from which the ball mill was chosen for its particle crushing capacity. Once the type of mill was determined, the pertinent engineering calculations were made for its design, thus obtaining a ball mill with a drum diameter of 0.388 m, a length of 0.3104 m and a height of 0.803 m having a milling capacity of 5 kilograms of mineral, A-36 steel was used for the mill structure and 705 steel for the milling body due to its mechanical properties. Finally, to verify the correct operation of the equipment, a sample extracted from the Mining Association Rica Suave mine in Portovelo, Oro province, was used, obtaining as a result a ball mill efficiency of 81.62%, since the sample size was reduced from 500 microns to 125 microns. This completed the first stage of the pilot plant for obtaining precious minerals, which will be used for experimentation by students in the laboratory. Before using the equipment for the first time, it is recommended to read the operation and safety manuals to avoid damages and accidents in the laboratory.

**Key words:** <GRINDING EQUIPMENT>, <BALL MILL>, <PRECIOUS MINERALS>, <RICA SUAVE MINING ASSOCIATION>, <OPERATION AND SAFETY MANUALS>.



MSc. Ana Gabriela Reinoso Espinosa

C. I. 1103696132

## INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad económica que comprende el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se hallan en la superficie terrestre con fines comerciales.

En el país hasta noviembre de 2020, los minerales representaron el 4,40% de las exportaciones totales del país. Estos se ubicaron como el sexto producto más exportado después del petróleo, camarón, banano, enlatados de pescado y cacao.

En el Ecuador existe una variedad de minerales, de los cuales se extrae principalmente los siguientes: Oro, Plata, Arcilla, Caliza, Caolín, Feldespato, Sílice, Pómez y Concentrado de oro, plata, cobre, el concentrado comprende el mineral procedente de la mina, que ha sido sujeto a un proceso de chancado, molienda y de flotación. Sometido a la pirometalurgia sirve para la recuperación de oro, mercurio y otros minerales.

Entre los procesos que se realizan a la roca para obtener un concentrado de un mineral precioso es el proceso de molienda el cual persigue la liberación de una especie mineral con un tamaño de grano que sea requerido por el método posterior para la utilización del producto obtenido.

Este proceso se realiza mediante equipos denominados molinos y estos pueden trabajar en seco o en húmedo, la reducción de tamaño de partícula a partir de tamaños generados por la operación de trituración, pasa a una molienda primaria donde se preparan las partículas para operaciones intermedias como concentraciones gravimétricas y/o por flotación, y de una molienda secundaria donde se llegan a tamaños tales que las partículas quedan liberadas entre sí y acondicionadas para las últimas fases extractivas.

Existen diversos tipos de molinos las cuales presentan varias diferencias a nivel de diseño, a nivel de funcionamiento y componentes, los más utilizados en la industria de la minería son el Molino de Bolas, Molino de Barras, Molinos de rodillos y Molinos de discos, además esos molinos cuentan con elementos molidores son aquellos que usan los molinos para que se produzca la molienda.

El Laboratorio de Mineralogía, de la Carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias no cuenta con los equipos necesarios para el proceso de refinación de minerales preciosos los cuales son: trituración, molienda, flotación, concentrado y filtrado, en la actualidad se va a implementar algunos equipos para este proceso como la trituración, molienda y flotación para poder contar con un proceso de extracción de materiales preciosos y tener un mejor aprendizaje tanto teórico y práctico de los estudiantes.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Antecedentes

La carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo fue creada el 04 de enero de 1999 por medio del desarrollo del evento denominado “Seminario de Equiparación de conocimientos para la Ingeniería Química Industrial”.

El 04 de Julio de 2017, la Carrera de Ingeniería Química, tuvo un Rediseño Curricular mediante Resolución del Consejo Académico Superior de la IES, con el rediseño del pensum de estudios, la materia que antes era impartida denominada Mineralogía ahora llamada Metalurgia y procesos extractivos cuenta con un laboratorio recientemente instalado el cual permaneció con la ayuda de los estudiantes.

Este laboratorio no cuenta actualmente con todos los equipos necesarios para realizar sus prácticas correspondientes por lo cual este proyecto ayudará a la implementación de equipos y así poder ayudar a la visión de la carrera la cual es:

“Ser una Carrera para la formación integral de profesionales en el campo de la Ingeniería Química que lidere los cambios científicos y tecnológicos orientados al desarrollo del sector productivo e industrial de la producción de Chimborazo y del País”.

#### 1.2. Planteamiento del Problema

La explotación de recursos naturales en países poco desarrollados se ha considerado por muchos años como una condición o forma de desarrollo. Los países Latinoamericanos han sido testigos de una tendencia creciente de proyectos mineros a partir de la década del 2000. Este aumento en la explotación de recursos naturales ha tenido como resultado el aumento de flujos de inversión económica en Latinoamérica debido el rápido aumento de los precios de los metales y su creciente demanda para el mercado a nivel mundial, esto además ha generado la necesidad de incrementar otros servicios e insumos que dinamizan las economías de estos países. En la actualidad Chile, Perú, Brasil, y México son los países con mayores exportaciones (Bárcena, 2018, p.1).

Países como: Bolivia, Ecuador, Guyana, Jamaica, República Dominicana, México, Panamá, entre otros, no son exportadores principales a nivel mundial, sin embargo, la explotación de minerales dentro de sus economías internas es relevante debido a su contribución relativa a las exportaciones, producto interno bruto (PIB) y la recaudación tributaria.

A pesar de la crisis sanitaria producida por el virus del COVID-19, la minería continúa desarrollándose como un eje estratégico y necesario para el progreso social y productivo del

Ecuador, ya que estas divisas dinamizan y aportan a la estabilidad económica del país, En 2020, la minería generó USD 810 millones en exportaciones, permitió la recaudación de USD 430 millones por impuestos (Ministerio de Energía y Minas, 2021, p.2).

Con base en el enfoque y el progreso que ha tenido el país en el campo de la minería se crea la necesidad de formar profesionales con conocimientos en esta rama, que tengan una formación en estudios de campo, procesos de extracción y aprovechamiento de minerales; entre las operaciones más importantes del proceso está la reducción de tamaño de un mineral por esta razón la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se encuentra desarrollando un laboratorio de mineralogía para formar profesionales competentes y con conocimientos prácticos, sin embargo, aún no se cuenta con los equipos necesarios para la experimentación, por ello que se ha visto en la necesidad de diseñar y construir un molino que será utilizado para la experimentación de reducción de tamaño de algunos minerales, aplicando así los conocimientos de ingeniería obtenidos a lo largo de la carrera estudiantil, como ingeniero químico.

### **1.3. Justificación**

En mineralogía para el aprovechamiento de minerales se necesita de varios procesos de extracción y operaciones, los cuales en cuya etapa inicial son: trituración, molienda y separación, para lo cual se necesitará equipos especializados como la trituradora, el molino y la celda de separación. La reducción de tamaño es uno de los principales procesos en todo circuito de procesamiento de minerales, considerado uno de los más importantes debido a que es, el proceso en el que se existe mayor consumo energético y costos elevados en maquinarias; por otro lado, es el proceso donde se da la granulometría adecuada para los posteriores procesos metalúrgicos.

La Facultad de ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo al momento cuenta con un laboratorio destinado a la experimentación en la materia de mineralogía y procesos extractivos sin embargo, este se encuentra en una etapa inicial y no posee los equipos necesarios para la experimentación, Por esta razón este proyecto de integración busca otorgar un equipo de molienda, realizando el diseño y construcción de un molino el cual permita a los estudiantes de la comunidad politécnica desarrollarse de una manera no solo teórica sino también práctica, mediante el control y la manipulación de este equipo y de esta forma contribuir a la formación de profesionales competentes en este campo.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo General***

- Diseñar y construir un molino para la reducción del tamaño de los minerales previo a la obtención de metales preciosos dentro del Laboratorio de Mineralogía de la carrera de Ingeniería Química.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Determinar las necesidades del laboratorio de mineralogía para obtener las variables técnicas, condiciones, tipo de funcionamiento y características del tipo de mineral a utilizarse en el molino.
- Diseñar un molino de acuerdo con las variables técnicas específicas del laboratorio, analizando diferentes tipos de molinos para la reducción de tamaño de minerales.
- Construir el molino para la reducción del tamaño de los minerales previo a la obtención de metales preciosos, en base al diseño obtenido.
- Comprobar el correcto funcionamiento del equipo construido y elaborar un manual de uso para el manejo adecuado del equipo.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de investigación

El proyecto de grado realizado por Dueñas y Gonzáles estudiantes de la Universidad de Córdoba para el laboratorio de Materiales y Catálisis, se diseña en base a la necesidad de querer reducir el tamaño de los minerales para su posterior tratamiento en la celda de flotación, el prototipo de molino de bolas diseñado tiene una capacidad de producción validada de 20 gramos de arcilla pulverizada con tamaños variables que van entre 75  $\mu\text{m}$  y 250  $\mu\text{m}$ , partiendo de una carga inicial de 1000 gramos y un tiempo de operación de 30 minutos, anteriormente el proceso se realizaba por el método manual y se obtenía partículas de iban desde 180 a 250 micras (Dueñas y González, 2016, p.3).

Según José Francisco Martínez y Francisco Días en su investigación plantean un molino de bolas para la reducción de tamaño de minerales queriendo obtener posiblemente metales como: calcopirita, galena, pirita, esfalerita, magnetita entre otros metales de gran importancia, debido a que un molino de bolas es el más usado para moliendas finas, se plantea que el molino tenga la capacidad alimentación de 1 kg de entrada y un diámetro de partícula de 200 a 500 micras con un producto final fino de menos de 75 micras usando un motor de 1Hp y 67 Rev/min (Martínez y Días 2019, p.7).

#### 2.2. Referencias Teóricas

El Gobierno Nacional de la República del Ecuador decidió apoyar el desarrollo de la industria minera y atraer capitales hacia este sector considerando que el Ecuador es un país con potencial minero, debido a sus minas de oro, plata y cobre, entre otros minerales preciosos. La Ley de Minería establece que: La explotación de los recursos naturales y el ejercicio de los derechos mineros se debe seguir el Plan Nacional de Desarrollo, para garantizar la sostenibilidad y sustentabilidad de estas actividades además de proteger y conservar el medio ambiente, respetando la cultura y patrimonio natural (Banco Central del Ecuador, 2021, p.1).

La minería en el país se clasifica en cuatro clases: la artesanal o de subsistencia, la pequeña minería, la mediana minería y laminería a gran escala. Clasificación que se da acuerdo a los niveles de producción diarios que puede tener una mina.

Para finales del año 2020 se reporta que las minas Fruta del Norte (oro y plata) y Mirador (cobre) son las más grandes del Ecuador seguidas de Loma Larga (oro, plata, cobre), San Carlos Panantza y Río Blanco (oro y plata)(Banco Central del Ecuador, 2021, p.1).

### **2.2.1. Minerales**

Son los principales componentes de las rocas de la corteza terrestre; estos son sustancias sólidas naturales, y homogéneas de composición química definida, disposición atómica ordenada que se forman mediante procesos inorgánicos. Pocos minerales forman rocas a pesar de que se conocen cerca de 2000 especies diferentes, pues los silicatos y los óxidos son los principales constituyentes de la corteza (Duque, 2017, p.9).

Los minerales pueden estar constituidos por uno o más elementos, también se pueden generar varias especies minerales de un mismo elemento dependiendo de la disposición atómica, como el diamante y el grafito con el carbono (Duque, 2017, p.9).

La geología general en el Ecuador consiste en el afloramiento de un dominio de rocas metamórficas o quizás de rocas sedimentarias de bajo metamorfismo, presentes en la parte baja de los yacimientos. Desde hace varias décadas como lo establece Teodoro Wolf en su libro Geografía y Geología del Ecuador, el país tiene ambiente geotectónico interesante de rocas volcánicas en la región sur del país al igual que al norte del Perú, gracias a esta característica se cuenta con minas de diferentes minerales. En la zona de Portovelo específicamente se menciona la presencia de rocas ígneas del tipo porfídicas que una vez descompuestas dan como producto en la actualidad aleaciones de cuarzo, oro, plata, piritita y en algunos casos presencia de caolín, siendo el oro el principal mineral de interés en esta zona (Duque, 2017, p.8).

#### **2.2.1.1. Propiedades**

Las propiedades específicas de un mineral sirven para identificar qué tipo de material es, estas son

- **Clivaje:** Un mineral no amorfo tiende a ser dividido fácilmente cuando es expuesto a una determinada presión, se separa en planos de posición con una geometría definida. Se habla de exfoliación si se generan láminas (la mica), o de partición cuando se originan cubos o prismas (la magnetita).
- **Fractura:** Es la forma de la superficie de rompimiento de un mineral que no tiene exfoliación o partición puede darse en un mineral amorfo o cristalino. Según el tipo de superficie (no plana), puede clasificarse en: fractura concoidea (en concha), fibrosa (en astilla), ganchuda (dentada), irregular (desigual), entre otros (Duque, 2017, p.8).

- **Dureza:** Indica el carácter abrasivo del mineral lo que determina el desgaste de los medios de molienda, se mide por medio de la escala de Mohs.

La clasificación según el orden creciente de dureza con la escala Mohs es la siguiente:

**Tabla 1-2:** Escala de Mohs

	MINERAL	DUREZA	COMPOSICIÓN	SISTEMA	OBSERVACIÓN
MATERIALES SUAVES	Talco	1	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	Mon	Tacto graso. séctil
	Yeso	2	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Mon	Brillo vítreo o sedoso
	Calcita	3	CaCO <sub>3</sub>	Rom	Fosforescente
DUREZA INTERMEDIA	Fluorita	4	CaF <sub>2</sub>	Iso	Exfoliación octaédrica
	Apatito	5	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,Cl,OH)	Hex	Exfoliación mala
	Ortoclasa	6	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Mon	Feldespatos potásico
MATERIALES DUROS	Cuarzo	7	SiO <sub>2</sub>	Rom-Hex	El más abundante
	Topacio	8	Al <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> (F, OH) <sub>2</sub>	Ort	Exfoliación perfecta
	Corindón	9	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Rom	Alterado pasa a mica
	Diamante	10	C	Iso	Brillo adamantino

Fuente: Duque Escobar, 2017.

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

- **Tenacidad.** Mide la resistencia cohesiva del mineral en base a diferentes tipos de esfuerzos; indica como el mineral se puede romper, desgarrar, moler o doblar. Se puede clasificar en: frágil, maleable, séctil, dúctil, flexible y elástico.
- **Peso específico.** Es conocido también como gravedad específica y es la relación entre el peso y el volumen.
- **Propiedades ópticas.** – Son las que dependen de la luz, como la diafanidad, el brillo, el color, el espectro y la raya.
- **La diafanidad.** Depende de la capacidad refractante del mineral: si la refracción es coherente la muestra será transparente, si la onda luminosa que cruza el cuerpo es incoherente, el mineral será translúcido, si la luz se refleja o queda absorbida, sin poder cruzar el material, la muestra será opaca; ejemplo la galena.

- **Brillo.** Característica que presentan los cuerpos opacos a la reflexión de la luz.
- **Color.** Longitud de onda de la luz independientemente si el material es opaco o transparente
- **Espectro.** Depende de los elementos por los que este conformado el mineral y hace referencia a la descomposición de la luz.
- **La raya o huella.** Es el color del polvo resultante de frotar o triturar una muestra sobre la superficie de un objeto de porcelana áspera blanca sin hacer mucha presión.
- **Propiedades electromagnéticas.** Es la respuesta del mineral a las fuerzas eléctricas y magnéticas (Duque, 2017, p.4).

#### 2.2.1.2. Clasificación de los minerales

Los minerales se clasifican de acuerdo con su disposición atómica y los elementos por los cuales están compuestos, lo que determina las propiedades físicas de los mismos.

Según la sistemática mineral de Strunz, hay 8 clases de minerales, basada en la clasificación de Dana (Pfersich, 2020, p.7).

- Clase I: Elementos nativos

Minerales poco abundantes que están formados por una sola especie de átomos y que se encuentran en la naturaleza en estado nativo. Y tienen gran variedad de enlaces lo que les da propiedades muy variadas. Existen veinte elementos de esta clase.

- Clase II: Sulfuros y Sulfosales

Minerales formados por azufre con metales y semimetales, unidos por enlaces iónicos, covalentes y metálicos. Se encuentran en la mayoría de las menas metálicas, presentando más de 100 especies de estos minerales. Son sulfuros complejos semejantes a los metales debido a la presencia de arsénico, antimonio y bismuto.

- Clase III: Halogenuros

Minerales de composición química sencilla, formados por halógenos con metales. Por lo general son incoloros o teñidos accidentalmente. Debido a que las débiles cargas electrostáticas están diseminadas por toda la superficie de los iones casi esféricos, esta clase de mineral es un buen ejemplo del mecanismo de enlace iónico puro.

- Clase IV: Óxidos e Hidróxidos

Compuestos formados por oxígeno y uno o más metales, unidos principalmente por enlaces iónicos, mientras que en el caso de los hidróxidos el hidrogeno sustituye uno de los metales no equivalentes.

- Clase V: Nitratos, Carbonatos y Boratos

Nitratos: Grupo mínimo de minerales en los cuales está presente el grupo aniónico  $\text{NO}_3^-$ , Carbonatos: compuestos de carbono y oxígeno en los cuales está presente el complejo aniónico  $\text{CO}_3^{2-}$ .

- Clase VI: Sulfatos, Cromatos, Molibdatos y Wolframatos

Son minerales cuya ecuación tiene los radicales  $\text{SO}_4$ ,  $\text{WO}_4$ , y  $\text{MoO}_4$ , por lo general sus cationes son Fe, K, Na, Cu, Mn, Al, Ca. La baritina es el grupo más importante de los sulfuros anhidros, mientras que el yeso es el más importante de los sulfuros hidratado.

- Clase VII: Fosfatos, Vanadatos y Arseniatos

El grupo estructural de los fosfatos es el anión  $(\text{PO}_4)^{3-}$ , si en este grupo funcional se reemplaza fósforo por arsénico o vanadio los minerales son arseniatos y vanadatos.

- Clase VIII: Silicatos

Los silicatos comprenden un tercio de todos los minerales conocidos y son del 40% de los más corrientes, además conforman más del 90% de la corteza. Y están constituidos por O, Si y Al, cuya unidad estructural consta de un átomo de silicio unido a cuatro átomos de oxígeno, formando un tetraedro. El enlace puede ser considerado como mitad iónico y mitad covalente, siendo un enlace muy fuerte. Presenta polimerización por lo cual existe una gran variedad de estructuras de silicatos y se clasificación en:

- Nesosilicatos: grupos tetraédricos independientes de  $\text{SiO}_4$ .
- Sorosilicatos: dos grupos de  $\text{SiO}_4$  conectados.
- Ciclosilicatos: más de dos tetraedros  $\text{SiO}_4$  en estructuras cerradas
- Inosilicatos: tetraedros unidos formando cadenas simples o dobles.

- Filosilicatos: tetraedros formando láminas planas.
- Tectosilicatos: red tridimensional de tetraedros compartiendo los 4 oxígenos.(Pfersich, 2020, p2).

### **2.2.2. Prospección Química**

La prospección química inicia en los tipos de minerales que se buscan y continua con la exploración de yacimientos, para lo cual se tiene en cuenta distintos tipos de mapas, fotografías aéreas, imágenes satelitales, antecedentes mineros, geológicos, geofísicos, geoquímicos, entre otros. Los métodos de prospección más utilizados son:

- Geológica, es el levantamiento o mapeo de la superficie, la identificación de rocas aflorantes, así como fenómenos de alteración en las rocas.
- Geoquímica, comprende el análisis químico de las rocas para buscar evidencias de los elementos buscados o de otros que sean indicadores (vectores) de la mineralización.
- Geofísica, busca caracterizar las condiciones físicas de las rocas, pues estas pueden ser afectadas o cambiar por efectos de la alteración hidrotermal o la mineralización.(Banco Central del Ecuador 2021, p2)

Los sitios de estudio mantienen como denominador común la presencia de actividades de extracción minera, tanto primaria (galerías) como aluvial (riberas y cauces de ríos). El SENPLADES realizó una división administrativa, denominando a las zonas como: 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7. Sin embargo la investigación se centra en solo cinco zonas ya que las zonas 4 y 5 no se registran actividad minera.

Las zonas de interés corresponden a minas de oro, plata, cobre y otros minerales que se extienden a lo largo del territorio ecuatoriano de norte a sur.

La Zona 1, ubicada al norte y noroccidente, colinda con Colombia, se realizan las actividades mineras primarias y aluviales siendo la aluvial la de mayor preocupación.

La Zona 2 se localiza en el sector Centro-Norte del país, cuya principal actividad es la minería aluvial además de minería primaria.

La Zona 3, se llama también zona centro, donde se realiza actividades de procesamiento de mineral primario y también aluvial.

La zona 4, comprende Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas.

