

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### Sistema automatizado de molienda para la minería artesanal

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico, que presenta el bachiller:

**Renzo Ruben Morales Nuñez**

**ASESOR: Elizabeth Roxana Villota Cerna**

Lima, Octubre de 2015

# Resumen

En la actualidad, el desarrollo de la minería artesanal en las diversas partes del país está dividida en la minería que se desarrolla informalmente, a espaldas del estado peruano, y la minería formal artesanal, que se desarrolla bajo las leyes y con una serie de beneficios que se otorga.

Existen diversos esfuerzos por parte del gobierno para cambiar poco a poco la cara de la minería artesanal, como la ley de formalización de la minería artesanal informal, o el proyecto GAMA, que significa Proyecto de Gestión Ambiental en la Minería Artesanal, y se desarrolla conjuntamente entre los países de Suiza y Perú.

Los problemas que se han detectado en cuanto al desarrollo a la minería artesanal van ligados al tema social, económico, ambiental y tecnológico, en lo que respecta al problema ambiental están relacionado al excesivo desperdicio de mercurio por nombrar uno, y en lo que se refiere a los problemas tecnológicos básicamente se refiere a como realizan sus operaciones, lo simple de las técnicas o prácticas empleadas por los mineros artesanales en sus actividades de extracción y la satisfacción que encuentran con los resultados obtenidos, reflejan una actitud conformista y conservadora de los métodos de explotación que emplean. Actitud conservadora que se refuerza con el desconocimiento de alternativas técnicas y la desconfianza que les genera tecnologías ajenas, cuando estas tecnologías no le permiten el control directo sobre el producto de su trabajo individual o resultan poco transparentes para ellos; por ejemplo, retortas y plantas de procesamiento de mineral.

La ingeniería puede jugar un rol dentro del proceso de formalización minera, facilitando soluciones tecnológicas, simples y transparentes. En ese sentido, el presente trabajo involucra el diseño de un sistema automatizado de molienda, con características particulares que satisfacen los requerimientos de la minería artesanal. Se ha elegido el proceso de molienda, pues es uno de los más importantes, cuyo resultado afecta directamente la recuperación del material.

En el capítulo 1 se presenta la problemática que gira en cuanto al desarrollo de la minería artesanal. En el capítulo 2 se explican los requerimientos que tiene que cumplir el sistema mecatronico diseñado, así como también el concepto de solución a la problemática planteada. En el capítulo 3, se especifican los sensores y actuadores del sistema de molienda, además, se detallan los planos de ensamble y despiece del sistema de molienda y por último se presentan los diagramas de control que hacen posible el funcionamiento del sistema diseñado. En el capítulo 4 se presentan los costos del sistema electrónico, del sistema de potencia y de los elementos mecánicos. En el capítulo 5 pertenece a las conclusiones del sistema diseñado para solucionar la problemática planteada.

# ÍNDICE

<b>Capítulo 1</b> .....	<b>4</b>
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>6</b>
2.1. Requerimientos del sistema mecatrónico: .....	6
2.2. Concepto de solución: .....	7
<b>Capítulo 3</b> .....	<b>10</b>
3.1. Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.....	10
3.2. Sensores, actuadores y dispositivo de control.....	12
3.2.1. Sensores.....	12
3.2.1.1. Sensores de nivel.....	12
3.2.1.2. Sensor de sonido.....	13
3.2.1.3. Célula de carga.....	14
3.2.2. Actuadores.....	15
3.2.2.1. Motor del alimentador helicoidal.....	15
3.2.2.2. Motor para el molino de bolas.....	16
3.2.2.3. Ventilador centrifugo.....	17
3.2.2.4. Pilotos indicadores.....	20
3.2.3 Dispositivo de control.....	20
3.3. Planos del sistema mecatrónico.....	21
3.4. Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico.....	34
3.5. Diagramas de control sistema mecatrónico.....	35
3.5.1. Diagrama de bloques.....	35
3.5.2. Diagrama P&ID.....	36
3.6. Diagrama de flujo del programa de control.....	37
<b>Capítulo 4</b> .....	<b>42</b>
<b>Capítulo 5</b> .....	<b>45</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>46</b>

# Capítulo 1

## Presentación de la problemática

El Perú es un país minero por excelencia esto debido a sus recursos naturales que le favorecen inmensamente para desarrollar este tipo de industria primaria. La minería se divide en: Gran Minería, Mediana Minería, Pequeña Minería y Minería Artesanal, de acuerdo a su capacidad productiva en t/día como se observa en la figura 1.1.

CLASIFICACION DE LA MINERIA EN EL PERU		
ESTRATO	TAMAÑO DE CONCESIONES	CAPACIDAD PRODUCTIVA
Gran Minería	Más de 2,000 Ha.	Más de 5,000 TM/día
Mediana Minería	Más de 2,000 Ha.	Hasta 5,000 TM/día
Pequeña Minería	Hasta 2,000 Ha.	Hasta 350 TM/día (1)
Minería Artesanal	Hasta 1,000 Ha.	Hasta 25 TM/día (2)

Fig.1.1 Clasificación de la minería en el Perú  
Fuente: [8]

Dentro de lo que es la minería artesanal, esta se subdivide en minería artesanal formal y minería artesanal informal, desde hace varios años esta última ha sido y es un problema latente ya que con lleva a una serie de costos como son los costos geológicos –mineros, costos sociales y costos macroeconómicos.

El gobierno peruano viene impulsando una campaña de formalización de las mineras informales artesanales con el “Plan Nacional para la Formalización de la Minería Artesanal” [1]

Extractos del “Plan Nacional para la Formalización de la Minería Artesanal”

Página 11

*“La actividad minera artesanal es realizada en su mayoría por unidades productivas que trabajan fuera del marco de la ley, explotando mineral en áreas concesionadas por terceros o en áreas para las cuales no cuentan con los permisos correspondientes para realizar la explotación de minerales y sin cumplir con una serie de prácticas de seguridad y de manejo ambiental. Por otro lado, estas unidades productivas, en la mayoría de los casos, usan tecnologías no idóneas de explotación y recuperación de minerales.”*

Página 12

*“La Ley N° 27651 introduce en la legislación minera a la minería artesanal como una actividad económica reconocida por el Estado, valorándose su*

*importante rol social como medio de sustento y fuente de generación de empleo en el área de influencia de sus operaciones.”*

Página 16

*“[...] la cadena de valor de la minería informal involucra a los mineros artesanales informales y a las plantas de beneficio formales que les compran mineral, se requiere una fiscalización efectiva a estas plantas.”*

Página 20

*“Requisitos actuales para el desarrollo de la minería artesanal*

#### *16. Plan de implementación de infraestructura”*

Principalmente la forma en que se realizan estos procesos de recolección del mineral, triturado, molienda y su posterior recuperación del mineral, no cumple con los estándares de seguridad y legislación medioambiental, ya que se realizan sin equipos, muchas veces usando la fuerza del hombre, y no cuentan con un plan específico que ayude a regular sus procedimientos.

La minería artesanal se centra en el procesamiento de metal aurífero o plata puesto que a pesar de que las condiciones bajo los cuales se realizan este trabajo no son las óptimas, no existen lineamiento de seguridad ni se siguen estándares para asegurar un bajo impacto ambiental es fácil recuperar la inversión.

A raíz de lo planteado párrafos arriba, se propone diseñar un sistema automatizado de molienda que logre facilitar el proceso de molienda para obtener una mayor recuperación del mineral.

## Capítulo 2

### Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

#### 2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

Ante las necesidades descritas en el capítulo anterior, los requerimientos del sistema automatizado de molienda en la minería artesanal se expondrán a continuación:

##### **Requerimientos operativos y de proceso**

- Capacidad de molienda 25 toneladas /diarias
- Concentrado inicial con una granulometría  $< 1.2$  cm
- Concentrado final con una granulometría deseada  $< 150$   $\mu$ m
- Alta eficiencia y seguridad en el proceso de molienda.
- Intervención del operario al cargar y descargar el material.

##### **Requerimientos mecánicos**

- Materiales de fabricación de los elementos mecánicos deben ser resistentes al concentrado mineral ya que este puede ocasionar desgaste
- Fácil mantenimiento o reemplazo en caso se deteriore o falle algún elemento.
- El sistema debe contar con tolvas de carga y descarga del concentrado.

##### **Requerimientos electrónicos y eléctricos**

- Elementos de protección para los actuadores.
- Alarmas de aviso para indicar al operario los niveles de las tolvas.
- Control de concentrado que se va a moler, el ingreso y la extracción.
- Se debe registrar el peso procesado.
- El control de todo el sistema automatizado de molienda se realizará mediante un dispositivo de control lógico programable (PLC).

## 2.2 Concepto de la solución

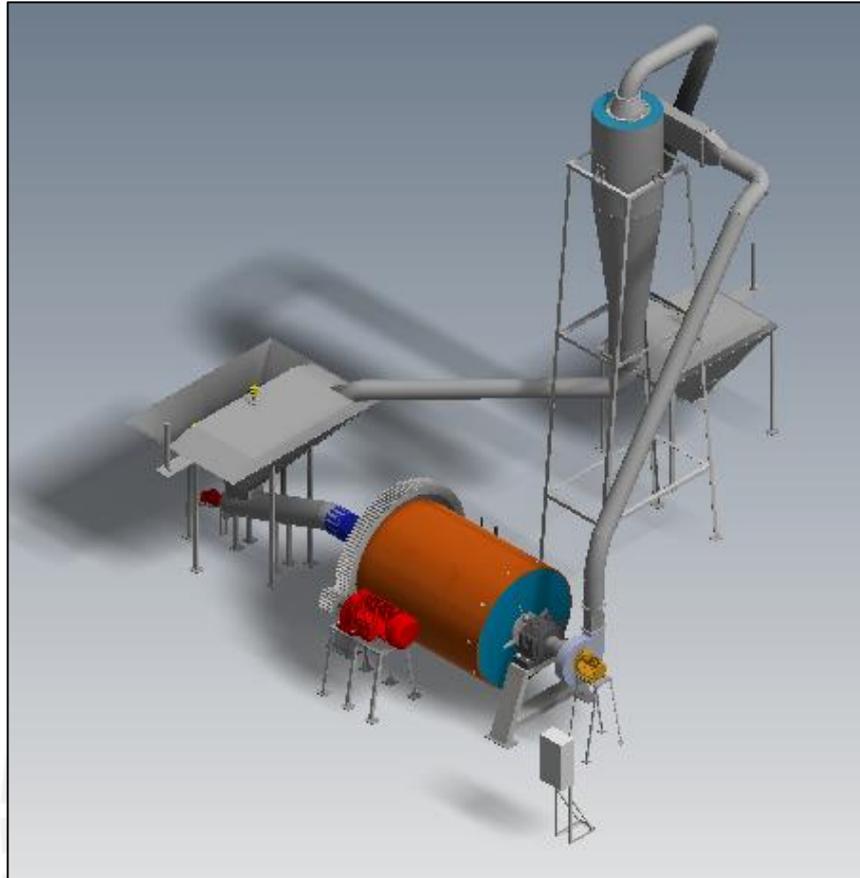


Fig. 2.1 Vista Isométrica del sistema automatizado de molienda  
Fuente: Elaboración Propia

La propuesta de solución diseñada para resolver parte de la problemática planteada en el capítulo 1, se muestra en la figura 2.1. En esta figura se observa la vista isométrica del sistema automatizado de molienda, el cual se compone de 5 subsistemas como detallado en la figura 2.2.

El primer subsistema (A), llamado el subsistema de ingreso y alimentación del concentrado mineral, tiene como función almacenar el concentrado mineral y dosificarlo al subsistema de molienda del concentrado (B), consiste en una tolva con una salida hacia un alimentador helicoidal. Este alimentador helicoidal se compone de un tornillo sin fin soldado a un eje, un motor tipo jaula de ardilla y la tubería que conecta hacia el subsistema B.

El segundo subsistema, de molienda, denominado en la figura 2.2 con la letra B, es el encargado de la molienda del concentrado mineral. Está compuesto por el molino de bolas, el juego de engranajes rectos corona y piñón y el motor reductor.

El tercer subsistema de extracción y clasificación (C), está compuesta por el ventilador centrífugo y el ciclón clasificador, el propósito de poner un ciclón, será detallado en la subsección 3.3.3.

El cuarto subsistema nombrado el subsistema de almacenaje (D), se observa mejor en la figura 2.3, tiene como función almacenar el concentrado molido proveniente del ciclón clasificador.

El quinto subsistema (E) lo comprende el tablero de control donde encontrara el PLC, su respectiva circuitería y los diferentes elementos de protección de los actuadores.

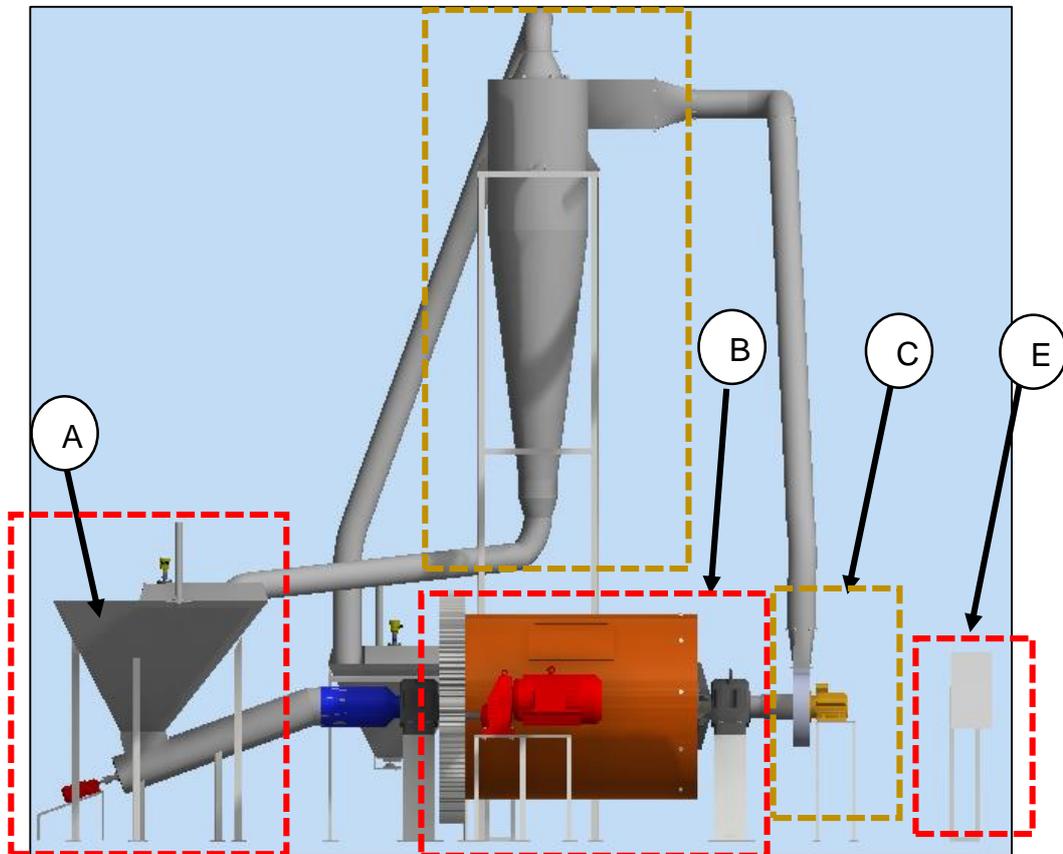


Fig. 2.2 Vista Frontal del sistema de molienda  
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 2.3 se observa la vista lateral del sistema mecatronico, se puede apreciar el conducto (1) por donde el ventilador centrífugo lleva el concentrado molido al ciclón, también se observa con detalle la tubería que conecta el ciclón con la tolva de descarga (2) y por último se muestra con mayor detalle la vista del subsistema D como se mencionó en el párrafo anterior

