

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecatrónico*

PROYECTO TÉCNICO:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN,
CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS EN EL ÁREA DE MOLIENDA
DE LA PLANTA CONCENTRADORA DE MINERALES MULTICOEXPA
CIA. LTDA.”**

AUTORES:

LEONARDO XAVIER PANAMÁ CARRIÓN

CARLOS XAVIER ROJAS AGUILAR

TUTOR:

ING. PAÚL ANDRÉS CHASI PESANTEZ

CUENCA - ECUADOR

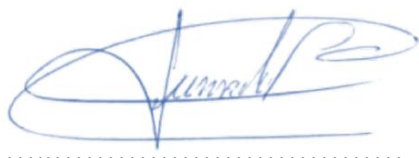
2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Leonardo Xavier Panamá Carrión con documento de identificación N° 0705910966 y Carlos Xavier Rojas Aguilar con documento de identificación N° 0706337979, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS EN EL ÁREA DE MOLIENDA DE LA PLANTA CONCENTRADORA DE MINERALES MULTICOEXPA CIA. LTDA.”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecatrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre de 2021.



.....
Leonardo Xavier Panamá Carrión

C.I. 0705910966



.....
Carlos Xavier Rojas Aguilar

C.I. 0706337979

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS EN EL ÁREA DE MOLIENDA DE LA PLANTA CONCENTRADORA DE MINERALES MULTICOEXPA CIA. LTDA.”**, realizado por Leonardo Xavier Panamá Carrión y Carlos Xavier Rojas Aguilar, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre de 2021.



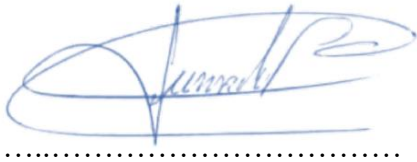
.....
Ing. Paúl Andrés Chasi Pesantez

C.I. 0103652095

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Leonardo Xavier Panamá Carrión con documento de identificación N° 0705910966 y Carlos Xavier Rojas Aguilar con documento de identificación N° 0706337979, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS EN EL ÁREA DE MOLIENDA DE LA PLANTA CONCENTRADORA DE MINERALES MULTICOEXPA CIA. LTDA.”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre de 2021.



.....
Leonardo Xavier Panamá Carrión

C.I. 0705910966



.....
Carlos Xavier Rojas Aguilar

C.I. 0706337979

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios, por haberme acompañado y guiado durante toda mi vida de estudiante, por ser mi pilar fundamental en los momentos de debilidad.

Quiero agradecer a la empresa Multicoexpa CIA. LTDA, por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de titulación en sus instalaciones y confiar en los conocimientos adquiridos durante toda la vida universitaria.

Agradezco al Ing. Paul Chasi por aceptar ser el tutor de este proyecto innovador en la industria minera, y a todos ingenieros integrantes de la carrera de mecatrónica por compartir sus conocimientos para lograr este objetivo.

También quiero agradecer a todos los colaboradores de la empresa Tecnimetal, por su gentileza que brindaron a terminar con éxito nuestro trabajo de grado.

Por último, agradezco a toda mi familia, a mis amigos y a mi compañero de tesis por apoyarme y darme ánimos para lograr el objetivo de ser un ingeniero.

¡Salud y Vida... Gracias!

Xavaiiss.....

Xavier P.

Agradezco primeramente a Dios por permitirme haber llegado a la culminación de una meta más en mi vida, a mis Padres por ser el pilar fundamental, quienes me han apoyado a lo largo de mi carrera universitaria y han creído en mí en cada momento, inculcándome siempre valores, a mi hermano que cuida de mis pasos, estando seguro de que me ha guiado por el buen camino, a mi familia y amigos que me han brindado sus consejos de los cuales he aprendido demasiado.

A la empresa “Multicoexpa CIA. LTDA”, por abrir sus puertas para el desarrollo exitoso de este proyecto de titulación, al taller “Tecnimetal”, por prestar sus instalaciones y personal para realización de nuestro trabajo.

Al Ing. Paúl Chasi por aceptar ser el mentor del este proyecto y a mi compañero de tesis por el apoyo brindado y los conocimientos impartidos durante el desarrollo de cada una de las etapas del proyecto.

A los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana por haber sido los forjadores de conocimiento, enseñanza dentro de aulas y laboratorios, que es el principal apoyo para salir adelante.

¡¡Gracias Totales!!

Carlos Xavier Rojas Aguilar

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por haberme dado la vida y permitirme terminar con felicidad mi formación profesional.

A mi familia, por todo el apoyo incondicional que me han brindado durante el tiempo que estuve lejos de ellos. Gracias, papá y mamá por todo el trabajo y sacrificio que hicieron para que pueda llegar a cumplir otra meta más, que una vez me propuse.

A mis compañeros, por tantos momentos vividos en la vida de estudiantes y quienes estuvieron ahí para apoyarnos del uno al otro.

Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que persiguen un sueño de ser un profesional.

Suerte y éxitos...

Xavier P.

Dedico este trabajo de manera especial a mi hermano en el cielo, lo conseguimos.

A mis padres por ser las personas más importantes en mi vida, a quienes siempre los quiero ver orgullosos de mis logros.

A mis sobrinos, que sirva de motivación que cada sueño y meta que se propongan con esfuerzo y dedicación lo van a cumplir y que siempre podrán contar con mi apoyo.

A mi familia y amigos que me han apoyado y aconsejado a lo largo de mi vida universitaria, que han estado en los buenos y malos momentos.

Carlos Xavier Rojas Aguilar

RESUMEN

La obtención de concentrado de minerales consiste en cuatro etapas las cuales son, explotación de yacimientos, trituración, molienda y flotación. En el presente documento se indica el desarrollo del proyecto titulado: Diseño e Implementación de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos en el área de molienda de la planta concentradora de minerales Multicoexpa CIA. LTDA, para obtener posibles mejoras de tiempos de producción, aumento de obtención de minerales y usos eficientes de recursos hídricos y eléctricos, con la finalidad de conseguir un producto final de calidad conocido como concentrado de minerales.

La cantidad de producción de la planta concentradora anteriormente era a pequeña escala; es decir, su procesamiento hace un año era alrededor de 50 a 80 ton/día lo cual se considera una producción minera artesanal. Debido al aumento de producción en su yacimiento de explotación, la empresa tiene la necesidad de disminuir sus costos operativos y aumentar su producción de 100 a 160 ton/día, este es el punto de partida para el diseño e implementación del proyecto anteriormente citado.

Para lograr el alcance máximo de producción, la empresa minera ha optado por la renovación y adquisición de equipos en las diferentes áreas que la conforman, puntualizando el área de molienda; puesto que, la pulpa resultante de la molienda afecta directamente a la recuperación de minerales.

La alternativa tomada para el aumento de producción es la automatización del área de molienda, mediante sistema mecatrónicos para la supervisión y control de las variables involucradas en el área mencionada, caso contrario el aumento de la capacidad productiva sin ningún control se verá ineficiente y afectará a la recuperación de minerales valiosos.

Finalmente, la implementación de este sistema mecatrónico a más de aumentar y controlar la producción evitara el contacto directo de los operarios con la maquinaria aplicada a este proceso reduciendo riesgos laborales al momento de obtener la medición y control de las variables.

ABSTRAC

Obtaining mineral concentrate consists of four stages which are, exploitation of deposits, crushing, grinding and flotation. This document indicates the development of the project entitled: Design and Implementation of a supervision, control and data acquisition system in the grinding area of the Multicoexpa CIA. LTDA. mineral concentrator plant, to obtain possible improvements in production times, increased mineral production and efficient use of water and electrical resources, in order to achieve a quality final product known as mineral concentrate.

The production quantity of the concentrator plant was previously on a small scale; that is, its processing a year ago was around 50 to 80 tons / day, which is considered artisanal mining production. Due to the increase in production in its exploitation field, the company has the need to reduce its operating costs and increase its production from 100 to 160 tons / day, this is the starting point for the design and implementation of the aforementioned project.

To achieve the maximum scope of production, the mining company has opted for the renovation and acquisition of equipment in the different areas that comprise it, specifying the grinding area, since the pulp resulting from the milling directly affects the recovery of minerals.

The alternative taken to increase production is the automation of the grinding area, through mechatronic systems for the supervision and control of the variables involved in the aforementioned area, otherwise the increase in productive capacity without any control will be inefficient and will affect the the recovery of valuable minerals.

Finally, the implementation of this mechatronic system, in addition to increasing and controlling production, will avoid direct contact of the operators with the machinery applied to this process, reducing occupational risks at the time of obtaining the measurement and control of the variables.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA	2
3. OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
4. MARCO TEÓRICO	5
Molienda de minerales	6
Circuito de molienda de la planta concentradora MULTICOEXPA CIA. LTDA. ... 6	
Variables operacionales en el área de molienda	7
Molinos	9
Molino de bolas	9
Partes fundamentales de un molino de bolas	10
Elementos importantes en la molienda	11
Variables operativas de los molinos	12
Bombas de pulpa	12
Pulpa de mineral	12
Principio de funcionamiento	12
Componentes de las bombas de pulpa	12
Hidrociclón	13
Funcionamiento del Hidrociclón	13
Partes del Hidrociclón.	14
Automatización Industrial	14
Sistema de supervisión, control y adquisición de datos	15
Instrumentación Industrial	16
Comunicación Industrial	17
Protecciones Eléctricas	18
Supervisor de fase	18
Aparatos de maniobra	18
Disyuntor termomagnético	18
Contactador	19
Equipos de control	19
PLC	19
Variador de frecuencia	20

Sensores.....	20
Actuadores.....	21
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	22
Diseño de los circuitos eléctricos.....	22
Diseño del circuito eléctrico de paso.....	23
Diseño del circuito eléctrico de fuerza	24
Diseño de controladores	24
Diseño de comunicación industrial.....	25
Diseño de tablero eléctrico	25
Dimensionamiento de protección para circuitos derivados	26
Dimensionamiento del contactor principal.....	28
Dimensionamiento del Disyuntor principal.....	30
Dimensionamiento de conductores	31
Dimensionamiento de conductor para motores y alimentación	32
Características para selección de sensores y actuadores.....	33
Sensor de presión	33
Sensor de densidad.....	33
Sensor de nivel.....	34
Sensor de flujo de pulpa	34
Sensor de flujo de agua.....	35
Variador de frecuencia	35
Válvula proporcional.....	36
Válvula de ON / OFF	36
PLC	37
Sensor de peso	37
6. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.....	38
Lazo de control de la densidad de pulpa.....	39
Lazo de control de presión - Entrada al hidrociclón	44
Lazo de control de flujo - Entrada de agua al molino	50
Lazo de control de peso – Banda alimentadora de mineral	53
7. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.....	55
Implementación mecatrónica.....	55
Controlador lógico programable - PLC.....	55