La Zona 5 comprende Santa Elena, Guayas (excepto los cantones de Guayaquil Samborondón y Durán), Bolívar, Los Ríos y Galápagos

La Zona 6 se caracteriza por la presencia mayoritaria de minería primaria, y de varias asociaciones de trabajadores mineros, además, la Zona 6 es de vital relevancia por poseer la planta de beneficio Ponce Enríquez.

La Zona 7 es la zona por historia más reconocida por actividades de minería artesanal y de pequeña escala a nivel nacional e internacional y existe presencia de minería primaria y aluvial. Principalmente posee las instalaciones de procesamiento de mineral más importantes del país que se encuentran en Zaruma-Portovelo (Ministerio del Ambiente, 2020, p.4).

### **2.2.3. *Minerales extraídos en el Ecuador***

De la gran variedad de minerales en el Ecuador los más extraídos son:

- Oro, es un metal precioso blando de color amarillo, se lo clasifica como metal pesado y noble, en el comercio es el más común de los metales preciosos. Alrededor del 75% de la producción mundial del oro se consume en joyería, entre un 10% y 15% se lo emplea en aplicaciones industriales en especial en electrónica, el restante se emplea para uso médico. En Ecuador en base a las proyecciones realizadas por el ARCERNNR, en 2020 la producción debería ser de 9,086 kilos mientras que las reservas superan las 425 mil toneladas con una ley que varía entre 3,8 y 23,5 gramos de oro por tonelada métrica, según el informe anual de producción del año 2016. (Banco Central del Ecuador, 2021, p.8).
- Plata, es un metal lustroso de color blanco-grisáceo, de transición blanco, brillante, blando, dúctil, maleable. En su mayoría la plata se combina con uno o más metales. Según proyecciones de la ARCERNNR, en 2020 la producción sería de 1259 kilogramos.
- Cobre, es el mineral de cobre procedente de la mina, que ha pasado un proceso de chancado, molienda y de flotación. Ecuador según el Banco Central en el año 2020 se reportó 1, 268,147 kilogramos de cobre exportados.
- Plomo, es un metal pesado que se encuentra en la naturaleza formando óxidos, sales metálicas y compuestos organometálicos, es común que se lo encuentre juntamente con oro, plata y bismuto. Según el Banco Central del Ecuador en el 2020 el Ecuador exportó 22, 322,195 kilogramos de plomo. (Banco Central del Ecuador, 2021, p.9).
- Arcilla, tierra constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, de color blanco en estado puro, mezclada con agua forma una materia muy plástica que se endurece al cocinarla.
- Caliza, o roca calcárea, es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio, en general calcita, aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita y otros carbonatos. Se utiliza en la fabricación de tejas, vidrios, productos de limpieza, otros.
- Caolín, El caolín es un silicato de aluminio hidratado, producto de la descomposición de rocas feldespáticas principalmente. Se usa en la fabricación de porcelanas y preparaciones para almidonar, en la producción de medicamentos y papel, otros (Banco Central del Ecuador, 2021, p.6).

- Dentro del tratamiento de estos metales existen diferentes procesos, la molienda es uno de ellos, que tiene como fin reducir el tamaño de los minerales en un rango de 75 a 250 micras aproximadamente, para que este pueda ser tratado, es aquí donde aparece el uso de los distintos molinos que va a depender en el mayor de los casos del mineral con el que se vaya a trabajar. (Dueñas y González, 2016, p.4).

#### **2.2.4. Clasificación de molinos**

##### **2.2.4.1. Molino de martillos**

Estos molinos tienen un eje horizontal giratorio del cual cuelgan piezas metálicas (martillos) que con oscilación libre golpean el material a moler debido a que el material pasa por las intersecciones entre las paredes cilíndricas, el eje y los martillos. Funcionan también, por tanto, por trituración. Este tipo de molinos se emplea por lo general para moliendas por vía seca y para la pulverización de materias poco resistentes a los golpes, es decir para materiales de dureza media, como pueden ser los calcáreos, entre otros materiales y su producción puede ser de 1 a 60 Th/h alcanzando una partícula de finura media (1000  $\mu\text{m}$ ) (Dueñas y González, 2016, p.4).



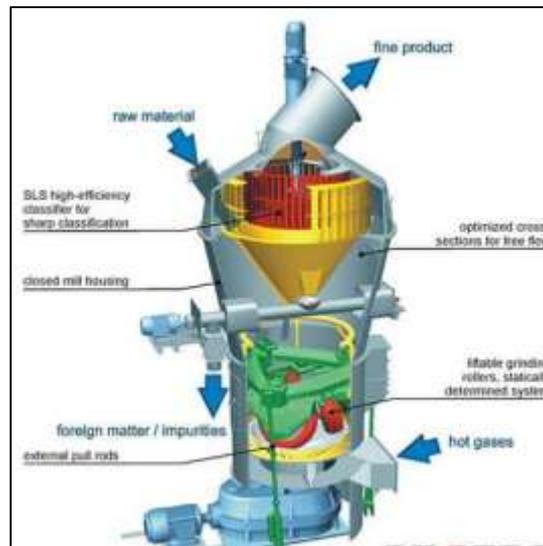
**Ilustración 1-2.** Molino de martillos

**Fuente:** Verdés, 2015.

##### **2.2.4.2. Molino vertical o de rodillos**

Este es un molino utilizado principalmente en para carbón, el cual entra en el molino a través de un tornillo de alimentación hermética y se descarga en el centro de la mesa giratoria de molino. El movimiento rotativo de la mesa acelera el flujo de material que va hacia la pista donde se muele el mineral entre la mesa y los tres rodillos. El mineral continúa sobre el anillo de la presa y se dirige al secado por aire caliente que entra en la casa molino vertical a través del anillo de la

boquilla. Este tipo de molino es apto para molienda por vía seca y húmeda con una capacidad de 1 a 40 Tn/h y la granulometría final superior a 60  $\mu\text{m}$  (Alcántara, 2018, p.2).



**Ilustración 2-2.** Molino vertical o de rodillos

**Fuente:** Chaeng, 2017.

#### 2.2.4.3. Molinos Pendulares

El molino dispone de péndulos con rodillos en sus extremos que se encargan de moler el mineral a gran presión contra un anillo de rodadura. La presión está dada por la rotación a alta velocidad de la estrella de la cual cuelgan los péndulos. Este equipo trabaja con un flujo de aire en depresión generado por la aspiración de un ventilador principal. El flujo de aire transporta los finos hacia la parte superior del molino donde se encuentra el clasificador, el cual se encarga de controlar el tamaño máximo de partícula requerido en el producto final. Por el contrario la fracción más gruesa rechazada caerá al fondo del molino para comenzar nuevamente el ciclo (Verdés, 2015, p.3).

Trabaja tanto por vía húmeda como por vía seca, obtiene un tamaño de partícula final de hasta 40  $\mu\text{m}$  y tiene una capacidad de producción de 0.5 a 40 Tn/h dependiendo las dimensiones del molino (Alcántara, 2018, p.7).

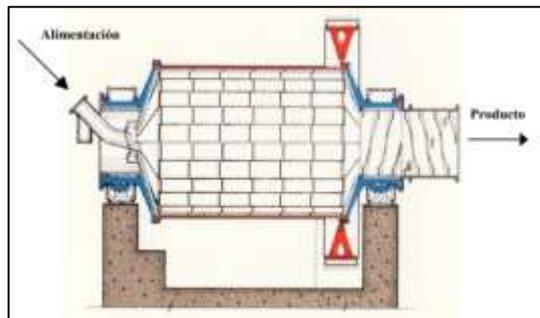


**Ilustración 3-2.** Martillo de Péndulos

Fuente: Verdés 2015.

#### 2.2.4.4. Molinos de barras

Los molinos de barras son grandes tubos cilíndricos, dispuestos horizontalmente. Están contruidos a base de planchas de acero, que están protegidas contra el desgaste y la corrosión por revestimientos metálicos intercambiables. El cilindro rota alrededor de su eje horizontal sobre los extremos encima unos cojinetes que reposan sobre unas bases. Dentro del cilindro se encuentran cuerpos en forma de barras las cuales realizan la molienda, fabricadas por lo general de acero con alto contenido en carbono. Poseen un alto límite elástico para evitar que se tuerzan las barras evitando que se rompan o se traben con otras barras (Dueñas y González, 2016, p.13).



**Ilustración 4-2.** Molino de barras

Fuente: Dueñas y González, 2016.

#### 2.2.4.5. Molino de bolas

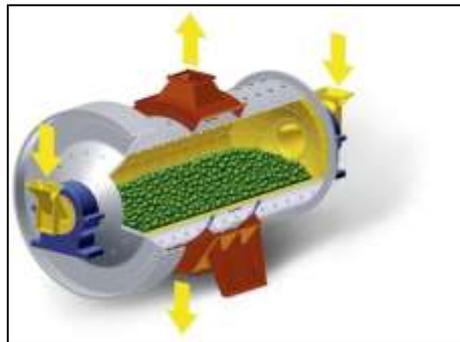
El molino de bolas gira sobre un eje horizontal y en su interior contiene bolas generalmente de acero (forjado, fundido o hierro colado). La disminución del tamaño se realiza mediante el impacto de la caída de la herramienta sobre la materia. La alimentación y descarga del material se realiza a través de muñones huecos en los extremos del molino (Méndez y Orellana, 2018, p.3).

Este tipo de Molino puede trabajar por vía seca y por vía húmeda, pero en base a bibliografía de investigaciones anteriores se señala que al trabajar por vía seca se consigue un mayor rendimiento, se evita el desgaste y corrosión del equipo.

Sus características principales son:

- Función estable y buena calidad a prueba de fricción.
- Productos con granularidad uniforme.
- Poca inversión y mucho ahorro energético.
- Fácil operación y uso con seguridad.

Este tipo de molino se basa en el choque de las bolas con el mineral originado por la rotación del cilindro. La rotación suele ser de 4 a 20 revoluciones por minuto, lo más lento será la rotación. El molino de bolas se utiliza generalmente para triturar material de 1/4 de pulgada incluso más fino, Para realizar este efecto, la máquina debe funcionar en un sistema cerrado. El armazón tubular gira sobre su propio eje, donde se encuentran las bolas entre 35% a 45% de nivel de llenado y generalmente opera en circuito cerrado con un clasificador (Méndez y Orellana, 2018, p.3).



**Ilustración 5-2.** Molino de bolas

Fuente: Verdés 2015.

**Tabla 2-2:** ventajas del molino de bolas

Ventajas	Desventajas
Costos bajos de instalación y molienda.	Aumento del consumo de energía.
Se usa para materiales de todos los grados de dureza.	Velocidad de funcionamiento baja.
El tamaño final de partícula obtenido es menor en comparación a otros molinos.	
Se usa para triturar diversas clases de materiales.	
Fácil operación y uso con seguridad.	

Fuente: Méndez y Orellana, 2018.

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

### **2.2.5. Parámetros para la selección de alternativas**

De acuerdo con la investigación realizada previamente las alternativas a tomar en cuenta son:

- Tamaño de partícula de ingreso al molino
- Tiempo de molienda
- Tipo de molienda
- Potencia requerida para el molino

#### *2.2.5.1. Tamaño de la partícula de ingreso*

El tamaño de partícula del grano que ingresa no puede pasar de un tamaño determinado porque de este dependen las propiedades mecánicas de la estructura del molino.

#### *2.2.5.2. Tiempo de molienda*

El tiempo de molienda que se utilice para moler los minerales tiene una relación con el consumo de energía, a mayor tiempo de molienda mayor consumo energético que representa un costo monetario.

#### *2.2.5.3. Tipo de molienda*

Existen dos tipos de molienda, molienda por vía seca y molienda por vía húmeda, en los molinos el rendimiento aumenta cuando se utiliza una humedad del 1% con el fin de disminuir ruido, facilidad de reducir el volumen del material, siempre y cuando el molino este ambientado para que esta humedad no cause oxidación.

#### *2.2.5.4. Potencia requerida para el molino*

Para obtener la potencia necesaria para la molienda, se realiza la una operación de fragmentación, para que el molino realice las necesidades básicas del trabajo del molino.

## **2.2.6. Equipos y herramientas**

### *2.2.6.1. Prensa hidráulica*

La prensa hidráulica utiliza el principio de Pascal. Es una máquina cuyo propósito es lograr la deformación permanente o incluso cortar un tipo material, mediante la aplicación de una carga. Se utiliza en operaciones de trabajo en frío y en caliente. Consta de un bastidor que sostiene una bancada y una bomba de ariete, una fuente de potencia, y un mecanismo para mover el ariete de forma lineal y en ángulos rectos con relación a la bancada (Fernando y Omar, 2011, p.5).

### *2.2.6.2. Roladora tipo Pinch*

La roladora está compuesta por tres rodillos, cuyos centros forman un triángulo isósceles, cuyo vértice superior es el centro del rodillo de mayor diámetro, el mismo que puede ser ajustado y transmite la fuerza de doblez. Los rodillos inferiores son de menor diámetro que los superiores, y no tiene tracción, su acción se debe al rozamiento con el material, estos rodillos son fijos. El movimiento de estos rodillos es realizado por motores, la velocidad de giro de los rodillos es controlada por un sistema de engranajes (Iza, 2007, p.10).

### *2.2.6.3. Fresadora*

La fresadora universal es similar a la fresadora horizontal. El banco de trabajo de esta máquina tiene un dispositivo adicional para girar la pieza de trabajo. Los accesorios giratorios de estas máquinas ayudan a cortar espirales, engranajes y levas además de las operaciones normales de rectificado. Estas herramientas son muy precisas y se utilizan principalmente para trabajos de taller de herramientas.

### *2.2.6.4. Pulidora*

Las herramientas de pulido son herramientas eléctricas versátiles e importantes para pulir voladizos o bordes, así como para aflojar clavos, redondear esquinas, cortar metal y más. Por esta razón, la industria necesita constantemente los diversos procesos involucrados en el pulido, esmerilado o canteado de superficies.

### 2.2.6.5. Taladro

Un taladro es una máquina herramienta en la que la mayoría de los orificios se realizan en piezas mecanizadas. En talleres mecánicos. Estas máquinas cuentan sencillez de manejo. Tienen dos movimientos: Movimiento giratorio del motor eléctrico de la máquina de grabado de impresión a través de un motor de polea y engranajes, y el cinturón de penetración de perforación, Se puede hacer de forma manual o automática, si se combina con una línea de transmisión para hacerlo.

### 2.2.6.6. Compresor

Los compresores son máquinas destinadas a hacer funcionar los fluidos comprimibles (gases y vapores) sobre los que actúan, para hacerlos girar a medida que aumenta su presión. Por esta última característica se distingue de los sopladores y aireadores.

Manejan grandes volúmenes de fluidos comprimibles (como el aire) sin cambios apreciables presión, con las mismas funciones que las bombas de fluidos incompresibles.

### 2.2.7. Materiales

- El acero A36 (norma ASTM A36) es uno de los aceros estructurales al carbono más utilizados, aunque el acero estructural A36 tiene un contenido de carbono hasta el 0.29%, se considera acero suave se puede utilizar este tipo de acero para el cilindro del molino de bolas.
- El acero 705 es un acero de molibdeno más cromo y níquel, el molibdeno limita su solubilidad y ejerce un efecto sobre la templabilidad además de aumentar la dureza y resistencia a alta temperatura, al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad. Este tipo de acero se usa para la fabricación de cuerpos molidores

**Tabla 3-2:** Materiales A36

Composición química (% , ≤) para formar										
Material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Al
Acero ASTM A36	0.26	0.40	-	0.04	0.05	0.20				
Acero 705	0.36	0.25	0.70	-	-	-	1.4	1.40	0.20	
Aluminio										1

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Localización del Proyecto

El proyecto será implementado en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la Facultad de Ciencias en el Laboratorio de Mineralogía, para la Carrera de Ingeniería Química la misma que se encuentra en la Panamericana Sur, km. 1½ Riobamba, Chimborazo, Ecuador.

**Tabla 1-3:** Localización del proyecto

<b>Ubicación</b>	<b>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias</b>
Latitud	01°39'29"S
Longitud	78°40'35"O
Altitud	2754 m.s.n.m
Clima	Temperatura promedio 18° C

Fuente: Google Maps, 2022.

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.



**Ilustración 1-3.** Localización del laboratorio de Mineralogía

Fuente: Google, 2020.

### **3.2. Metodología**

El presente trabajo de titulación regido bajo la clasificación de un proyecto técnico es necesario utilizar y aplicar métodos científicos como paso previo a la obtención de parámetros de diseño que darán lugar al dimensionamiento del equipo para su construcción. Entre los métodos utilizados se encuentran el deductivo, inductivo y experimental.

- Inductivo

La primera fase del proyecto involucro la recopilación de información que permitió llegar a una idea general por medio de ideas específicas que surgieron de la comparación de varios equipos de molienda.

- Deductivo

Para reforzar el diseño y construcción de un equipo de molienda para la reducción de tamaño de minerales es necesario identificar variables como densidad, cantidad de mineral, nivel de carga, y parámetros de diseño como dimensiones internas y externa, selección de materiales.

- Experimental

Finalmente, después de obtener información sobre los parámetros y criterios de diseño que permitirá la construcción de un equipo de molienda, el método experimental el cual facilita las pautas para la construcción del equipo de molienda para el Laboratorio de mineralogía.

### **3.3. Selección del molino**

En la industria minera se usa más de un tipo de molino para llegar a obtener un tamaño de partícula adecuado y poder llevar los granos molidos a la celda de flotación, antes de seleccionar un molino se evalúa algunos parámetros como:

- Capacidad y tiempo de molienda
- Potencia
- Costo
- Tipo de molienda
- Tamaño de grano obtenido
- Material que se va a moler

**Tabla 2-3:** Parámetros de selección

<b>Parámetro</b>	<b>Calificación</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Capacidad del equipo</b>	1	Baja
	3	Media
	5	Alta
<b>Tamaño de grano obtenido</b>	1	Grueso
	3	Fino
	5	Muy fino
<b>Costo de fabricación</b>	1	Costoso
	3	Accesible
	5	Económico
<b>Tipo de materiales que muele</b>	1	Materiales frágiles
	3	Materiales medios
	5	Materiales duros
<b>Seguridad de uso</b>	1	Riesgo
	3	Poco riesgo
	5	Seguro

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

### 3.4. Análisis de alternativas

**Tabla 3-3:** Alternativas

<b>Parámetro</b>	<b>Alt. 1</b>	<b>Alt. 2</b>	<b>Alt. 3</b>	<b>Alt. 4</b>	<b>Alt. 5</b>
	<b>Molino de bolas</b>	<b>Molino de barras</b>	<b>Molino de martillos</b>	<b>Molino pendular</b>	<b>Molino de rodillos</b>
Capacidad del equipo	3	3	5	5	5
Tamaño de partícula final obtenido	5	3	1	5	5

Costo de fabricación	5	5	1	1	3
Tipo de materiales que muele	5	5	1	3	1
Seguridad de uso	3	3	3	3	3
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>17</b>

**Elaborado por:** Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

En el capítulo II se detalló las características de algunos tipos de molinos, para este proyecto técnico, se selecciona el molino de bolas teniendo en cuenta la comparación hecha en la tabla 3 de alternativas, tomando en cuenta que las partículas en la alimentación para este equipo serán mucho más pequeñas que el tamaño de partículas procesadas a nivel industrial, por ello que se selecciona el molino de bolas, Además entre los tipos de molinos antes planteados este equipo tiene la capacidad de obtener un tamaño de partículas muy pequeño como producto final, en esta ocasión no se toma en cuenta la capacidad del molino como un parámetro importante debido a que debido a que será utilizado a nivel de laboratorio para fines educativos.

### **3.5. Ensayos para determinar las propiedades de los minerales**

#### **3.5.1. Microscopia de barrido electrónico**

Esta prueba utiliza electrones para constituir una imagen. Este microscopio tiene un dispositivo (filamento) que forma un haz de electrones para iluminar la muestra y con diferentes detectores se recogen después los electrones generados de la interacción con la superficie de esta y logra crear una imagen que manifiesta las características superficiales de la muestra, obteniendo así información de las formas, texturas y composición química de sus componentes.

#### **3.5.2. Dureza**

La dureza es la resistencia que tienen los materiales a alteraciones como por ejemplo la abrasión, la raya, la penetración y deformaciones. Una de las pruebas más sencillas para determinar la dureza de un mineral es mediante la raya, para lo cual el grado de dureza se determina mediante la observación de la facilidad con la que el mineral es rayado por otro mineral o por una punta de acero.

### 3.5.3. *Fragilidad*

Indica con qué facilidad se rompe un material cuando se somete a una fuerza o carga.

### 3.5.4. *Densidad*

La medición de la densidad, que es un parámetro de calidad importante para productos sólidos, líquidos y terminados y se realiza mediante diversas técnicas como fuerza de elevación, desplazamiento por gravedad.

## 3.6. Diseño

### 3.6.1. *Densidad del mineral*

Es relación entre el peso del mineral y el peso de un volumen igual de agua.

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

**Ecuación 1-3.**

$\delta$  = densidad en *g/cm3*.

m = masa en g.