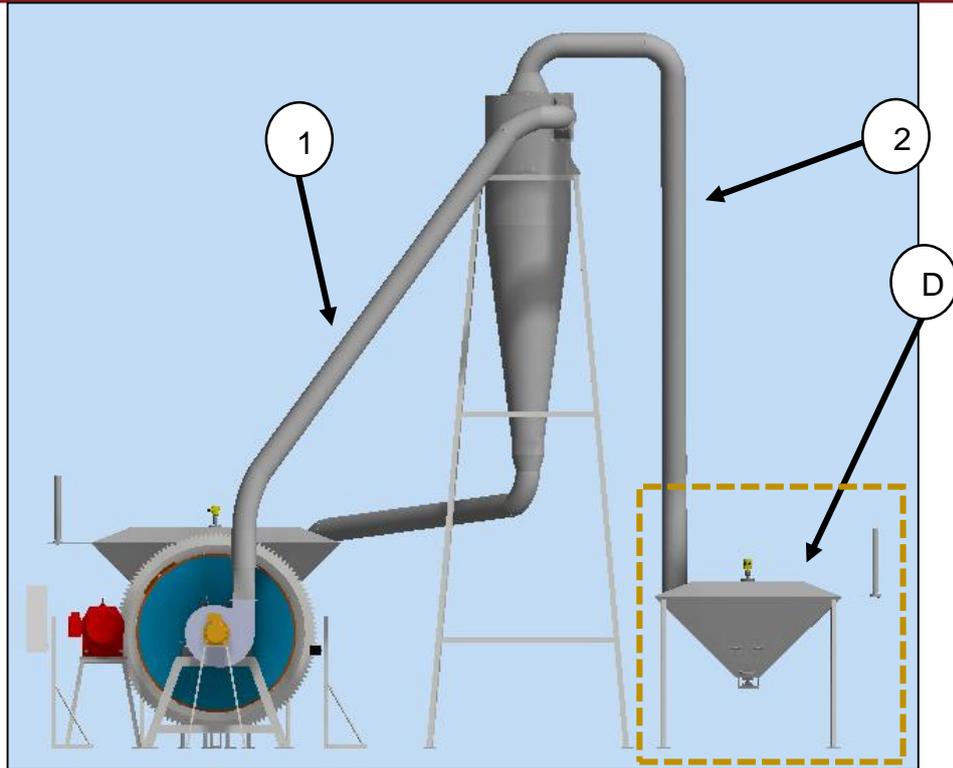
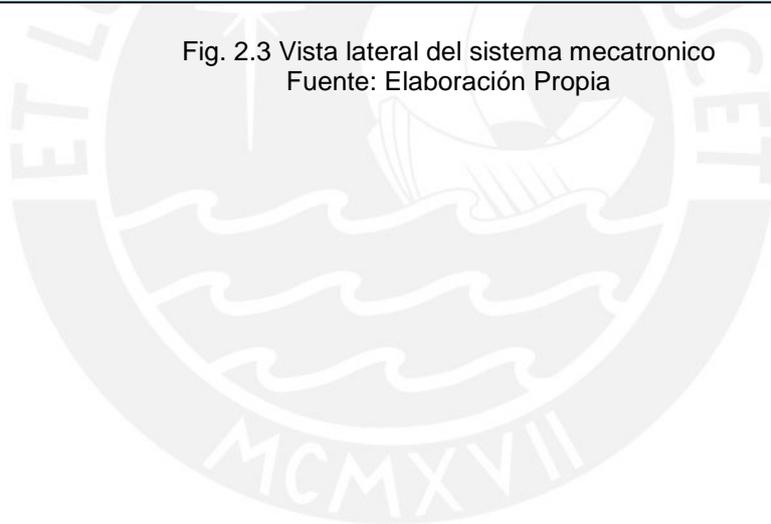


Fig. 2.3 Vista lateral del sistema mecatrónico  
Fuente: Elaboración Propia



# Capítulo 3

## Sistema mecatrónico

### 3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

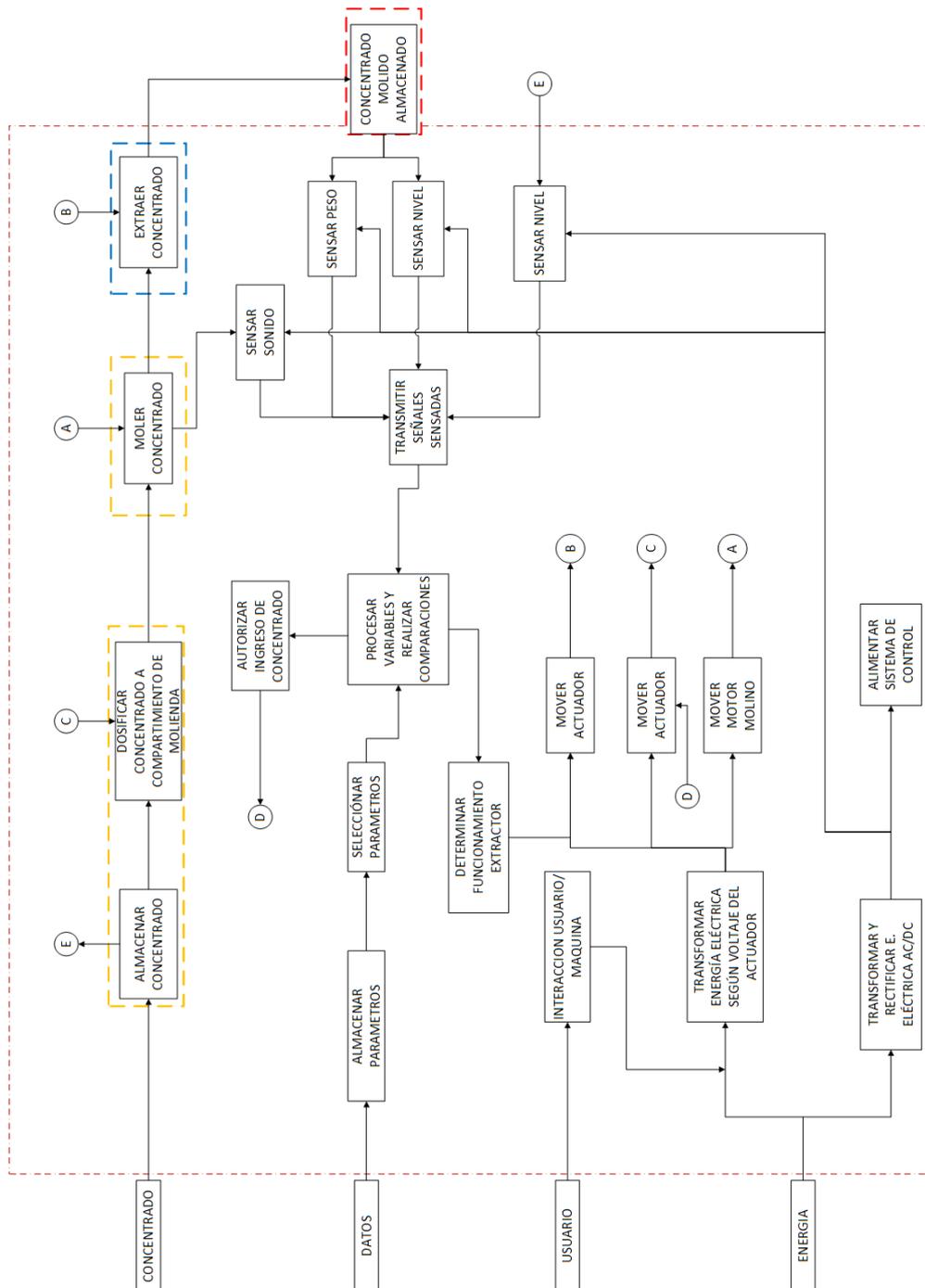


Fig. 3.1. Diagrama de funcionamiento del sistema automatizado de molienda

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.1 se observa el diagrama de funcionamiento del sistema automatizado de molienda, se tiene como entradas principales al concentrado mineral que va a ser molido, a los datos que son parte de la programación, la intervención del operario y la energía.

El concentrado molido es almacenado en una tolva la cual se ira dosificando al molino de bolas mediante un alimentador helicoidal conectado en la parte inferior de la tolva. Conforme el compartimiento del molino se vaya descargando, para regular la cantidad de concentrado ideal dentro del molino de bolas se tiene un sensor de sonido que va captando los decibelios. Es ya sabido que un molino descargado sonará más fuerte por el impacto que producen las bolas, un molino cargado en su nivel ideal tendrá un sonido característico y un molino sobrecargado hará un menor sonido ya que el exceso de concentrado actúa como un colchón que absorbe el impacto de las bolas.

La extracción de concentrado del molino se realiza usando un ventilador centrífugo y un ciclón clasificador, está formado por el motor del ventilador centrífugo, el propio ciclón y las tuberías de salida y regreso del concentrado.

El cuadro que está encerrado en una línea punteada roja pertenece a la parte donde se almacena resultado de la clasificación del concentrado molino, aquí se registra el peso procesado gracias a la célula de carga, cuando la tolva este en un nivel al tope, esta información será dada por el sensor de nivel.

La parte que está en una línea punteada negra se refiere al controlador, en él se carga la programación de todo el sistema, se procesan las señales analógicas provenientes de los diferentes sensores como: el sensor de nivel por sonda capacitivo, el sensor de sonido y la célula de carga, serán detallados en la subsección 3.2.1, activa las salidas para controlar a los motores y las luces de indicación de la tolva de almacenaje del concentrado inicial y de la tova de almacenaje del concentrado resultante final.

La alimentación eléctrica proviene del tablero de distribución, el diseño del mismo escapa de los alcances de esta tesis, se necesitan 440 V para los motores y 220 V para el sistema de control.

La interacción usuario/máquina se da en el nivel de que es el operario quien enciende el sistema, además las luces de indicación de las tolvas comunican cuando se tiene que llenar o descargar más concentrado.

## 3.2 Sensores, actuadores y dispositivo de control

### 3.2.1. Sensores

#### 3.2.1.1. Sensores de nivel

El siguiente sensor de nivel capacitivo, modelo Vegacal 62, de la empresa Vega, presenta un rango de medición por varilla con electrodo aislado parcialmente es usado para sensar el nivel de sólidos presente en la tolva.



Fig. 3.2-1. Sensor de nivel por sonda capacitiva  
Fuente: Datasheet Vegacal 62

Este sensor trabaja según el principio de admitancia, que significa que el electrodo, el producto y la pared de la varilla forman un condensador eléctrico cuya capacidad del condensador varía según el producto que se está midiendo, esta variación de la capacidad y de resistencia es convertida por el módulo electrónico en una señal proporcional al nivel.

La alimentación del sensor es de 12 a 36 VDC y la señal de salida es de 4 – 20 mA. por lo que se conecta a una de las entradas analógicas del PLC.

En la figura 3.2-2 se observa la ubicación de los 2 sensores de nivel en el sistema mecatronico, el primero ubicado en la tolva de almacenaje de concentrado inicial como se observa en la imagen de la izquierda que cuenta con una varilla de longitud 1.1 metros y otro en la tolva de salida como se observa en la imagen de la derecha con una varilla de longitud iguala 0.9 metros, estos sensores van montando en una brida roscada sobre la tapa de las tolvas respectivas.

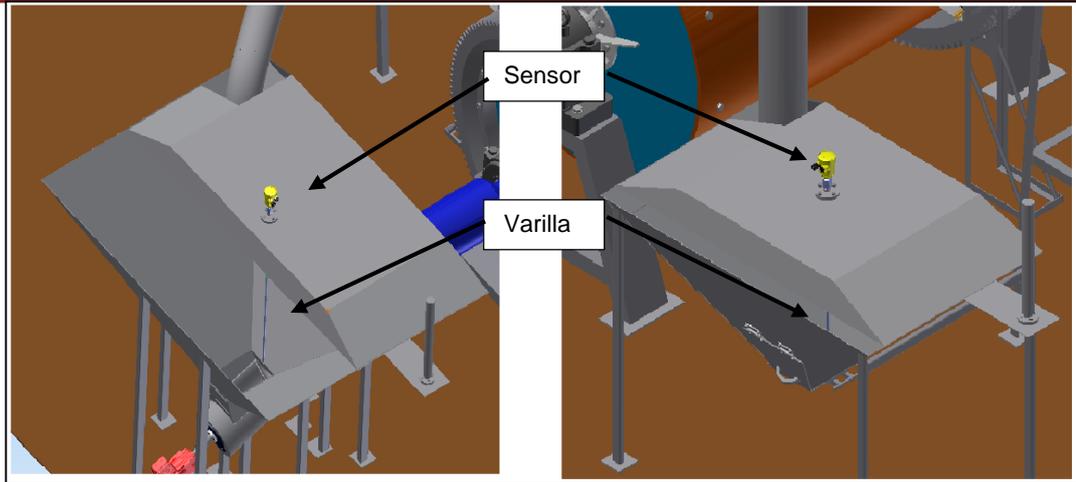


Fig. 3.2-2. Ubicación de los sensores de nivel  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.1.2. Sensor de sonido



Fig. 3.2-3. Sensor de sonido  
Fuente: Datasheet del sensor TR-SLT

En la figura 3.2-3 se muestra el sensor de sonido TR-SLT, tiene como función medir el sonido que hace el molino de bolas cuando está operando; con una alimentación de 220 V y 60 Hz, la salida del sensor es analógica de 4-20 mA.

El propósito de poner este sensor es de tener reportes de la variación de la carga del material durante la operación de la conminución, para así poder controlar el motor del alimentador helicoidal detallado más adelante en la subsección 3.2.2.1, dependiendo si el molino esta sobrecargado o por debajo del nivel óptimo

El sensor de sonido TR-SLT consiste en un transductor de medición que transforma las vibraciones del molino equivalente al sonido en una señal eléctrica. Cuando la intensidad del sonido medido incrementa, indica que el nivel del material es cada vez

menor, y por el contrario, si la intensidad el sonido disminuye, la carga del material ha aumentado.

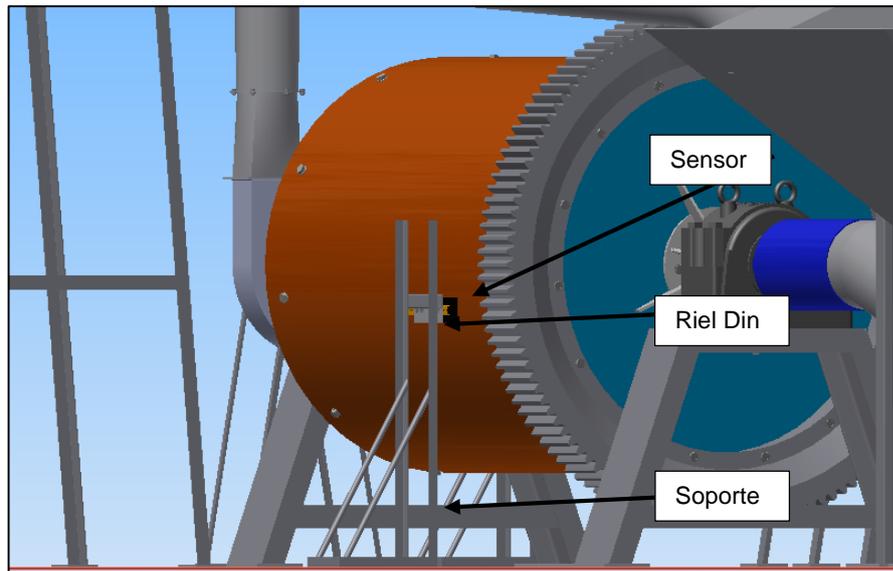


Fig. 3.2-4. Ubicación del sensor de sonido  
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 3.2-4 se muestra la ubicación del sensor de sonido, este va junto al molino de bolas para poder captar el sonido sin que interfieran sonidos que no son propios del molino, presenta un soporte hecho de acero y va atornillado a este por medio una riel Din , el soporte también se muestra.

### 3.2.1.3. Célula de carga



Fig. 3.2-4. Célula de carga

En la figura 3.2-4 se muestra la célula de carga SIWAREX WL 280 LOAD CELL RN-S SA 2T de la empresa SIEMENS, esta célula de carga está compuesta por un cuerpo elástico de anillo de acero inoxidable. En las superficies frontales superior e inferior del anillo hay aplicadas dos espirales extensiométricas (DMS). El cuerpo elástico se deforma por la carga que actúa céntricamente en el sentido de medición. Con ello se reduce el diámetro de la superficie frontal superior del anillo y se amplía el diámetro de la superficie frontal interior del anillo. Esto tiene como resultado una variación de la resistencia eléctrica de las DMS aplicadas por gravedad.

La célula de carga 280 2T tiene una sensibilidad nominal de 2 mV/ V, una tensión de referencia de 5 a 30 V con una tensión de alimentación de 10 V.