Sensores, actuadores y controladores.....	56
Comunicación entre maestro - esclavos	61
Tablero Eléctrico.....	61
Configuración y programación del PLC.....	63
Configuración de la comunicación Modbus RS485 en el PLC	63
Programación del PLC	65
Condiciones de arranque.....	66
Tipos de arranque para el área de molienda	66
Secuencia de arranque del área de molienda	66
Condiciones de parada.	67
Secuencia de paro del área de molienda	67
Fallo de las variables del proceso.....	68
Fallo de sensores y actuadores en el proceso	69
Configuración y programación del variador de frecuencia	70
Configuración y programación del panel operador HMI	72
Montaje de los sensores y actuadores en planta.....	74
8. VALIDACIÓN DEL SISTEMA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.....	76
Validación del sistema de comunicación.....	76
Validación de lectura y escritura de los instrumentos conectados al módulo de entradas y salidas analógicas.	77
Validación del control PID de presión	78
Validación del control PID de Densidad.....	79
Pruebas de Funcionamiento.....	79
Funcionamiento del PLC y HMI	80
Funcionamiento de la válvula control de agua y sensor de flujo de agua	80
Funcionamiento de la válvula de control de agua y el sensor de densidad	81
Funcionamiento del sensor de presión	81
Funcionamiento del sensor de flujo de pulpa	82
Funcionamiento del controlador de peso	83
Funcionamiento de los variadores de frecuencia	83
9. Conclusiones	85
10. Recomendaciones	87
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIG. 1 CIRCUITO DE MOLIENDA.</i>	6
<i>FIG. 2 MOLINOS EN LA MINERÍA (BRAVO GALVÉZ, 2003)</i>	9
<i>FIG. 3 MOLINO DE BOLAS (SHICHENG GAOXUAN BEARING BUSH CO., 2008)</i> 9	
<i>FIG. 4 TRAYECTORIA DE PARTÍCULAS Y BOLAS EN UN MOLINO. (SEPÚLVES A, 2018)</i>	10
<i>FIG. 5 COMPONENTES PRINCIPALES (VOGT, 2015)</i>	13
<i>FIG. 6 HIDROCICLÓN (ARIEL & LAURA, 2018)</i>	14
<i>FIG. 7 EJEMPLO DE SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO. (INDUSTAY, 2016)</i>	16
<i>FIG. 8 CONEXIÓN MODBUS RTU RS-485</i>	17
<i>FIG. 9 ESQUEMA SUPERVISOR DE FASE (GENIUS, 2020)</i>	18
<i>FIG. 10 BREAKER TERMOMAGNÉTICO (CHINT, S.F.)</i>	19
<i>FIG. 11 CONTACTOR (CHINT, 2019)</i>	19
<i>FIG. 12 PLC</i>	20
<i>FIG. 13 VARIADOR DE FRECUENCIA (POWTRAN, S.F.)</i>	20
<i>FIG. 14 VÁLVULAS DE CONTROL (SESCO, S.F.)</i>	21
<i>FIG. 15 DIAGRAMA DE BLOQUES DE CIRCUITO DE PASO.</i>	23
<i>FIG. 16 DIAGRAMA DE BLOQUES DE CIRCUITO DE FUERZA.</i>	24
<i>FIG. 17 DIAGRAMA DE BLOQUE DE LAZOS DE CONTROL.</i>	25
<i>FIG. 18 DIAGRAMA DE BLOQUES COMUNICACIÓN INDUSTRIAL.</i>	25
<i>FIG. 19 DIAGRAMA DE BLOQUES: TABLERO ELÉCTRICO.</i>	26
<i>FIG. 20 SELECCIÓN DE FUSIBLES. CATÁLOGO CHINT. (CHINT, 2019)</i>	27
<i>FIG. 21 SELECCIÓN DE DISYUNTOR TERMOMAGNÉTICO. CATÁLOGO CHINT. (CHINT, 2019)</i>	28
<i>FIG. 22 CATÁLOGO CHINT (CHINT, 2019)</i>	29
<i>FIG. 23 CATÁLOGO CHINT (CHINT, 2019)</i>	31
<i>FIG. 24 ESQUEMA DE CONTROL DE DENSIDAD EN PLANTA</i>	39
<i>FIG. 25 LAZO CERRADO DE CONTROL DE DENSIDAD</i>	40
<i>FIG. 26 CURVA DEL SENSOR DE DENSIDAD.</i>	40
<i>FIG. 27 LAZO DEL SENSOR DE DENSIDAD.</i>	41
<i>FIG. 28 RESPUESTA AL ESCALÓN UNITARIO.</i>	41
<i>FIG. 29 CURVA DE LA VÁLVULA PROPORCIONAL</i>	42
<i>FIG. 30 LAZO DE LA VÁLVULA PROPORCIONAL.</i>	42
<i>FIG. 31 RESPUESTA AL ESCALÓN UNITARIO.</i>	43
<i>FIG. 32 LAZO DE CONTROL DE DENSIDAD.</i>	43
<i>FIG. 33 RESPUESTA AL ESCALÓN UNITARIO DEL LAZO DE CONTROL.</i>	43
<i>FIG. 34 LAZO DE CONTROL CON PID</i>	44
<i>FIG. 35 RESPUESTA AL ESCALÓN UNITARIO DEL LAZO DE CONTROL</i>	44
<i>FIG. 36 ESQUEMA DE CONTROL DE PRESIÓN EN PLANTA</i>	45
<i>FIG. 37 LAZO DE CONTROLADOR DE PRESIÓN</i>	45
<i>FIG. 38 MODO DE OPERACIÓN SENSOR DE PRESIÓN</i>	46

<i>FIG. 39 LAZO DE CONTROL DE SENSOR DE PRESIÓN</i>	46
<i>FIG. 40 RESPUESTA AL ESCALÓN UNITARIO</i>	47
<i>FIG. 41 CURVA DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE SÓLIDOS</i>	47
<i>FIG. 42 LAZO DE CONTROL DEL VDF Y BOMBA DE SÓLIDOS</i>	48
<i>FIG. 43 RESPUESTA AL ESCALÓN UNITARIO</i>	48
<i>FIG. 44 LAZO DE CONTROL PRESIÓN</i>	49
<i>FIG. 45 RESPUESTA AL ESCALÓN UNITARIO</i>	49
<i>FIG. 46 LAZO DE CONTROL CON PID</i>	49
<i>FIG. 47 RESPUESTA AL ESCALÓN UNITARIO DEL LAZO DE CONTROL</i>	50
<i>FIG. 48 ESQUEMA DE CONTROL INGRESO DE AGUA AL MOLINO</i>	50
<i>FIG. 49 LAZO DE CONTROL DEL SENSOR DE FLUJO</i>	51
<i>FIG. 50 RESPUESTA AL ESCALÓN UNITARIO</i>	51
<i>FIG. 51 LAZO DE CONTROL DE INGRESO DE AGUA AL MOLINO</i>	52
<i>FIG. 52 RESPUESTA AL ESCALÓN UNITARIO</i>	52
<i>FIG. 53 LAZO DE CONTROL IMPLEMENTADO EL PID</i>	52
<i>FIG. 54 RESPUESTA AL ESCALÓN UNITARIO DEL LAZO DE CONTROL CON PID</i>	53
<i>FIG. 55 ESQUEMA DE CONTROL DE PESO EN PLANTA</i>	53
<i>FIG. 56 ADAPTADOR Y MÓDULOS DE EXPANSIÓN COLOCADOS EN EL PANEL ELÉCTRICO</i>	55
<i>FIG. 57 PLC Y HMI VISIÓN 1040 UNITRONICS (UNITRONICS, N.D.)</i>	56
<i>FIG. 58 ESQUEMA DE COMUNICACIONES ENTRE EQUIPOS E INSTRUMENTOS</i>	61
<i>FIG. 59 PARTE INTERNA DEL TABLERO ELÉCTRICO</i>	62
<i>FIG. 60 PARTE EXTERNA TABLERO ELÉCTRICO</i>	62
<i>FIG. 61 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN</i>	63
<i>FIG. 62 BLOQUE DE INICIO DE COMUNICACIÓN</i>	63
<i>FIG. 63 BLOQUE DE CONFIGURACIÓN MODBUS MAESTRO</i>	64
<i>FIG. 64 LÍNEA DE PROGRAMACIÓN PARA EL INICIO DE LA COMUNICACIÓN</i>	64
<i>FIG. 65 BLOQUE DE CONFIGURACIÓN DE ESCRITURA DEL ESCLAVO</i>	65
<i>FIG. 66 BLOQUE DE CONFIGURACIÓN DE LECTURA DEL ESCLAVO</i>	65
<i>FIG. 67 EJEMPLO DE PROGRAMACIÓN TIPO ESCALERA</i>	67
<i>FIG. 68 PANTALLA DEL VDF PI500 POWTRAN (POWTRAN, S.F.)</i>	70
<i>FIG. 69 HMI PRINCIPAL DEL ÁREA DE MOLIENDA</i>	72
<i>FIG. 70 MENÚ DE PARÁMETROS DEL ÁREA DE MOLIENDA</i>	73
<i>FIG. 71 PANTALLA DEL HMI DEL CONTROLADOR DE PRESIÓN</i>	73
<i>FIG. 72 MONTAJE SENSOR DE PRESIÓN</i>	74
<i>FIG. 73 VISUALIZACIÓN EN TIEMPO REAL DE LA COMUNICACIÓN DE LA RED MODBUS RS – 485</i>	76
<i>FIG. 74 VISUALIZACIÓN DE LINEALIZACIÓN DE VALORES DE MEDICIÓN</i>	77
<i>FIG. 75 RESPUESTA DEL CONTROL PID DE PRESIÓN</i>	78
<i>FIG. 76 RESPUESTA DEL CONTROL PID DE DENSIDAD</i>	79
<i>FIG. 77 IMAGEN DE OPERADOR REMOTO DE HMI EN PLANTA</i>	80

FIG. 78 VISUALIZACIÓN EN EL SENSOR DE FLUJO Y PANEL HMI.....	81
FIG. 79 VISUALIZACIÓN DE VALORES DE DENSIDAD EN EL SENSOR Y PANEL HMI.....	81
FIG. 80 VISUALIZACIÓN DE VALORES DE PRESIÓN EN EL SENSOR Y PANEL HMI.....	82
FIG. 81 VISUALIZACIÓN DE VALORE DE FLUJO DE PULPA EN SENSOR.....	83
FIG. 82 CONTROLADOR DE PESO CONFIGURADO A CERO	83
FIG. 83 VARIADORES DE FRECUENCIA EN FUNCIONAMIENTO	84