V = volumen en *cm3*.

### 3.6.2. *Diseño del tambor*

El tambor se va a diseñar para moler 5 kg de mineral que contiene pirita, cuarzo y metales preciosos.

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

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

**Ecuación 2-3.**

Donde:

$\delta$  = densidad en *g/cm3*.

m= masa en g.

V= volumen en  $cm^3$ .

### 3.6.3. *Volumen del cilindro*

El volumen del cilindro ( $V_c$ ) debe ser mayor al volumen del mineral por ello se asume que debe ser 4 veces mayor.

$$V_c = 4V_t$$

**Ecuación 3-3.**

$$V_c = \pi * r^2 * L$$

**Ecuación 4-3.**

Donde:

$V_c$  = volumen del cilindro

$V_t$  = volumen total

$r$  = radio

$L$  = longitud

### 3.6.4. *Peso de los cuerpos molidores*

$$P_{bolas} = V_m * \text{grado de llenado} * 0.5 * \delta_{bolas}$$

**Ecuación 5-3.**

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

**Ecuación 6-3.**

Dónde:

$V_m$  = volumen real del tambor en  $m^3$

$\delta_{bolas}$  = densidad de los cuerpos molidores

*grado de llenado* = 25%

$L$  = longitud

$D$  = diámetro del tambor

### 3.6.5. *Dimensionamiento de las tapas del tambor*

El diámetro de las tapas es igual al diámetro interno del tambor porque se realizó una soldadura interna.

$$Dt = D$$

**Ecuación 7-3.**

Donde:

$Dt$  = diámetro de las tapas del tambor en m.

$D$  = diámetro interior del tambor en m.

### 3.6.6. *Potencia Teórica necesaria*

Los molinos con grado de llenado y velocidad crítica adecuados se pueden determinar de la siguiente ecuación:

$$Pt = 12.5 \times H$$

**Ecuación 8-3.**

Donde:

$Pt$  = potencia teórica necesaria HP

$H$  = peso neto total de la carga [ton].

### 3.6.7. *Potencia real necesaria*

Según (DUDA W. H. 1977) los molinos de esferas trabajan con una potencia adicional de 15% a 20% más de la potencia real teórica.

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

**Ecuación 9-3.**

$P$  = potencia teórica necesaria

$Pt$  = potencia teórica necesaria

### 3.6.8. *Velocidad de giro*

La velocidad crítica del molino es la velocidad de rotación a la cual los cuerpos molidores empiezan a centrifugar en las paredes del molino.

$$Vg(rpm) = \frac{K}{\sqrt{D(m)}}$$

**Ecuación 10-3.**

Donde:

$Vg$  = velocidad de giro en rpm.

$D$  = Diámetro interior del molino en m.

$K$  = 76.6 cuando esta expresado en ft y 42.3 cuando está expresado en m.

### 3.6.9. Cálculo de la velocidad crítica

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

**Ecuación 11-3.**

$Vg$  = velocidad de giro en rpm.

$\% \text{ de giro}$  = rango del 60% al 90%, se va a utilizar una velocidad operación del 80%.

### 3.6.10. Diseño del eje

#### 3.6.10.1. Torque

$$T = \frac{k * kW}{rpm}$$

**Ecuación 12-3.**

Dónde:

$kW$  = potencia del motor

rpm = velocidad de rotación del eje (considerando la relación de engranes)

$k$  = 9.5488 (SI) = 63000 (Sistema ingles)

#### 3.6.10.2. Cargas y momento flector

$$w_{bolas} = (Peso_1 * a + Peso_2 * b + Peso_3 * c) * 9.81$$

**Ecuación 13-3.**

Dónde:

a = cantidad de esferas de 60mm

b = cantidad de esferas de 50mm

c = cantidad de esferas de 25mm

$$W_{tambor} = \pi * (r_{ext}^2 - r_{int}^2) * L * \rho * 9.81$$

**Ecuación 14-3.**

Dónde:

$r_{ext}$  = radio externo del tambor

$r_{int}$  = radio interno del tambor

L = longitud

$\rho$  = densidad del material

$$W_{material} = \text{Peso del mineral} * 9.81$$

**Ecuación 15-3.**

$$W_{total} = W_{bolas} + W_{tambor} + W_{material}$$

**Ecuación 16-3.**

3.6.10.3. *Diámetro mínimo de eje*

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_{sy}} \sqrt{(K_b * M_b)^2 + (K_t * M_t)^2}$$

**Ecuación 17-3.**

Donde:

$S_{sy}$  = Capacidad a roturas corregida

$K_b$  y  $K_t$  = coeficientes de diseño (se escogen en base al tipo de material)

$M_b$  = es el momento máximo, en este caso el momento máximo está en la mitad del eje por lo que se coge la distancia media.

3.6.10.4. *Factor de seguridad*

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi S_y * d^3} \sqrt{(K_b * M_b)^2 + (K_t * M_t)^2}$$

**Ecuación 18-3.**

Dónde:

$S_y$  = Capacidad a roturas aplicando un factor de seguridad

$d$  = Diámetro mínimo de eje

$K_b$  y  $K_t$  = coeficientes de diseño (se escogen en base al tipo de material)

$M_b$  = es el momento máximo, en este caso el momento máximo está en la mitad del eje por lo que se coge la distancia media.

### 3.6.11. Diseño de la transmisión

#### 3.6.11.1. Relación de transmisión

$$e = \frac{Dp_1 \cdot Dp_3}{Dp_0 \cdot Dp_2}$$

**Ecuación 19-3.**

$$n_{tambor} = \frac{n_{real}}{e}$$

Donde:

$Dp_0$  = Polea conectada al eje del motor

$Dp_1$  = Primera polea del eje de transmisión

$Dp_2$  = Segunda polea del eje de transmisión

$Dp_3$  = Polea del eje del tambor

$n_{real}$  = 1796 rpm (reales)

$n_{tambor}$  = velocidad del tambor

#### 3.6.11.2. Selección de correas

Esta tabla es una compilación de otras tablas hechas por talleres, normas, y catálogos de fabricantes de correas. Los valores mostrados suelen ser empíricos y depende del criterio del diseñador.

**Tabla 4-3:** Selección de correas

Aplicación	Motor C.A. par motor medio	Motor C.A. par motor alto	Motor Diesel
Agitadores	1-1.2	1.2-1.4	-
Compresores	1.2-1.4	-	1.2
Cintas transportadoras	-	1.4	-
Máquinas trituradoras	-	1.6	1.4-1.6
Ventilador de hélice	1.4	2	1.4
Generadores	1.2	-	2

Fuente: Mott, 2018.

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

$$L_{correa} = 2C + 1.57(Dp_m + Dp_n) + \frac{(Dp_m - Dp_n)^2}{4}$$

**Ecuación 20-3.**

Donde:

C = distancia entre centros

$Dp_m$  = diámetro de la polea del tambor

$Dp_n$  = diámetro de polea pequeña

$$P_{m\acute{a}xima\ trabajo} = P_{dise\tilde{n}o} * K_L$$

**Ecuación 21-3.**

$$N_{correas} = \frac{P_{dise\tilde{n}o}}{P_{m\acute{a}xima\ trabajo}}$$

**Ecuación 22-3.**

Donde:

$K_l = 1.1$  (de Manual práctico de cálculos de ingeniería- Tyler G.Hicks)

$P_{dise\tilde{n}o}$  = Potencia

$P_{m\acute{a}xima\ trabajo}$  = Potencia máxima de trabajo

3.6.11.3. Diámetro del eje de transmisión

$$Se' = Se * Cm * Cr * C_{st} * Cs$$

**Ecuación 23-3.**

Donde:

Se = límite de resistencia

Cs = factor de tamaño

Cr = factor de confiabilidad

Cm = factor del material

C<sub>st</sub> = factor de tipo de carga

### 3.6.12. Estimación de vida útil

$$\text{Vida nominal básica} = L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (\text{ISO 281})$$

**Ecuación 24-3.**

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} L_{10}$$

**Ecuación 25-3.**

Dónde:

L<sub>10h</sub> = vida nominal básica en horas de funcionamiento, horas

L<sub>10</sub> = vida nominal básica en millones de revoluciones

n = velocidad de giro, rpm

C = capacidad de carga dinámica básica, kN

P = Carga dinámica equivalente del rodamiento, kN

P = constante según el tipo de rodamiento (esferas = 3)

a<sub>1</sub> = factor de ajuste de la vida útil para mayor confiabilidad

a<sub>skf</sub> = factor de modificación de la vida útil

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Datos

**Tabla 1-4:** Peso del mineral

Mineral	Peso (g)	Tamaño tamiz ( $\mu$ )
Entrada	5000	4000
Salida	4985	300 a 125

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

**Tabla 2-4:** Resultados de la prueba de barrido

Mineral	Composición			
	Al % en masa	Au % en masa	Si % en masa	Fe % en masa
Entrada	0,56	-	9,15	6,49
Salida	0,61	1,14	3,68	4,49

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

**Tabla 3-4:** Propiedades del mineral

Propiedad	Característica
Densidad	2.5 g/ml
Dureza	7
Fractura	Ganchuda e irregular
Tenacidad	Frágil

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

- Necesidades del laboratorio de mineralogía:

De acuerdo con una entrevista realizada a Georgina Carlota Olalla Procel, el día 22 de julio del 2022 en el Laboratorio de mineralogía, de la Facultad de Ciencias ubicado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se determinó que, dentro de la Infraestructura del laboratorio, se cuenta con cuatro luminarias, 10 tomas de conexiones 110 V, 2 tomas de conexiones de 220 V, 4 mesones y 5 lavabos.

En relación con la información obtenida los materiales existentes son: una vitrina, una estufa, 9 taburetes y dos balanzas. Y en quipos se tiene una Centrifuga Hermle, dos purificadores de agua, un refrigerador y un computador completo.

Se pudo detectar que el laboratorio carece de baño, ducha de desinfección, cintas métricas, materiales de vidrio para prácticas de laboratorio y molinos. Enfocados en estas deficiencias se puso en marcha el diseño y construcción del molino de bolas, el cual podrá aportar para la molienda y mezcla de materiales que posteriormente serán utilizados en procesos de mezclado de minerales.

El laboratorio tiene entre sus principales objetivos el entendimiento de los minerales con prácticas como:

- Análisis de concentración de minerales en circuito con molienda.
- Análisis mineralógico y metalúrgico en minerales.
- Análisis mineralógicos de muestras en roca o en polvo y en secciones pulidas o delgadas.
- Determinación del contenido de metales en muestras de diversos tipos.
- Identificación y cuantificación de compuestos cristalinos en muestras de diferentes clases.

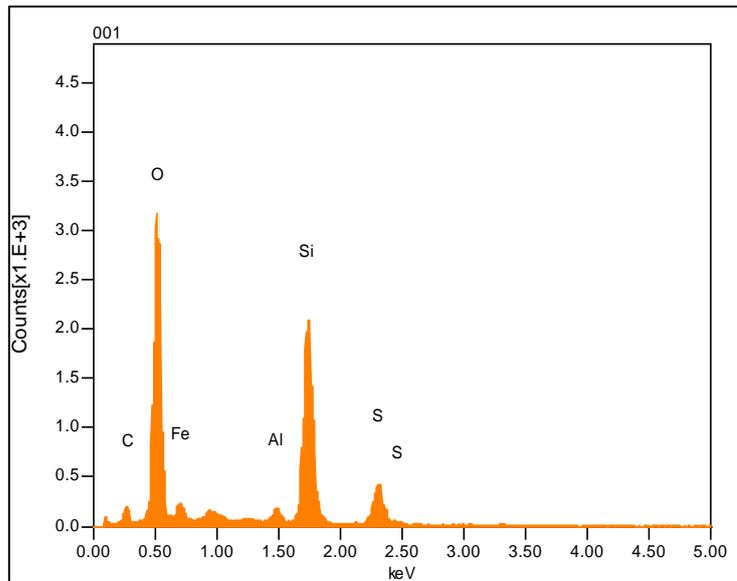
En las prácticas, se involucran equipos como tamices, agitadores magnéticos, microscopio de barrido electrónico, espectrofotómetro, molino de bolas.

Partiendo de esta información se detalla los beneficios del molino de bolas, ya que es utilizado para moler materiales como carbón, pigmentos, y feldespato para preparar el material base para fabricar piezas de cerámica. La molienda puede ser llevada a cabo con material húmedo o seco pero el anterior es actuado a velocidad baja. La mezcla de explosivos es un ejemplo de una molienda por pelotas de goma. Para sistemas con componentes múltiples, este sistema de molido con esferas ha mostrado ser efectivo para aumentar la reactividad química en estado sólido. Además, se tiene constancia que este tipo de molienda ayuda a la efectividad para producir materiales amorfos y facilitando la realización de prácticas de laboratorio.

## **4.2. Diseño del molino**

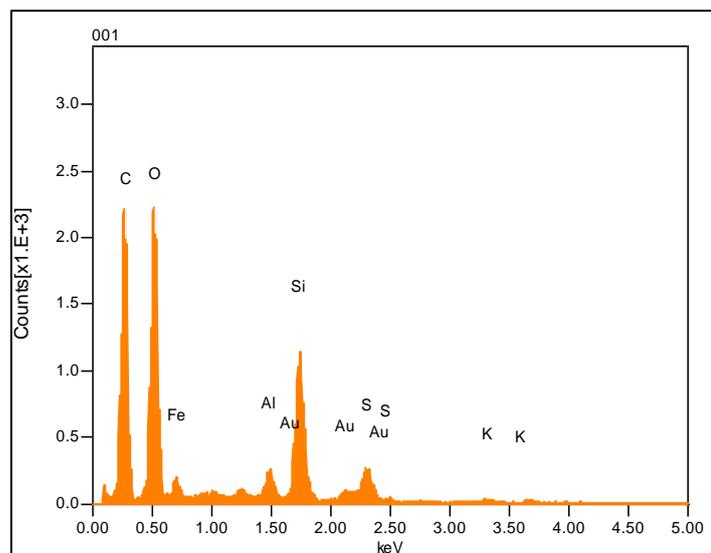
### ***4.2.1. Prueba en el Microscopio Electrónico de barrido***

Estos análisis se llevaron a cabo en la Facultad de Mecánica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, las muestras fueron examinadas en el microscopio electrónico JEOL SEM modelo JSM- IT 100 utilizando de 5 a 13 KV. Obteniendo los siguientes resultados:



**Ilustración 1-4.** Muestra 001 Entrada al molino de bolas

Fuente: Microscopio Electrónico JEOL SEM, 2022.



**Ilustración 2-4.** Muestra 003 Salida del molino de bolas

Fuente: Microscopio Electrónico JEOL SEM, 2022.

#### 4.2.2. Densidad del mineral

Peso = 20 g

Volumen inicial = 50 ml

Volumen final = 58 ml

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

**Ecuación 1-4.**

$$\delta = \frac{m}{\Delta v}$$

$$\delta = \frac{20 \text{ g}}{8 \text{ ml}}$$

$$\delta = 2.5 \text{ g/ml}$$

#### 4.2.3. Diseño del tambor

El tambor se va a diseñar para moler 5 kg de mineral que contiene pirita, cuarzo y metales preciosos.

Para realizar el cálculo partimos de la densidad del mineral

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

**Ecuación 2-4.**

$$v = \frac{5000 \text{ g}}{2.5 \text{ g/cm}^3}$$

$$v = 2000 \text{ cm}^3$$

$$Vt = 0.002 \text{ m}^3$$

#### Donde:

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

m= masa en g.

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

El volumen del cilindro debe ser mayor al volumen del mineral, por ello se asume un valor aproximado de 4 veces mayor, debido a que se necesita un espacio adicional para poder ingresar los cuerpos moledores y el mineral a moler.

$$Vc = 4Vt$$

**Ecuación 3-4.**

$$Vc = 4 * 0.002 \text{ m}^3$$

$$Vc = 8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

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

**Ecuación 4-4.**

La relación normal de la longitud diámetro según Ashok para los molinos de esferas de una cámara es de 0.5 a 3.5.

$$\frac{L}{D} = 0.8$$

$$L = 0.345 r$$

$$Vc = \pi * r^2 * 0.345 r$$

$$r^3 = \frac{Vc}{0.345 x \pi}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{8x10^{-3}m^3}{0.345 x \pi}}$$

$$r = 0.194 m$$

$$D = 2 r$$

$$D = 0.388 m$$

$$\frac{L}{D} = 0.8$$

$$L = 0.8 x D$$

$$L = 0.8 x 0.388 m$$

$$L = 0.3104m$$

El tambor para la molienda tendrá un diámetro de 0.388 m y una longitud de 0.31 m.

Debido a que el tambor debe resistir impacto y frotamiento se utilizó acero A36 debido a que el acero se encuentra en el mercado y es muy comercial.

#### 4.2.4. Espesor del tambor

Se obtiene extrapolando 1.6 m y 0.3104 m (Longitud del cilindro) de la siguiente tabla:

**Tabla 4-4:** Espesor del tambor

Longitud del tambor del molino	Espesor de la chapa
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

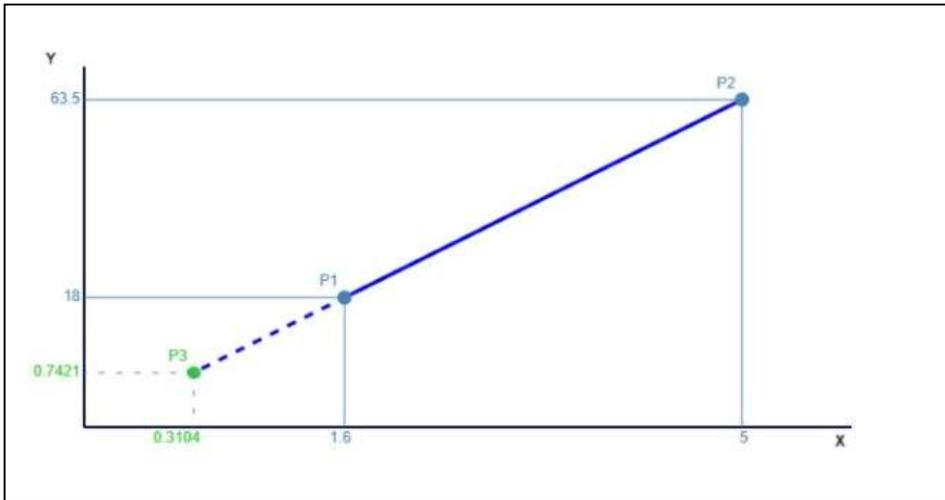
Fuente: Cabezas, 2017.

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

$$y_3 = \frac{y_1 + (x_3 - x_1) \cdot (y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

$$y_3 = \frac{18 + (0.3104 - 1.6) \cdot (63.5 - 18)}{(5 - 1.6)}$$

$$y_3 = 0.742 \text{ mm}$$



**Ilustración 3-4.** Extrapolación de la longitud del cilindro

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

El valor obtenido de la extrapolación fue de 0.742 mm sin embargo para asegurar la vida útil del equipo se utilizó una plancha de 10 mm de espesor.

#### 4.2.5. Dimensionamiento de las tapas del tambor

El diámetro de las tapas es igual al diámetro interno del tambor porque se realizó una soldadura interna.

$$Dt = D$$

**Ecuación 7-4.**

$$Dt = 0.388$$

#### 4.2.6. Peso de los cuerpos molidores

Según DUDA establece que el porcentaje de llenado debe ser aproximadamente del 25%, valor que se va a reemplazar en la siguiente ecuación

$$P_{bolas} = V_m \times 0.25 \times 0.5 \times \delta_{bolas}$$

**Ecuación 5-4.**

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

**Ecuación 6-4.**

**Dónde:**

V<sub>m</sub>: volumen real del tambor en metros cúbicos

$$V_m = \frac{\pi * 0.388^2 * 0.3104}{4}$$

$$V_m = 0.0367 \text{ m}^3$$

$$P_{bolas} = V_m \times 0.25 \times 0.5 \times \delta_{bolas}$$

**Ecuación 5-4.**

$$P_{bolas} = 0.0367 \text{ m}^3 \times 0.25 \times 0.5 \times 7 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

$$P_{bolas} = 0.03211 \text{ ton}$$

$$P_{bolas} = 32,11 \text{ kg}$$

El peso total que se debe colocar en el tambor de esferas es de 32,11 kg.

#### 4.2.7. *Tamaño y distribución de los cuerpos molidores*

El tamaño de las esferas es fundamental para asegurar la reducción de tamaño de las partículas, en general mientras mayor sea la partícula mayor tamaño deberá tener el medio de molienda.

**Tabla 5-4:** Tamaño y distribución de las esferas

<b>Diámetro des cuerpos molidores (mm)</b>	<b>Número esferas</b>	<b>Peso (kg) unidad</b>	<b>Peso (kg)</b>
60	20	0.909	18
50	21	0.545	11.44
25	41	0,067	2,747
<b>Total</b>			<b>32.19</b>

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

#### 4.2.8. Velocidad de giro

$$Vg(rpm) = \frac{k}{\sqrt{D(m)}}$$

Ecuación 10-4.