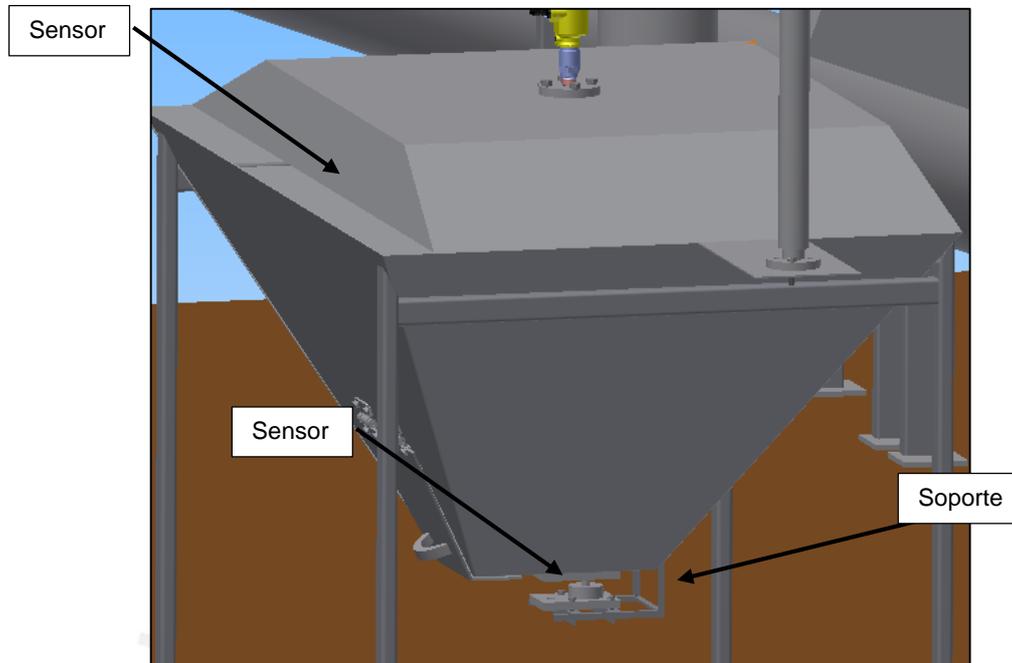


Fig. 3.2-5. Ubicaron de la célula de carga  
Fuente: Elaboración Propia

Como se mencionó en la parte previo esta célula de carga será la encargada de registrar el peso cuando la tolva de almacenaje de concentrado molido llegue a un nivel alto de llenado, para ello se coloca en la parte inferior de esta, empernado a un soporte que va soldado a la tolva.

### 3.2.2. Actuadores

#### 3.2.2.1. Motor del alimentador helicoidal

En la figura 3.2-6 se muestra el motor reductor de marca SEW EURODRIVE de denominación en catalogo R07 DR63S4, cuya potencia de salida es de 0.120 kW, con 33 rpm de velocidad de salida y un torque de 4 Nm. El método de selección del motor se puede ver en el anexo 5.



Fig. 3.2-6. Motor alimentador helicoidal  
Fuente: <http://www.sew-eurodrive.com.pe/>

Este motor es usado para accionar el alimentador helicoidal y su ubicación en el sistema mecatrónico se muestra en la figura 3.2-7, donde por medio de un acople transmite el movimiento entre el eje del motor reductor al eje del alimentador helicoidal.

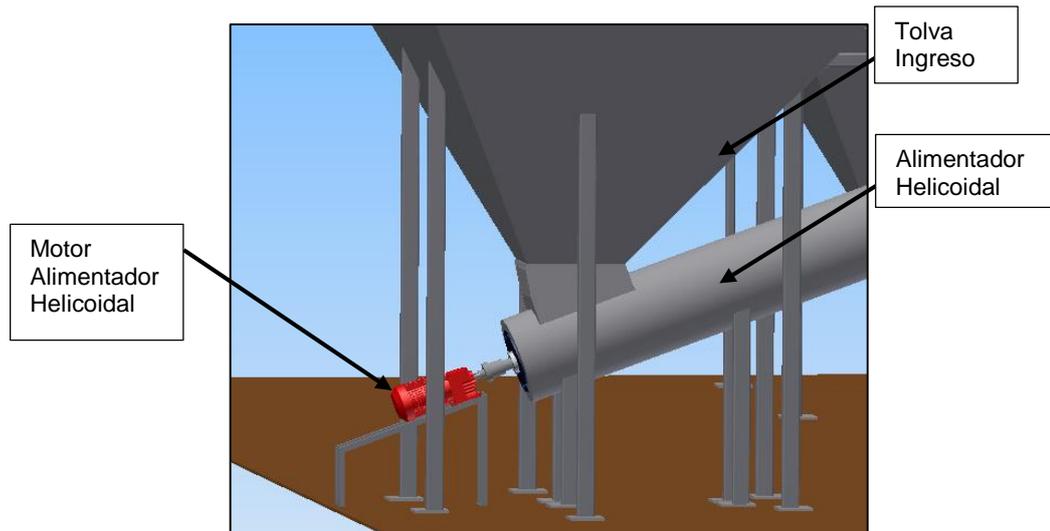


Fig. 3.2-7. Ubicación del Motor del alimentador helicoidal  
Fuente: Elaboración Propia

El guardamotor elegido para este motorreductor es de la marca SCHNEIDER código GV2 LE05 con una bobina de disparo auxiliar GVAS026 de 24 V, lo que permite al motor ser controlado por una salida del PLC.

### 3.2.2.2. Motor para el molino de bolas



Fig. 3.2-6. Motor molino de bolas

En la figura 3.2-8 se muestra el motorreductor que es usado en el molino de bolas como se ve en el anexo 1 este motor requiere tener una potencia de 37 kW y su tensión de alimentación es de 440 V, este actuador es el encargado de hacer rotar todo el molino de bolas mediante un juego de engranajes rectos de piñón y corona para lograr la velocidad angular en el eje del molino.

Este motor estará controlado por el PLC mediante un arrancando de motor de la marca SCHNEIDER modelo TeSys GV3L65, que cuenta con una bobina de disparo de 24 V.

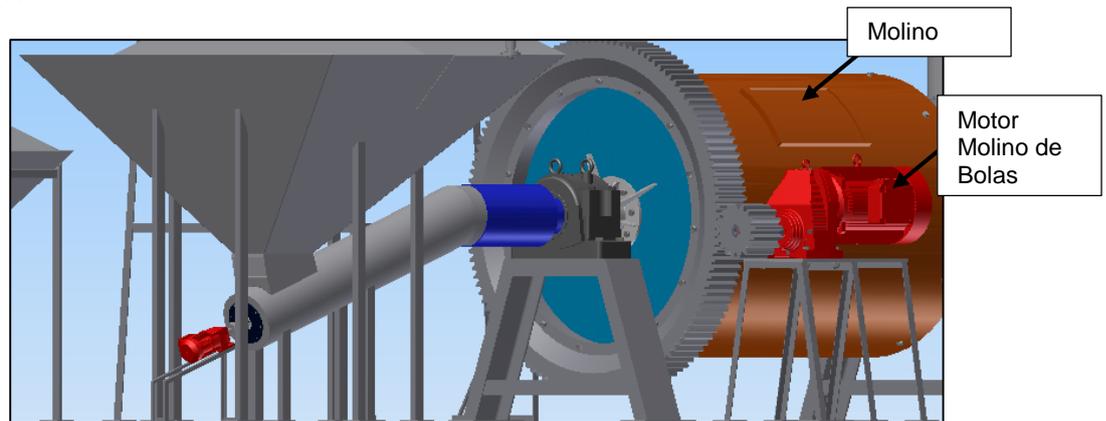


Fig. 3.2-7. Ubicación del motor del molino de bolas

En la figura 3.2-7 se observa la disposición del motor del molino de bolas en el sistema mecatronico, va montado sobre su soporte hecho de acero AISI 1020 y transmite movimiento al piñón por medio de una chaveta y este a su vez transmite movimiento a la corona, ambos engranajes están hechos de hierro nodular.

### 3.2.2.3. Ventilador centrífugo



Fig. 3.2-8. Ventilador centrífugo

En la figura 3.2.-8 se muestra el ventilador centrífugo de la empresa AIRTEC, modelo VRLG-350x1.3, que cuenta con las características descritas en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Datos del ventilador  
Fuente: Elaboración Propia

Caudal de aire	1914. 3 cfm
Presión TOTAL a nivel mar	4" H2O
RPM Ventilador	1750
Transmisión	DIRECTA
Motor Trifásico estándar	WEG
Datos del motor : Potencia Nominal 3 HP Voltaje : 220/380/440 V Frecuencia : 60 Hz RPM : 1750 Encerramiento: TEFC Grado de protección : IP55 Factor de Servicio: 1.15	

Este ventilador centrífugo será usado para extraer el concentrado molido del molino, y lo elevará hasta la entrada del ciclón clasificador, donde las partículas mayores de 150  $\mu\text{m}$  serán retornadas a la tolva de ingreso y las menores que 150  $\mu\text{m}$  serán depositadas en la tolva de descarga.

En la figura 3.2-9 se observa la ubicación del ventilador centrífugo, el ciclón clasificador y la tolva de descarga.

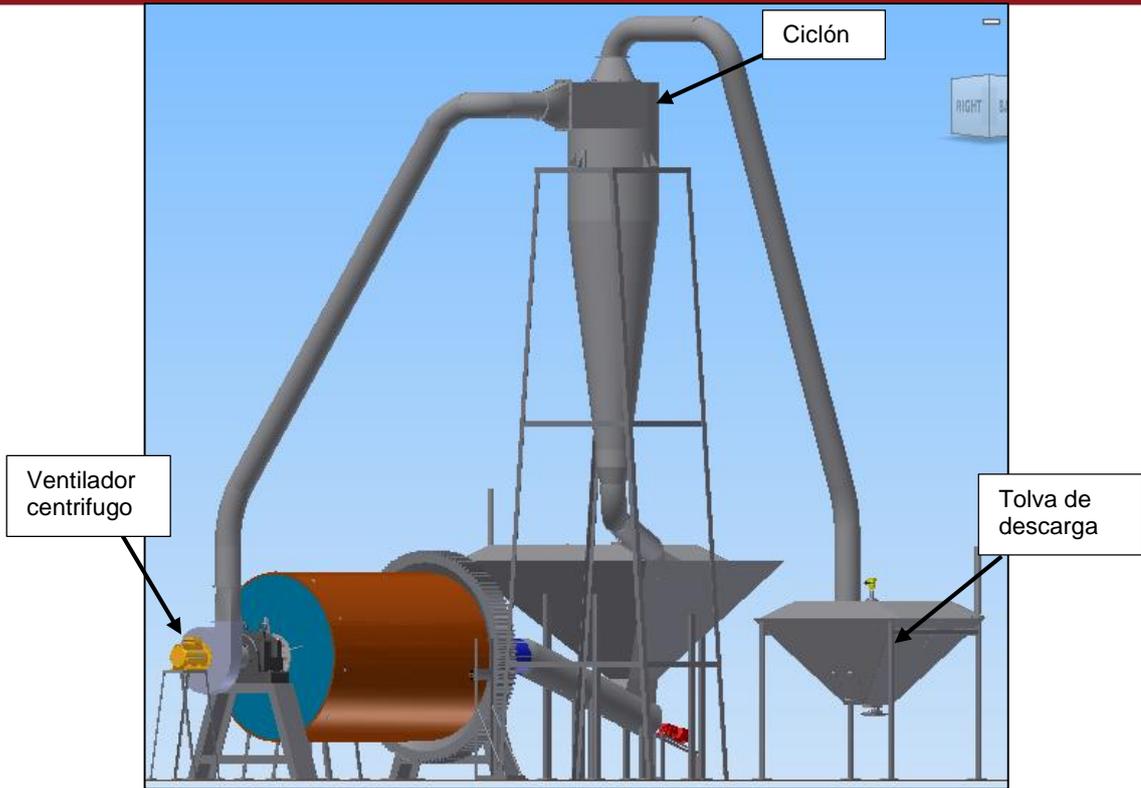


Fig. 3.2-9. Ubicación ventilador centrifugo  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.2.3. Pilotos indicadores

En la figura 3.2-10 se observa el piloto indicador o torre de luz de la marca SIGNA WORKS modelo ETN56LS de luz roja y verde que será activado mediante el PLC por medio del conector RJ 45.

Su función básicamente es dar aviso al operario cuando la tolva de ingreso y la tolva de descarga del concentrado se encuentren descargadas o al tope de concentrado mineral.



Fig. 3.2-10. Piloto indicador

En la figura 3.2-11 se observa la ubicación de los 2 pilotos indicadores el sistema de molienda.

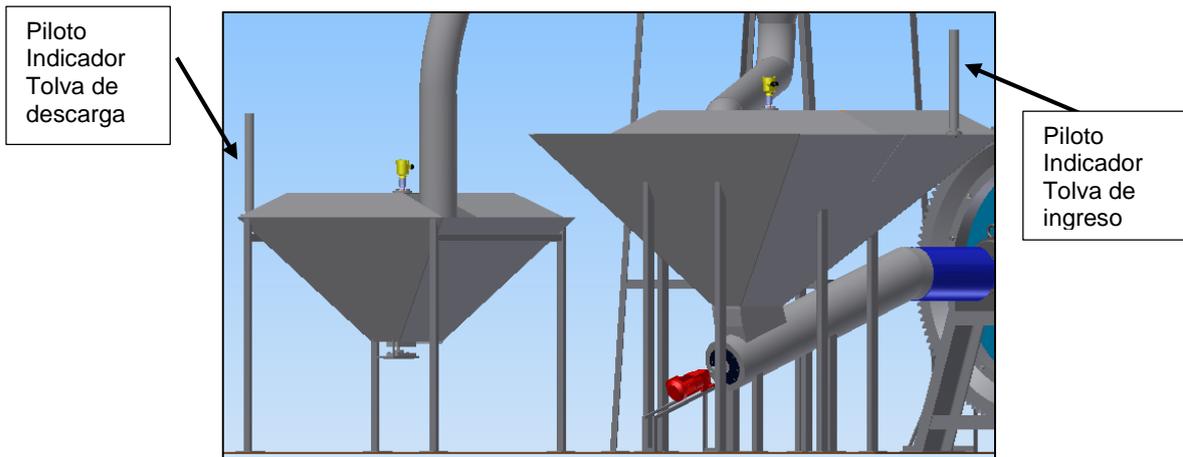


Fig. 3.2-11. Ubicación del piloto indicador  
Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.3. Dispositivo de control



Fig. 3.2-12. PLC  
Fuente: Siemens

En la figura 3.2-12 se observa el PLC que será usado en el sistema mecatrónico, es de la marca SIEMENS modelo SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, COMPACT CPU, DC/DC/RLY. El módulo de extensión es del modelo SM1231 de 4 AI, mostrado en la figura 3.2-13, lo que permite en total tener 6 entradas analógicas, 2 del PLC y 4 por su módulo de expansión.

El usó un PLC en vez de un arduino o un PIC, permite una mayor versatilidad al operar y presenta un hardware más potente que el arduino.

Tabla 3.2. Características PLC S7-1200  
Fuente: Datasheet PLC S7-1200

Voltaje de alimentación	24 V DC
Consumo de corriente	175 mA.
Entradas digitales	8
Salidas digitales	6 tipo Relé
Entradas analógicas	2



Fig. 3.2-13. Módulo de expansión  
Fuente: Siemens

### 3.3 Planos del sistema mecatrónico

En este capítulo se presentarán los planos de ensamble del sistema de molienda automatizado, el plano general y de los diferentes subsistemas mencionados en la sección 3.1.

También se presentaran los planos de despiece de los diferentes elementos mecánicos asociados a los subsistemas.