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. VARIABLES OPERACIONALES EN EL ÁREA DE MOLIENDA	8
TABLA 2. VOLTAJES DE FUNCIONAMIENTO	22
TABLA 3. CORRIENTE NOMINAL DE LOS EQUIPOS DERIVADOS.....	27
TABLA 4. DIMENSIONAMIENTO DE CONTACTOR DE PASO.....	29
TABLA 5. CÁLCULO PARA DISYUNTOR.....	30
TABLA 6. EQUIVALENCIA DE LA SECCIÓN Y SU RESPECTIVO CALIBRE AWG (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2001).....	32
TABLA 7. CONDUCTIVIDAD PARA EL TIPO DE CONDUCTORES (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2001)	32
TABLA 8. CÁLCULO DE SECCIÓN MÍNIMA PARA CONDUCTOR.	32
TABLA 9. CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN	33
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN DEL SENSOR DE DENSIDAD.....	33
TABLA 11. CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN DEL SENSOR DE NIVEL	34
TABLA 12. CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN DEL SENSOR DE FLUJO DE PULPA.....	34
TABLA 13. CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN DEL SENSOR DE FLUJO DE AGUA.....	35
TABLA 14. CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA	36
TABLA 15. CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN DE LA VÁLVULA PROPORCIONAL	36
TABLA 16. CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN DE LA VÁLVULA ON/OFF	37
TABLA 17. CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN DEL PLC.....	37
TABLA 18. CARACTERÍSTICAS DE SELECCIÓN DEL PESÓMETRO	37
TABLA 19. CONTROLADOR DE PESO SELECCIONADO	57
TABLA 20. SENSORES SELECCIONADOS.	59
TABLA 21. ACTUADORES SELECCIONADOS.	60
TABLA 22. PRE - ACTUADORES SELECCIONADOS	60
TABLA 23. FALLAS DEL PROCESO.....	68
TABLA 24. FALLOS DE SENSORES Y ACTUADORES.	69
TABLA 25. PARÁMETROS BÁSICOS DEL MOTOR A CONFIGURAR [29].....	71
TABLA 26. PARÁMETROS BÁSICOS DE COMUNICACIÓN A CONFIGURAR [29]	71
TABLA 27. DIRECCIONES PARA LECTURA O ESCRITURA DEL ESCLAVO. [29]	72
TABLA 28 DISPOSITIVOS PARA MONTAJE DE SENSORES.....	75
TABLA 29 DISPOSITIVOS PARA MONTAJE DE ACTUADORES.....	75

1. INTRODUCCIÓN

Por medio de este documento se presenta el proyecto de titulación, con enfoque técnico intitulado Diseño e Implementación de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos en el área de molienda de la planta concentradora de minerales Multicoexpa CIA. LTDA, donde se evidencia la implementación de un sistema mecatrónico para la concentración de minerales.

La ingeniería mecatrónica es inexistente en la industria minera de la parte alta de la provincia de El Oro, Ecuador. La aplicación de esta ingeniería puede facilitar soluciones a nivel tecnológico dentro de cada uno de los procesos concebidos a la recuperación del mineral. A continuación, se presenta el desarrollo del documento para llegar a lograr la automatización del área más importante en la planta concentradora de minerales.

El principal objetivo del sistema automático es mantener las densidades adecuadas, añadiendo agua en los diferentes puntos del circuito de molienda, al igual que la alimentación del mineral triturado a la entrada del molino. Y, por último, mantener una clasificación constante de pulpa rica en minerales en el hidrociclón.

En el capítulo 1 se presenta una revisión bibliográfica sobre todo lo referente a la etapa de molienda de una planta concentradora, donde se explica las variables operativas, equipos que conforman el área, componentes y equipos básicos para un sistema de control automático. El capítulo 2, se explica el diseño del sistema mecatrónico; el cual, está conformado por cálculos, diagramas y características que requiere el sistema para dar solución a la problemática planteada. En el capítulo 3, se realizó la simulación de los controladores diseñados en el capítulo anterior y para su visualización de la respuesta de estos, se utilizó un software de programación. El capítulo 4, se enfoca a la implementación del sistema automático previamente diseñado, donde constan los equipos a utilizar para el control y supervisión de las variables del proceso. Finalmente, el capítulo 5, consta de la validación y funcionamiento del sistema automático.

El presente trabajo de titulación está orientado a impulsar el crecimiento de la industria minera a mediana y gran escala; por esto, el rol de la ingeniería es importante para la automatización de procesos dentro de esta industria.

2. PROBLEMA

La Empresa Multicoexpa Cía. Ltda. es una planta concentradora de minerales definida por el artículo 138 de la Ley de minería del Ecuador como una pequeña empresa de producción minera, donde los operarios manipulan los parámetros del proceso de molienda de forma empírica basada en su experiencia y sin tener un registro de control de las variables involucradas en dicho proceso.

Esta empresa cuenta con maquinaria moderna que facilita la molienda del mineral, sin procesos de control automático; de tal manera, nace la necesidad de automatizar esta área de la planta para reducir el consumo energético, costo humano, paradas inesperadas por fallas mecánicas, y mejorar la continuidad de la producción.

En la actualidad la empresa en mención no cuenta con registros óptimos sobre el funcionamiento del proceso de molienda; el cual es uno de los procesos principales en la minería, dado que su resultado afecta directamente a la obtención de minerales como: Oro, Plata y Cobre, debido a esto es importante conocer si el molino está funcionando en óptimas condiciones mediante la medición de variables físicas, mecánicas y eléctricas.

Debido a la manipulación y el conocimiento artesanal de las variables del proceso, estas pueden ocasionar un rendimiento deficiente en la maquinaria y a su vez accidentes laborales, lo que genera pérdidas económicas en la empresa.

Muchas de las paradas inesperadas de la planta, es por falta de un mantenimiento preventivo general del molino debido a que no cuenta con un monitoreo de las variables mecánicas que están sometidas a rozamiento y fricción, durante sus jornadas de trabajo de 24 horas alrededor de 350 días del año, tomando en cuenta que los días restantes del año se realiza un mantenimiento integral de la planta.

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de supervisión, control y adquisición de datos en el área de molienda de la planta concentradora de minerales MULTICOEXPA CIA. LTDA.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar los parámetros en el proceso de molienda de minerales para la automatización.
- Diseñar el sistema de supervisión, control y adquisición de datos para el proceso de molienda de minerales
- Simular el sistema diseñado para el proceso de molienda de minerales.
- Implementar el sistema de supervisión, control y adquisición de datos en el área de molienda.
- Validar los sistemas de implementación en el área de molienda de minerales.

GLOSARIO

Aluvial

Terreno que se ha formado a partir de materiales arrastrados y depositados por corrientes de agua, 5

Concentración

Dicho de la operación en la cual se eleva el porcentaje de una mena o mineral determinado., 8

Concentrado

Un producto intermedio fino y polvoriento del proceso de molienda formado por la separación de un material valioso del desperdicio., 6

Corona

un elemento dentado utilizado en transmisiones., 9

Densidad

Magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia o un objeto sólido, 8

Explotación

Actividad relacionada con un depósito de mineral que empieza en el punto en que se puede estimar de manera razonable que existen reservas económicamente recuperables., 6

Flotación

La flotación es un proceso fisicoquímico de tres fases que tiene por objetivo la separación de especies minerales mediante la adhesión selectiva de partículas minerales a burbujas de aire, 5

Ganga

Constituida por especies minerales, metálicos, terrosas o pétreas., 5

Lixiviación

Proceso hidrometalúrgico con el cual se provoca la disolución de un elemento desde el mineral que lo contiene para ser recuperado., 8

Mineral

Sustancia homogénea que ocurre naturalmente y tiene propiedades físicas y composición química, tiene una forma de cristal definida., 6

Pulpa

Mezcla de mineral molido más agua., 11

Recuperación

El porcentaje de metal valioso en el mineral que se recupera por medio de un tratamiento metalúrgico., 6

Relaves

Material de desecho de una molienda luego de que se ha recuperado los minerales valiosos., 36

Roca

Una masa que contiene una combinación de minerales., 5 (Southern Copper, n.d.)

4. MARCO TEÓRICO

En la parte alta de la provincia de EL Oro se encuentran dos cantones que son mineros por excelencia debido a la gran cantidad de recursos naturales que favorecen al desarrollo de este tipo de industria. De acuerdo con la capacidad de producción la minería se divide en cuatro clases: la artesanal o de subsistencia, la pequeña minería, la mediana minería y la minería a gran escala.

En el artículo 138 del capítulo II de la ley de minería del Ecuador, “la pequeña minería es aquella, debido a las características y condiciones geológico-mineras de los yacimientos de sustancias minerales metálicas, no metálicas y materiales de construcción, así como de sus parámetros técnicos y económicos”.

En dicho artículo también se establecen rangos de producción para la pequeña minería: para “materiales metálicos: hasta 300 toneladas por día en minería subterránea; hasta 1000 toneladas por día en minería a cielo abierto; y, hasta 1500 metros cúbicos por día en minería aluvial.” (Vergara, 2018)

La molienda es un proceso primordial en la minería, ya que dicho proceso es la reducción de tamaño de rocas y minerales de manera similar a la realizada en la trituración. Los productos obtenidos por molienda son más pequeños que los que se pueden obtener por trituración, generalmente cuando hablamos de un proceso de molienda se espera tener partículas de inferior tamaño a 0.54 mm.

Este proceso se utiliza principalmente en la fabricación de cemento, preparación de combustibles sólidos pulverizados, molienda de escoria, etc. Además, teniendo un gran aporte en la concentración de materiales ferrosos y no ferrosos, donde se muele la roca que se extrae de canteras, minas subterráneas etc. Para posteriormente dar paso al proceso de flotación por espumas, donde se hace flotar los minerales y hundir la ganga y poder separarlos. Se conoce que en el mundo se procesan unos 2.000 millones de toneladas al año.

En este proceso se requiere de la utilización de grandes equipos giratorios, cilíndricos o cilindros – cónicos, denominados molinos, los cuales con la ayuda de medios de molienda

(barras o bolas de acero) adicionados en su interior, llevan a cabo la reducción del material mineral alimentado a la planta. (Silva Balocchi, 2013)

Molienda de minerales

La molienda es la operación unitaria que efectúa la etapa final de reducción de tamaño, o la liberación de las partículas valiosas del mineral. El tamaño óptimo de liberación se determina usualmente mediante consideraciones técnicas y económicas. Cuanto más fino se muele el mineral, mayor el costo de molienda y hasta cierto grado, una molienda más fina conlleva a una mejora en la recuperación de valores.