Donde:

Vg: velocidad de giro en rpm.

D: Diámetro interior del molino en m.

$$Vg(rpm) = \frac{42.3}{\sqrt{0.388m}}$$

$$Vg = 67.90 \text{ rpm}$$

#### 4.2.9. Selección de la potencia

Los molinos con grado de llenado y velocidad crítica adecuados se pueden determinar de la siguiente ecuación:

$$Pt = 12.5 \times H$$

Ecuación 8-4.

Donde:

Pt: potencia teórica necesaria en HP

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

**Tabla 6-4:** Elementos y pesos

Elemento	Cantidad	Peso (Kg)	Total (Kg)
Peso de las esferas	1	32.19	32.19
Mineral por moler	1	5 kg	5
Peso total del tambor	1	38kg	38
Total			75.19 (0.07519 ton)

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

$$Pt = 12.5 \times 0.075$$

$$P_t = 0.94 \text{ HP}$$

#### 4.2.10. Potencia real necesaria

En base a bibliografía los molinos de esferas trabajan con una potencia adicional de 15% a 20% más de la potencia real teórica

$$P = P_t + 20\% P_t$$

**Ecuación 9-4.**

$$P = 0.94 + \left( \frac{0.94 \times 20}{100} \right)$$

$$P = 1.128 \text{ Hp}$$

Se obtuvo una potencia de 1.128 Hp, pero se adquirió un motor monofásico de 2 Hp teniendo en cuenta la posibilidad de que el peso de la alimentación sobrepase los 5Kg.

**Tabla 7-4:** Características del motor

Propiedad	Característica
Potencia (Hp)	2
Revoluciones reales	1796 rpm
Revoluciones teóricas	1720 rpm
Aplicación	Trituradora de piedras

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

#### 4.2.11. Cálculo de la velocidad crítica

Como la velocidad crítica es un porcentaje de la velocidad de giro o llamada también velocidad de trabajo, la velocidad a la cual debe girar el molino se encuentra en un rango de 60% al 90%, por ello se va a utilizar una velocidad del 80%.

$$V_r = V_g * \% \text{ de giro}$$

**Ecuación 11-4.**

$$V_r = 67.90 \text{ rpm} * 0.80$$

$$V_r = 67.90 \text{ rpm} * 0.80$$

$$V_r = 54.32 \text{ rpm}$$

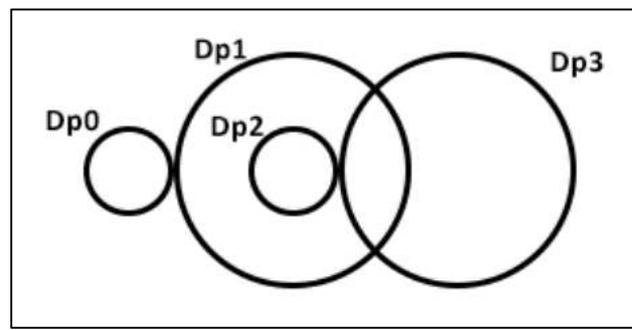
## 4.2.12. Sistema de transmisión

### 4.2.12.1. Relación de transmisión y poleas

#### Diámetro de las poleas

- Método de cálculo

Las dimensiones de las poleas están sujetas a la disponibilidad en el mercado ya que las poleas son prefabricadas y están disponibles únicamente en tamaños estándar. Por lo tanto, se busca llegar a la velocidad de rotación deseada mediante la combinación de varias poleas.



**Ilustración 4-4.** Sistema de poleas

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

#### Primera iteración

$$Dp_0 = 5 \text{ cm}$$

$$Dp_1 = 36 \text{ cm}$$

$$Dp_2 = 7.5 \text{ cm}$$

$$Dp_3 = 30 \text{ cm}$$

$$e = \frac{Dp_1 \cdot Dp_3}{Dp_0 \cdot Dp_2}$$

**Ecuación 19-4.**

$$e = \frac{36 \cdot 30}{5 \cdot 7.5} = 28.8$$

$$n_{\text{tambor}} = \frac{n_{\text{real}}}{e}$$

$$n_{\text{tambor}} = \frac{1796}{28.8} = 62.36 \text{ rpm}$$

$\therefore$  No se alcanza las 54 rpm con esta configuración

## Segunda iteración

$$Dp_0 = 5 \text{ cm}$$

$$Dp_1 = 42 \text{ cm}$$

$$Dp_2 = 7.5 \text{ cm}$$

$$Dp_3 = 30 \text{ cm}$$

$$e = \frac{Dp_1 \cdot Dp_3}{Dp_0 \cdot Dp_2}$$

$$e = \frac{42 \cdot 30}{5 \cdot 7.5} = 33.6$$

$$n_{tambor} = \frac{n_{real}}{e}$$

$$n_{tambor} = \frac{1796}{33.6} = 53.45 \text{ rpm}$$

∴ La velocidad crítica es próxima al bjetivo (54 rpm)

### 4.2.12.2. Selección de correas

Según la tabla 5 que es una compilación de otras tablas hechas por talleres, normas, y catálogos de fabricantes de correas. Los valores mostrados suelen ser empíricos y depende del criterio del diseñador tomamos  $F_{servicio} = 1.6$ .

Tipo de correas disponibles: A Z V

Aplicación: trituradora de piedras

Motor: 2 hp (1.49 kW)

Velocidad del motor: 1796 rpm

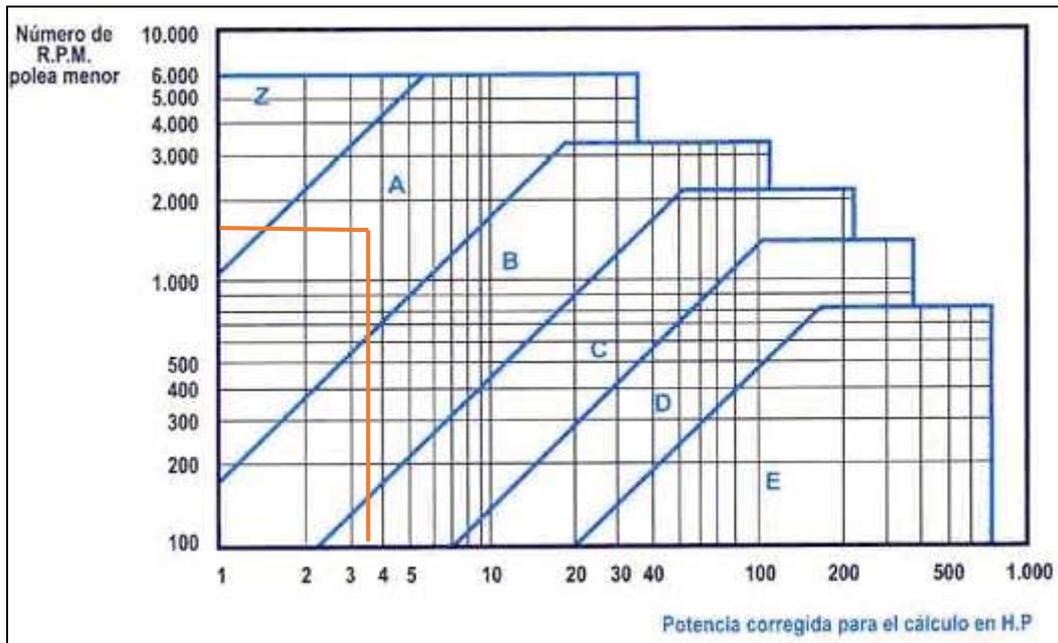
Velocidad del tambor: 53.45 rpm

Diámetro de contacto polea mayor: 30 cm

Distancia entre ejes (C): 65 cm

$$P_{diseño} = P_{transmisión} \cdot F_{servicio} F_{servicio} = 1.6$$

$$P_{diseño} = 2 \cdot 1.6 = 3.2 \text{ Hp (2.38 kW)}$$



**Ilustración 5-4.** Selección de las bandas

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

$\therefore$  Se requiere una polea tipo A

$$L_{correa} = 2C + 1.57(Dp_m + Dp_n) + \frac{(Dp_m - Dp_n)^2}{4}$$

**Ecuación 20-4.**

Donde:

C: distancia entre centros

$$L_{correa} = 2 * 65 + 1.57(30 + 5) + \frac{(30 - 5)^2}{4}$$

$$L_{correa} = 341.2 \text{ cm}$$

$K_l = 1.1$  (de Manual práctico de cálculos de ingeniera – Tyler G. Hicks)

$$P_{\text{máxima trabajo}} = P_{\text{diseño}} * K_L$$

**Ecuación 21-4.**

$$P_{\text{máxima trabajo}} = 1.49 * 1.1 = 1.639 \text{ kW}$$

Se selecciona un motor de 2 HP garantizar el proceso de molienda en el caso de ingresar materiales de mayor dureza.

$$N_{correas} = \frac{P_{diseño}}{P_{máxima\ trabajo}}$$

**Ecuación 22-4.**

$$N_{correas} = \frac{2.38}{1.639} = 1.45$$

∴ Se ajusta siempre al inmediato superior de las unidaes:  $N_{correas} = 2$

- Cálculo del diámetro del eje de transmisión

#### 4.2.12.3. Condiciones

Eje de acero de transmisión SAE 1018

$S_y = 370 \text{ MPa}$

$S_{ut} = 440 \text{ MPa}$

Eje sujeto al torque generado por el motor

Diámetro del eje: 25 mm (se parte de este tamaño por estandarización de los fabricantes de ejes de acero)

$$S_e = 0.5 * S_{ut}$$

$$s_e = 220 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} = 0.5 * S_y$$

$$S_{sy} = 185 \text{ MPa}$$

$$S_e' = S_e * C_m * C_r * C_{st} * C_s$$

**Ecuación 23-4.**

TABLE 5-4 Size Factors	
U.S. customary units	
Size range	For $D$ in inches
$D \leq 0.30$	$C_1 = 1.0$
$0.30 < D \leq 2.0$	$C_1 = (D/0.3)^{-0.11}$
$2.0 < D < 10.0$	$C_1 = 0.859 - 0.02125D$
SI units	
Size range	For $D$ in mm
$D \leq 7.62$	$C_1 = 1.0$
$7.62 < D \leq 50$	$C_1 = (D/7.62)^{-0.11}$
$50 < D < 250$	$C_1 = 0.859 - 0.000837D$

**Ilustración 6-4.** Rango de ejes

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

$$\text{Factor } C_s: \left(\frac{D}{7.62}\right)^{-0.11}$$

$$C_s = \left(\frac{25}{7.62}\right)^{-0.11} = 0.877$$

$$C_m = 0.8 \text{ (acero forjado)}$$

Desired reliability	$C_R$
0.50	1.0
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

**Ilustración 7-4.** Factor de seguridad

Fuente: Mott, 2018.

$$C_r = 0.9 \text{ (Confiabilidad del 90\%)}$$

$$C_{st} = 1 \text{ (carga tipo flexión)}$$

$$S_e' = 220 * 1 * 0.8 * 0.9 * 1 * 0.877 = 138.917 \text{ MPa}$$

- Par torsional

Potencia: 2 hp

Relación de poleas (la del motor con la primera polea del eje) =  $D_{p1}/D_{p0} = 8.4$

$D_{p0} = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$

$D_{p1} = 42 \text{ cm} = 0.42 \text{ m}$

$D_{p2} = 7.5 \text{ cm} = 0.075 \text{ m}$

$D_{p3} = 30 \text{ cm} = 0.30 \text{ m}$

Velocidad de rotación del eje:  $1796/8.4 = 213.809 \text{ rpm}$

Longitud del eje: 58 cm

$$T = \frac{63000 * Hp}{rpm}$$

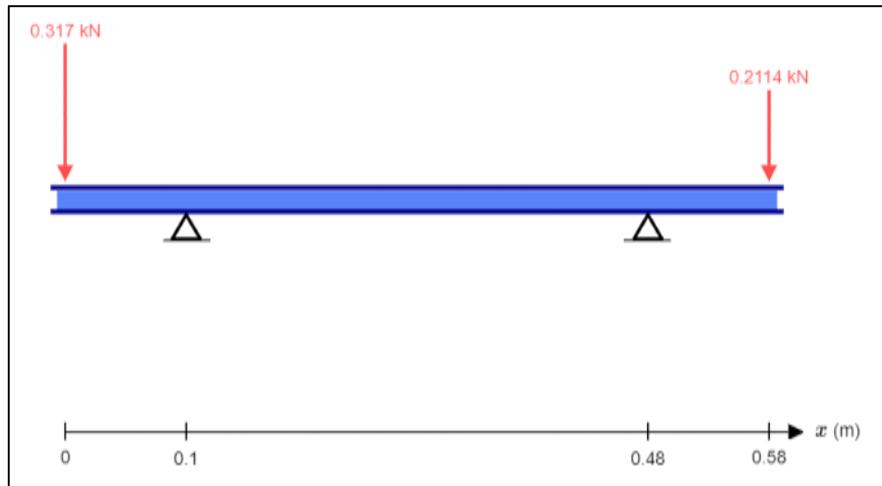
**Ecuación 12-4.**

$$T_1 = \frac{63000 * 2}{213.809} = 589.31 \text{ lb} - \text{in} \text{ ( 66.583 Nm)}$$

$$T_2 = \frac{63000 * 2/8.4}{213.809} = 70.156 \text{ lb} - \text{in} \text{ ( 7.926 Nm)}$$

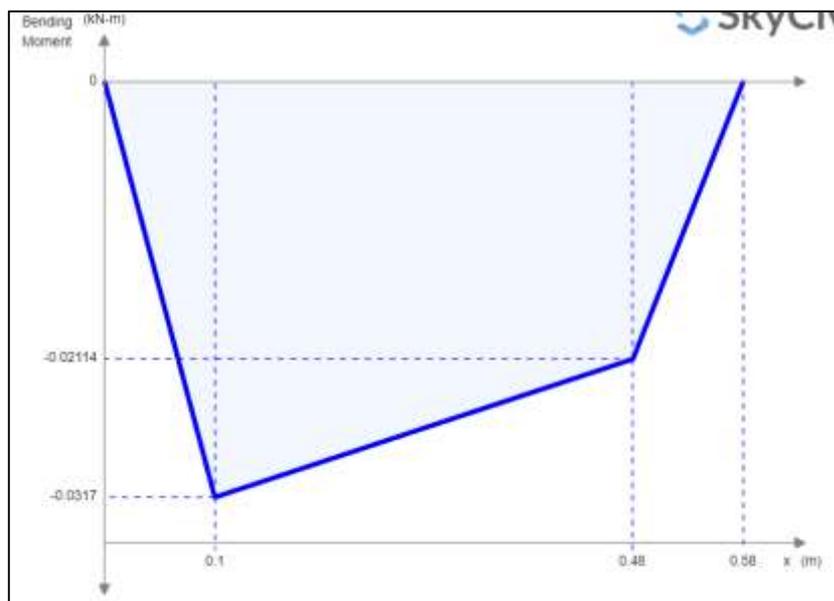
$$Carga_{polea 1} = \frac{T_1}{\frac{Dp_1}{2}} = \frac{66.583}{\frac{0.42}{2}} = 317.06 \text{ N}$$

$$Carga_{polea 2} = \frac{T}{\frac{Dp_2}{2}} = \frac{7.926}{\frac{0.075}{2}} = 211.36 \text{ N}$$



**Ilustración 8-4.** Par torsional

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.



**Ilustración 9-4.** Par torsional

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

$$M = 31.7 \text{ Nm}$$

$$D^3 = \frac{32 * F.S.}{\pi} \sqrt{\left[\frac{Kt * M}{Sn'}\right]^2 + \frac{3}{4} * \left[\frac{T}{sy}\right]^2}$$

$$Kt = 1 \text{ (carga regular)}$$

Usando  $D = 25 \text{ mm} = 0.025 \text{ m}$  ( $D$  es el diámetro del eje que se escogió, ahora se comprueba que el diámetro es válido o no. Para ello se calcula el F.S., si el factor de seguridad es mayor a 1, entonces soportará las cargas.)

$$F.S. = \left( \frac{32.}{\pi * D^3} \sqrt{\left[\frac{Kt * M}{Se'}\right]^2 + \frac{3}{4} * \left[\frac{T}{sy}\right]^2} \right)^{-1}$$

$$F.S. = \left( \frac{32.}{\pi * 0.025^3} \sqrt{\left[\frac{1 * 31.7}{138.917e^6}\right]^2 + \frac{3}{4} * \left[\frac{66.583}{185e^6}\right]^2} \right)^{-1}$$

$$F.S. = 3.971$$

Al obtener un factor de seguridad mayor a 1, se justifica el uso del diámetro de 25 mm para el de transmisión.

### Selección de chumaceras

Temperatura de funcionamiento = 20 C (ambiente)

Diámetro del eje: 25 mm

Velocidad de rotación: 213.809 rpm

Tipo de rodamiento disponible en la localidad: rodamientos de esferas, chumaceras serie P

Carga máxima por soportar 317.06 N

**Idoneidad de los rodamientos para aplicaciones industriales**

**Símbolos**

- +++ excelente
- ++ buena
- + aceptable
- deficiente
- inadecuado
- ∅ - datos efíctos
- ∓ - simple efecto
- - desplazamiento libre sobre el asiento
- - desplazamiento libre dentro del rodamiento
- ✓ - sí
- ✗ - no

Tipo de rodamiento	Capacidad de carga			Destinación	
	Carga radial	Carga axial	Carga de momento	Industria agrícola	Industria química (uso de aceites y grasas)
Rodamientos rígidos de bolas	+	++	A+, B+	---	---
Rodamientos de inserción	+	++	---	++	---
Rodamientos de una hilera de bolas de contacto angular	+0	++	---	---	---
apuntados de una hilera	A, B++ C++0	A, B++	A+, B+	A, C-- B--	---
de dos hileras	++	++	++	---	---
con cuatro puntos de contacto	+0	++	---	---	---
Rodamientos de bolas a rótula	+	---	---	+++	+0
Rodamientos de rodillos cónicos, con eje	++	---	---	---	---
completamente lisos de rodillos, de una hilera	++	A, B++ C, D++	---	---	---
completamente lisos de rodillos, de dos hileras	+++	A+, B+	---	---	---

**Ilustración 10-4.** Selección de chumaceras

Fuente: GRUPO SKF, 2019.

**3.1 Rodamientos de una hilera de bolas de contacto angular**  
d 25 - 30 mm

Dimensiones principales		Capacidad de carga básica	Carga límite de fatiga	Velocidades nominales	Massa	Designaciones	Rodamiento de diseño básico/ estándar				
d	D	B	$C_0$	$P_n$	Velocidad de referencia m/min	Velocidad límite	kg				
25	52	15	14,8	9,3	0,4	16 000	12 000	0,13	-	-	• 7205 BE-2RZP
	52	15	14,8	9,3	0,4	16 000	15 000	0,23	-	-	• 7205 BEP
	52	15	14,8	9,3	0,4	16 000	15 000	0,13	-	-	• 7205 BEV
	52	15	15,6	10	0,43	16 000	17 000	0,13	•	7205 BECBP	-
	52	15	15,6	10	0,43	16 000	17 000	0,13	•	7205 BECDV	-
	52	15	15,6	10	0,43	16 000	20 000	0,13	•	7205 BECDM	-
	52	15	15,6	10	0,43	16 000	17 000	0,13	•	7205 BECBPH	-
	52	15	15,6	10	0,43	17 000	20 000	0,13	•	7205 ACBHM	-
	62	17	24,2	14	0,6	14 000	11 000	0,23	-	-	• 7305 BE-2RZP
	62	17	24,2	14	0,6	14 000	14 000	0,23	-	-	• 7305 BEP
	62	17	24,2	14	0,6	14 000	14 000	0,23	-	-	• 7305 BEV
	62	17	26,1	15,3	0,665	14 000	15 000	0,23	•	7305 BECBP	-
	62	17	26,5	15,3	0,655	14 000	15 000	0,23	•	7305 BECBPH	-
	62	17	26,5	15,3	0,655	14 000	15 000	0,23	•	7305 BECDV	-

**Ilustración 11-4.** Sistema de poleas

Fuente: GRUPO SKF, 2019.