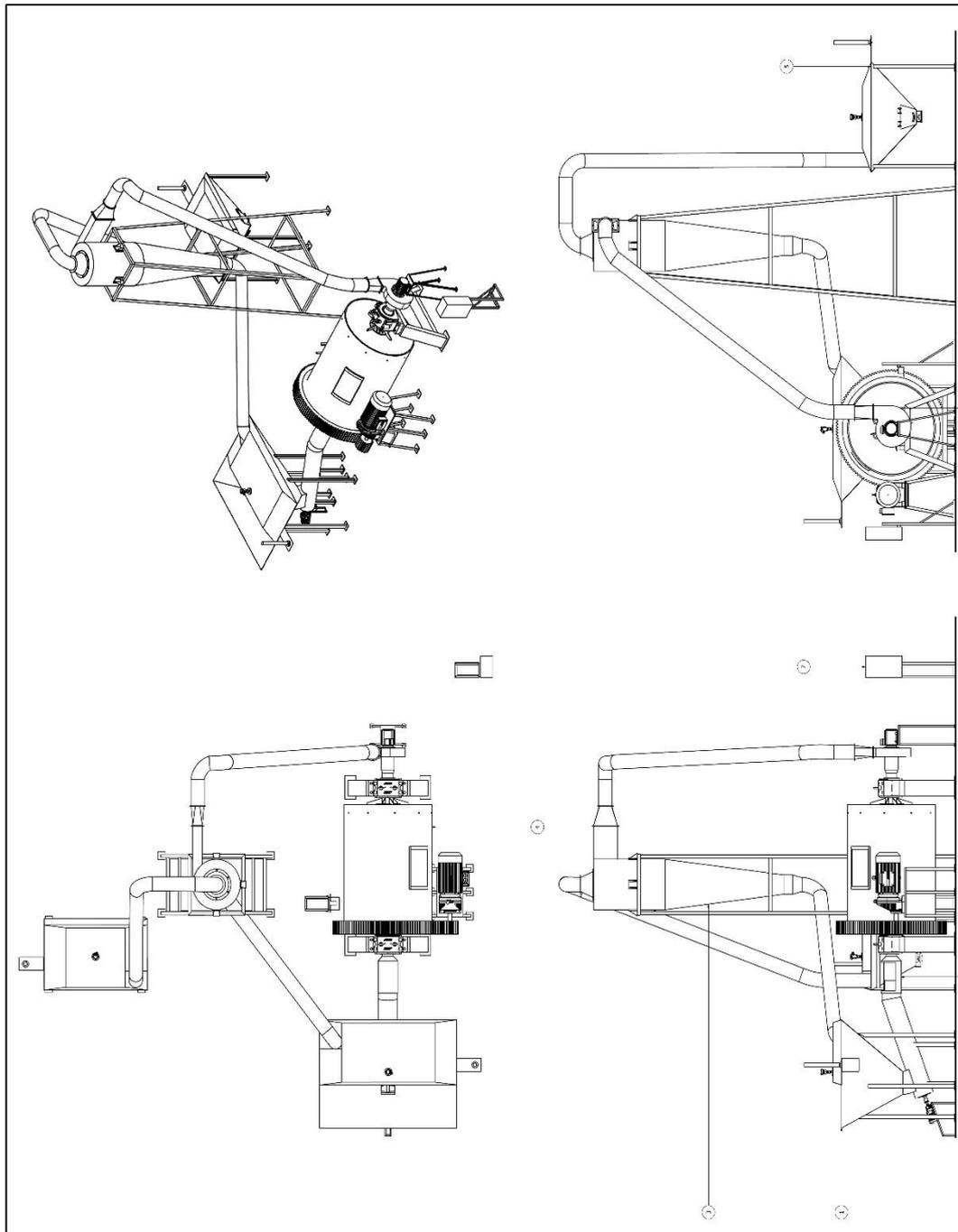


Fig. 3.3-1 Plano de ensamble general del sistema mecatrónico  
 Fuente: Elaboración propia

7	1	TABLERO DE CONTROL			
6	1	VENTILADOR CICLON			VER LAMINA L6
5	1	ENSAMBLE TOLVA DESCARGA			VER LAMINA L5
4	1	ENSAMBLE MOLINO			VER LAMINA L4
3	1	ENSAMBLE CICLON			VER LAMINA L3
2	2	UNION ALIMENTADOR MOLINO			VER LAMINA L2
1	1	ENSAMBLE ALIMENTADOR			VER LAMINA L1
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU</b> CIENCIAS E INGENIERIA - INGENIERIA MECATRONICA					
METODO DE PROYECCION		TRABAJO DE FIN DE CARRERA			ESCALA
		<b>ENSAMBLE GENERAL</b>			<b>1:20</b>
20090296		MORALES NUÑEZ, RENZO RUBEN			FECHA: 2014.10.26
					LAMINA: A0

Fig. 3.3-2 Partes del ensamble total  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3-1 se muestra las diferentes vistas del sistema mecatronico, donde se aprecia la disposición de los 4 subsistemas que componen el sistema que son: ingreso y alimentación del concentrado mineral, subsistema de molienda del concentrado, subsistema de extracción y clasificación y por último el subsistema de almacenaje donde se almacena el concentrado con la granulometría deseada.

El subsistema de ingreso y alimentación del concentrado mineral, comprende la carga y alimentación del concentrado está compuesta por una tolva que tiene una abertura en la parte inferior que conecta hacia el alimentador helicoidal, este alimentador tiene como función regular el concentrado que ingresa al molino basado en las señales obtenidas del sensor de sonido, que se detalló en el capítulo anterior.

El alimentador helicoidal está compuesto a su vez por un tornillo sin fin acoplado a un motor que es controlado por el procesador lógico programable.

El subsistema de molienda del concentrado, es el más importante dentro del sistema mecatrónico puesto que es donde se realiza la conminución del concentrado, está diseñado especialmente para cumplir con los requerimientos planteados en el capítulo 2, se compone del compartimiento de molienda, el juego de engranajes rectos corona y piñón, el motorreductor y las chumaceras que son los apoyos donde gira el molino.

El juego de engranajes es usado para lograr la velocidad de trabajo del molino, ya que el motorreductor entrega una velocidad de 396 rpm que es superior a la velocidad del trabajo del molino, que es de 25 rpm. Esta velocidad representa el 70 % de la velocidad crítica, velocidad a la cual los cuerpos molidores dentro del molino no realizan ningún trabajo útil. El movimiento de las bolas tiene una considerable influencia en la molienda, si el molino gira muy rápido las bolas pueden elevarse muy alto y entonces cuando caen pueden no pegar en la carga del molino sino caer directamente en el cilindro, disipando energía; alternativamente, el impacto puede ser excesivo, originando una sobre molienda con la consiguiente compactación del material ya molido. Para velocidades mayores las bolas pueden centrifugarse y cesar por lo tanto cesar la molienda.

El subsistema de extracción y clasificación está constituido por el ventilador centrífugo y el ciclón clasificador. El ventilador centrífugo tiene como función extraer el concentrado del compartimiento de molienda y enviarlo hasta el ciclón clasificador.

El subsistema de almacenaje, es donde se almacena el concentrado luego de ser clasificado por el ciclón, se compone de una tolva donde se encuentran acoplados el sensor de nivel y la célula de carga.

3.3.1 Planos del subsistema de ingreso y alimentación del concentrado mineral

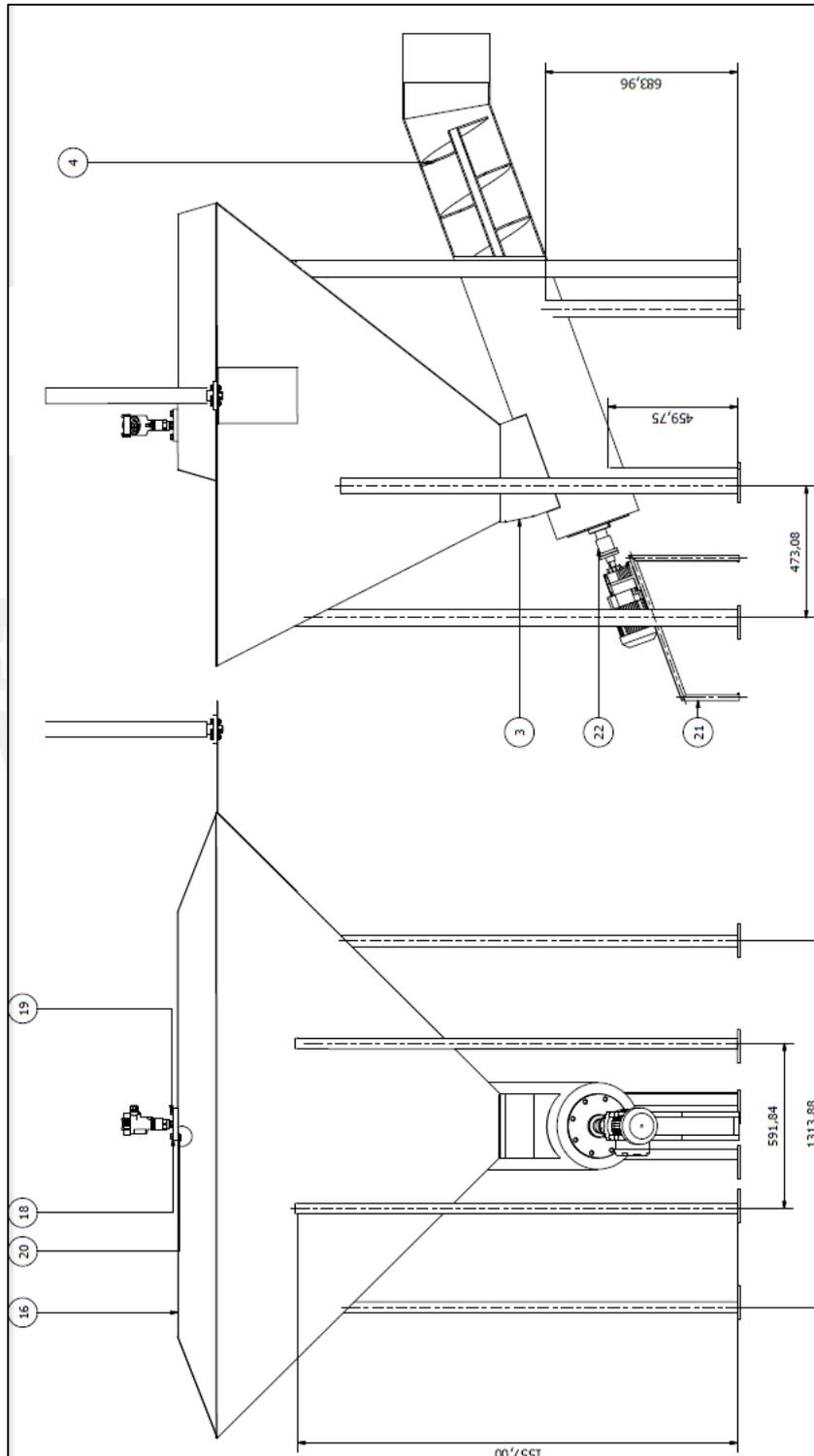


Fig. 3.3-2. Plano ensamble subsistema de ingreso y alimentación del concentrado mineral  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3-2 se observa el plano de ensamble del subsistema de ingreso y alimentación del concentrado mineral que está conformado por la tolva de ingreso, la conexión entre la tolva y el alimentador helicoidal, el alimentador helicoidal con su motor de funcionamiento así como también se observa la disposición del sensor de nivel y del piloto indicador y las medidas principales entre los elementos estructurales que sostienen la tolva y el alimentador helicoidal. La elección del alimentador helicoidal fue porque se necesitaba controlar el ingreso de concentrado al molino.

El soporte de la tolva de ingreso están hechos de acero, son 6 perfiles estructurales Din 59410 Rectangular 60 x 40 x 2.9, 4 de longitud igual a 1.6 m y 2 de 1.42 m.

El soporte del motor del alimentador helicoidal son perfiles estructurales de acero Din 59 370 S Angle Steel S 20 x 4.

El soporte del tubo alimentador son perfiles estructurales Din 59410 Rectangular 60 x 40 x 2.9, constituido por 2 perfiles de 0.7 m y 2 perfiles de 0.5 m.

A continuación se mostrará los planos de despiece principales que componen el subsistema de ingreso y alimentación del concentrado mineral

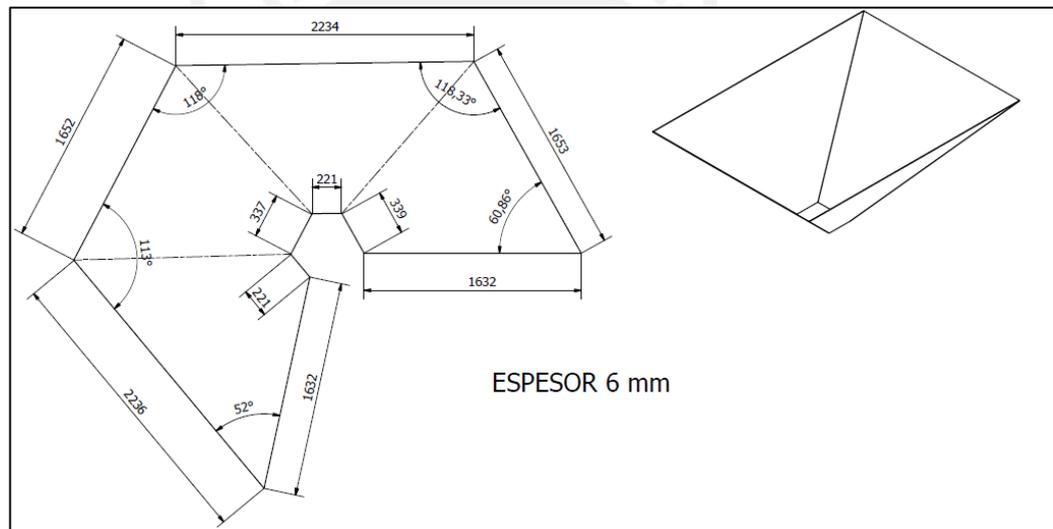


Fig. 3.3-3. Despiece tolva de ingreso  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3-3 se muestra el plano de despiece de la tolva de ingreso, para la cual se usará acero común 1020, usado normalmente para este tipo de elementos, será conformado por chapa metálica, tendrá un espesor de 6 mm.

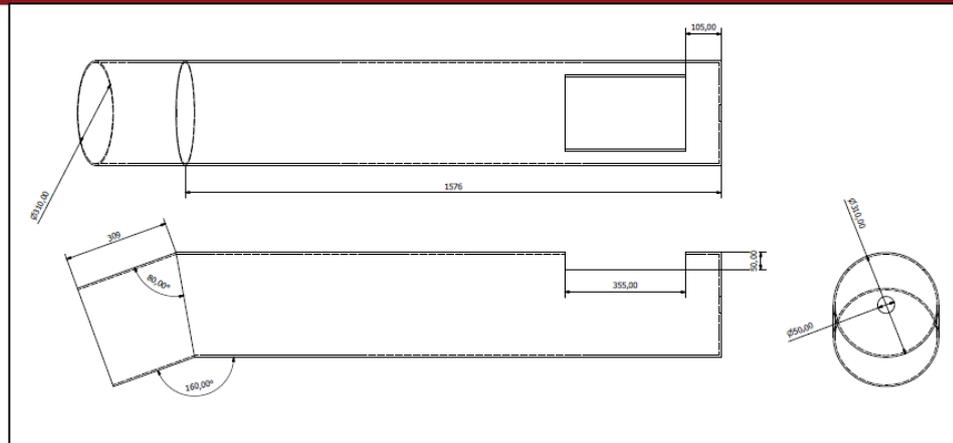


Fig. 3.3-4. Tubo alimentador  
Fuente: Elaboración propia

El tubo alimentador tiene como función albergar al tornillo sin fin que transportara el concentrado desde la tolva de ingreso hacia el compartimiento de molienda, estará hecho de AISI 1020, compuesto por 2 tubos unidos formando un ángulo de 160 grados.

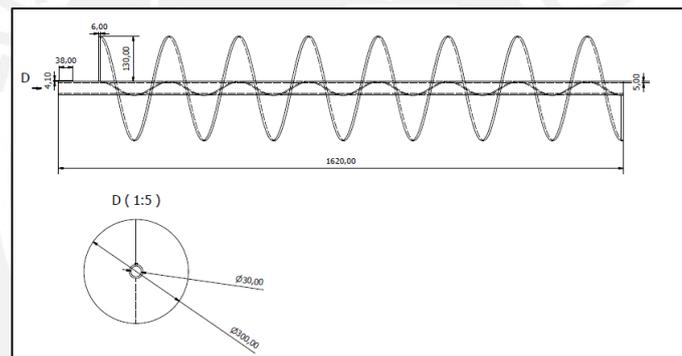


Fig. 3.3-5. Tornillo sin fin  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3-5 se observa el despiece del tornillo sin fin con las siguientes características, diámetro de alimentación de 0.3 m, paso del tornillo de 0.2 m y una longitud de 1.62 m, estará maquinado con acero AISI 1020.