La molienda optima es cuando los beneficios son máximos, cuando se considera tanto el costo de energía, así como los retornos netos de dólares de los productos. (Currie., 1990)

Circuito de molienda de la planta concentradora MULTICOEXPACIA. LTDA.

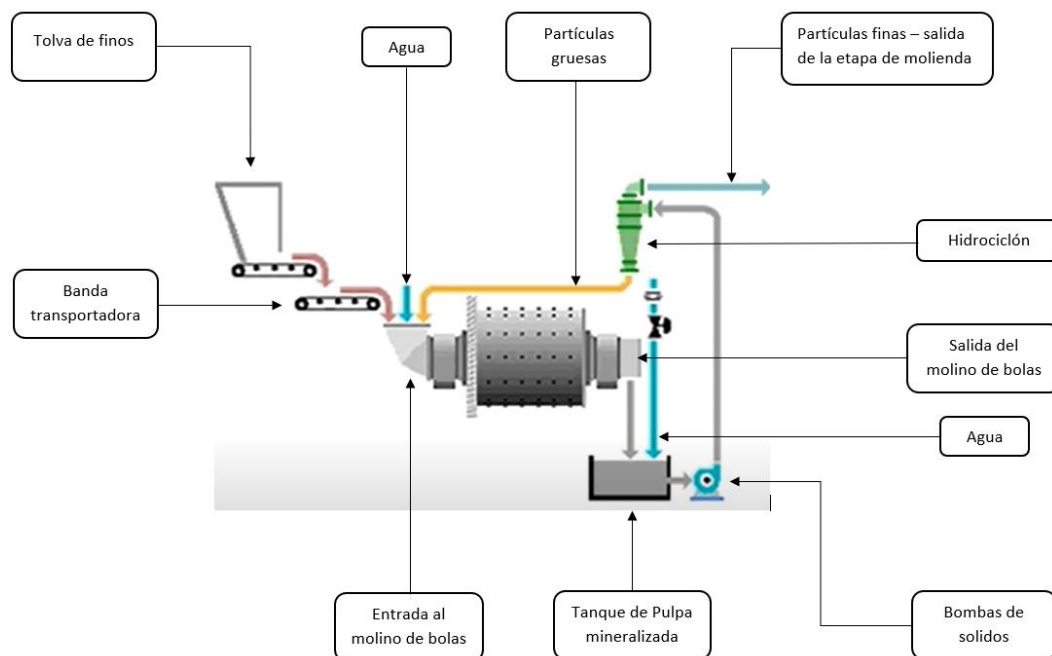


Fig. 1 Circuito de molienda.

El proceso de molienda en la planta de procesamiento de minerales MULTICOEXPACIA. LTDA. Inicia en la toma de material de la tolva de finos el cual es trasladado a la

entrada del molino por medio de una banda transportadora, en la entrada al molino ingresa el mineral triturado y agua.

En la salida del molino existe un tanque el cual recibe la pulpa de mineral y se añade agua, esta pulpa es bombeada por medio de una bomba de solidos hacia el hidrociclón el cual este clasifica la pulpa de mineral en partículas finas y gruesas. Las partículas finas continúan al siguiente proceso, mientras que las partículas gruesas retornan a la entrada del molino para ser remolidas hasta que obtener una partícula fina.

El proceso de molienda en esta planta es un circuito de lazo cerrado puesto que existe un mineral de retorno al molino. El circuito de lazo cerrado de molienda lo hace el equipo llamado hidrociclón caso contrario sería un circuito de lazo abierto.

Variables operacionales en el área de molienda

Variable densidad: Existen tres razones importantes por el cual el control de densidad en el área de molienda es necesario, y se presentan a continuación:

- Una densidad de pulpa baja respecto al valor requerido en el proceso señala exceso de agua y viceversa. Una densidad baja señala exceso de agua, y por lo contrario una densidad más alta de lo normal señala falta de agua.
- El exceso de agua lava los elementos moledores haciendo que estos se golpeen entre ellos y no muelen el mineral. Además, el agua en exceso expulsa rápidamente la carga haciendo que el tiempo de residencia de esta sea menor y se obtenga una carga gruesa. Estos dos efectos son simultáneos.
- Cuando hay poca agua, la carga avanza lentamente y la pulpa se vuelve muy espesa alrededor de los elementos moledores, impidiendo buenos golpes, debido que el barro los amortigua. (Bravo Galvéz, 2003)

VARIABLE	ESPECIFICACIONES	UNIDADES	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
PESO	Banda transportadora	kg	Pesómetro
FLUJO	Suministro de agua a la entrada del molino	L/s	Flujómetro
	Suministro de agua a la salida del molino	L/s	Flujómetro
	Caudal de la Pulpa	L/s	Flujómetro
DENSIDAD	Densidad de la Pulpa a la entrada del hidrociclón	gr/L	Picnómetro
	Densidad de OverFlow	gr/L	Picnómetro
	Densidad de UnderFlow	gr/L	Picnómetro
PRESIÓN	Presión de la pulpa, entrada al hidrociclón	lb/in ²	Manómetro
AMPERAJE	Corriente del motor de molino de bolas	A	Amperímetro
	Corriente del motor de la banda transportadora	A	Amperímetro
	Corriente del motor de la bomba de solidos	A	Amperímetro
TEMPERATURA	Temperatura en chumaceras del molino	°C	Pirómetro
VOLTAJE	Motor del molino de bolas	V	Voltímetro
	Motor de la banda transportadora	V	Voltímetro
	Motor de la bomba de solidos	V	Voltímetro
NIVEL	Tanque de la Pulpa	m ³	Medidor de Nivel
VELOCIDAD	Banda transportadora	Rpm	Velocímetro
	Bomba de solidos	Rpm	Velocímetro

Tabla 1. Variables operacionales en el área de molienda

Molinos

El molino es un equipo utilizado en las plantas de procesamiento de minerales cuyo objetivo es reducir el tamaño de la partícula de mineral para luego pasar al proceso de concentración y/o de lixiviación. La disminución del tamaño de la partícula es por medio del principio de impacto y fricción. (Waganoff, 1956)



Fig. 2 Molinos en la Minería (Bravo Galvéz, 2003)

Dentro de la planta de procesamiento de minerales MULTICOEXPA CIA. LTDA. En la actualidad se encuentra operando un molino de bolas 6 x 10 pies.

Molino de bolas

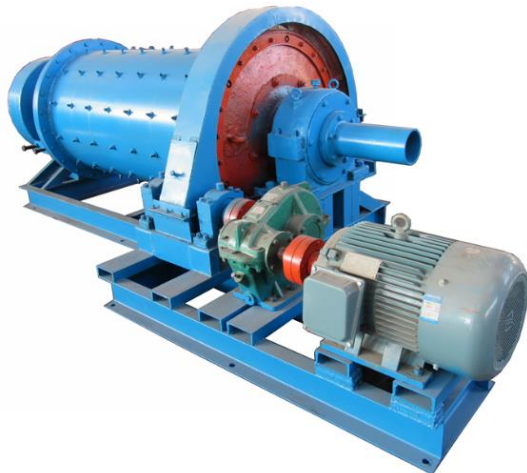


Fig. 3 Molino de Bolas (Shicheng Gaoxuan Bearing Bush Co., 2008)

El molino de Bolas está formado por un cuerpo cilíndrico de eje horizontal, que en su interior tiene bolas libres. El cuerpo gira al accionamiento de un motor, el cual mueve un piñón que engrana con una corona implementada en el cuerpo cilíndrico.

Las bolas se mueven haciendo el efecto “de cascada”, rompiendo el material que se encuentra en la cámara de molienda mediante fricción y percusión. El material por moler ingresa por un extremo y es expulsado por el opuesto.

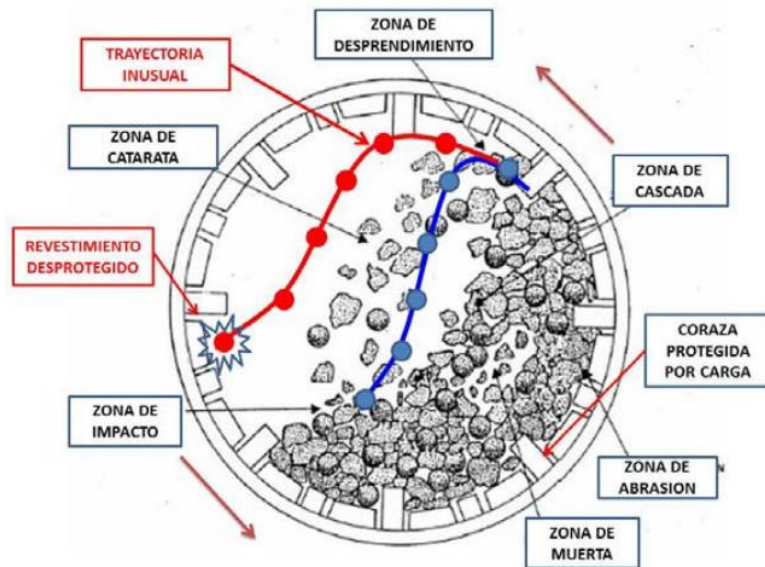


Fig. 4 Trayectoria de partículas y bolas en un molino. (Sepúlves A, 2018)

Existen tres formas de descarga: por rebalse (se utiliza para molienda húmeda), por diafragma, y por compartimentado (ambas se utilizan para molienda húmeda y seca). (Junior & Cabrera, 2019)

Partes fundamentales de un molino de bolas

- **Coraza:** cuerpo exterior resistente, normalmente de forma cilíndrica, a la que van ancladas los revestimientos interiores.
- **Cabezas laterales:** superficies circulares con ligeras curvaturas, que deben soportar fuertes esfuerzos. Por la zona axial se introduce el mineral, boca de carga, y por la axial o un lateral de la parte opuesta se extrae la molienda.
- **Boca de carga y su opuesta boca de descarga o salida:** aberturas axiales donde se ubican los rodamientos. La carga se puede efectuar por alguna de los procedimientos siguientes:
 - Admisión directa: normalmente un tubo acoplado a la boca de entrada. La alimentación viene impulsada por una bomba o un ventilador.