Por lo tanto, se escoge un rodamiento 7205 BECBP -> Chumacera P205

#### 4.2.13. Estimación de vida útil

Rodamiento 7205

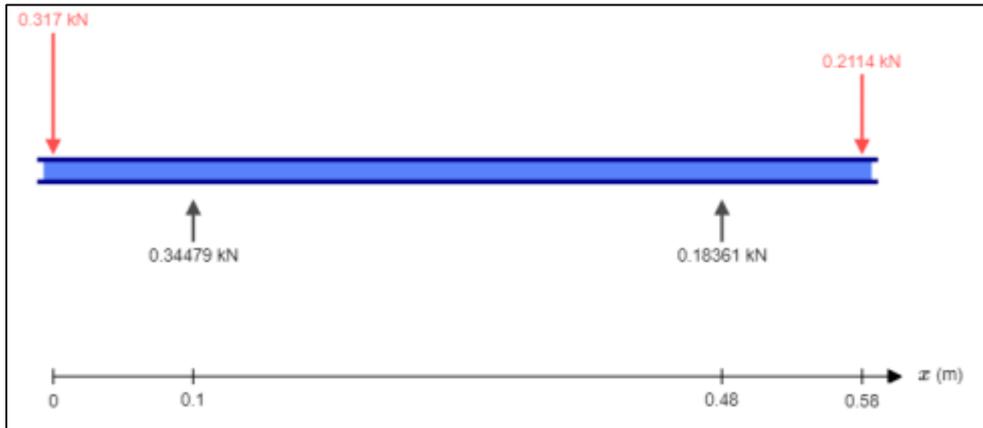
$C = 14.8 \text{ kN}$

$$\text{Vida nominal básica} = L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (\text{ISO 281})$$

**Ecuación 24-4.**

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} L_{10}$$

**Ecuación 25-4.**



**Ilustración 12-4.** Reacción en el rodamiento (carga)

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

$P = 0.345 \text{ kN}$  (carga máxima en el soporte calculado)

$$L_{10} = \left(\frac{15.6}{0.345}\right)^3 = 92452.04$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 213.809} * 92452.04$$

$$L_{10h} = 7206746 \text{ horas}$$

La carga que actúa sobre el rodamiento estipula que se lo podrá considerar como si tuviese una vida infinita. Por lo tanto, las chumaceras no son consideradas consumibles y por ello se requiere darles el mantenimiento que se estipula en el catálogo SKF.

#### 4.2.14. Análisis del proceso de molienda

##### 4.2.14.1. Rendimiento del proceso

- Cálculo del rendimiento del molino

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{P}{(P \text{ bruto})} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{4081g}{5000g} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 81,62 \%$$

Datos:

P=Peso de la muestra del tamiz de 125  $\mu$  más el fondo.

El 17,78 % de material que no cumple con el tamaño requerido de 125 $\mu$  se lleva nuevamente al molino hasta llegar al tamaño deseado.

- Cálculo de % de Rechazo

$$\% \text{ Rechazo} = \frac{p}{(P \text{ bruto})} * 100$$

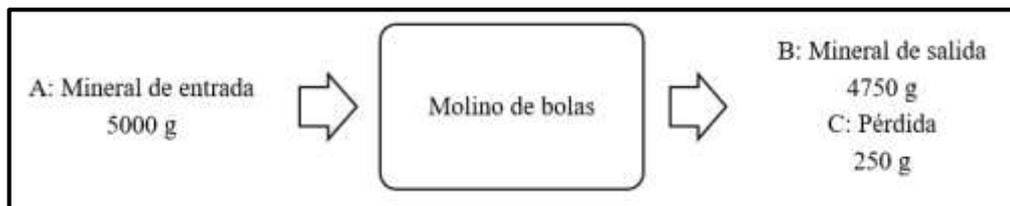
$$\% \text{ Rechazo} = \frac{889 g}{5000g} * 100$$

$$\% \text{ Rechazo} = 17,78 \%$$

Datos:

P= peso de la muestra en los tamices mayores a 300  $\mu$

#### 4.2.15. Balance de masa de la molienda



**Ilustración 13-4.** Balance de masa

$$A = B + C$$

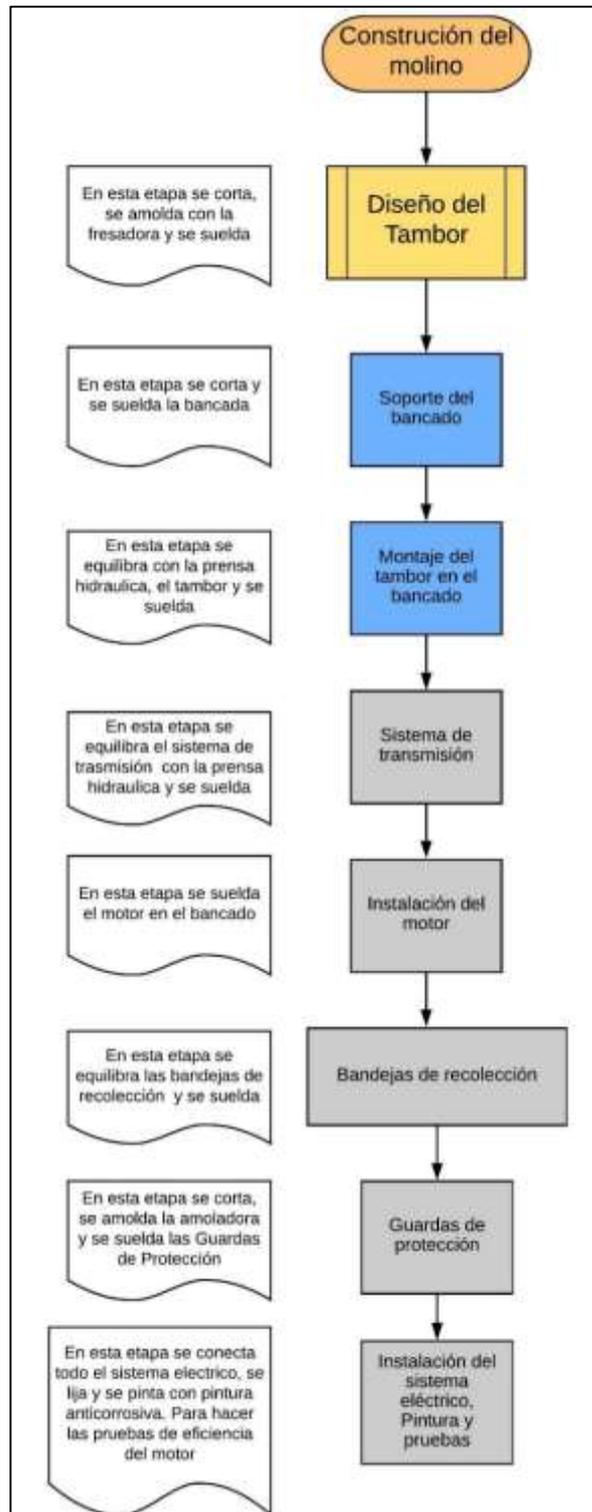
$$4750 g + 250g = 5000 g$$

#### 4.3. Porcentaje de pérdida

$$\% \text{ de pérdida} = \frac{250 g}{5000 g} * 100 = 5\%$$

El 5% corresponde al material que se pierde debido a las partículas de mineral que se esparce en el aire y las partículas que se quedan pagadas a las esferas, en el tambor y en la bandeja de recepción.

#### 4.4. Construcción del molino



**Ilustración 14-4.** Proceso de una construcción del molino

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

#### 4.5. Equipos

**Tabla 8-4:** Equipos utilizados en la construcción del molino de bolas

<b>Equipo</b>	<b>Uso</b>
Prensa hidráulica	Formación de tapa y pretinas.
Fresadora	Se utiliza en la transmisión y la creación de chavetas
Torno	Maquinado de poleas, trasmisiones y bisagras
Cortadora de perfiles	Montaje de la estructura donde se ubica el molino.
Roladora	Formación del tambor y piezas para la tapa
Pulidora	Cortes y acabados
Taladro	Orificios en la estructura
Corte por plasma	Corte del tambor
Compresor	Limpieza y pintura del molino
Suelda TIG	Bandejas de recolección de los cuerpos molidores y el producto.
Soldadura SMAG	Para soldar el tambor y la estructura de soporte

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

#### 4.6. Análisis de costos

Los gastos económicos que se enlistan en la siguiente tabla fueron utilizados en la construcción del molino de bolas

**Tabla 9-4:** Presupuesto y mano de obra

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor unitario (\$)</b>	<b>Valor total (\$)</b>
Planchas de acero A36 1.22 x 2.44 m 1 mm de espesor	2	Unidad	50	100
Bisagras de acero A36 Eje de 1 pulgada 25 cm	1	Unidad	50	50
Tubo de hierro A 36 2 in x 2 mm	2	Unidad	90	180
Plancha de acero A36 8 mm	1	m <sup>2</sup>	110	110
Pernos templadores	2	Unidad	20	40
Tornillería	20	Unidad	50	50
Poleas de transmisión de aluminio	4	Unidad	50	200
Chumaceras ¼ in	2	Unidad	30	60
Acero a 36 1 ¼ in	2	Unidad	25	50
Platinas de acero 6 mm	4	Unidad	25	100
Motor marca WEG 2hp	1	Unidad	280	280
Arrancador directo cableado y toma eléctrica 220V	1	Unidad	100	100
Mano de obra	1	Unidad	600	600
Cuerpos molidores diámetro (60mm)	20	Unidad	2,75	55

Cuerpos moledores diámetro (50mm)	21	Unidad	3	63
Cuerpos moledores diámetro (25mm)	41	Unidad	2	82
Bandas A79	2	Unidad	15	30
Bandas A55	2	Unidad	20	40
Patas de soporte regulables	4	Unidad	5	20
Acero a 36 1.22 x 2.44 m Para bandeja receptora	1	Unidad	50	50
Acero medio carbono 1 in	1	Unidad	20	20
Chumaceras de pie 1 in	2	Unidad	10	20
<b>Total</b>				<b>2300</b>

Elaborado por: Sampedro, M.; Zavala, L., 2022.

## CONCLUSIONES

- Se visitó el laboratorio de mineralogía y se pudo determinar cuáles son las variables técnicas como el espacio para la implementación del equipo, así como, el tipo de conexiones eléctricas además se definió que los parámetros a considerar en el mineral son el volumen, la densidad y la dureza de la roca en un rango de 6 a 7 ya que contienen calcopirita, pirita y cuarzo y se considera una roca dura, además son las rocas que se pueden encontrar en las zonas mineras.
- Se realizó un análisis de los tipos de molinos como son molino de bolas, molino de barras, molino de martillos, molino pendular y molino de rodillos se calificó sobre un valor de 25 puntos, los parámetros analizados fueron capacidad de equipo, tamaño de partícula final obtenido, costo de fabricación, tipo de material y seguridad de uso, el valor máximo obtenido fue de 21 puntos por lo que se definió que el diseño a realizarse es de un molino de bolas.
- La construcción del molino se realizó de acuerdo con los datos obtenidos previamente en el diseño del molino de bolas, después de la selección de un molino específico para el Laboratorio de Mineralogía tomando en cuenta todas las partes diseñadas como el tambor con un diámetro de 0.388 m y una longitud de 0.3104 m, teniendo como resultado un molino de bolas con una altura de 0.803 m y que soporta un peso de 37.19 kg los cuales se dividen en 5kg de muestra del mineral y 32.19 kg de los cuerpos moledores, con un motor monofásico de 2Hp y una velocidad crítica de 54.32 rpm.
- Al realizar la validación y pruebas en el molino de bolas en el laboratorio de mineralogía se pudo comprobar el correcto funcionamiento del equipo, obteniendo una reducción del mineral hasta un diámetro de 125  $\mu$ m necesarios para el próximo proceso, con un rendimiento del molino de bolas del 81,62%, el cual está dentro del rango aceptable del rendimiento de los molinos de bolas.

## RECOMENDACIONES

- Antes de utilizar por primera vez el equipo se recomienda leer los manuales de funcionamiento y seguridad para evitar daños y accidentes en el laboratorio.
- Se recomienda utilizar todos los implementos de EPP para resguardar la seguridad del estudiante.
- Antes de poner a funcionar el molino de bolas se debe asegurar que el cilindro esté cerrado correctamente para evitar fugas o pérdidas de material.
- Asegurarse que la llave del tambor no está puesta al momento de encender el equipo.
- Realizar el proceso de molienda solo por vía seca ya que el equipo no está diseñado para molienda por vía húmeda.
- Se recomienda que los recipientes en donde se deposita la muestra sean de superficie completamente lisas, de preferencia en acero inoxidable, además se debe hacer uso de un bisel para la parte interna con la finalidad que las partículas no se queden adheridas en las paredes del recipiente.
- El material para moler debe ser tamizado para asegurar que el diámetro de partícula en la entrada tenga un promedio de diámetro de 500 micras y un peso de 5 kilogramos, caso contrario se genera más tiempo de molienda y por ende mayor consumo energético.
- Se recomienda la limpieza antes y después de la molienda para asegurar que la muestra molida no se contamine con residuos de muestras anteriores.
- Al momento de ponerlo en marcha verificar antes que todos los cables estén correctamente conectados, evitar que el equipo esté conectado a tomacorrientes en serie conectados a otros equipos de alto consumo energético, debido a que el suministro energético puede no ser suficiente y ocasionar daños.



## BIBLIOGRAFÍA

**ALCÁNTARA, J.R.** Diseño práctico de un molino de esferas [En línea]. (Trabajo de Titulación) /Tesis de pregrado). Escuela Superior De Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional “Azcapotzalco”. México, 2018, pp. 1-123. [Consulta : 07 agosto 2022]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/107/TESIS+Juan+Ramon+Alcantara+Valladar es++MOLINO+DE+BOLAS.pdf?sequence=1>

**BANCO CENTRAL DEL ECUADOR.** *Reporte Minero* [En línea]. Ecuador, 2021: s.n. [Consulta : 07 agosto 2022]. Disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero012021.pdf>

**BÁRCENA, A.** *Estado de situación de la minería en América Latina y el Caribe: desafíos y oportunidades para un desarrollo más sostenible* [En línea]. IX Conferencia de Ministerios de Minería de las Américas, 2018. pp.3-47.

**CHAENG.** *Molino Vertical De Rodillos Para EL Carbón - Informes de la Industria - Plantas de cemento, Molino vertical, Molino de esferas , Horno rotativo, Empresa de Maquinarias de la Gran Muralla* [En línea]. 2017. [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: <http://es.great-wall.co/media/industry-reports/2017/02/29.html#.Ymoyg9pBzIU>.

**DUEÑAS, R.; & GONZÁLEZ, B.** Diseño y construcción de un molino de esferas para la pulverización de arcillas en el laboratorio de materiales y catálisis de la universidad de Córdoba. [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de Córdoba, Facultad de Ingeniería. Montería- Córdoba. 2016. pp. 3-150. [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/672/TRABAJO%20DE%20GRADO%20FINAL%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**DUQUE ESCOBAR, G.** *Manual de geología para ingenieros* [En línea]. Manizales: Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. 2017. [Consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3145/minerales.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

**GRUPO SKF.** *Rodamientos SKF* [En línea]. S.l.: s.n. 2019. [Consulta: 8 agosto 2022]. Disponible en: [https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000\\_1-ES\\_tcm\\_201-121486.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf)

**MARTÍNEZ, J.; & DÍAS, F.** *Diseño del prototipo de un molino de esferas para laboratorio* [En línea]. 2019. S.l.: s.n. [Consulta: 22 abril 2022]. Disponible en: [https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files\\_ipo3/2019/44020/1/c2da996526c5953a41f2d6669515a6cf.pdf](https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo3/2019/44020/1/c2da996526c5953a41f2d6669515a6cf.pdf).

**MÉNDEZ, J.; & ORELLANA, A.** *Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de 15 qq/h de mineral pétreo para producir biofertilizantes* [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Quito-Ecuador. 2018. pp. 1-105. [Consulta: 22 abril 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15963/1/UPS-ST003724.pdf>

**MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS.** *En 2020, la minería dejó resultados económicos positivos para el Ecuador* [En línea]. Quito: Ministerio de Energía y Minas. 2021 [Consulta: 22 abril 2022]. Disponible en: <https://www.recursoyenergia.gob.ec/en-2020-la-mineria-dejo-resultados-economicos-positivos-para-el-ecuador/>.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Línea de base nacional para la minería artesanal y en pequeña escala de oro en Ecuador, Conforme la Convención de Minamata sobre Mercurio* [En línea]. febrero 2020. S.l.: s.n. [Consulta: 22 abril 2022]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/NAP-Inventario-de-Mercurio-Ecuador.pdf>.

**MOTT, R.L.** *Machine elements in mechanical design*. Sixth edition. NY: Pearson. 2018. ISBN 978-0-13-444118-4.

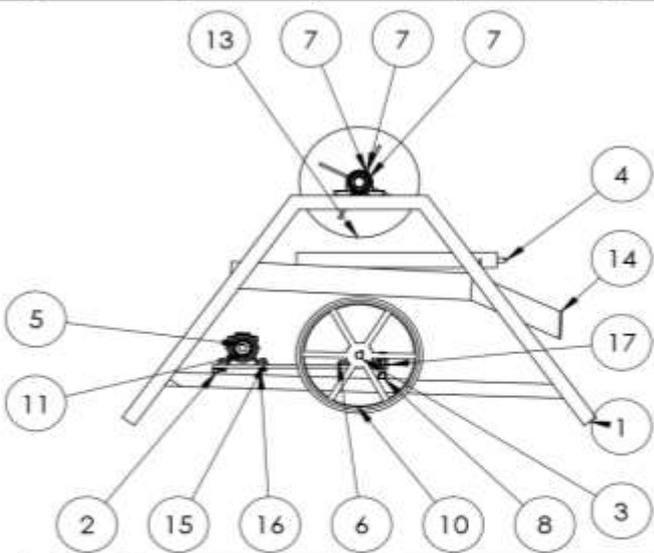
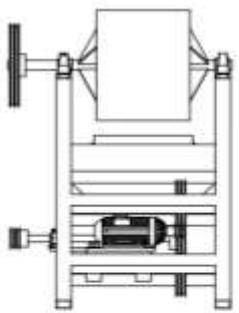
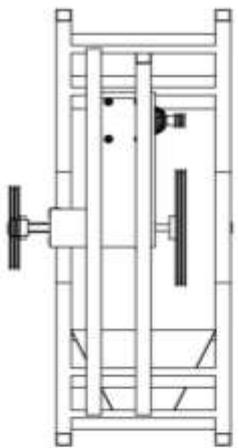
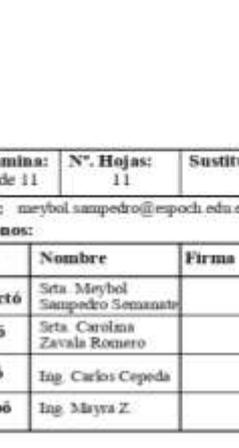
**PFERSICH, L.** *Clases minerales* [En línea]. Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía [Consulta: 5 mayo 2022]. 2020. [Consulta: 22 abril 2022]. Disponible en: <https://web.unican.es:443/centros/minas/exposicion-lorenzo-pfersich/clases-minerales>.

**VERDÉS, F.** *Molinos y chancadores para la trituración de minerales* [En línea]. 2015 [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: <https://verdes.com/procesamiento-minerales.html>.