3.3.2 Planos del subsistema de molienda

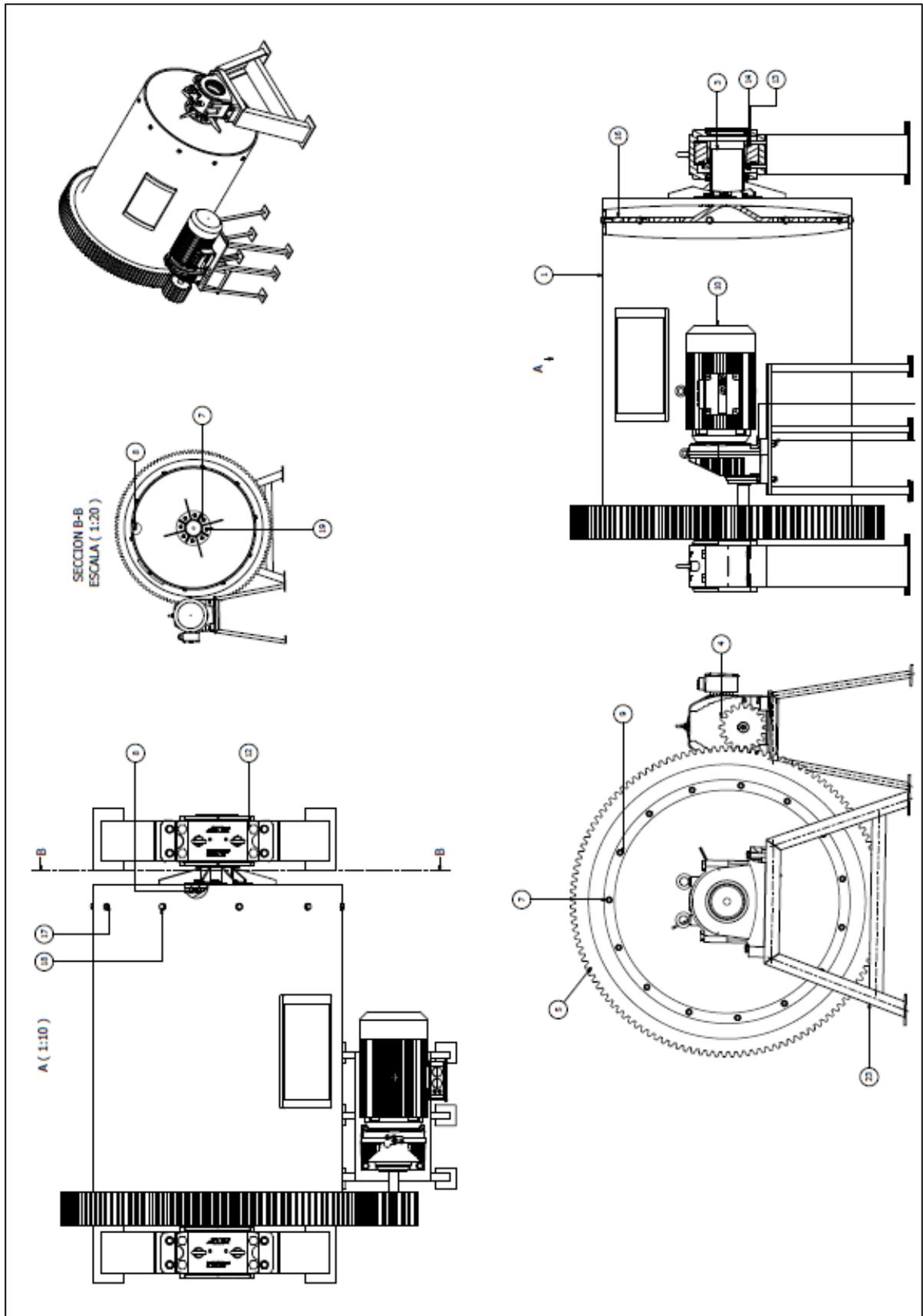


Fig. 3.3-6. Plano ensamble subsistema de molienda  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3-6 se observa con más detalle las partes que conforman el subsistema de molienda y su mecanismo de rotación compuesto por un juego de engranajes rectos hechos en fundición de hierro nodular, el motorreductor de la marca SEW EURODRIVE con su respectiva base.

Los soportes donde reposa el molino está hecho de acero AISI 1020, el perfil estructural es denominado Din 1026 Perfil U – 240. Sobre estos soportes van montados los dos rodamientos que permiten el giro del molino, estos rodamiento son de la marca SKF código 23144 CCK/W33 SKF

A continuación se presentará los planos de despiece de las partes más importantes del plano de ensamble arriba expuesto.

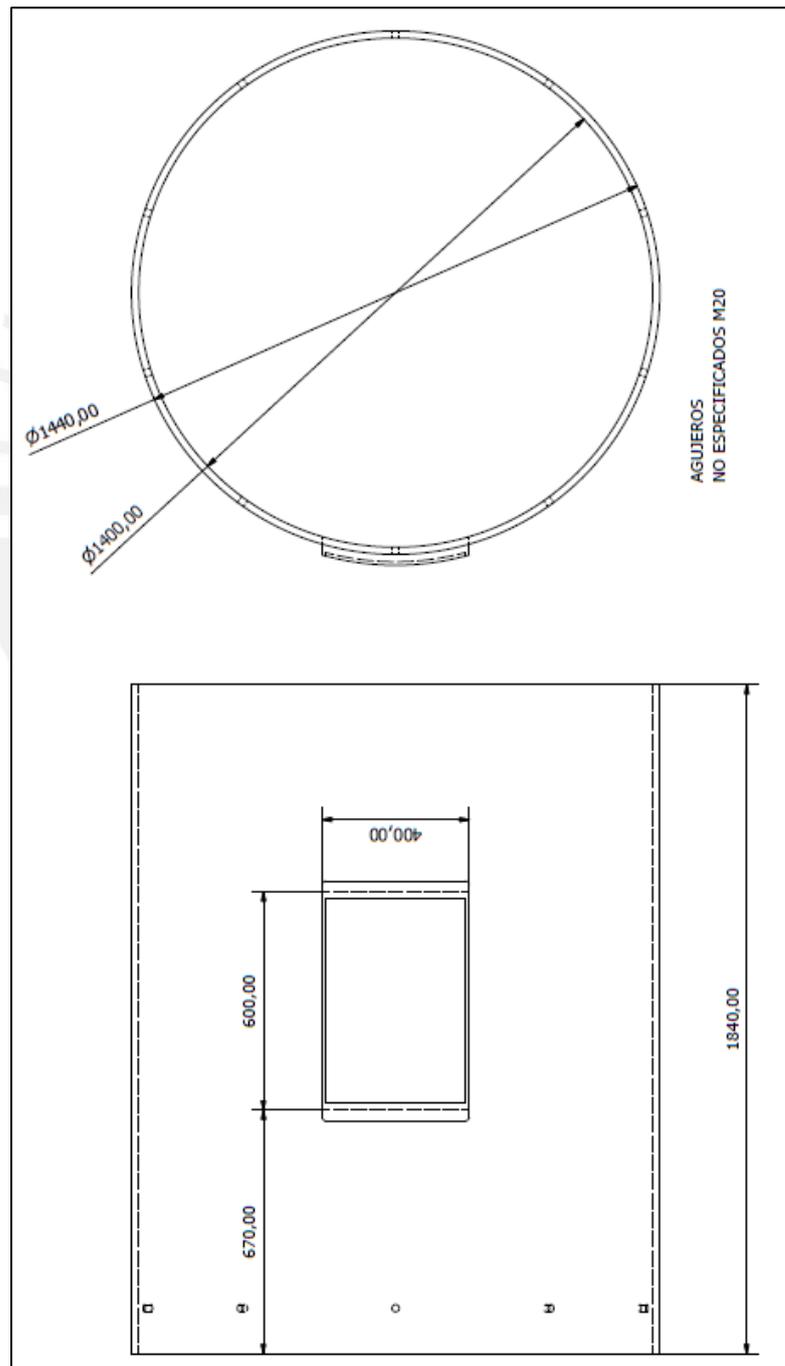


Fig. 3.3-7. Despiece compartimiento de molienda  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3-7 se observa el compartimiento de molienda fabricado de acero común AISI 1020, esta parrilla presenta un diámetro exterior de 1440 mm con un espesor de 20 mm, cuenta con agujeros para atornillar la parrilla del molino, expuesta a continuación.

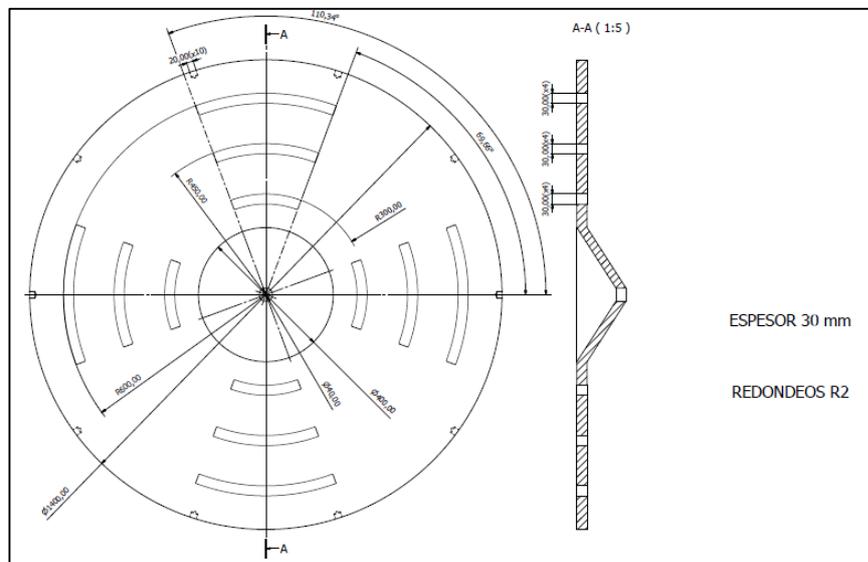


Fig. 3.3-8. Despiece parrilla de molino  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3-8 se observa el elemento mecánico llamado parrilla del molino que será fabricado de hierro nodular tiene un diámetro de 1400 mm y un espesor de 30 mm, adopta esa forma ya que su función es evitar que las bolas que muelen el concentrado escapen por el conducto lateral.

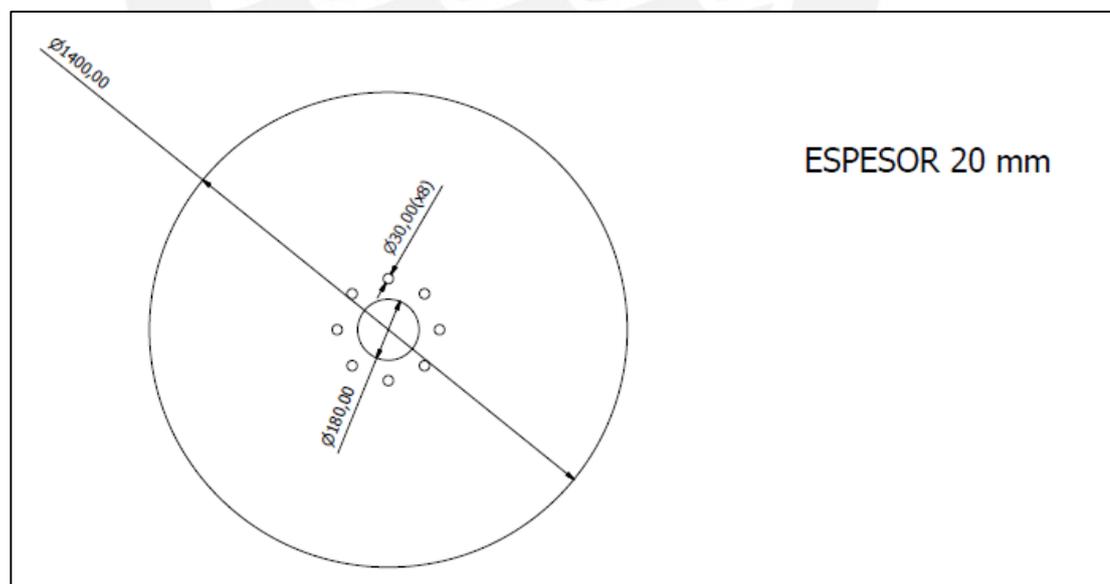


Fig. 3.3-9. Tapa lateral molino  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3-9 se muestra la tapa lateral del molino, del cual se necesita 2 unidades, el material con que se realizará esta pieza es el acero común AISI 1020

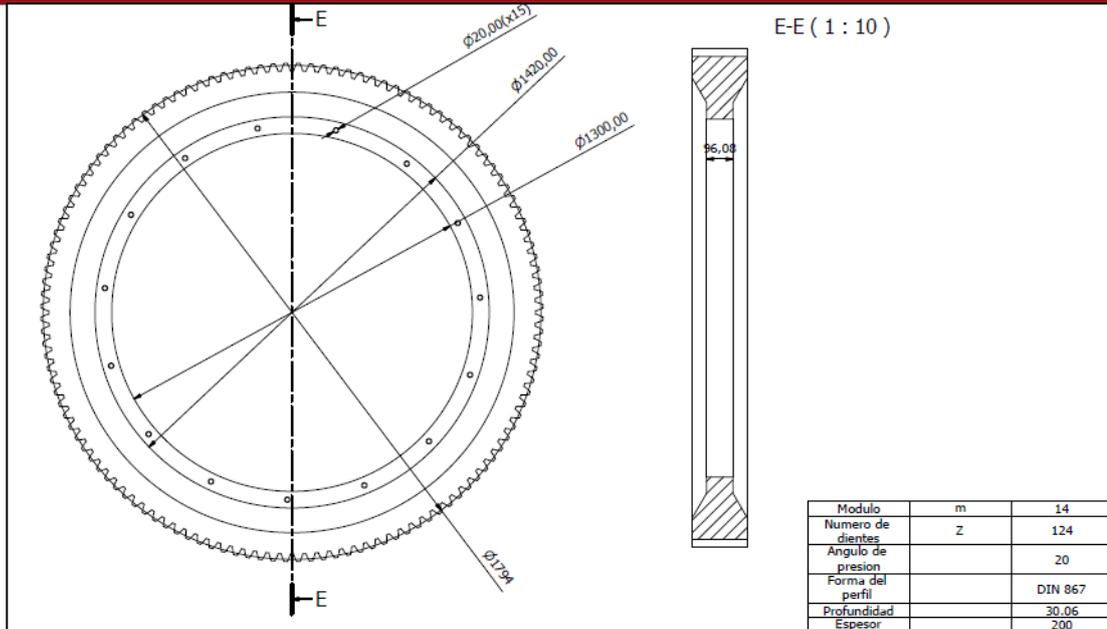


Fig. 3.3-10. Engranaje Corona  
Fuente: Elaboración propia

La figura 3.3-10 muestra las dimensiones del engranaje recto corona, realizado por fundición de hierro nodular, sus características más importantes de mencionar se encuentran en la tabla dentro del dibujo, de igual manera en la figura 3.3-10 se describe las dimensiones del engranaje recto que actuara como piñón.

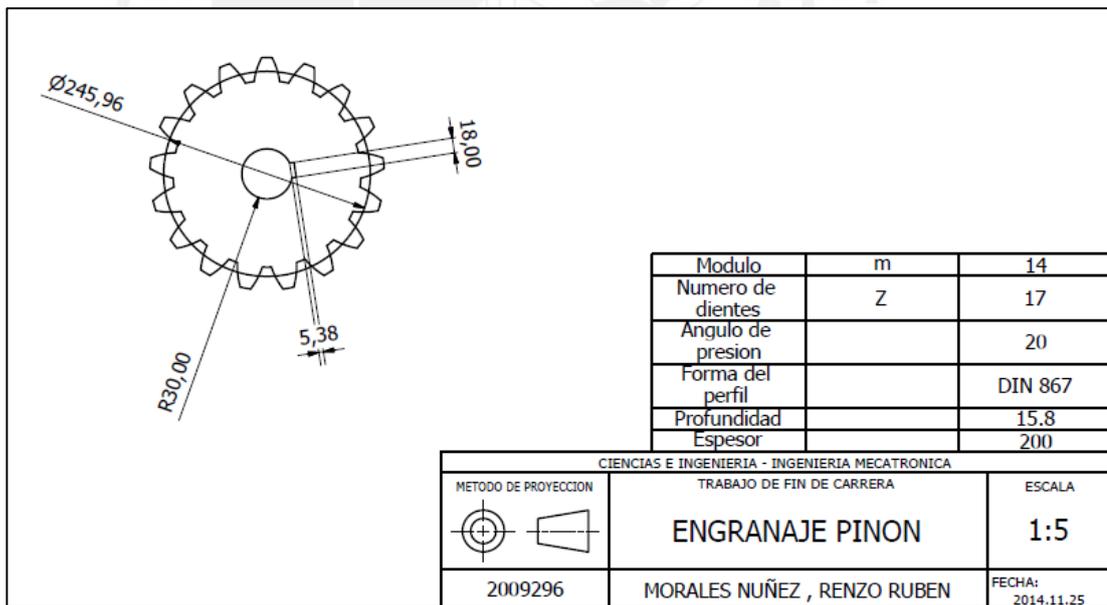


Fig. 3.3-11. Engranaje Piñón  
Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Planos subsistema de extracción y clasificación