- Tambor de alimentación: hélice que en su movimiento de giro introduce la carga correspondiente al molino.
- Alimentador de cuchara: simple a doble, alimenta al molino y tiene un efecto de elevación de la carga. Normalmente se utiliza con clasificadores de tornillo o racletas en los circuitos cerrados.
- **Rodamientos:** piezas que facilita el movimiento de giro, disminuyen los rozamientos, y que deben estar debidamente protegidos contra el polvo.
- **Bancadas:** de construcción robusta, hormigón armado o estructura metálica, deben soportar los esfuerzos y la carga del molino.
- **Sistema de accionamiento:** el cual consta de un piñón de ataque y una corona adaptada en el molino.
- **Rejilla:** elemento interno de clasificación, puede o no existir en determinados modelos o instalaciones.
- **Blindajes o protecciones interiores:** de diferentes materiales y formas, tiene la misión de proteger la carcasa del molino, ayudar al efecto de molienda y facilitar la disminución del ruido, entre otros.
- **Rejilla de salida:** en determinadas instalaciones y para no dañar los clasificadores se instalan, en la boca de descarga, rejillas para impedir la entrada en el clasificador de cuerpos grandes o in triturbables. (Blanco & Andrea, 2014)

Elementos importantes en la molienda

Para una buena obtención de pulpa de mineral, en la etapa de molienda de minerales se establece unos factores que proporcionan esta homogeneidad de tamaño en partículas lo cuales son:

- Velocidad crítica.
- Relaciones entre los elementos variables de los molinos.
- Tamaño máximo de los elementos moledores.
- Volumen de carga.
- Potencia
- Tipo de molienda: húmeda o seca. (Currie., 1990)

Variables operativas de los molinos

En la etapa de molienda existen diferentes variables que se debe tener en cuenta para la obtención de una pulpa adecuada para el siguiente proceso del mineral. Las siguientes variables operativas son:

- Carga del mineral
 - Cantidad y peso constante
 - Tamaño de mineral triturado apropiado
- Suministro agua
- Carga de medios de molienda (bolas de acero)
- Condición de los blindajes
- Tiempo de molienda
- Carga circulante (Bravo Galvéz, 2003)

Bombas de pulpa

Pulpa de mineral

Luego del chancado y molienda, el hidrociclón nos entrega un rebose que contiene sulfuros valiosos, siendo una mezcla de ganga y agua, a lo cual nosotros lo llamamos pulpa.

Principio de funcionamiento

Para el transporte de pulpa se utilizan bombas centrífugas que cuentan con un impulsor (rodete) que al girar acelera la pulpa, haciéndola circular a través de la carcasa, esta última reduce su sección a medida que se acerca a la descarga de la bomba, con lo que transforma la velocidad en presión, logrando impulsar el fluido. (Guerrero Monsalves, 2014)

Componentes de las bombas de pulpa

Al igual que todas las bombas centrífugas, las bombas de pulpa presentan distintos elementos, pero los más importantes son el impulsor o rodete y la carcasa. Ambos componentes gobiernan el desempeño de la bomba de pulpa.

Las partes de la bomba de pulpa:

- **Rodete o impulsor:** Al ser una bomba centrífuga, la función del impulsor es transferir a la pulpa, la energía mecánica absorbida en forma de energía hidráulica (cinética + presión + diferencia de altura).

- **Carcasa:** La función de la carcasa es la de guiar la pulpa desde la salida del rodete hacia la salida de la bomba. (Niño Martínez, 2019)

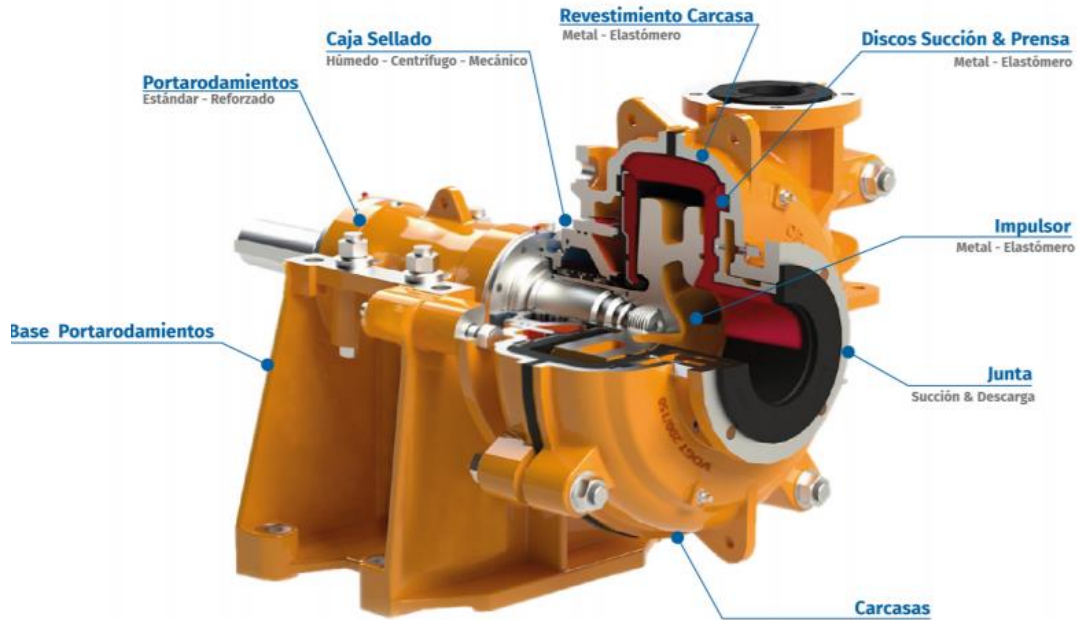


Fig. 5 Componentes principales (VOGT, 2015)

Hidrociclón

El hidrociclón es un equipo en forma cilíndrica que tiene aplicación en varias industrias, una de ellas la minería, en la cual se utiliza sus fuerzas centrifugas para la aceleración de sedimentación, cuenta con una entrada tangencial y sus extremos dos salidas. (Ariel & Laura, 2018)

Funcionamiento del Hidrociclón

Este equipo diseñado para la separación de materiales solidos contenidos en líquidos según su densidad, tamaño o peso debido a la acción centrifuga que se genera en su interior, transformando la energía estática del fluido en energía dinámica.

Las partículas del líquido tienen mayor velocidad de sedimentación son centrifugadas al borde del ciclón y las partículas con baja velocidad de sedimentación se aglomeran en la columna contar del vórtice, el material acumulado baja debido a la gravedad. (Varela Escobar, 2019)

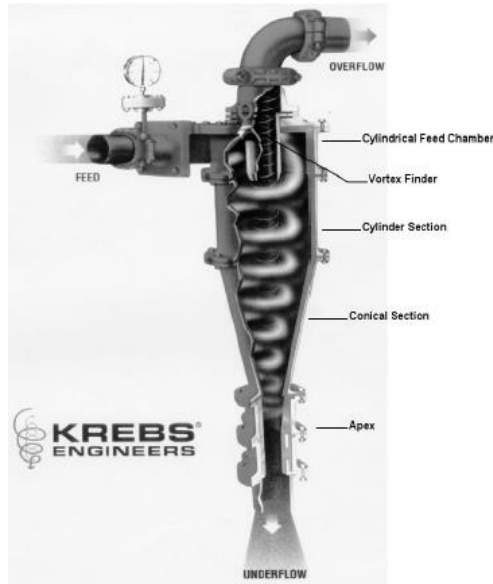


Fig. 6 Hidrociclón (Ariel & Laura, 2018)

Partes del Hidrociclón.

Los hidrociclones de forma general constan de tres partes importantes para su funcionamiento como lo son:

- **Cámara de alimentación (Cabezal):** Es una sección transversal por donde ingresa la pulpa a presión. Esta ingresa por una abertura estrecha llamada feed inlet, el cual tiene acoplado un vórtex Finder que es un diafragma el cual se prolonga a través de la tubería por donde sale finas partículas.
- **Sección Cilíndrica:** Es la parte central de la dimensión del hidrociclón.
- **Sección Cónica:** Es la parte inferior del hidrociclón, el cual llega al Apex o apertura final, por donde salen las partículas gruesas, los cuales están revestidos para evitar que se desgasten rápidamente por la cantidad de arena circula junto a la carga. (Bravo Galvéz, 2003)

Automatización Industrial

Un sistema de automatización industrial dentro de los procesos metalúrgicos tiene varias finalidades.

- Control y regulación del proceso para mejorar la eficiencia
- Protección y seguridad de maquinaria

- Protección y seguridad de operarios.
- Protección del medio ambiente. (Mogrovejo, 2017)

En la planta concentradora Multicoexpa CIA. LTDA, encontramos que está dividida en varias secciones y para cada una de ellas, se determinara parámetros y variables a medir o a controlar, como las mencionadas en la tabla. 1, que son variables operacionales de la sección de molienda, estas son de interés para el desarrollo de la automatización industrial, a su vez se deberá definir el sistema de supervisión, control y adquisición de datos, la comunicación entre los equipos de control, mediante la instrumentación de campo y el sistema de control. (Mogrovejo, 2017)

Mediante la automatización de los procesos de producción en las plantas industriales, y el correcto uso de los equipos y sistemas asociados, está comprobado que aumenta los niveles de producción, permitiendo establecer varias estrategias para el control eficiente de procesos industriales complejos. (Lima Yanque, 2016)

Sistema de supervisión, control y adquisición de datos

En la actualidad la empresa no cuenta con un sistema de supervisión, control y adquisición de datos; debido a que el proceso se lleva de forma artesanal; es decir no existe un sistema de control. Dado que la empresa aumentara su tonelaje de producción, se ve la necesidad de implementar un sistema automático para el área de molienda.

La implementación del sistema de supervisión, control y adquisición de datos; consta de centralizar la operación del área de molienda en computadores programables permitiendo supervisar y controlar variables del proceso a distancia y también suministrando información de producción.

Esto se logra mediante una red de sensores, actuadores y controladores que estén transmitiendo información del estado del proceso a una pantalla HMI ubicada en el campo de operación. Desde otro punto de vista, se elimina la necesidad de estar físicamente vigilando y ajustando el proceso evitando accidentes laborales.

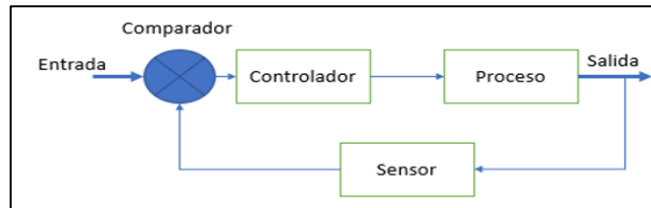


Fig. 7 Ejemplo de Sistema de control en lazo cerrado. (INDUSTAY, 2016)

Instrumentación Industrial

Dentro de la automatización industrial para el área de molienda se requiere de instrumentos para sensar, transmitir y controlar lo que sucede en el proceso. Actualmente la empresa concentradora de minerales no cuenta con los equipos necesarios para hacer un control de las variables involucradas en la molienda.