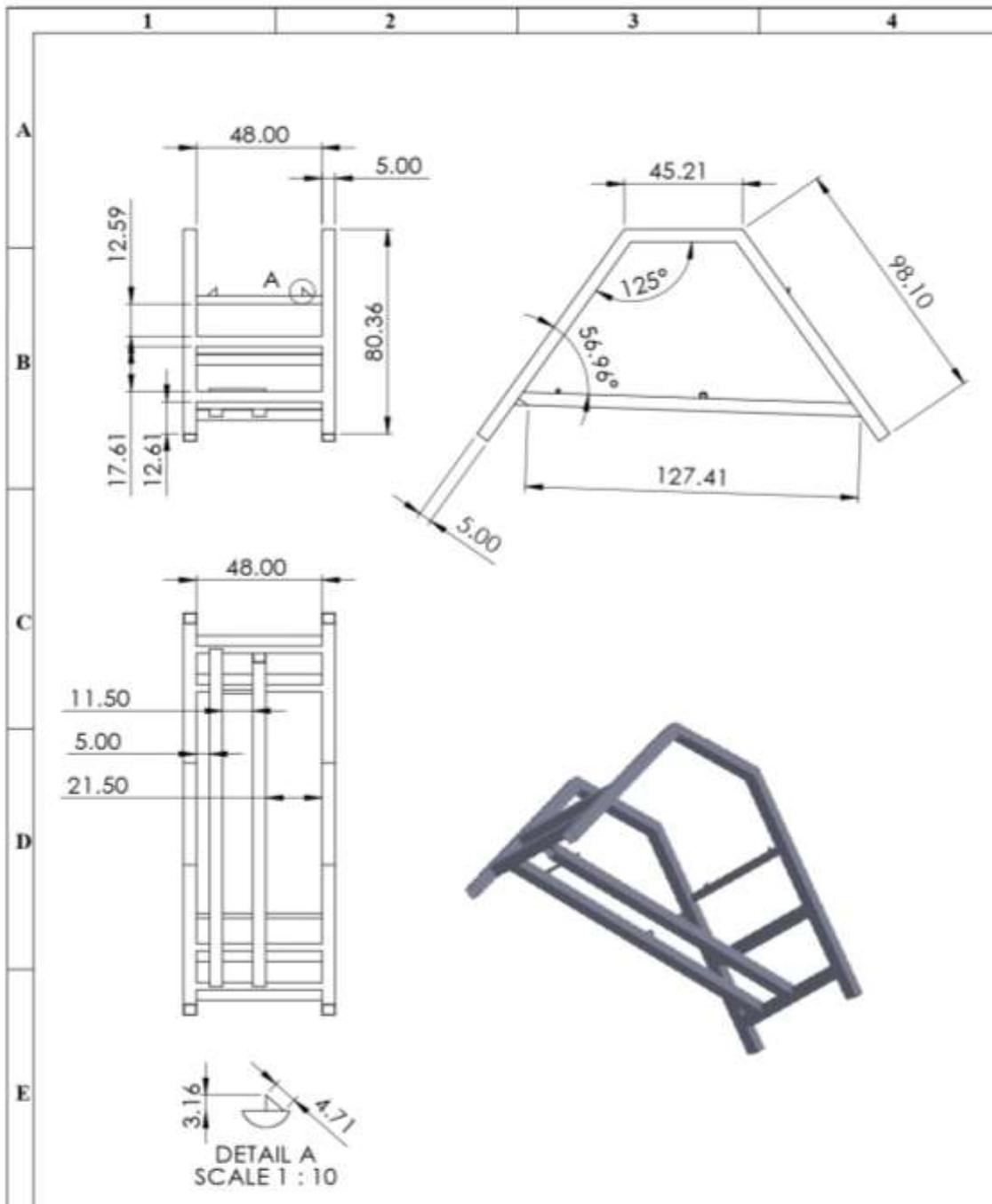


## ANEXOS

### ANEXO A. DESPIECE GENERAL DEL EQUIPO

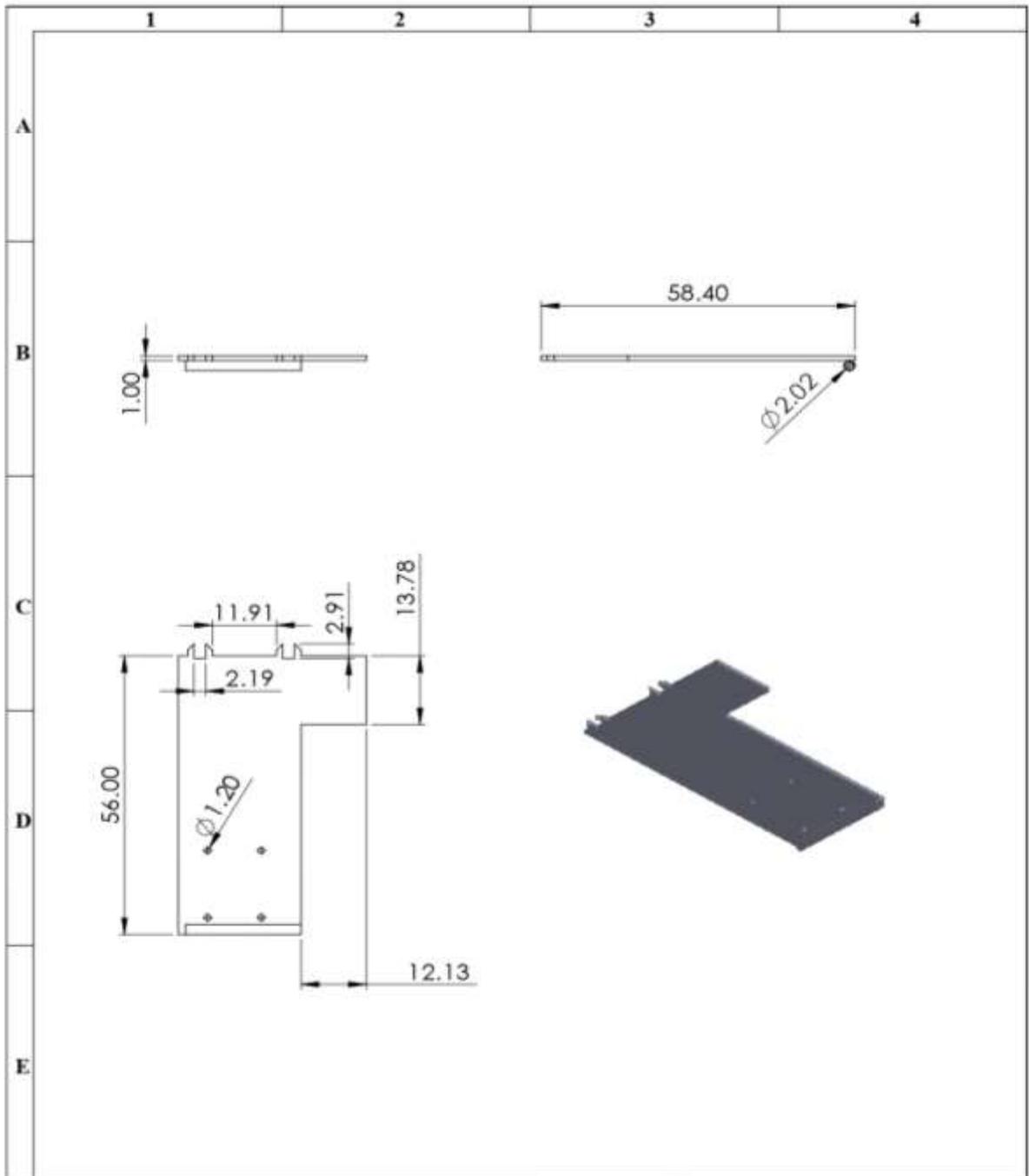
	1	2	3	4																																																																								
A																																																																												
B																																																																												
C	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">ITEM NO.</th> <th style="width: 20%;">PARTE</th> <th style="width: 50%;">DESCRIPCIÓN</th> <th style="width: 20%;">CANT.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Estructura</td><td>Acero A36</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>Base</td><td>Acero A36</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>Eje de transmisión</td><td>Acero AISI 1018</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>Filtro de bolas</td><td>Acero A36</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>Motor 2 hp</td><td>4 polos 1.5 kW</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>P205</td><td>SKF</td><td>2</td></tr> <tr><td>7</td><td>P207</td><td>SKF</td><td>2</td></tr> <tr><td>8</td><td>Pasador</td><td>Acero galvanizado</td><td>2</td></tr> <tr><td>9</td><td>Polea 30 cm</td><td>Aluminio</td><td>1</td></tr> <tr><td>10</td><td>Polea 42 cm</td><td>Aluminio</td><td>1</td></tr> <tr><td>11</td><td>Polea 5 cm</td><td>Aluminio</td><td>1</td></tr> <tr><td>12</td><td>Polea 7.5 cm</td><td>Aluminio</td><td>1</td></tr> <tr><td>13</td><td>Tambor</td><td>Acero A36 + AISI 1018</td><td>1</td></tr> <tr><td>14</td><td>Tolva</td><td>Acero A304</td><td>1</td></tr> <tr><td>15</td><td>B18.2.3.9M - M12 x 1.75 x 30</td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td>16</td><td>B18.2.2.4M M12 x 1.75 --N</td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td>17</td><td>B18.2.2.4M - M20 x 2.5 --N</td><td></td><td>2</td></tr> </tbody> </table>				ITEM NO.	PARTE	DESCRIPCIÓN	CANT.	1	Estructura	Acero A36	1	2	Base	Acero A36	1	3	Eje de transmisión	Acero AISI 1018	1	4	Filtro de bolas	Acero A36	1	5	Motor 2 hp	4 polos 1.5 kW	1	6	P205	SKF	2	7	P207	SKF	2	8	Pasador	Acero galvanizado	2	9	Polea 30 cm	Aluminio	1	10	Polea 42 cm	Aluminio	1	11	Polea 5 cm	Aluminio	1	12	Polea 7.5 cm	Aluminio	1	13	Tambor	Acero A36 + AISI 1018	1	14	Tolva	Acero A304	1	15	B18.2.3.9M - M12 x 1.75 x 30		4	16	B18.2.2.4M M12 x 1.75 --N		4	17	B18.2.2.4M - M20 x 2.5 --N		2
ITEM NO.	PARTE	DESCRIPCIÓN	CANT.																																																																									
1	Estructura	Acero A36	1																																																																									
2	Base	Acero A36	1																																																																									
3	Eje de transmisión	Acero AISI 1018	1																																																																									
4	Filtro de bolas	Acero A36	1																																																																									
5	Motor 2 hp	4 polos 1.5 kW	1																																																																									
6	P205	SKF	2																																																																									
7	P207	SKF	2																																																																									
8	Pasador	Acero galvanizado	2																																																																									
9	Polea 30 cm	Aluminio	1																																																																									
10	Polea 42 cm	Aluminio	1																																																																									
11	Polea 5 cm	Aluminio	1																																																																									
12	Polea 7.5 cm	Aluminio	1																																																																									
13	Tambor	Acero A36 + AISI 1018	1																																																																									
14	Tolva	Acero A304	1																																																																									
15	B18.2.3.9M - M12 x 1.75 x 30		4																																																																									
16	B18.2.2.4M M12 x 1.75 --N		4																																																																									
17	B18.2.2.4M - M20 x 2.5 --N		2																																																																									
D																																																																												
E																																																																												
N°. Lámina: 1 de 11		N°. Hojas: 11		Sustitución:		Codificación: FM-CIQ-MER-D-001-08-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>																																																																				
Email: meylbol.sampedro@epoch.edu.ec Teléfonos:						<b>General</b>		Denominación:		Registro																																																																		
Datos		Nombre		Firma				Fecha		Peso [Kg]		Tolerancia																																																																
Proyecto		Seta Meybol Sampedro Semanate		Fecha		2022/08/06		65		±0.3 [mm]																																																																		
Dibujó		Seta Carolina Zavala Romero		Fecha		2022/08/07		1:50																																																																				
Revisó		Ing. Carlos Cepeda		Fecha		2022/08/08		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE U.Z. Y.M.S. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR. PENADA POR LA LEY																																																																				
Aprobó		Ing. Mayra Z.		Fecha		2022/08/08						Nombre de archivo: Ensamble.sldprt																																																																

### ANEXO B. ESTRUCTURA DEL EQUIPO



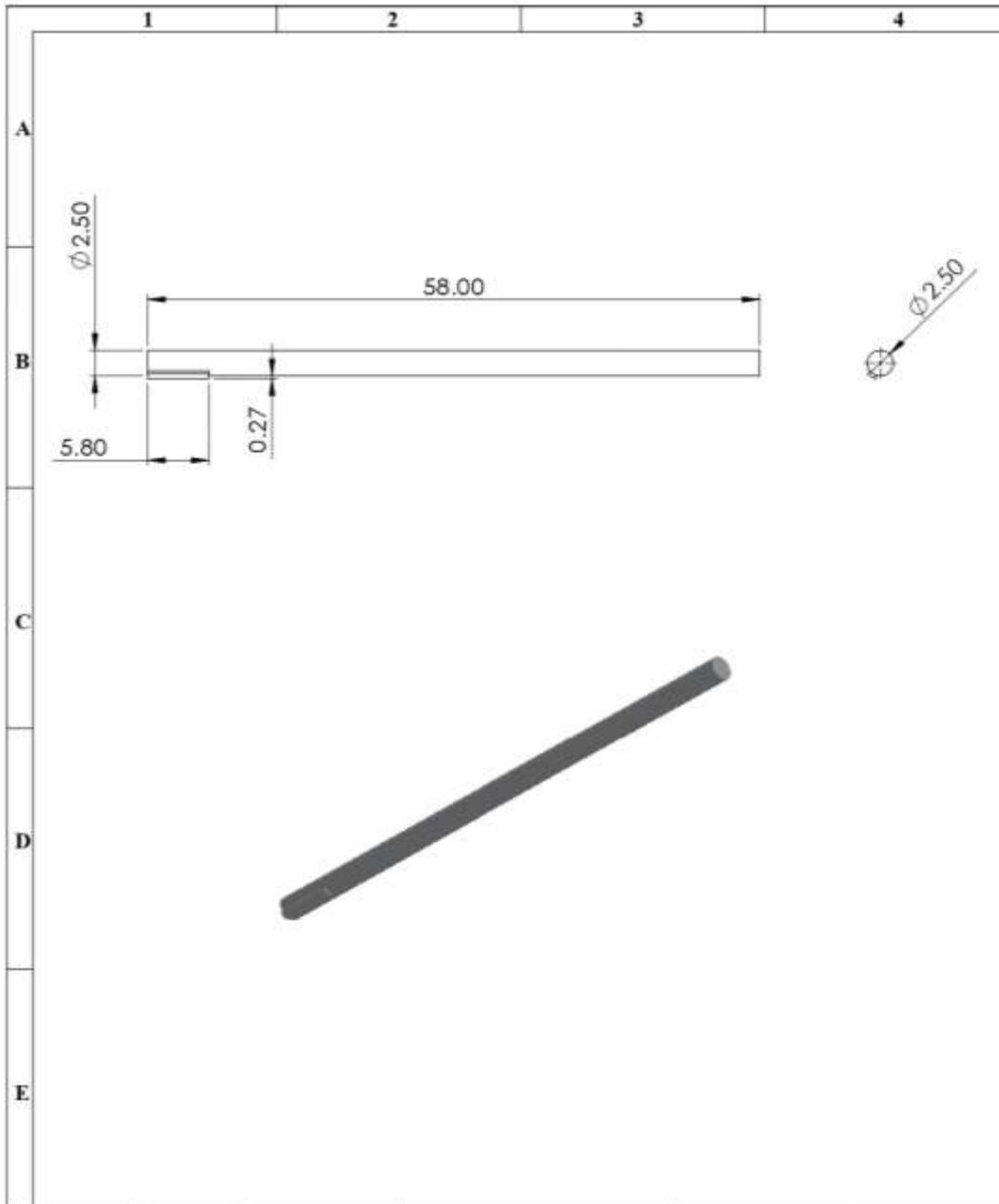
N°. Lámina: 2 de 11		N°. Hojas: 11		Sustitución:		Codificación: FM-CIQ-MER-D-001-05-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>							
Email: maybol.sampedro@esPOCH.edu.ec						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia	
Teléfonos:						<b>Estructura</b>		22		±0.3 [mm]		1:20			
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>	<b>Materiales:</b> Acero A36				<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE C.I. Y M.S. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>							
<b>Proyectó</b>	Lita Maybol Sampedro Semanah		2022-08-06	<b>Nombre de archivo:</b> Estructura.sldprt											
<b>Dibujó</b>	Lita Carolina Zavala Romero		2022-08-07												
<b>Revisó</b>	Ing. Carlos Cepeda		2022-08-08												
<b>Aprobó</b>	Ing. Mayra Z.		2022-08-08												

ANEXO C. ESTRUCTURA DE LA BASE



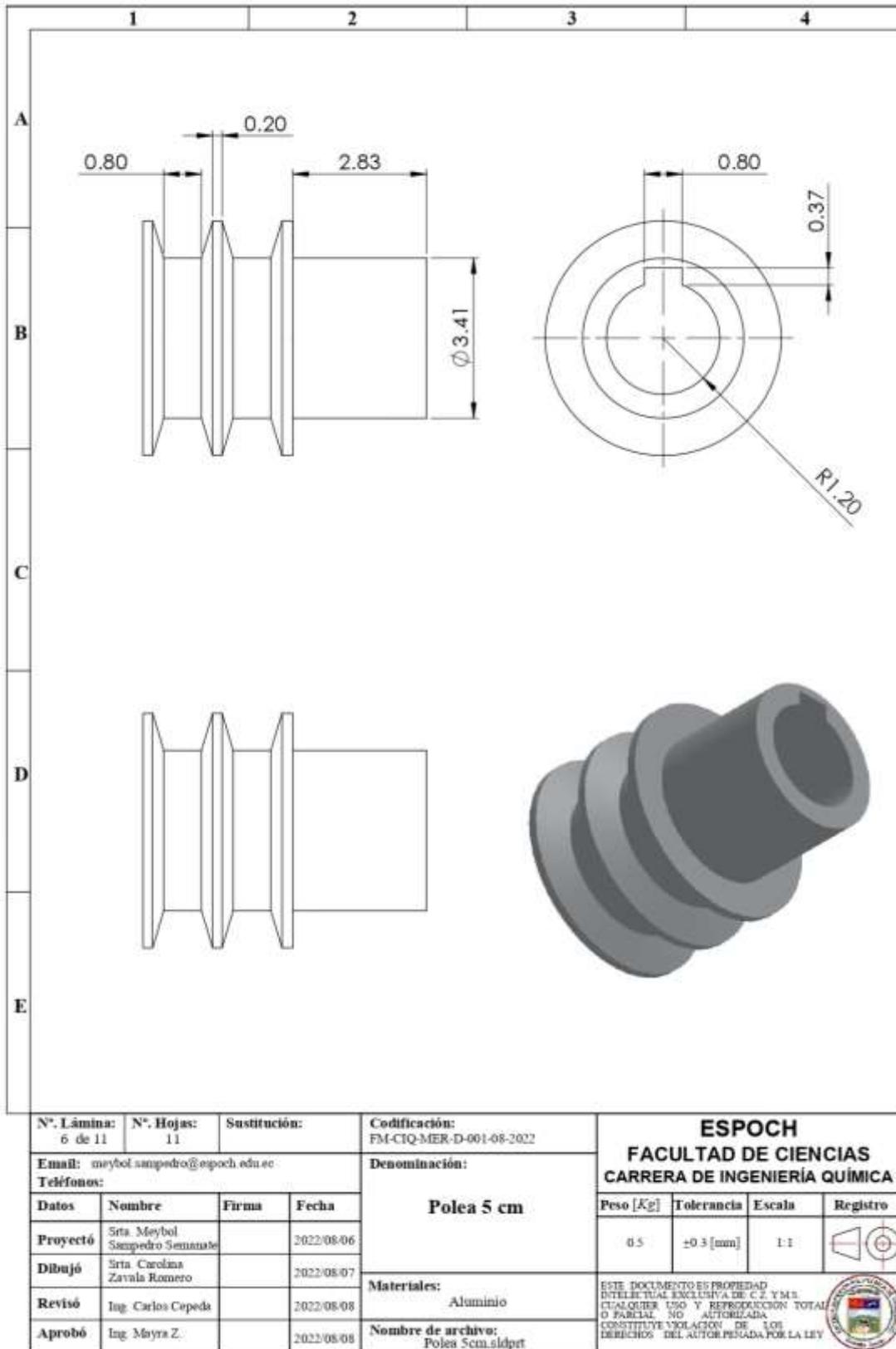
N°. Lámina: 3 de 11		N°. Hojas: 11		Sustitución:		Codificación: FM-CIQ-MER-D-001-08-2022		<b>ESPOCH</b>			
Email: meybol.sampedro@esPOCH.edu.ec						<b>Denominación:</b>  <b>Base</b>		<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>			
Teléfonos:								<b>CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>			
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>			<b>Peso [Kg]</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Escala</b>	<b>Registro</b>		
<b>Proyectó</b>	Sra. Meybol Sampedro Semanate		2022/08/06			3	±0.3 [mm]	1:10			
<b>Dibujó</b>	Sra. Carolina Zavala Romero		2022/08/07			<b>Materiales:</b> Acero A36		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE C.Z.Y.M.S. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
<b>Revisó</b>	Ing. Carlos Cepeda		2022/08/08								
<b>Aprobó</b>	Ing. Mayra Z.		2022/08/08			<b>Nombre de archivo:</b> Base.sldprt					