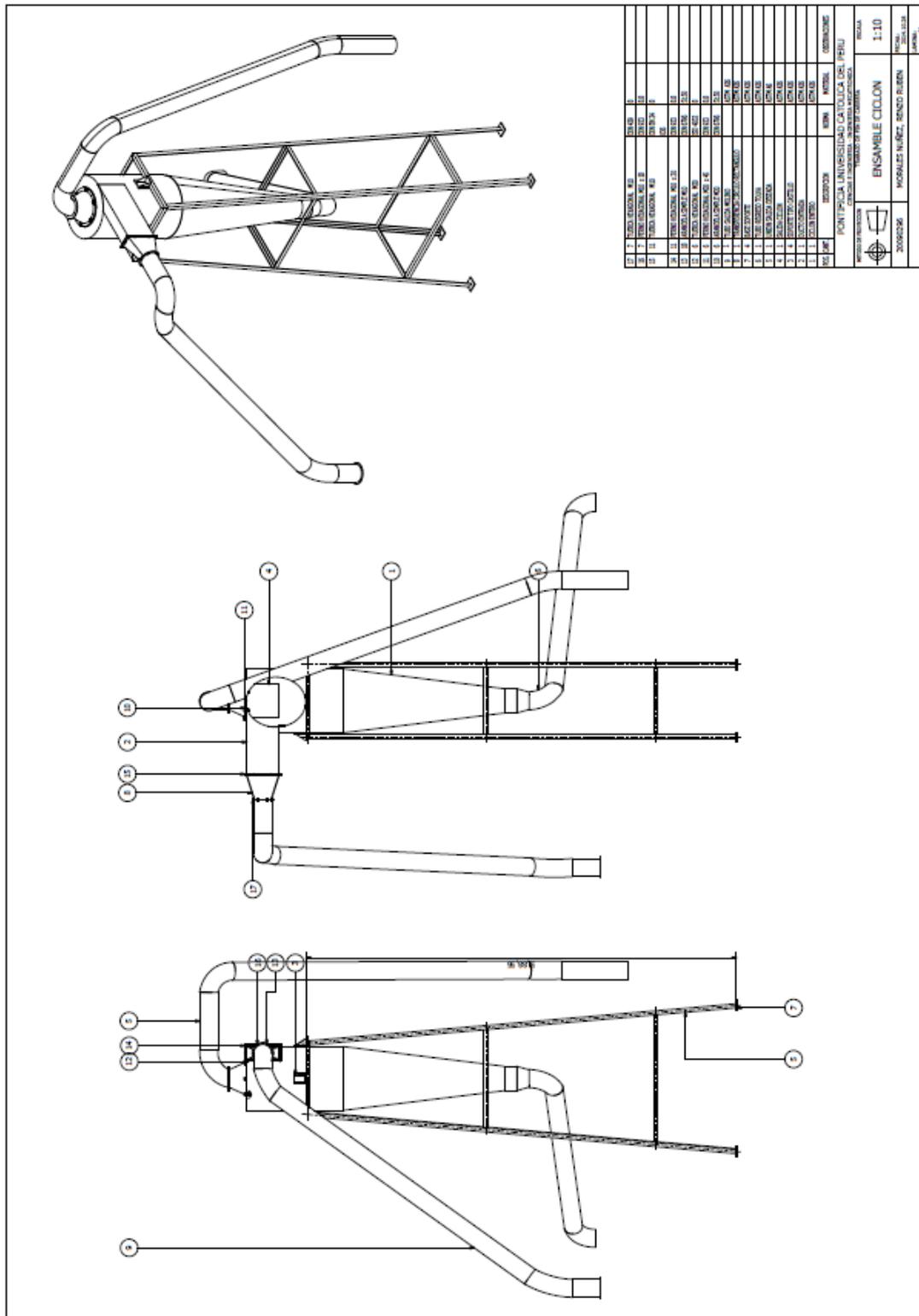


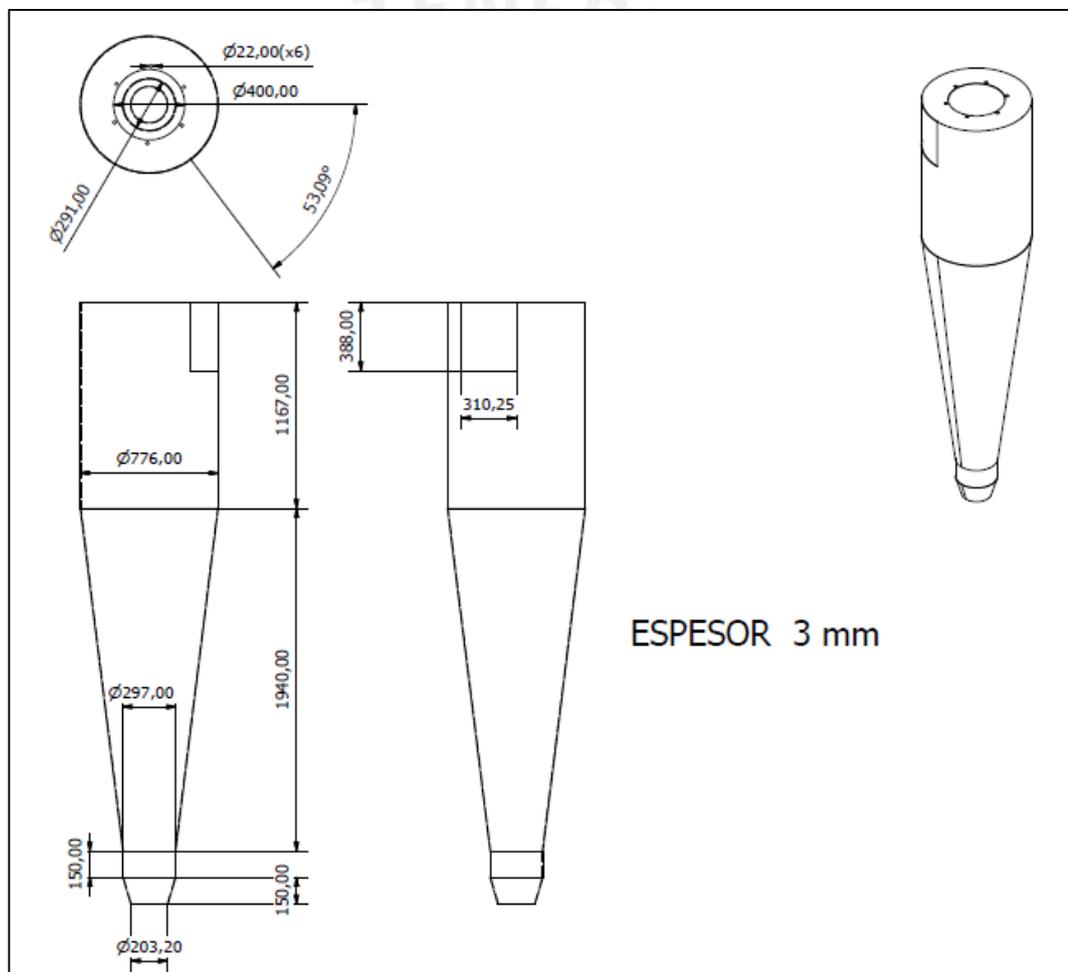
Fig. 3.3-12. Plano de ensamble ciclón clasificador  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3-12 se observa el plano de ensamble del ciclón clasificador, que tiene como función separar las partículas provenientes del flujo de aire más concentrado que proveerá el ventilador centrífugo que se encuentra conectado justo a la salida del molino bolas, el tipo de ciclón que se diseño es el llamado ciclón de alta eficiencia

Stairmand, los cálculos que justifican las dimensiones del ciclón se encuentran en los anexo 3. Este clasificador mecánico de aire usa la velocidad tangencial con la que entra el concentrado para lograr que se genere un movimiento de vórtice en el interior, cuenta con 2 salidas una en la parte inferior y otra en la parte superior. Por sedimentación las partículas mayores a  $150\ \mu\text{m}$  caen por la salida ubicada en la parte inferior dirigiéndose hacia la tolva de ingreso para proceder nuevamente a su molienda, mientras que las partículas con una granulometría menor a  $150\ \mu\text{m}$  se irán por la parte superior hacia la tolva de descarga.

Los soportes que sostienen el ciclón clasificador, son perfiles estructurales de acero denominados Din 59 370 S Angle Steel S 50 x 5 en total se requiere 34 m que serán cortados y soldados para darle la forma de soporte tipo castillo.

En las figuras 3.3-13, 3.3-14 y 3.3-15 se mostrará los planos despiece principales que componen el ciclón clasificador.



En la figura 3.3-13 se muestra el despiece del ciclón clasificador que será fabricado de acero al carbono A36.

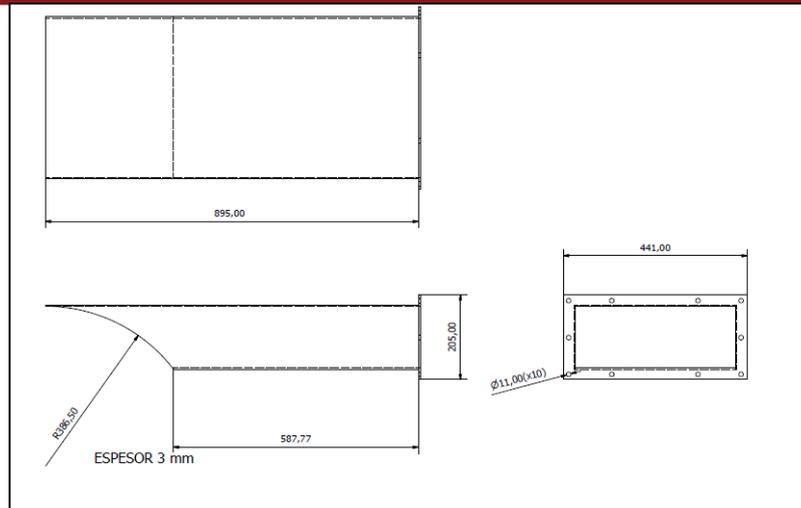


Fig. 3.3-14. Ducto entrada ciclón  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3-14 se observa el dimensionamiento del ducto entrada ciclón que conecta la tubería entre el ventilador centrífugo y el ingreso del ciclón, el material usado es acero al carbono ASTM A36.

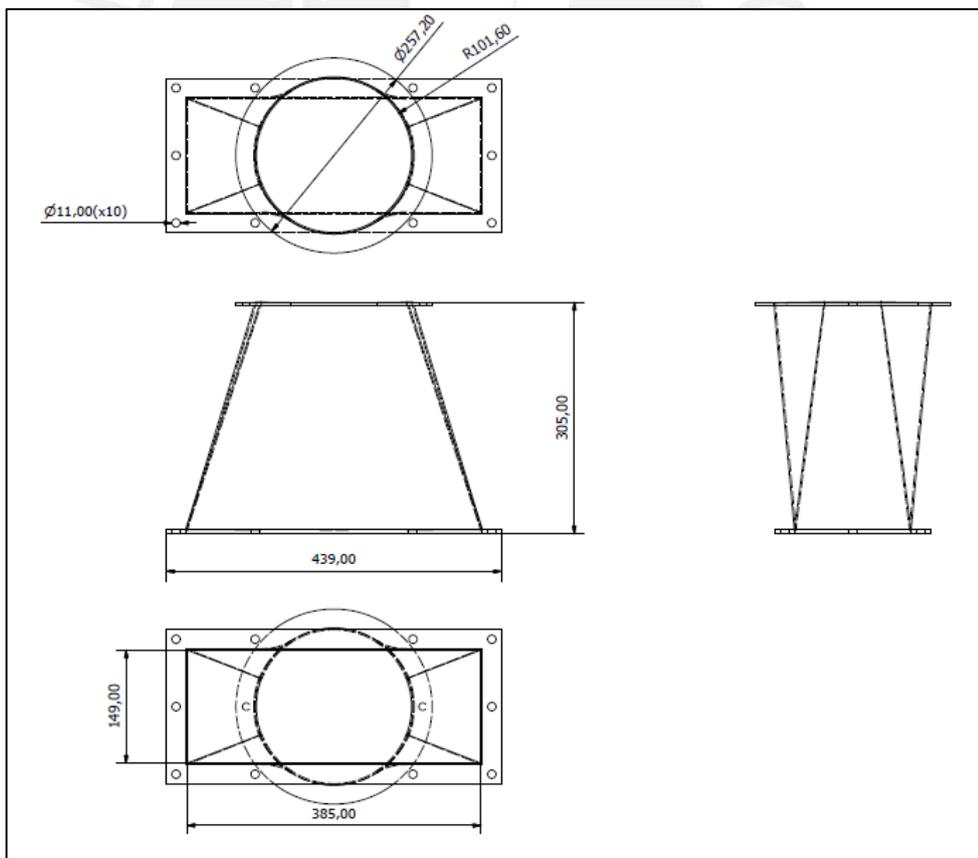


Fig. 3.3-15. Ducto rectángulo círculo  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3-15 se aprecia el ducto que hace posible la transición entre la tubería del ventilador centrífugo al ciclón clasificador, hecho de acero ASTM A36.

3.3.4. Plano del subsistema de almacenado

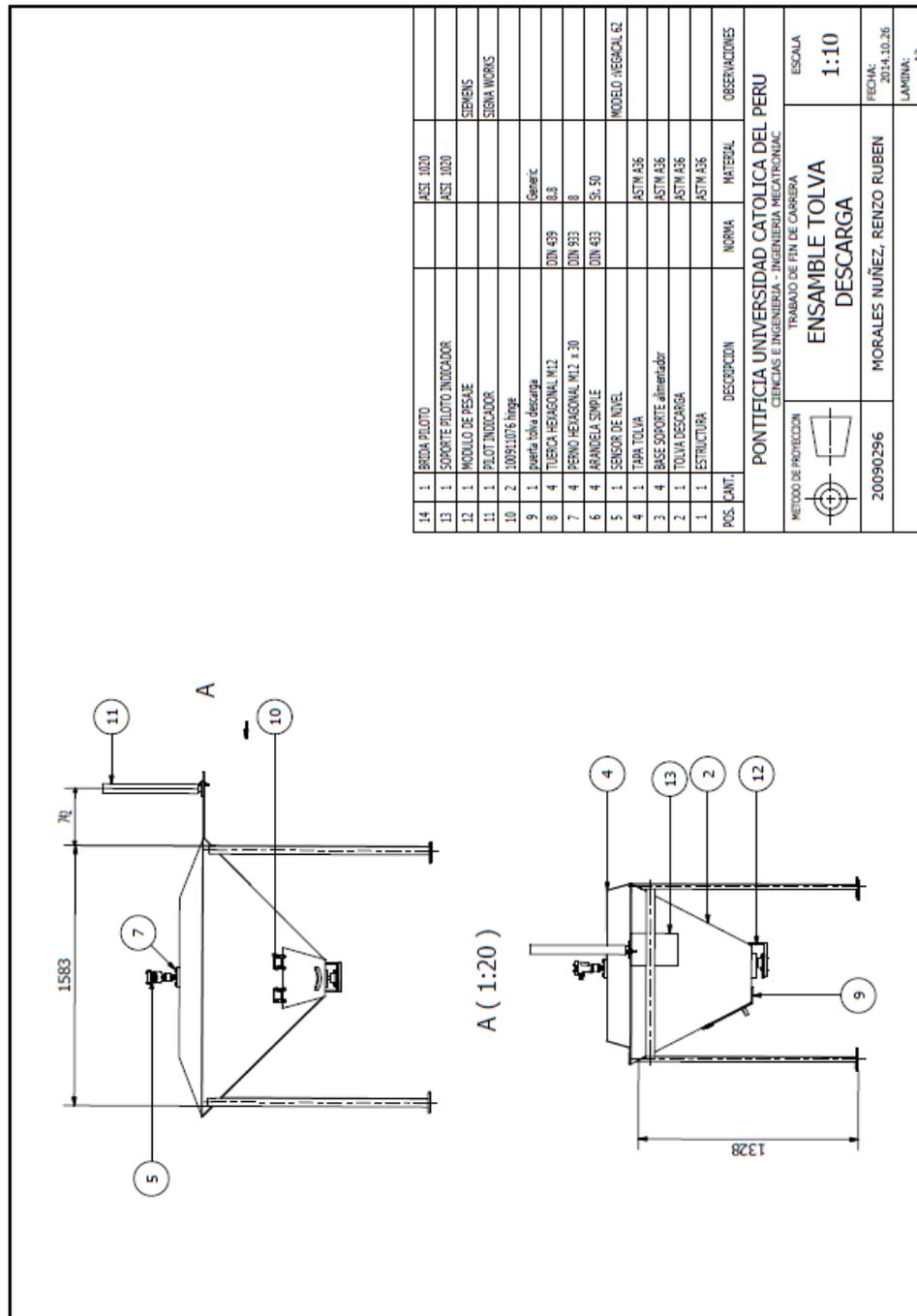


Fig. 3.3-16. Ensamble tolva descarga

En la figura 3.3-16 se muestra el ensamble de la tolva de descarga, con las medidas principales del soporte de la tolva.

También se muestra la disposición de los sensores de nivel (5), la célula de carga (12) y la compuerta (9) por donde va a ser descargado el concentrado una vez que la tolva se llene.

### 3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

En la figura 3.4 se observa el diagrama unifilar de la instalación eléctrica del sistema de molienda, la alimentación general de todo el sistema de molienda proviene del tablero general de distribución (TGD), el desarrollo de ese tablero escapa de los alcances de esta tesis.

El diagrama resalta el uso de los guarda motores como sistema de protección y arranque de los diferentes motores ya que cuenta con una bobina de disparo regulada a 24 V.

En el anexo 5.2 se observa la tabla con el consumo de corriente y los modelos de los guarda motores elegidos.