La instrumentación que requiere el área de molienda para el montaje del sistema supervisión, control y adquisición de datos depende de sensores, actuadores y controladores, los mismo que están definidos por las variables que la empresa requiere controlar.

Las variables inmersas en el proceso para la selección de sus instrumentos se detallan en la tabla N°1. Para lo cual se considera los siguientes instrumentos:

Sensores

- Sensor de presión
- Sensor de densidad
- Sensor de flujo
- Sensor de nivel
- Sensor de peso
- Sensor de velocidad

Actuadores

- Variador de frecuencia
- Válvula proporcional
- Válvula On/Off

Controladores

- PLC
- HMI
- Controlador de Peso

Comunicación Industrial

La comunicación industrial es la base de cualquier arquitectura para los sistemas de automatización; el cual permite el intercambio de datos, controlar los datos y la ventaja principal que se pueden conectar varios dispositivos.

El objetivo de un bus de campo es la substitución del cableado entre sensores-actuadores y los elementos de control asociados. Se encargan de gestionar mensajes cortos de forma eficiente, además de poseer la capacidad de manejar tráfico de eventos discretos.” (Lledo, 2006)

Para la comunicación industrial del sistema automático, se empleará una comunicación Modbus RTU RS485, debido a las ventajas que presenta. Estas ventajas son:

- Longitud de transmisión, 1200 metros.
- Capacidad de red hasta 32 dispositivos.
- Intercambio de datos bidireccional a través de un par de hilos trenzados.
- Alta velocidad de transmisión.
- Protocolo implementado en la mayoría de los sensores y controladores.

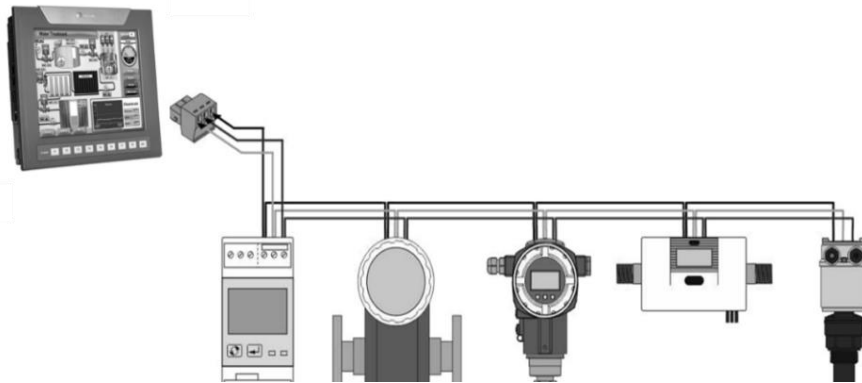


Fig. 8 Conexión Modbus RTU RS-485

Protecciones Eléctricas

Los equipos para la protección eléctrica, tienen la función de vigilar el flujo de electricidad, para asegurar la desconexión de los equipos si se presentara una falla, de tal manera que debe actuar de forma rápida y eficaz en la desactivación automática del equipo conectado.

Supervisor de fase

Será utilizado para proteger los equipos trifásicos y monofásicos contra fallas de sobretensiones, caídas de tensión, falta de una fase. Su trabajo es desconectar el sistema cuando exista alguna de estas fallas. Así asegura que los equipos trabajen en condiciones normales. (Cedeño, 2020)

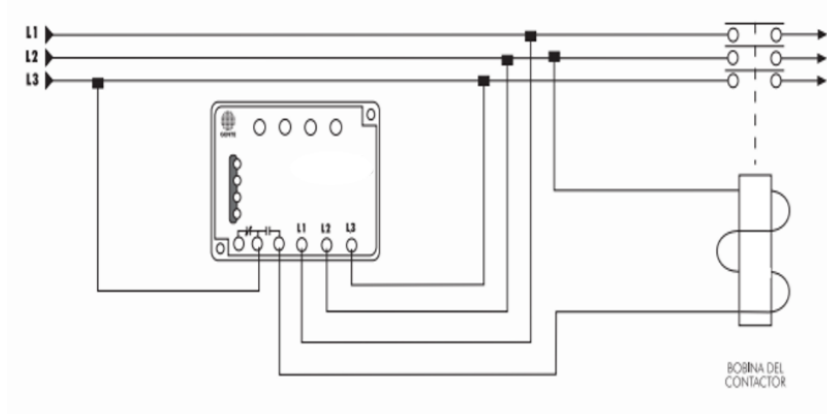


Fig. 9 Esquema supervisor de fase (GENIUS, 2020)

Aparatos de maniobra

Disyuntor termomagnético

Este dispositivo será utilizado para interrumpir la corriente eléctrica cuando sobre pasa ciertos valores máximos de corriente, sobre cargas y cortocircuitos. Su instalación es fundamental en el gabinete eléctrico y de control. (López & Viteri, 2010)



Fig. 10 Breaker termomagnético (CHINT, s.f.)

Contactor

Con este dispositivo estará ubicado en el circuito de paso y mantiene el paso de energía hacia el tablero de control. Es comandado por medio del supervisor de fase para el corte de energía eléctrica en caso de que se presente una falla. (Senner, 1994)



Fig. 11 Contactor (CHINT, 2019)

Equipos de control

Estos dispositivos con los encargados de ordenar, dirigir, administrar y regular el comportamiento de un sistema con la finalidad de reducir las probabilidades de fallo y obtener resultados deseados. (PublicaTIC, 2018)

PLC

El PLC es el elemento principal de la automatización industrial, porque recibe y envía toda la información del proceso para ser controlado. En el cual, se programa todas las operaciones a realizar como secuencias, alarmas, operaciones lógicas para realizar el control del área de molienda. (Rodríguez, Carda, & Bezos, 2014)



Fig. 12 PLC

Variador de frecuencia

Debido que el clasificador de partículas de la pulpa funciona a una determinada presión constante, el variador de frecuencia será aplicado al motor de la bomba para variar su velocidad rotacional manteniendo la presión requerida al ingreso del hidrociclón. (Arana, 2017)



Fig. 13 Variador de Frecuencia (POWTRAN, s.f.)

Sensores

A continuación, se presenta los sensores a utilizar con el trabajo que realizan en el área de molienda. Estos son:

- **Sensor de presión:** utilizado para medir la presión al ingreso del clasificador de partículas o hidrociclón.
- **Sensor de flujo de agua:** implementado para el conocimiento del caudal de agua que ingresa al molino y al tanque de almacenamiento de pulpa.

- **Sensor de flujo de pulpa:** por medio de este sensor se conocerá el caudal que ingresa a la siguiente área del procesamiento de minerales, en este caso al circuito de flotación.
- **Sensor de densidad:** medirá la densidad de la pulpa a la salida del molino y a la salida de hidrociclón.
- **Señor de nivel:** este dispositivo es el encargado de medir el nivel del tanque que contiene la pulpa a la salida del molino.
- **Sensor de peso:** ubicado en la banda transportadora, será el indicado para mantener la carga de mineral constante a la alimentación del molino.

Actuadores

Los principales actuadores utilizados para la automatización del área de molienda son:

- **Válvula proporcional:** Elemento encargado de regular el flujo de agua para mantener la densidad de la pulpa constante.
- **Válvula On/Off:** Este actuador nos permite, abrir o cerrar el flujo de pulpa hacia las bombas de sólidos.



Fig. 14 Válvulas de control (SESCO, s.f.)

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

La automatización industrial corresponde al control, optimización y programación, quienes requieren instalaciones eléctricas y electromecánicas para su funcionamiento, las cuales están constituidas por elementos que conducen un flujo eléctrico hacia otros equipos.

Dentro de las áreas de procesamientos de minerales de la empresa Multicoexpa CIA. LTDA, se encuentran equipos que necesitan suministro eléctrico a diferentes voltajes como se muestra en la siguiente tabla:

AREA	VOLTAJE 220V AC	VOLTAJE 440V AC
MOLIENDA		X
FLOTACION	X	
TRITURACION	X	X

Tabla 2. Voltajes de Funcionamiento

A continuación, realizaremos los planos eléctricos los mismos que constan con elementos de protección, fuerza, maniobra, control y comunicación. El diseño de los planos eléctricos será bajo la normativa IEC 60617, la cual es una norma aceptada a nivel nacional e internacional. Para el dimensionamiento de los componentes eléctricos nos basamos en la norma NEC Sección 430.

Norma IEC 60617: Símbolos Eléctricos. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2001)

Norma NEC – Sección 430: Motores, circuito de motores y controladores. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2001)

Diseño de los circuitos eléctricos

En este apartado indicaremos los diagramas eléctricos que van a ser implementados y están divididos en:

- Diseño del circuito eléctrico de paso
- Diseño del circuito eléctrico de fuerza

- Diseño de controladores
- Diseño de comunicación industrial
- Diseño de tablero eléctrico
- Dimensionamiento de circuito de paso
- Dimensionamiento de circuito de fuerza
- Dimensionamiento de conductores
- Características de selección de sensores y actuadores

Diseño del circuito eléctrico de paso

Este circuito eléctrico está diseñado para la protección general de los circuitos de fuerza y control, en esta configuración se tiene un breaker principal, un contactor, un supervisor de fase. A su vez, consta con aparatos de maniobra para el funcionamiento del circuito eléctrico de paso.

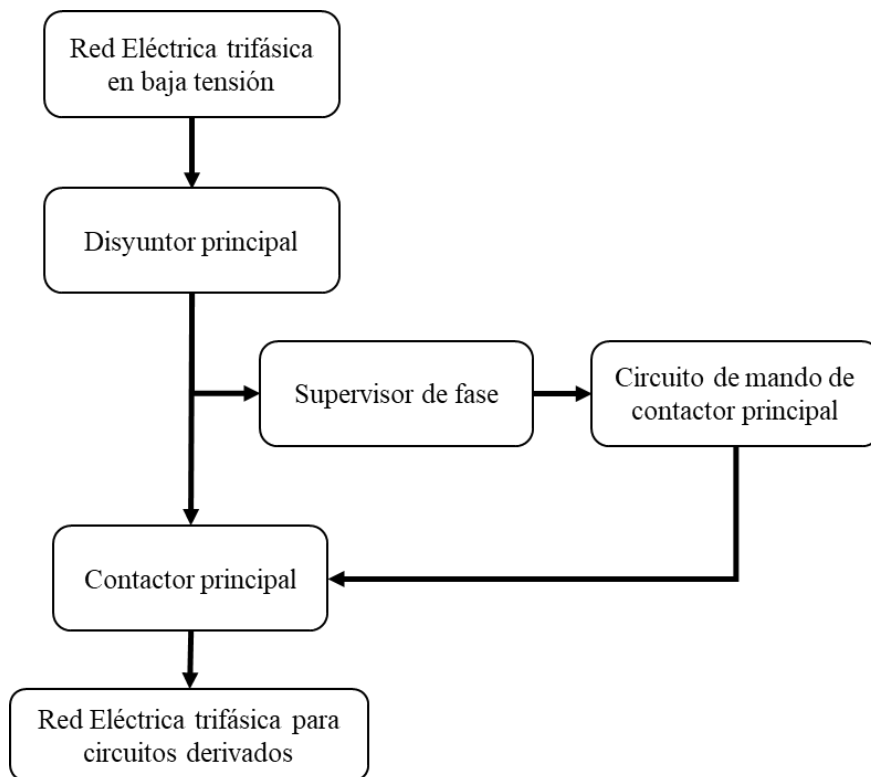


Fig. 15 Diagrama de bloques de circuito de paso.