## ANEXO D. ESTRUCTURA DEL EJE DE TRANSMISIÓN

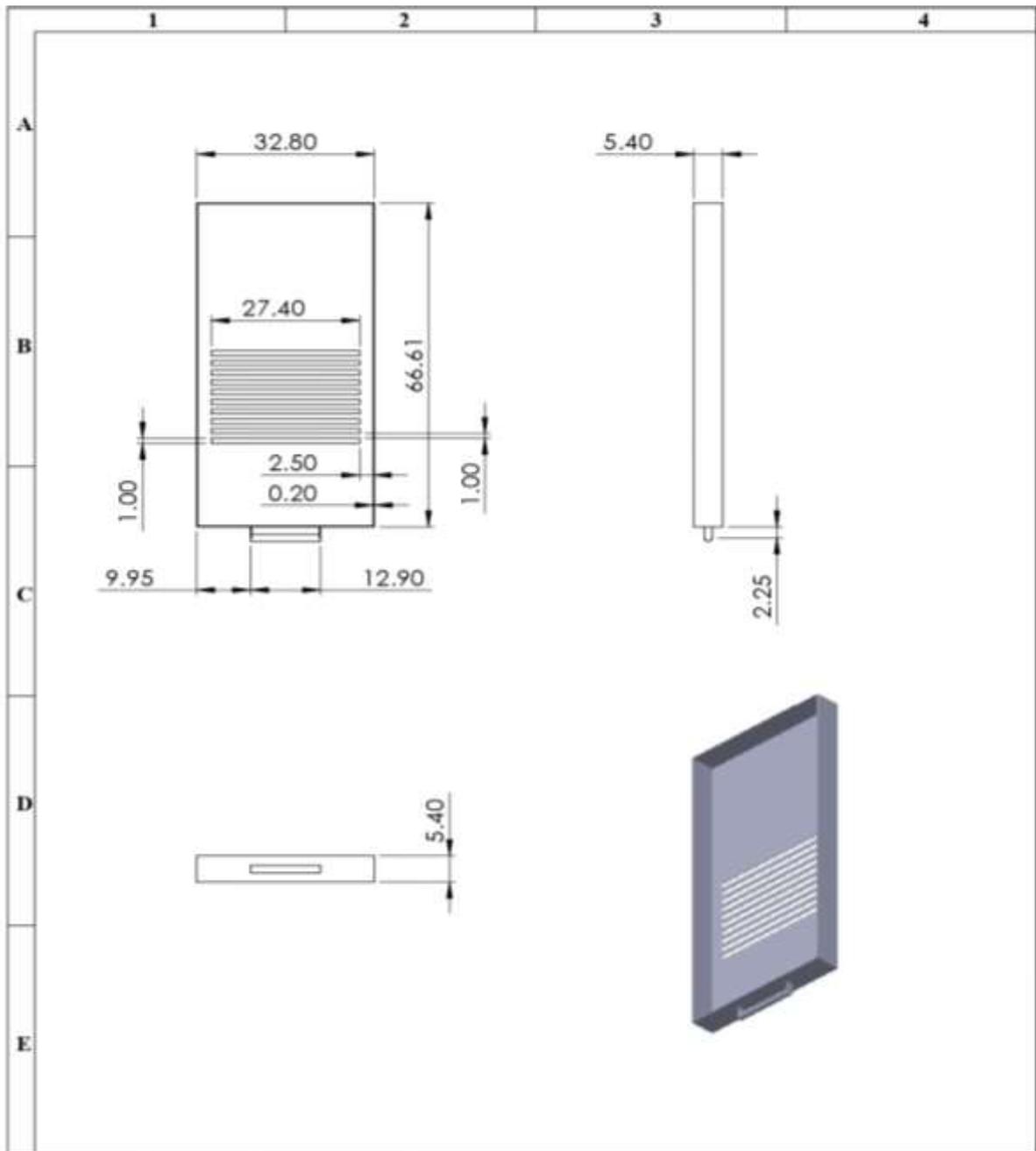


N°. Lámina: 4 de 11		N°. Hojas: 11		Sustitución:		Codificación: FM-CIQ-MER-D-001-08-2022		<b>ESPOCH</b>			
Email: meybol.sampedro@epoch.edu.ec						Denominación:		<b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>			
Teléfonos:						<b>Eje de transmisión</b>		<b>CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>			
Datos		Nombre		Firma				Fecha		Peso [Kg]	
Proyectó		Sra. Meybol Sampedro Semzate				2022/08/06		1.75		±0.3 [mm]	
Dibujó		Sra. Carolina Zavala Romero				2022/08/07		1:5			
Revisó		Ing. Carlos Cepeda				2022/08/08		Materiales: Acero AISI 1018		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE C.E. V.M.S. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 	
Aprobó		Ing. Mirya Z.				2022/08/08		Nombre de archivo: Eje de transmision.sldprt			

ANEXO E. ESTRUCTURA DE LA POLEA

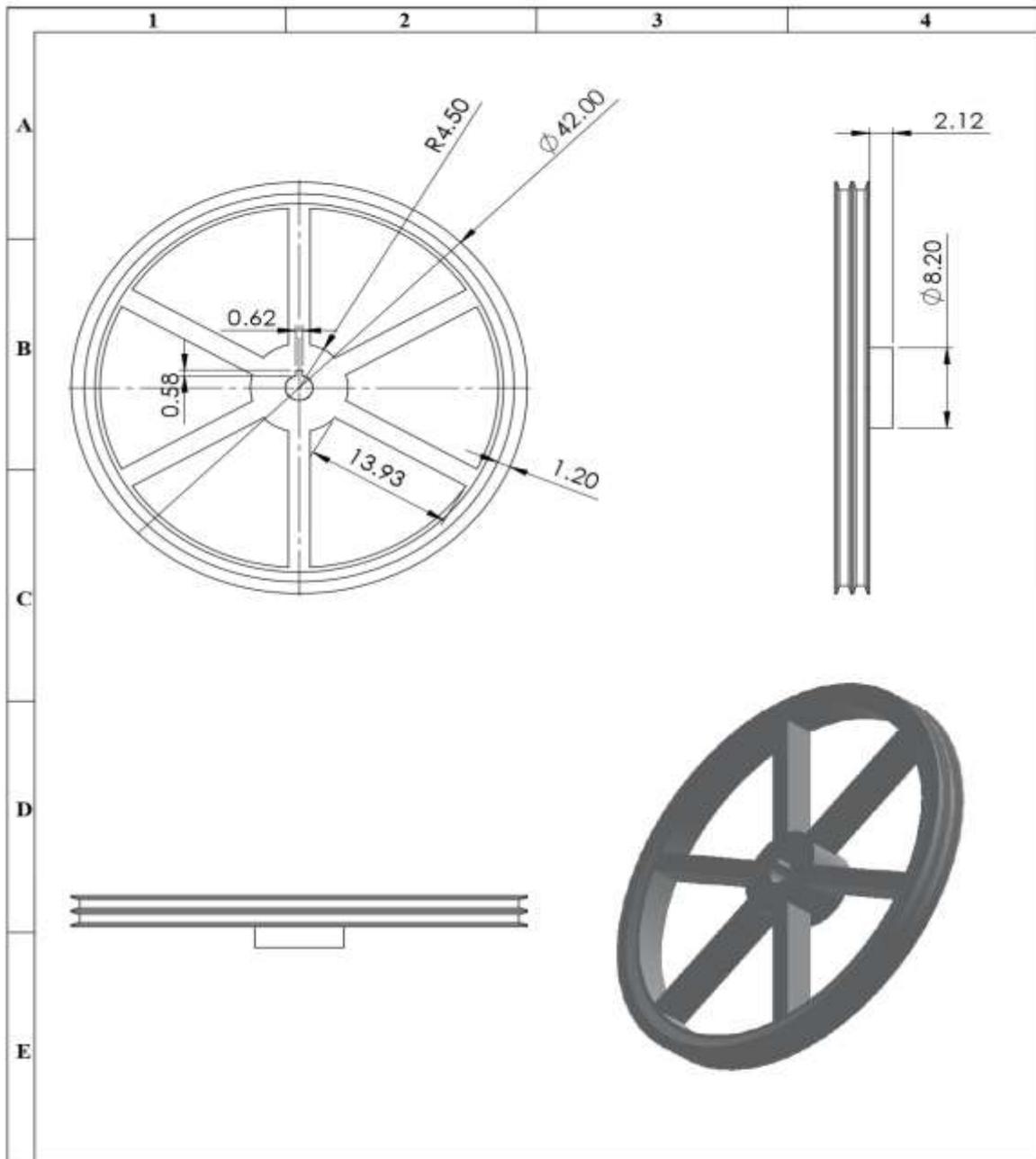


## ANEXO F. ESTRUCTURA FILTRO DE BOLAS



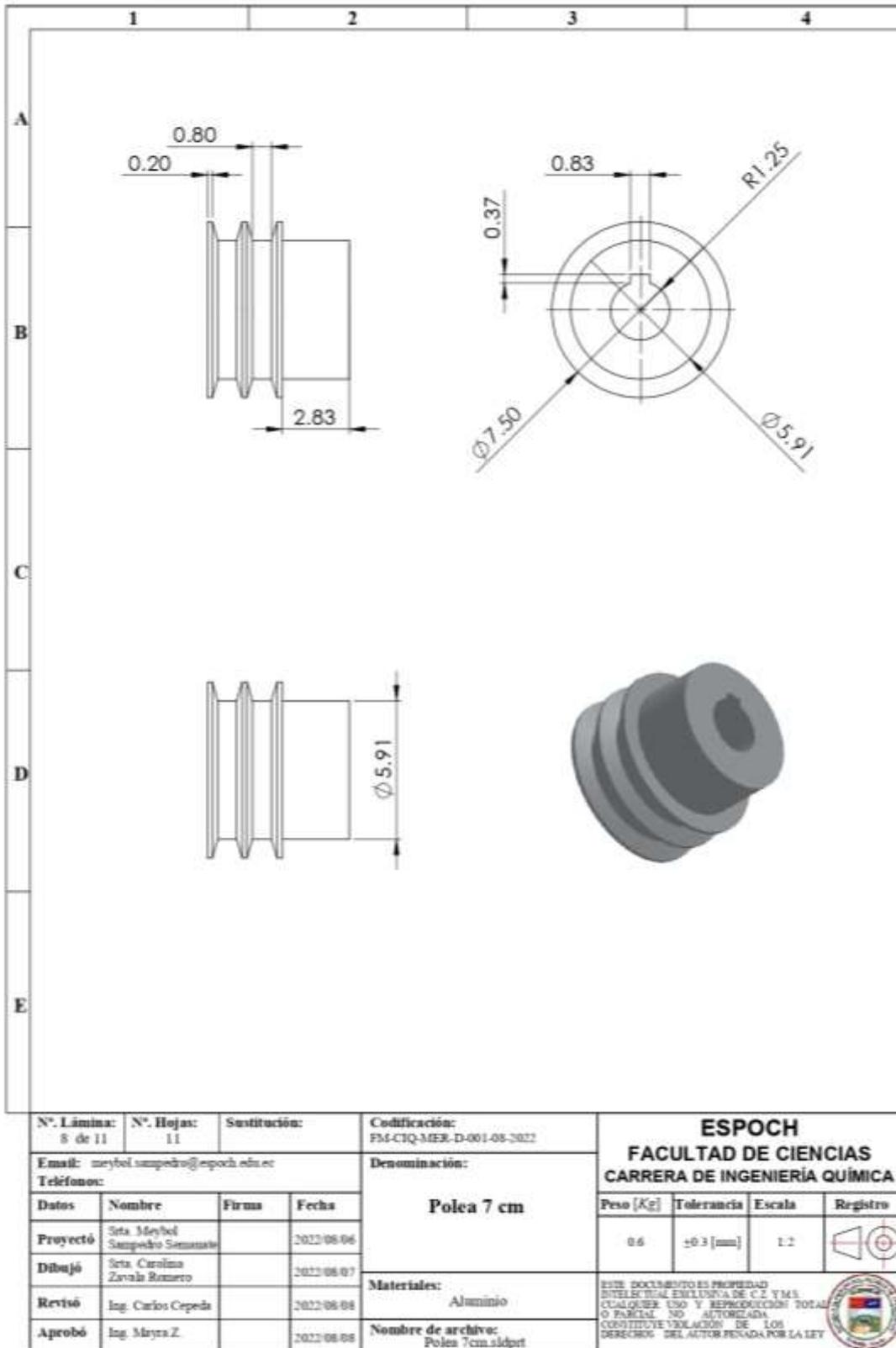
N°. Lámina: 5 de 11		N°. Hojas: 11		Sustitución:		Codificación: FM-CIQ-MER-D-001-08-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>							
Email: meybol.sampedro@spoch.edu.ec						<b>Filtro de bolas</b>									
Teléfonos:															
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		Seta Meybol Sampedro Semanate				2022/08/06		3.25		±0.3 [mm]		1:10			
Dibujó		Seta Carolina Zavala Romero				2022/08/07		Materiales: Acero A36							
Revisó		Ing. Carlos Cepeda				2022/08/08						ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE C E YMS. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Aprobó		Ing. Mayra Z.				2022/08/08		Nombre de archivo: Filtro de bolas.sldprt							

ANEXO G. ESTRUCTURA DE POLEA DE 42CM



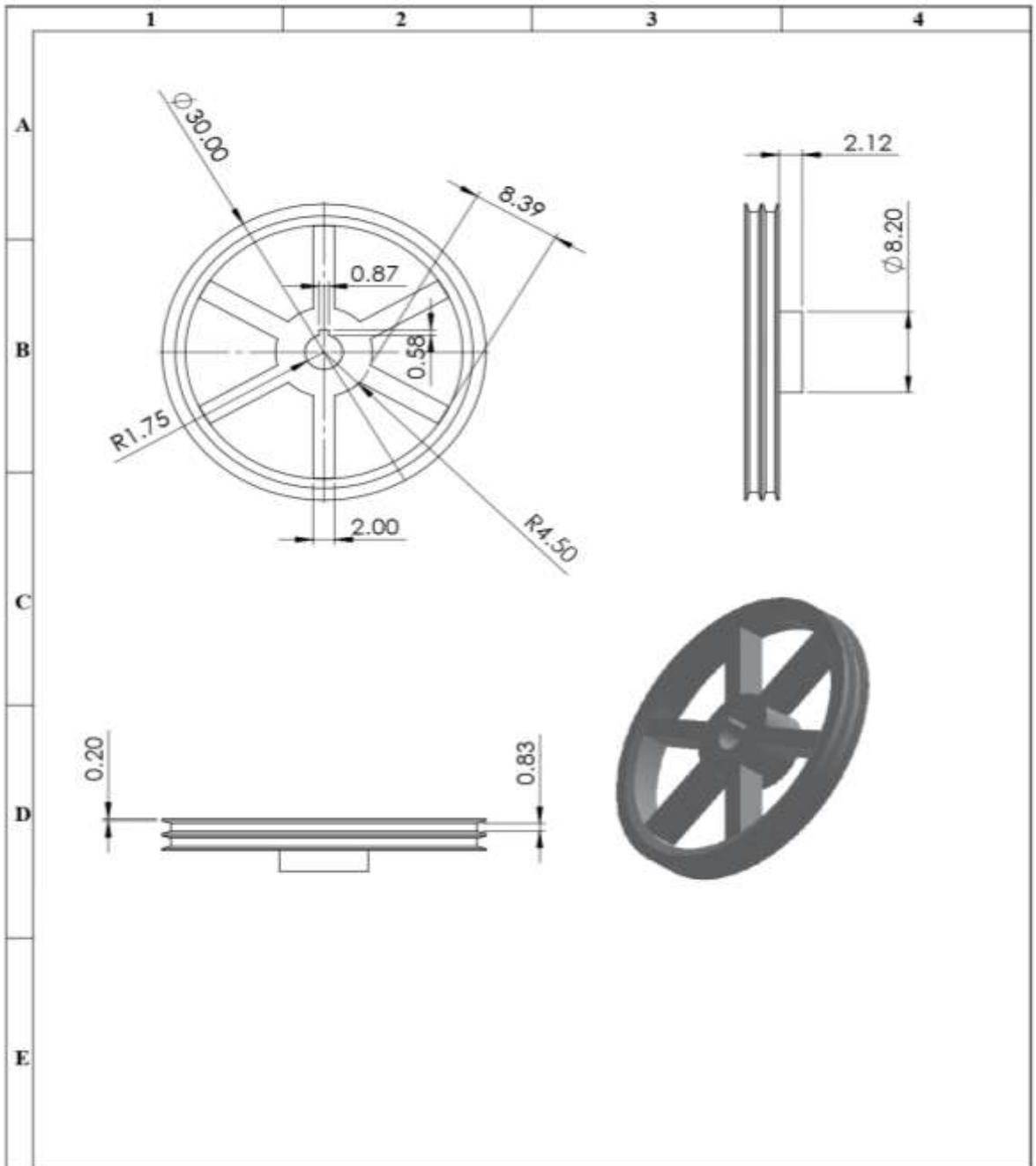
N°. Lámina: 7 de 11		N°. Hojas: 11		Sustitución:		Codificación: FM-CIQ-MER-D-001-08-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>							
Email: meybol.sampedro@esPOCH.edu.ec						Denominación:						Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Teléfonos:		Datos		Nombre		Firma		Fecha		<b>Polea 42 cm</b>		1.25	±0.3 [mm]	1:5	
Proyectó		Sra. Meybol Sampedro Semanate				2022/08/06									
Dibujó		Sra. Carolina Zavala Romero				2022/08/07		Materiales:		Aluminio		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE C. Z. Y M. S. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó		Ing. Carlos Cepeda				2022/08/08		Nombre de archivo:							
Aprobó		Ing. Mayra Z.				2022/08/08		Polea 42 cm.sldprt							

ANEXO H. ESTRUCTURA DE POLEA DE 7CM



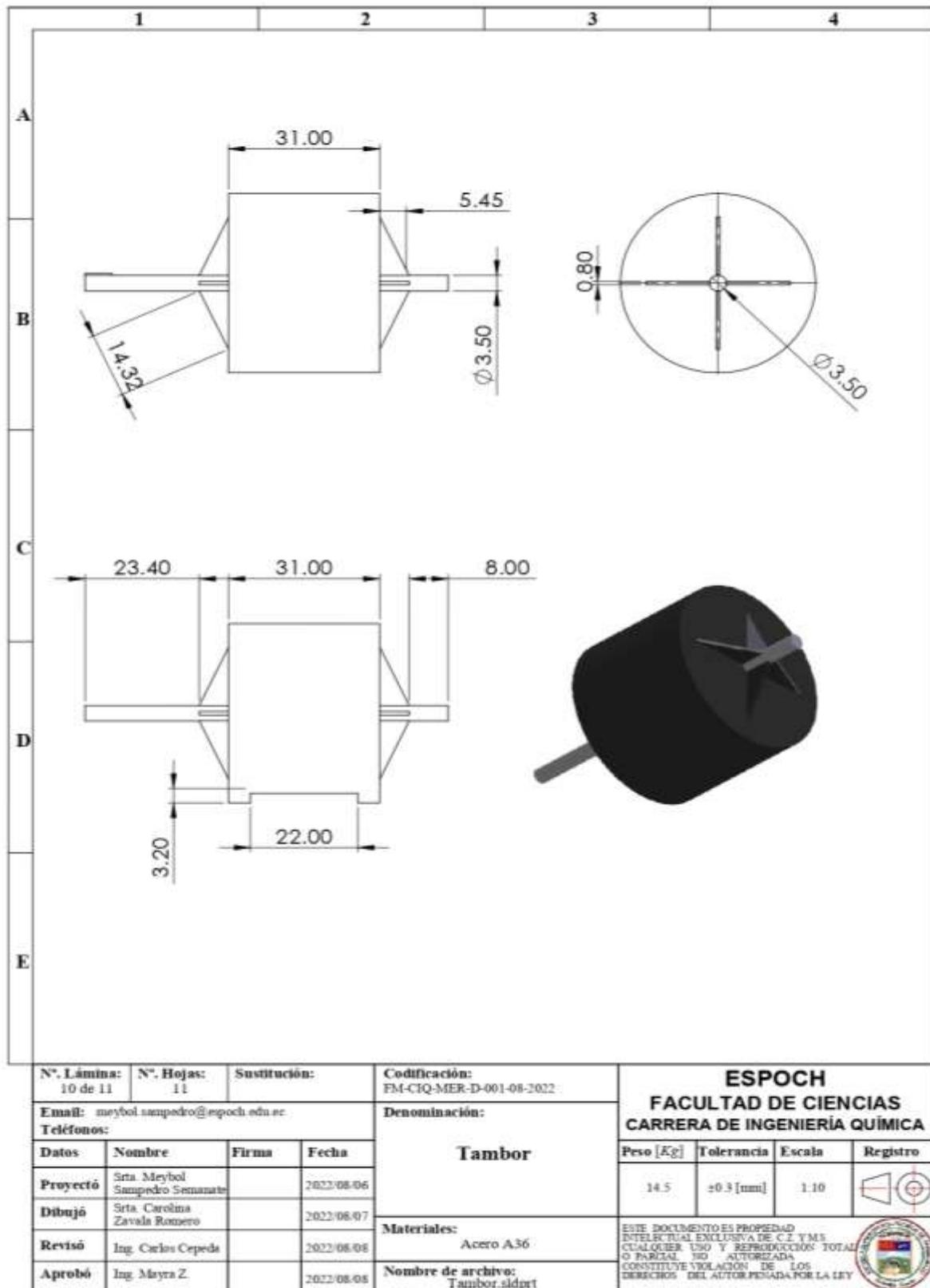
N°. Lámina: 8 de 11		N°. Hojas: 11		Sustitución:		Codificación: FM-CTQ-MER-D-001-08-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>											
Email: meybel.sampedro@esPOCH.edu.ec				Denominación:								Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Teléfonos:		<b>Polea 7 cm</b>				<b>Materiales:</b> Aluminio		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE C.Z Y M.S. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY											
Datos														Nombre		Firma		Fecha	
Proyectó														Sra. Meybel Sampedro Semanán				2022-08-06	
Dibujó														Sra. Carolina Zavala Romero				2022-08-07	
Revisó														Ing. Carlos Cepeda				2022-08-08	
Aprobó		Ing. Mirya Z.				2022-08-08		Nombre de archivo: Polea 7cm.sldprt											