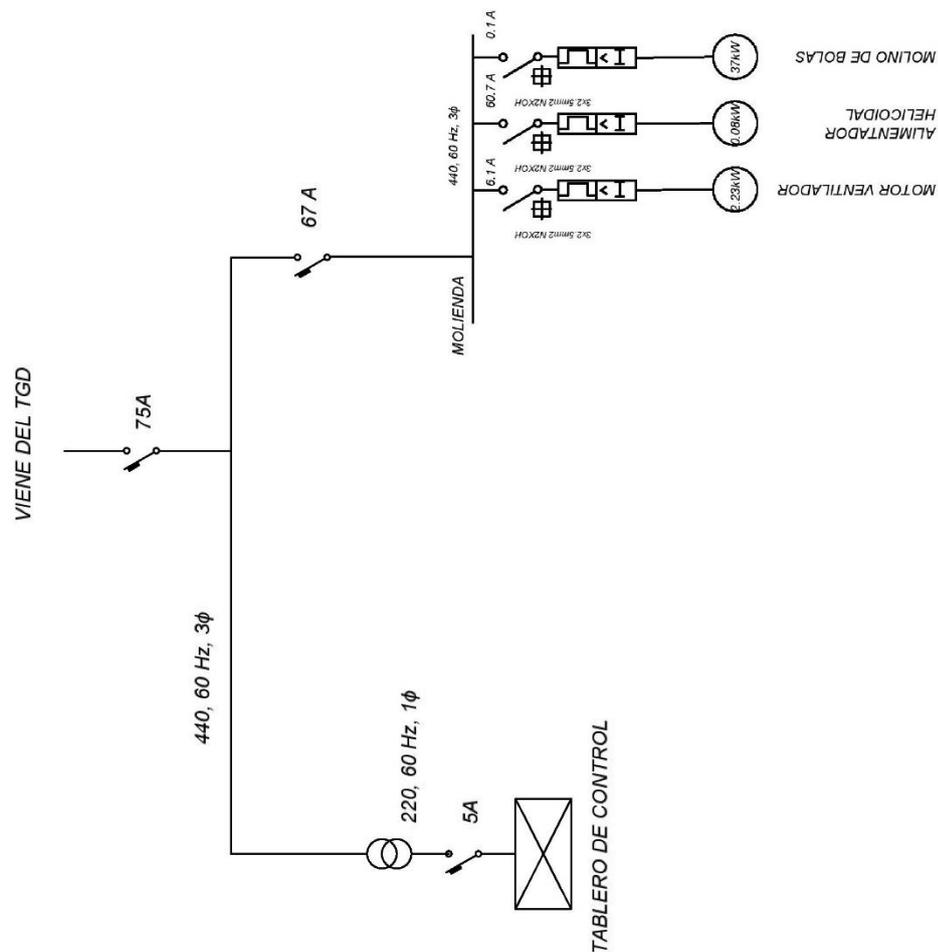


Fig. 3.4. Diagrama unifilar de la instalación eléctrica  
Fuente: Elaboración Propia

La tabla con los cálculos de las corrientes se puede observar en el anexo 5.2

### 3.5 Diagramas del sistema mecatrónico

#### 3.5.1 Diagrama de bloques

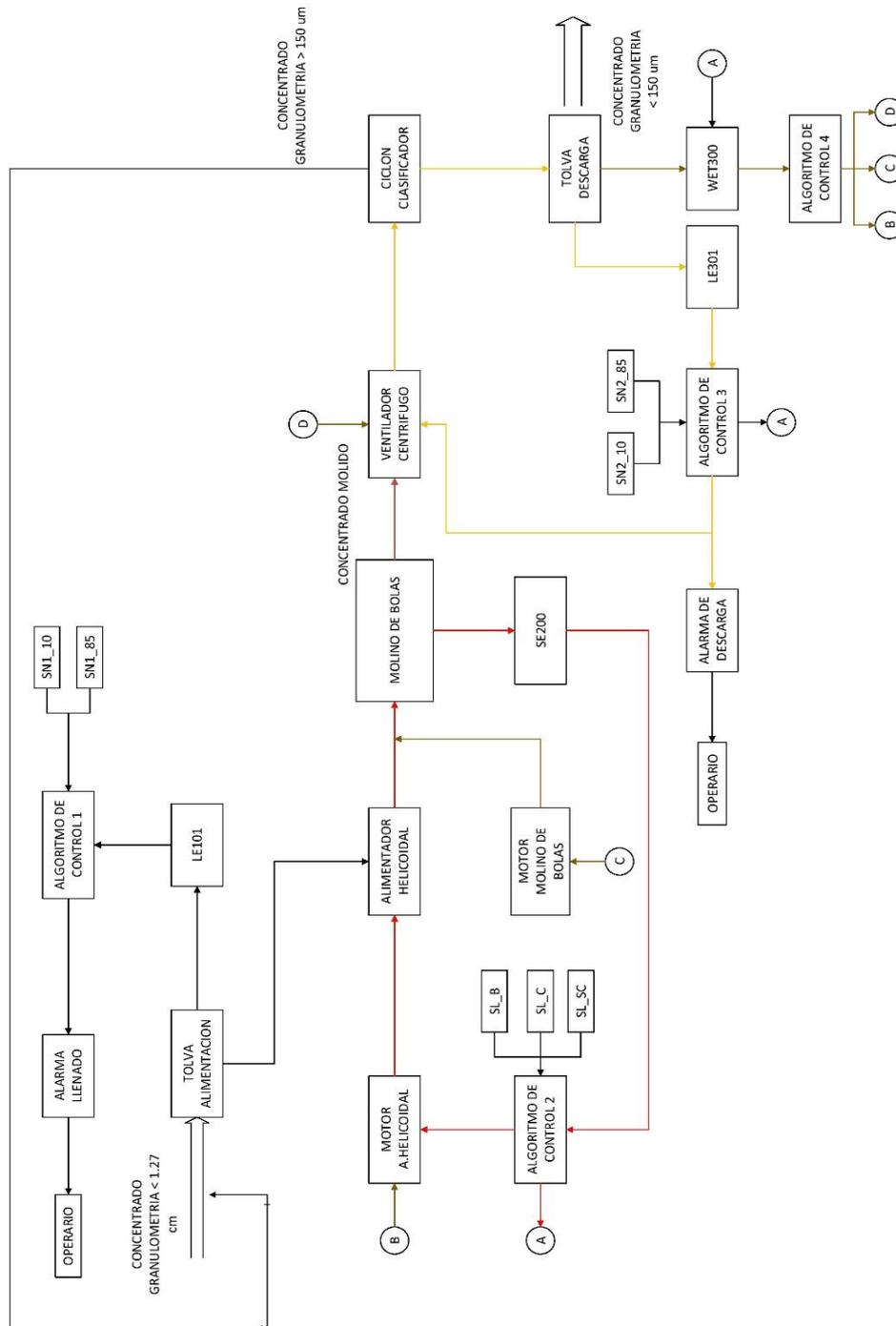


Fig. 3.5-1. Diagrama de bloques del sistema mecatronico

El diagrama de bloques del sistema mecatrónico se muestra en la figura 3.5-1, en ella se aprecia los diferentes lazos de control que componen en el sistema y las diferentes etapas por las que pasa el concentrado desde que es ingresado a la tolva de ingreso hasta que es depositado en la tolva de descarga así como también los sensores que se usan en cada etapa y las variables de los algoritmos de control.

3.5.2 Diagrama PI&D

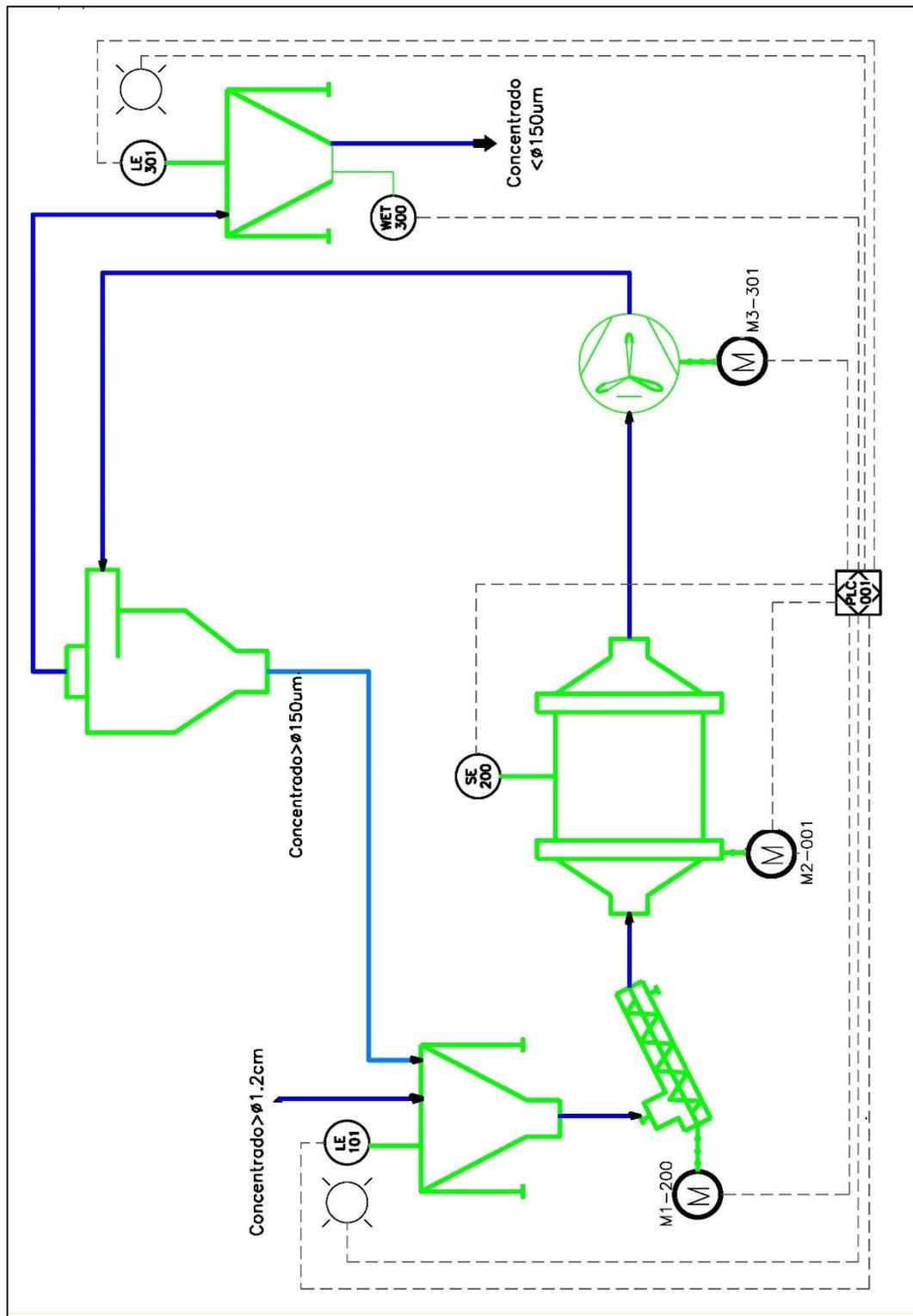


Fig. 3.5-2. Diagrama PI&D del sistema mecatronico  
Fuente: Elaboración propia

Como todo proceso de control e instrumentación se necesita presentar su diagrama PI&D, como se muestra en la figura 3.5-2, se observa que asociado a cada instrumento hay letras las cuales indican una relación con otro instrumento u actuador que lleva la misma letra es decir las interconexiones que se realizan entre los diferentes dispositivos, ya sea sensores y o los actuadores.

Como se menciona anteriormente se observa el sensor de nivel por sonda capacitivo LE101 cuyo funcionamiento es descrito en la subsección 3.2.2.1.

En el subsistema de molienda se observa la conexión entre el sensor de sonido SE200 y el PLC que conforma un lazo de control cerrado con el motor M1-200, encargado de hacer funcionar el alimentador helicoidal.

Luego en el subsistema 4, que pertenece a la tolva de descarga se muestra el sensor de nivel por sonda capacitiva LE301 formando el lazo de control cerrado con el motor M3-301 encargado del funcionamiento del ventilador centrífugo.

También se observa la conexión de la célula de carga WET300 ubicado en la parte inferior de la tolva cuya conexión se realiza directamente con el PLC.

### 3.6 Diagrama de flujo del programa de control

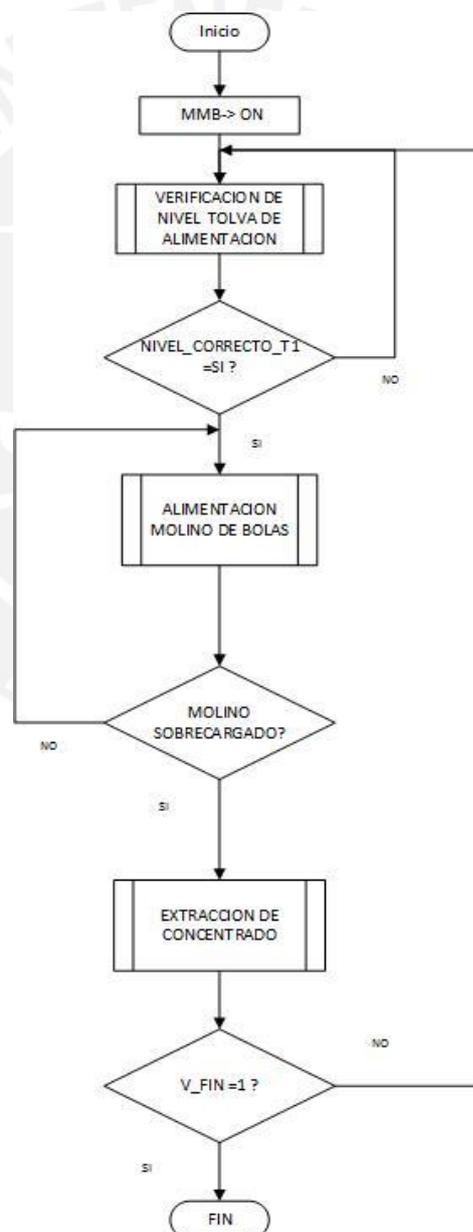


Fig.3.5-1: Diagrama de flujo del programa principal  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.5-1 se observa el diagrama de flujo del programa principal. El programa del microcontrolador inicia activando el molino de bolas, en caso de haber una sobrecarga de corriente el arrancador del motor del molino de bolas lo detectaría y el motor no arrancaría, se debería esperar un minuto para volver a encender el sistema.

Luego pasa al subprograma “Verificación del nivel de tolva de alimentación”, ver figura 3.5-2, en este subprograma se inicia leyendo el sensor nivel por sonda capacitiva Vegacal 62, LE 101, colocado el parte superior de la tolva de ingreso, si el nivel sentido es menor que el 10 % el sistema lo detectara como bajo y pasa a encender la luz roja del piloto indicador, LIGHT1\_R, y a apagar la luz verde, LIGHT1\_V, esto tiene como objetivo avisar al operario que tiene que llenar la tolva de ingreso, cuando el operario está llenando la tolva, el sistema continua verificando el nivel de llenado, en caso de registrar que el nivel ya llevo al 90%, el sistema apagara la luz roja, prenderá la luz verde del piloto indicador y la variable NIVEL\_CORRECTO\_T1 será igual a SI, esto significa que el nivel de la tolva de ingreso se encuentra en el rango correcto para poder alimentar al molino de bolas, este nivel es establecido con el propósito de que la tolva no se llene al tope y pueda ocasionar que el concentrado se desborde, en caso contrario la luz roja seguirá prendida y la variable NIVEL\_CORRECTO\_T1 será igual a NO.

VERIFICACION DE NIVEL TOLVA DE INGRESO

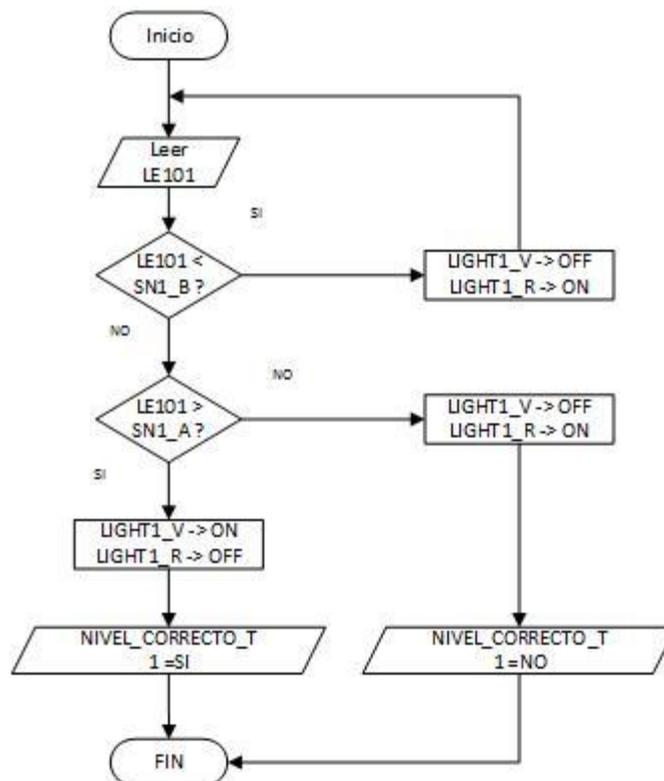


Fig.3.5-2: Diagrama del subprograma “Verificación del nivel de tolva de ingreso”  
Fuente: Elaboración propia

Siguiendo con la lógica del programa principal, luego de verificar que el nivel de la tolva de ingreso es correcto pasa al subprograma “Alimentación molino bolas” cuyo diagrama de flujo se observa en la figura 3.5-3, el subprograma inicia leyendo el sensor de sonido SE200, acá definimos 2 valores SL\_B, que significa que el molino de bolas está girando sin concentrado y el valor SL\_C que significa que el molino de bolas ya alcanzó su nivel correcto de llenado. Se realiza una comparación del valor

registrado por el controlador proveniente del sensor para verificar que el molino no este sobrecargado, si la comparación realizada es positiva, el molino tiene la capacidad de ser llenado, el controlador verifica que el motor del alimentador helicoidal (MAH) este activado, si no lo está, lo activa y la variable SOBRECARGADO será igual a NO, caso contrario que el molino esta sobrecargado, apaga el MAH y la variable SOBRECARGADO será igual a SI.