Diseño del circuito eléctrico de fuerza

Este circuito consta de conductores, aparatos de maniobra y protecciones por las cuales circula una corriente eléctrica para su alimentación a motores, sensores, válvulas, etc. El diseño consta de un breaker termomagnético, para protección de cada equipo eléctrico o electrónico.

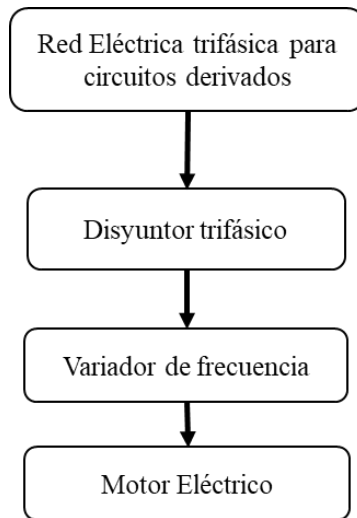
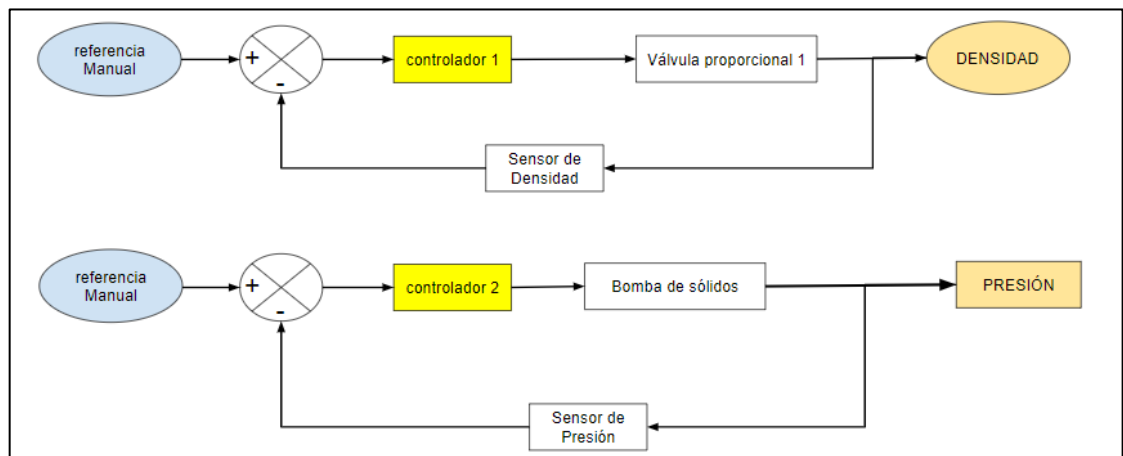


Fig. 16 Diagrama de bloques de circuito de fuerza.

Diseño de controladores

Este diseño nos ayuda a la identificación del flujo del proceso, los equipos instalados, el instrumental, así como también podemos encontrar los lazos de control del área de molienda.



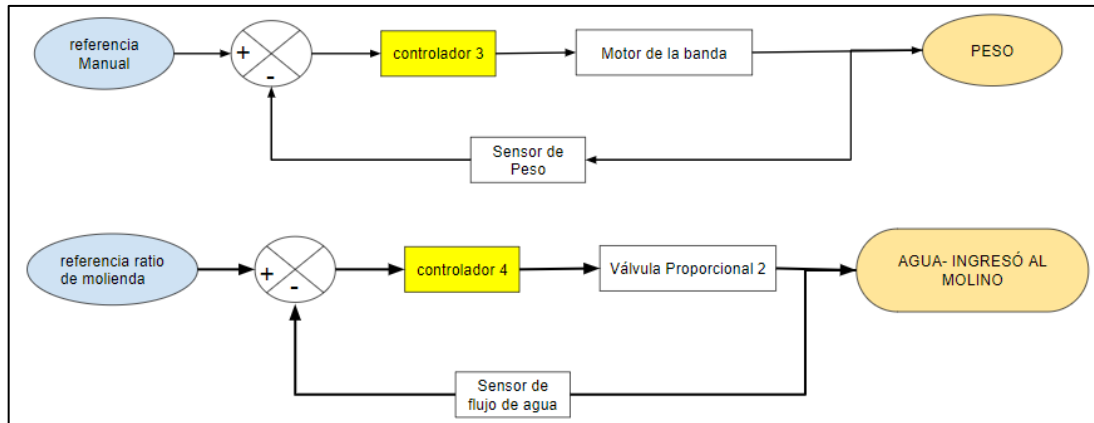


Fig. 17 Diagrama de bloque de lazos de control.

Diseño de comunicación industrial

Visualizaremos la conexión de los equipos para la comunicación entre maestro y esclavos, emplearemos un protocolo Modbus RTU mediante una red RS485 para el intercambio de información entre los dispositivos conectados a la red y una comunicación ethernet entre el maestro y el sistema de supervisión, control y adquisición de datos.

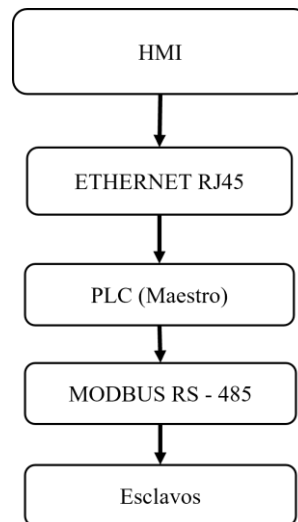


Fig. 18 Diagrama de bloques Comunicación Industrial.

Diseño de tablero eléctrico

El tablero de control eléctrico consta de 3 partes.

- Circuito de paso
- Red trifásica

- Red monofásica

Este diseño está empleado para el circuito de fuerza y los circuitos de control. Observe la figura 19. Dentro del mismo, estarán ubicados todos los componentes que se utilizarán en la automatización industrial de la planta Multicoexpa CIA LTDA.

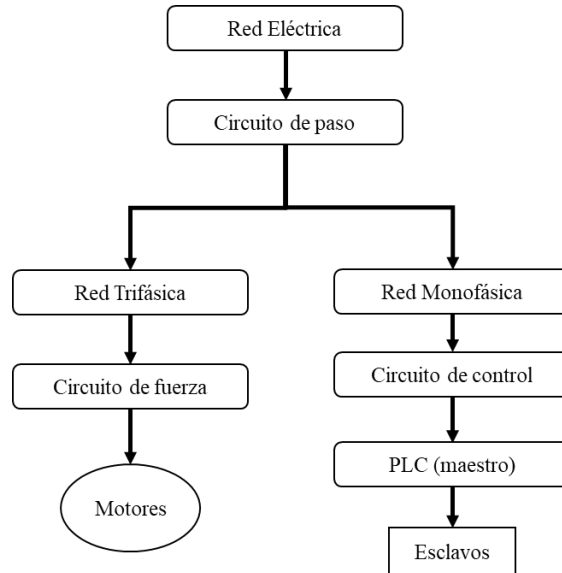


Fig. 19 Diagrama de bloques: tablero eléctrico.

Dimensionamiento de protección para circuitos derivados

Este disyuntor tiene como finalidad proteger los conductores y equipos del circuito derivado contra cortocircuitos y sobrecargas. Para su cálculo se considera una sobrecarga del 25%. (Loja, 2007)

$$I = 1.25 * I_{pc} \quad (1)$$

Donde:

- I = corriente
- I_{pc} = corriente a plena carga

Equipo	Voltaje (AC)	I _{pc}	I	Interruptor seleccionado
Motor 1	440V	13,4A	16,75A	20A
Motor 2	440V	13,4A	16,75A	20A
Motor 3	440V	7,45A	9,3125A	16A
Controlador de Peso	220V	1A	1,25A	2A
Sensor flujo de agua 1	220V	1A	1,25A	2A
Sensor flujo de agua 2	220V	1A	1,25A	2A
Sensor Nivel de Pulpa	220V	1A	1,25A	2A
Sensor Densidad de pulpa 1	220V	1A	1,25A	2A
Sensor presión de Pulpa	220V	1A	1,25A	2A
Sensor Densidad de Pulpa 2	220V	1A	1,25A	2A
Sensor Flujo de pulpa	220V	1A	1,25A	2A
electroválvula 1	220V	1,6A	2 ^a	2A
electroválvula 2	220V	1,6A	2 ^a	2A

Tabla 3. Corriente nominal de los equipos derivados

El cálculo de las protecciones para todos los sensores del área de molienda debe ser máxima de 2 amperios, para lograr esto lo realizaremos por medio de fusibles que seleccionaremos en el catálogo de la marca CHINT.

Código	Dimensiones	Calibre	Emb.
RT28/RT29 Fusibles cilíndricos			
RT29-16/gG/2	8,5x31,5	2A	50
RT29-16/gG/4	8,5x31,5	4A	50
RT29-16/gG/6	8,5x31,5	6A	50
RT29-16/gG/8	8,5x31,5	8A	50
RT29-16/gG/10	8,5x31,5	10A	50
RT29-16/gG/16	8,5x31,5	16A	50
Código	Polos	Amp. para fusibles	Dim.
NRT28 Base para fusibles cilíndricos			
NRT28-32/1P	1P	32A	RT28-32 18 mm
NRT28-63/1P	1P	63A	RT28-63 26 mm
NRT28-125/1P	1P	125A	RT29-125 35 mm

Fig. 20 Selección de Fusibles. Catálogo CHINT. (CHINT, 2019)

Para proteger los variadores de frecuencia en los cuales se alimentan los motores eléctricos, utilizaremos disyuntores termomagnéticos, quienes harán el trabajo de desconectar el circuito en caso de sobrecargas o cortocircuitos.

serie	n° de polos	intensidad nominal [A]	curva	poder de corte
NB1	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	B, C, D	...: 6kA 10: 10kA

Código	Polos	Int. (A)
NB1-3-1C	3P	1
NB1-3-2C	3P	2
NB1-3-3C	3P	3
NB1-3-4C	3P	4
NB1-3-6C	3P	6
NB1-3-10C	3P	10
NB1-3-16C	3P	16
NB1-3-20C	3P	20
NB1-3-25C	3P	25
NB1-3-32C	3P	32
NB1-3-40C	3P	40
NB1-3-50C	3P	50
NB1-3-63C	3P	63

Fig. 21 Selección de Disyuntor Termomagnético. Catálogo CHINT. (CHINT, 2019)

Dimensionamiento del contactor principal

Para el dimensionamiento del contactor principal se debe considerar la corriente nominal de las cargas considerando un factor de 1.5 del amperaje total, puesto que es un contactor de paso de energía.