ANEXO I. ESTRUCTURA DE LA POLEA DE 30CM

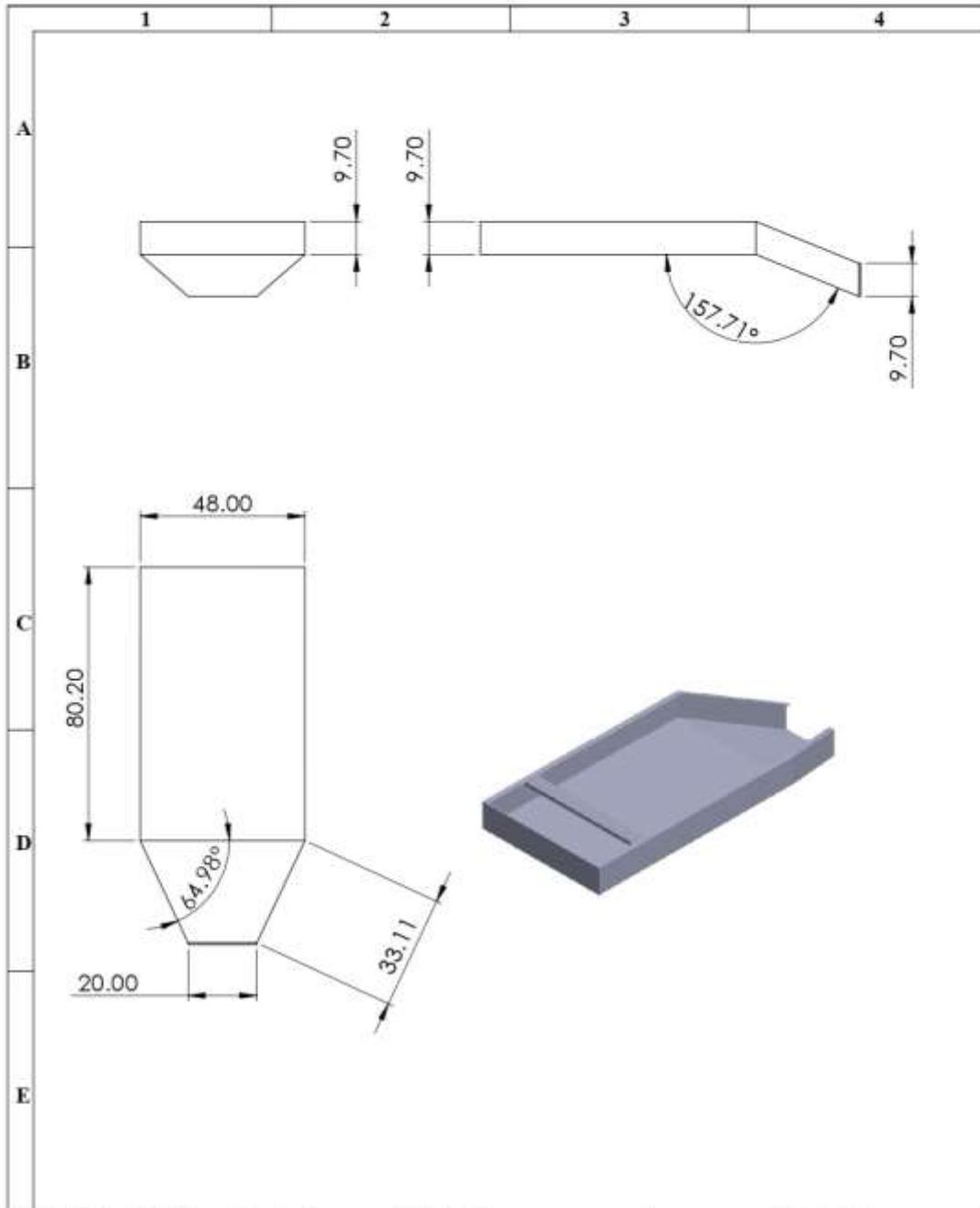


N°. Lámina: 9 de 11		N°. Hojas: 11		Sustitución:		Codificación: FM-CIQ-MER-D-001-08-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>				
Email: meybol.sampedro@epoch.edu.ec						Denominación:						Peso [Kg]
Teléfonos:						<b>Polea 30 cm</b>		1.35	$\pm 0.3$ [mm]	1:5		
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>	<b>Materiales:</b>				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE C.Z. Y M.S. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY				
<b>Proyectó</b>	Sra. Meybol Sampedro Semanate		2022/08/06	Aluminio								
<b>Dibujó</b>	Sra. Carolina Zavala Romero		2022/08/07	<b>Nombre de archivo:</b>								
<b>Revisó</b>	Ing. Carlos Cepeda		2022/08/08	Polea 30cm.sldprt								
<b>Aprobó</b>	Ing. Mayra Z.		2022/08/08									

## ANEXO J. ESTRUCTURA DEL TAMBOR



## ANEXO K. ESTRUCTURA DE LA TOLVA



N°. Lámina: 11 de 11		N°. Hojas: 11		Sustitución:		Codificación: FM-CIQ-MER-D-001-08-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>									
Email: maybol.sampedro@esPOCH.edu.ec						Denominación:		<b>Tolva</b>		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Teléfonos:										4.25		±0.3 [mm]		1:15			
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>			<b>Materiales:</b> Acero A36		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE C.Z. Y M.S. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY									
<b>Proyectó</b>	Sra. Maybol Sampedro Semanate		2022/08/06			<b>Nombre de archivo:</b> Tolva.sldprt											
<b>Dibujó</b>	Sra. Carolina Zavala Romero		2022/08/07														
<b>Revisó</b>	Ing. Carlos Cepeda		2022/08/08														
<b>Aprobó</b>	Ing. Mayra Z.		2022/08/08														

ANEXO L. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Construcción del cilindro



Tambor en la fresadora para darle forma



Filtro de bolas



Soldado de las diferentes estructuras



Peso de los diferentes cuerpos moledores



Molino de bolas



Tambor con cuerpos molidores



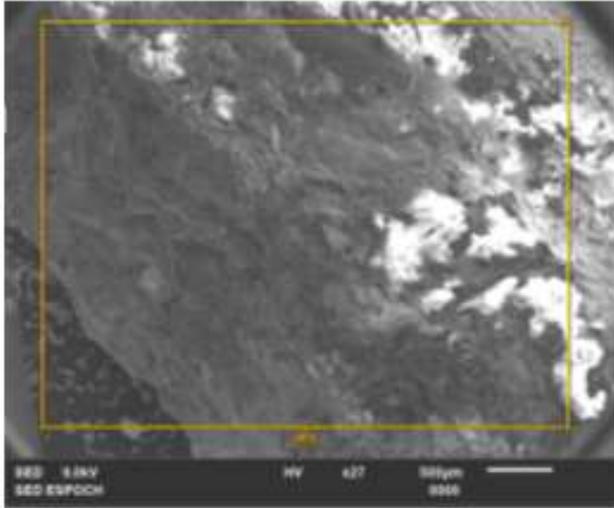
Muestra de alimentación del molino

**ANEXO M. LABORATORIO**

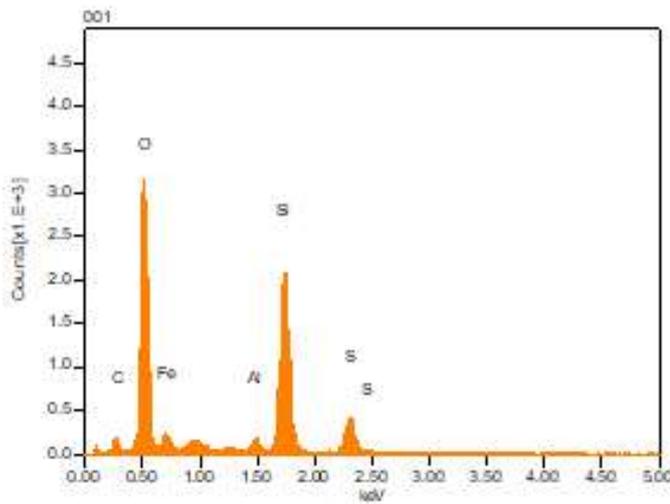
	
<p>Insertar cuerpos molidores en el tambor</p>	<p>Torre de tamices en el orden, #500, #355, #300, #250, #125, plato recolector.</p>
	
<p>Cuerpos molidores en el filtro de bolas</p>	<p>Preparación de la torre de tamices</p>

ANEXO N. RESULTADO DEL ANÁLISIS SEM-EDS DE LA MUESTRA QUE INGRESA AL MOLINO DE BOLAS.

001



Volt : 9.00 kV  
 Mag. : x 27  
 Date : 2022/08/04  
 Pixel : 640 x 480

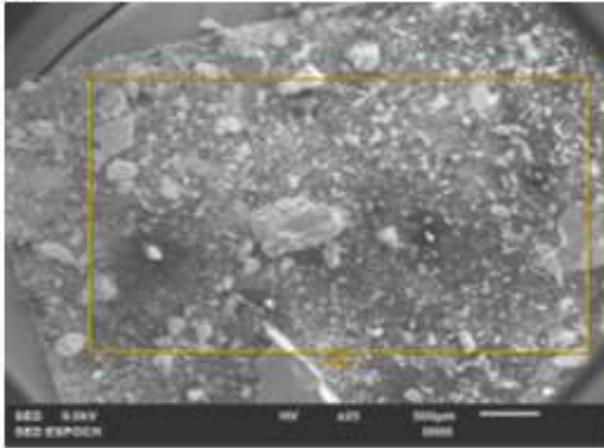


Acquisition Condition  
 Instrument : IT100LA  
 Volt : 9.00 kV  
 Current : ---  
 Process Time : 74  
 Live time : 94.60 sec.  
 Real Time : 96.63 sec.  
 DeadTime : 3.00 %  
 Count Rate : 804.00 CPS

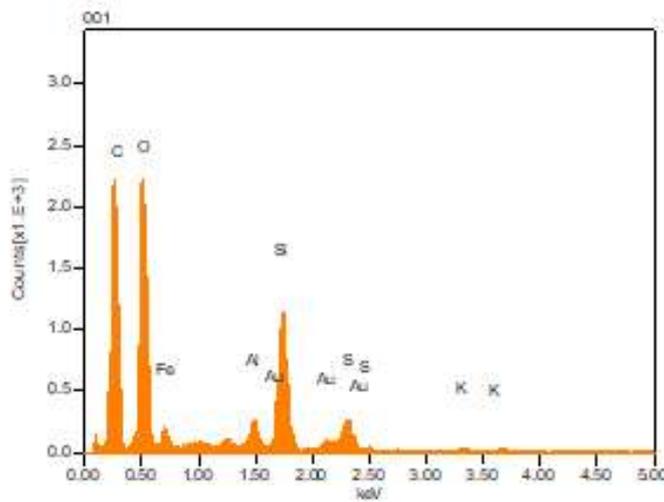
Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	2.08	11.56	0.06	812	0.0051659	K
O	12.28	51.28	0.06	16618	0.1007659	K
Al	0.56	1.39	0.02	1067	0.0039237	K
Si	9.15	21.77	0.06	16540	0.0692979	K
S	3.00	6.24	0.04	3852	0.0210071	K
Fe	6.49	7.76	0.19	1792	0.0252941	L
Total	33.56	100.00				

ANEXO O. RESULTADO DEL ANÁLISIS SEM-EDS DE LA MUESTRA QUE SALE DEL MOLINO DE BOLAS.

003



Volt : 9.00 kV  
 Mag. : x 25  
 Date : 2022/08/04  
 Pixel : 640 x 480



Acquisition Condition  
 Instrument : IT100LA  
 Volt : 9.00 kV  
 Current : ---  
 Process Time : T4  
 Live time sec. : 120.00  
 Real Time sec. : 121.85  
 DeadTime : 1.00 %  
 Count Rate CPS : 644.00

Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	13.12	55.27	0.08	10656	0.0534748	K
O	9.51	30.10	0.06	11728	0.0560618	K
Al	0.61	1.14	0.02	1490	0.0043181	K
Si	3.68	6.63	0.04	8573	0.0283155	K
S	1.38	2.17	0.02	2362	0.0101549	K
K	0.25	0.33	0.02	248	0.0018906	K
Fe	4.49	4.07	0.14	1453	0.0161685	L
Au	1.14	0.29	0.07	889	0.0083379	M
Total	34.17	100.00				

**ANEXO P. MANUAL DE USO**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**MANUAL DE INSTRUCCIONES Y USO DEL MOLINO DE BOLAS DEL**  
**LABORATORIO DE MINERALOGÍA.**



**AUTORAS:**

**SAMPEDRO SEMANATE MEYBOL PAULINA**  
**ZAVALA ROMERO LISETH CAROLINA**

Riobamba - Ecuador

2022

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	20
PARTES PRINCIPALES DEL MOLINO .....	21
RECOMENDACIONES.....	23
PROCEDIMIENTO .....	25
INFORMACION ADICIONAL.....	25

## INTRODUCCIÓN

### **Precaución:**

Lea este manual con detenimiento

Este manual explica los diversos procedimientos, recomendaciones y otras cuestiones relacionadas con el montaje, la operación, el mantenimiento y la reparación del molino de bolas.

### **Advertencia**

Esta máquina está diseñada para moler rocas y minerales lo cuales tengan una dureza hasta 8 en la escala de Mohs, y por su naturaleza es peligrosa si no se utiliza con conocimiento y precaución.

	Esta unidad no se puede usar por personas (incluidos niños) con discapacidades físicas, sensoriales o mentales, o la falta de experiencia y conocimiento, a menos que hayan recibido supervisión o instrucción previamente.
	Nunca de servicio, limpieza o mantenimiento a esta unidad mientras esté conectada a la energía eléctrica.



¡Peligro! No utilice directamente sus manos sin guantes para alimentar el tambor y para la salida del material molido, tenga precaución a la salida de los cuerpos moledores.

### PARTES PRINCIPALES DEL MOLINO



**Coraza o Tambor.** – también llamado casco es la parte externa muy resistente, tiene una forma cilíndrica y en su interior se encuentra las bolas y el material que se quiere moler, diseñado para soportar impactos.

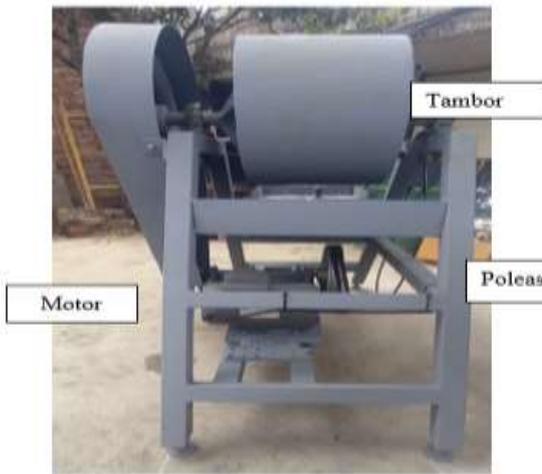


**Boca de carga y descarga.** – Abertura central o lateral por donde ingresa la muestra a moler y sale el material molido.

La tapa del tambor tiene 8 tornillos que deben ser enroscados alrededor de la boca de carga y descarga del material.



**Bancada o soporte.** – Es el componente que soporta todos los elementos del molino.



**Sistema de transmisión.** – Hace referencia principalmente a las poleas y bandas conectadas a la parte céntrica del motor



**Sistema eléctrico** – El motor eléctrico de 220V es una herramienta cuya función es convertir energía eléctrica en energía mecánica.



**Cuerpos molidores** – Son bolas de acero 705 con alta resistencia mecánica de tres diferentes tamaños:

	<p>Diámetro de las bolas (mm): 60          Número de bolas: 20          Masa (kg) unidad: 0.909</p>
	<p>Diámetro de las bolas (mm): 50          Número de bolas: 21          Masa (kg) unidad: 0,545</p>
	<p>Diámetro de las bolas (mm): 25          Número de bolas: 41          Masa (kg) unidad: 0,067</p>

### RECOMENDACIONES

- Se recomienda asistir a la práctica con todos los implementos EPP como son gafas, mandil, guantes industriales, zapatos cerrados punta de acero y protección auditiva ya que el molino causa ruido.



- Antes de poner a funcionar el molino de bolas se debe asegurar que el cilindro esté cerrado correctamente para evitar fugas o pérdidas de material.
- Realizar el proceso de molienda solo por vía seca ya que el equipo no está diseñado para molienda por vía húmeda.

- Asegurarse que la llave del tambor no está puesta al momento de encender el equipo.

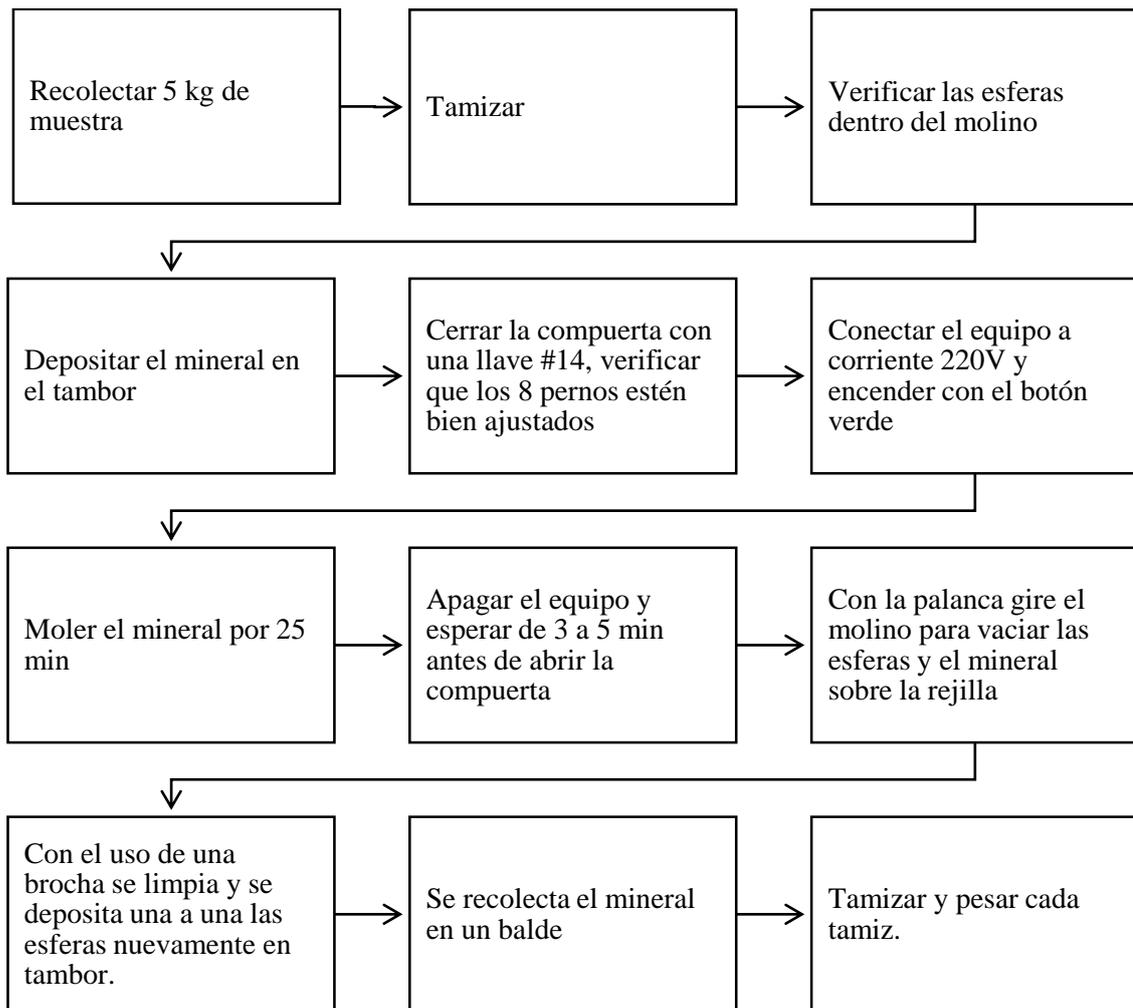


- El material para moler debe ser tamizado para asegurar que el diámetro de partícula en la entrada tenga un promedio de diámetro de 500 micras y un peso de 5 kilogramos, caso contrario se genera más tiempo de molienda y por ende mayor consumo energético.



- Se recomienda la limpieza antes y después de la molienda para asegurar que la muestra molida no se contamine con residuos de muestras anteriores.
- Al momento de ponerlo en marcha verificar antes que todos los cables estén correctamente conectados, evitar que el equipo esté conectado a tomacorrientes en serie conectados a otros equipos de alto consumo energético, debido a que el suministro energético puede no ser suficiente y ocasionar daños.

## PROCEDIMIENTO



## INFORMACION ADICIONAL

- Para cualquier información adicional revisar en los siguientes documentos:
- Trabajo de integración curricular
- Diseño y construcción de un molino para la reducción del tamaño de los minerales previo a la obtención de metales preciosos dentro del laboratorio de mineralogía de la ESPOCH.
- Guía de laboratorio de mineralogía práctica no. 1: reducción del tamaño de los minerales en el molino de bolas.

Para mantenimiento por posibles averías en el equipo llamar al Ing. Javier García



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 20 / 01 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
Nombres - Apellidos: Meybol Paulina Sampedro Semanate  Liseth Carolina Zavala Romero
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniería Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Nuste MSc.



2428-DBRA-UTP-2022