ALIMENTACION MOLINO DE BOLAS

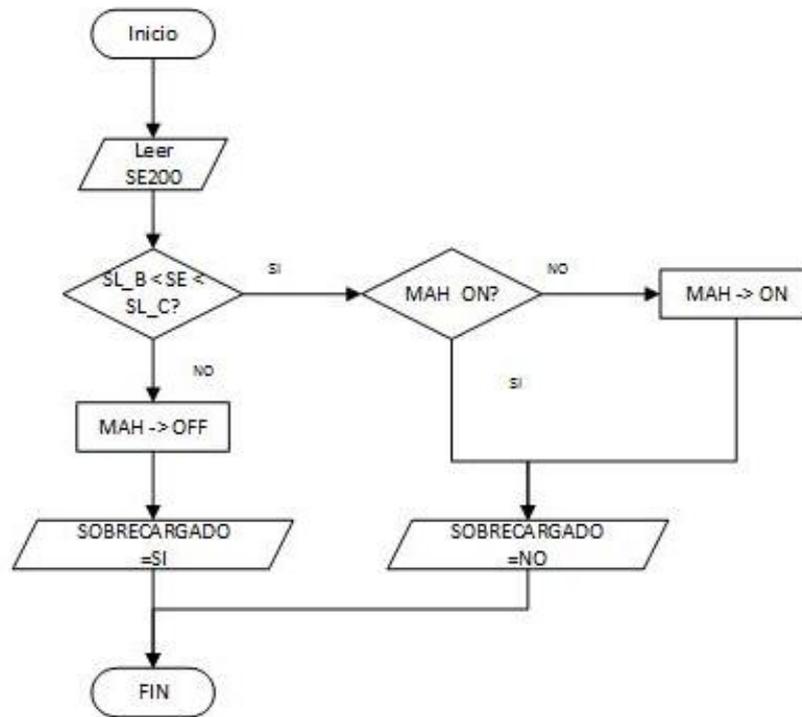


Fig.3.5-3: Diagrama del subprograma “Alimentación molino de bolas”  
Fuente: Elaboración propia

A continuación el controlador hace una comparación para verificar que el molino no esté sobrecargado, en caso no lo estuviese el sistema regresa al subprograma “Alimentación molino de bolas”, caso contrario pasa al subprograma “Extracción de concentrado”, detallado a continuación.

## EXTRACCION DE CONCENTRADO

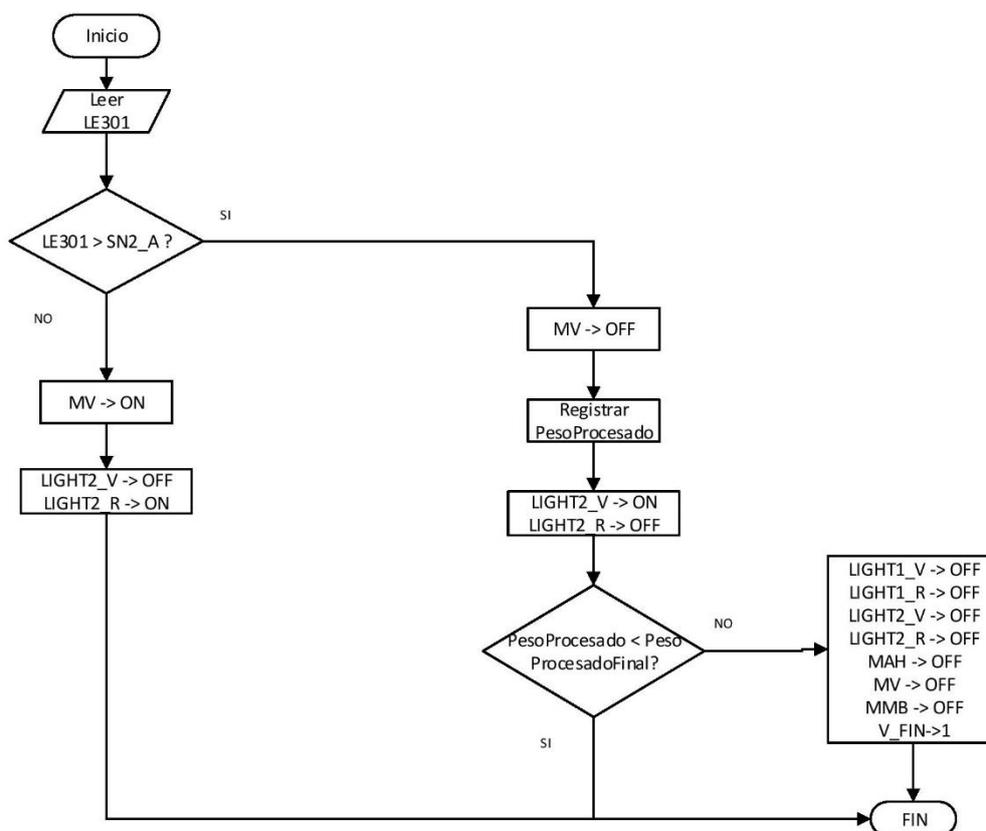


Fig.3.5-4: Diagrama del subprograma “Extracción de concentrado”  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.5-4 se observa el diagrama de flujo del subprograma “Extracción de concentrado”, este empieza leyendo el sensor de nivel por sonda capacitiva, LE301, colocado como en la tolva de ingreso en la parte superior. Si el valor registrado es menor a SN2\_A significa que la tolva de descarga todavía no llega al 90% del nivel de sensado, por lo tanto el motor del ventilador (MV) es prendido para comenzar a extraer el concentrado, del molino de bolas y hacer que pase por el ciclón clasificador donde el concentrado con una granulometría menor a 150  $\mu\text{m}$  pasaran a la tolva de descarga y el concentrado que presenta una granulometría mayor será regresado a la tolva de ingreso, después de activar el motor del ventilador, se manda una señal para encender la luz roja (LIGHT2\_R) y apagar la luz verde (LIGHT2\_V) del piloto indicador de la tolva de descarga, este accionamiento tiene como finalidad dar una señal al operario de que la tolva de descarga todavía no puede ser descargada.

Cuando el valor captado por el LE301, es mayor que el valor SN2\_A significa que la tolva alcanzó el nivel para ser descargado, el controlador apaga el motor del ventilador y procede a registrar el peso medido por la célula de carga ubicada en la parte inferior de la tolva. El procesador va acumulando los pesos cada vez que el sensor LE301 indique que ya llego al tope de la tolva de descarga. A continuación se manda una señal para encender la luz verde (LIGHT2\_V) y apagar la roja (LIGHT2\_R) del piloto indicador de la tolva de descarga, esta operación tiene como finalidad avisar al operar que la tolva de descarga ya puede ser descargada. Seguidamente el microcontrolador hace una comparación entre el peso procesado hasta el momento con el peso procesado total final, que es 25 t, si es menor el

programa continua operando, en caso fuera mayor o igual , el controlador apaga los 3 motores, todas las luces de los 2 pilotos indicadores y setea la variable V\_FIN en 1.

En el programa principal si la variable V\_FIN está en 1 el programa termina, caso contrario el programa vuelve a la parte inicial.



# Capítulo 4

## Presupuesto

En la tabla 4-1 se presenta el presupuesto de los componentes electrónicos del sistema automatizado de molienda.

Tabla 4-1: Presupuesto de los componentes electrónicos  
Fuente: Elaboración propia

SISTEMA ELECTRONICO					
COMPONENTE	MARCA	MODELO	EMPRESA	PRECIO SOLES	PRECIO DOLARES
Controlador PLC	SIEMENS	SIMATIC S7-1200, CPU 1212C	CONTROL Y TECNOLOGIA S.A.C.	931.91	316.97
Módulo de ampliación	SIEMENS	SM1231 de 4 AI	CONTROL Y TECNOLOGIA S.A.C.	838.33	285.15
Sensor de nivel por sonda capacitivo(1.2 m)	VEGA	VEGACAL 62	CIMEC INGENIEROS S.A		1806.00
Sensor de nivel por sonda capacitivo(0.9 m)	VEGA	VEGACAL 62	CIMEC INGENIEROS S.A		1750.00
Sensor de sonido (dB)	PCE INSTRUMENTS	Noise Meter SLT-TRM	PCE INSTRUMENTS		313.36
Célula de carga	SIEMENS	SIWAREX WL200-SIWAREX WL280 RN-S SA	CONTROL Y TECNOLOGIA S.A.C.	3776.21	1284.43
Piloto Indicador (x2)	SIGNA WORKS	Ethernet Tower Light 2 color,	SIGNA WORKS		790.00
				Subtotal	6545.91

En la tabla 4-2 se describe el presupuesto de los componentes del sistema de potencia.

Tabla 4-2: Presupuesto de los componentes del sistema de potencia  
Fuente: Elaboración propia

SISTEMA POTENCIA					
COMPONENTE	MARCA	MODELO	EMPRESA	PRECIO SOLES	PRECIO DOLARES
Motorreductor 1	SEW EURODRIVE	Motorreductor_R07 DR63S4	SEW EURODRIVE DEL PERU S.A.C.	1464.03	497.97
Motorreductor 2	SEW EURODRIVE	Motorreductor_R97 DRS225S4	SEW EURODRIVE DEL PERU S.A.C.	31645.83	10763.89
Ventilador Centrifugo	AIRTEC S.A	MODELO VRLG-350x1.3 TIPO CENTRIFUGO	AIRTEC S.A	8708.40	2962.04
Guardamotor	SCHNEIDER	Tesys GV2 ME05	SCHNEIDER	216	73.47
Guardamotor	SCHNEIDER	Tesys GV3L65	SCHNEIDER	547	186.05
Guardamotor	SCHNEIDER	Tesys GV2P10	SCHNEIDER	245	83.33
				Subtotal	14566.76

En la tabla 4-3 se describe el presupuesto de los componentes del sistema mecánico.

Tabla 4-3: Presupuesto de los componentes del sistema mecánico  
Fuente: Elaboración propia

SISTEMA MECANICO			
COMPONENTE	EMPRESA	PRECIO SOLES	PRECIO DOLARES
ROD. MOLINO SKF 23144 CCK/W33 SKF(x2)	ALFA BEARING S.A.C		2012.71
CICLON	AIRTEC S.A	12850.20	4370.82
TOLVA INGRESO	OTINIANO S.R.L	4500	1530.61
TOLVA SALIDA	OTINIANO S.R.L	3500	1190.48
SOPORTE EN GENERAL	OTINIANO S.R.L	3000	1020.41
CILINDRO MOLINO	OTINIANO S.R.L	8000	2721.09
ALIMENTADOR HELICOIDAL	OTINIANO S.R.L	1500	510.20
TUBO CONDUCTOR	OTINIANO S.R.L	500	170.07
TUBERIAS CICLON	OTINIANO S.R.L	2000	680.27
ENGRANAJES y PARRILLA DELMOLINO	FUNDICION FERROSA		8319
		Subtotal	22525.66

En la tabla 4-4 se describe el presupuesto general del sistema automatizado de molienda.

Tabla 4-4: Presupuesto general del sistema automatizado de molienda  
Fuente: Elaboración propia

SISTEMA DE MOLIENDA AUTOMATIZADO	PRECIO SOLES	PRECIO DOLARES
SISTEMA ELECTRONICO	19244.96	6545.91
SISTEMA POTENCIA	42826.26	14566.76
SISTEMA MECANICO	66225.42	22525.66
<b>TOTAL</b>	<b>128296.65</b>	<b>43638.32</b>



## Capítulo 5

### Conclusiones

- Se ha logrado diseñar un sistema automatizado de molienda, con capacidad de 25 toneladas diarias cumpliendo con los requerimientos y este tonelaje procesado está acorde a la clasificación de minería artesanal. Adicionalmente, se obtuvo conocimiento de toda la problemática que lleva la minería informal artesanal y las propuestas que se están planteando para lograr que su desarrollo sea sostenible como la ley de formalización de la minería artesanal.
- El sistema mecatrónico diseñado propone mejoras en cuanto a las prácticas actuales que se refieren al modo de trabajo en la minería artesanal ya que automatiza el proceso de molienda reduciendo la intervención del operario al mínimo y cumpliendo con los estándares de seguridad e impacto ambiental.
- El resultado de molienda se mejora puesto que se usa un ciclón clasificador a la salida del molino de bolas, es decir es un circuito cerrado de molienda, esto permite tener una granulometría de salida controlada 150  $\mu\text{m}$ , lo que se traduciría en mejores resultados en la producción de obtención del oro o metal que se esté procesando.

## Bibliografía

- [1] Ministerio de Energía y Minas. COMISIÓN TÉCNICA MULTISECTORIAL. 2010 Plan Nacional para la Formalización de la Minería Artesanal
- [2] HRUSCHKA, Félix  
Costos y beneficios de la pequeña minería en los países en vías de desarrollo [en línea]  
< <http://www.hruschka.com/felix/article/costbene.html> >  
[Consulta: miércoles, 15 de octubre de 2014]
- [3] HRUSCHKA, Félix  
2011 El Proyecto GAMA - una propuesta integral para la minería artesanal del Perú.  
Proyecto GAMA.
- [4] CONGRESO DE LA REPÚBLICA DEL PERÚ  
*Ley N° 1107. Decreto Legislativo que establece medidas de control y fiscalización en la distribución, transporte y comercialización de maquinarias y equipos que puedan ser utilizados en la minería ilegal así como producto minero obtenido en dicha actividad.*
- [5] CONGRESO DE LA REPÚBLICA DEL PERÚ  
*Ley N° 1105. Decreto Legislativo que establece disposiciones para el proceso de formalización de las actividades de pequeña minería y minería artesanal.*
- [6] Declaración de Impacto Ambiental Proyecto Planta Artesanal “Rio Seco” [en línea]  
<[http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/inicio/resumen/RE\\_194\\_9670.pdf](http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/inicio/resumen/RE_194_9670.pdf)>  
[Consulta: lunes, 22 de setiembre del 2014]
- [7] HRUSCHKA, Félix  
2011 ROCK SOLID CHANCES For responsible artisanal mining.  
Alliance for Responsible Mining
- [8] GECO [en línea]:  
< <http://geco.mineroartesanal.com/tiki-index.php?page=Documentaciones> >  
[Consulta: miércoles, 15 de octubre de 2014]
- [9] SCHLANZ, John  
Grinding: An overview of operation and design.  
North Carolina State University Mineral Research Laboratory.
- [10] SEPULVEDA, Jaime  
1986 Dimensionamiento y optimización de plantas concentradoras mediante técnicas de modelación matemática.  
Centro de investigación minera y metalúrgica.
- [11] SEW EURDRIVE  
Technical Data and Dimension Drawing for AC Motors.

- [12] Capítulo 9 – Transportador Helicoidal (TH) [en línea]  
<<https://www.dropbox.com/s/bd4trt5c2ri4500/calculo%20de%20tornillo%20%20sinfin.pdf?dl=0>>  
[Consulta: miércoles, 15 de octubre de 2014]
- [13] Asociación técnica española de climatización y refrigeración  
2012 Guía técnica de selección de equipos de transporte de fluidos
- [14] CASAL, Jose  
1989 Cálculo y diseño de ciclones, En: Ingeniería Química  
Madrid
- [15] COULSON, Richardson  
2002 Chemical Engineering, VOL2 Particle Technology and Separation  
Processes  
Butterworth-Heinemann.
- [16] HAIK, Yousef  
2011 Engineering Design Process  
Cengage Learning
- [17] CEMTEC  
GRINDING MILLS MILL TYPES, MILL DESIGN, MILL DIMENSIONS