Existen diferentes categorías del empleo para los contactores, en este caso utilizamos la categoría AC-3.

Categoría AC-3: Motores de jaula, arranque, corte de motor lanzado. (Loja, 2007)

$$I_c = 1.50 * \sum I \quad (2)$$

Donde:

- I_c = Corriente del contactor
- I = Corriente nominal de las cargas

Equipo	Voltaje	Corriente	Ic
Motor 1	440 V	13,4A	20,1A
Motor 2	440 V	13,4A	20,1A
Motor 3	440 V	7,45A	11,175A
Controlador de Peso	220 V	1A	1,5A
Sensor flujo de agua 1	220 V	1A	1,5A
Sensor flujo de agua 2	220 V	1A	1,5A
Sensor Nivel de Pulpa	220 V	1A	1,5A
Sensor Densidad de pulpa 1	220 V	1A	1,5A
Sensor Presión de Pulpa	220 V	1A	1,5A
Sensor Densidad de Pulpa 2	220 V	1A	1,5A
Sensor Flujo de pulpa	220 V	1A	1,5A
Electroválvula 1	220 V	1,6A	2,4A
Electroválvula 2	220 V	1.6A	2.4A
Otras Cargas	440 V	50A	30A
Contactor Seleccionado			98,175A

Tabla 4. Dimensionamiento de contactor de paso

Una vez; calculado el valor de corriente que debe soportar el contactor, procedemos hacer la selección mediante el catálogo de la marca CHINT, quien es el proveedor de partes eléctricas de la empresa Multicoexpa CIA. LTDA.

Código	Polos	I th (AC1) A	Pot. motor 400Vca - AC3 kW	CV	Tensión mando A	Vca
NC1-3-95-11-24	3P	125	45	80	95	24
NC1-3-95-11-48	3P	125	45	80	95	48
NC1-3-95-11-110	3P	125	45	80	95	110
NC1-3-95-11-230	3P	125	45	80	95	230
NC1-3-95-11-400	3P	125	45	80	95	400

Fig. 22 Catálogo CHINT (CHINT, 2019)

Dimensionamiento del Disyuntor principal

Para el dimensionamiento del disyuntor general nos basamos en la norma NEC en la sección 430, la cual establece que los disyuntores para protección tendrán una intensidad de carga continua no inferior al 125% de la intensidad a plena carga de los equipos conectados a la red trifásica. (Loja, 2007)

En nuestro caso el factor a considerar es de 1.25.

$$I_{bp} = Factor * I_{pc}(MG) + \sum I_{pc}(MR) + I(OC) \quad (3)$$

Donde:

- I_{bp} = corriente del disyuntor.
- Factor = 125%
- $I_{pc}(MG)$ = corriente a plena carga del motor más grande.
- $I_{pc}(MR)$ = corriente a plena carga de los motores restantes.
- $I(OC)$ = corriente de otras cargas

$I_{pc}(MG)$	$I_{pc}(MR)$	$I(OC)$	I_{bp}
13,4A	20,85A	31,2A	68,8A

Tabla 5. Cálculo para Disyuntor.

La corriente que debe soportar el disyuntor principal es de 68.8 amperios, el cual lo aproximamos a 80 amperios, esto es porque en la zona donde está ubicada la empresa, existen caídas de tensión en horas pico. Así mismo, recurrimos al catálogo del proveedor para su elección del componente como se muestra en la Fig.23.

serie	tipo de relé de protección	tamaño	nivel de poder de corte	n° de polos	intensidad nominal (A)
NM8	S: termomagnético S: electrónico	125, 250, 400, 630, 800, 1250	S: estándar H: alto R: limitador	3P, 4P	16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 350, 400, 500, 630, 700, 800, 1000, 1250

Código	Polos	Int. (A)
NM8 Poder de corte estándar (Tipo S)		
125S 50kA 3P		
NM8-125S-3P-16A	3P	16
NM8-125S-3P-20A	3P	20
NM8-125S-3P-25A	3P	25
NM8-125S-3P-32A	3P	32
NM8-125S-3P-40A	3P	40
NM8-125S-3P-50A	3P	50
NM8-125S-3P-63A	3P	63
NM8-125S-3P-80A	3P	80
NM8-125S-3P-100A	3P	100
NM8-125S-3P-125A	3P	125

Fig. 23 Catálogo CHINT (CHINT, 2019)

Dimensionamiento de conductores

La caída de tensión es un problema en la energía eléctrica a nivel mundial, y en la zona donde está ubicada la empresa Multicoexpa es un caso muy frecuente en horas pico. Este bajón de voltaje dentro de la parte industrial puede causar daños parciales o totales en máquinas eléctricas como también generar pérdidas económicas en su producción.

Para dimensionar el conductor eléctrico, haremos un análisis de caída de tensión el cual nos ayudaría a conocer la sección mínima del cable que debemos colocar; de tal manera que, a mayor distancia, existe mayor resistencia eléctrica y por ende mayor caída de tensión.

Para Red Trifásica tenemos:

$$S = \frac{P * L}{\gamma * e * U} \quad (4)$$

Para Red Monofásica tenemos:

$$S = \frac{2 * P * L}{\gamma * e * U} \quad (5)$$

Donde:

- S = Sección calculada (mm²)
- P= Potencia activa prevista para la línea (W)
- L= Longitud de la línea (m)

- γ = Conductividad ($m/\Omega mm^2$)
- e = Porcentaje de caída de tensión (V)
- U = tensión nominal de la línea (V) (Chávez & Jaigua, 2017)

La selección del conductor la realizamos basado en el cálculo de su sección mínima, para luego encontrar su equivalente en la norma técnica ecuatoriana que nos indica el calibre del conductor AWG.

AWG				Kemil			
Calibre del conductor	Área de sección transversal nominal mm^2	Calibre del conductor	Área de sección transversal nominal mm^2	Calibre del conductor	Área de sección transversal nominal mm^2	Calibre del conductor	Área de sección transversal nominal mm^2
-	-	-	-	250	127	750	380
-	-	-	-	300	152	800	405
20	0.519	4	21.2	350	177	900	456
18	0.823	3	26.7	400	203	1000	507
16	1.31	2	33.6	450	228	1200	608
14	2.08	1	42.4	500	253	1250	633
12	3.31	1/0	53.5	550	279	1500	760
10	5.26	2/0	67.4	600	304	1750	887
8	8.37	3/0	85.0	650	329	2000	1010
6	13.3	4/0	107	700	355	-	-

Tabla 6. Equivalencia de la sección y su respectivo calibre AWG (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2001)

Material	γ_{20}	γ_{70}	γ_{90}
Cobre	56	48	44
Aluminio	35	30	28
Temperatura	20°C	70°C	90°C

Tabla 7. Conductividad para el tipo de conductores (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2001)

Dimensionamiento de conductor para motores y alimentación

Potencia Activa	Longitud de línea	Conductividad	Caída de tensión	Tensión nominal de línea	Sección calculada	Conductor seleccionado AWG
7500W	30m	48	3V	440V	3,55 mm^2	10
3500W	30m	48	3V	220V	3,31 mm^2	12
20W	30m	48	0,1V	220V	1,14 mm^2	16
25000W	2m	48	0,1V	440V	23,67 mm^2	3

Tabla 8. Cálculo de sección mínima para conductor.

Características para selección de sensores y actuadores

La elección de sensores se la realizara en base a las condiciones de operación al cual va a estar sometido cada sensor. Es decir, sus características dependen de su variable y medio a medir.

Sensor de presión

Característica	Especificación
Presión de trabajo en el hidrociclón	12 – 16 PSI
Fluido	Pulpa de mineral
Señal de salida del sensor	4-20 mA – 0-10v DC o Comunicación Modbus RTU - RS485
Material	Acero inoxidable 304SS
Temperatura de trabajo	18 – 32°C
Voltaje de funcionamiento	24v DC o 220v-60Hz AC
Tipo de instalación	Tubería horizontal de 2 in
Tipo de sensor	Transmisor de presión, con diafragma.

Tabla 9. Características de selección del sensor de presión

- **Nota:** Acero inoxidable 304SS, es ampliamente utilizado en industria química y petrolera, maquinaria metalúrgica, industria aeroespacial, equipos de procesamiento de alimentos, instrumentos e industrias de fabricación de hardware. (Grados Material Mundial, s.f.)

Sensor de densidad

Características	Especificación
Densidad de pulpa	0 – 3 g/cm ³
Fluido	Pulpa de mineral
Señal de salida del sensor	4 – 20 mA o Comunicación Modbus RTU - RS485
Material	Acero Inoxidable 316L
Temperatura de trabajo	18 – 32°C
Voltaje de funcionamiento	24V DC o 220V – 60Hz AC
Tipo de instalación	Tubería vertical bridado

Tabla 10. Características de selección del sensor de densidad

- **Nota:** Acero Inoxidable 316L, es utilizado en industrias farmacéuticas, equipos químicos, tanques, equipos de celulosa, pulpa, papel, piezas expuestas a atmosferas marinas y tuberías. Exhiben mejor resistencia a la corrosión resistente a las picaduras. (Padilla, 1999)

Sensor de nivel

Característica	Especificación
Altura del tanque de bombeo	0 – 1 m
Fluido	Pulpa de mineral
Señal de salida del sensor	Comunicación Modbus RTU - RS485
Material	<i>No definido</i>
Temperatura ambiente de trabajo	18 – 32°C
Voltaje de funcionamiento	24v DC o 220v-60Hz AC
Tipo de instalación	Tanque abierto
Tipo de sensor	Ultrasónico

Tabla 11. Características de selección del sensor de nivel

Sensor de flujo de pulpa

Características	Especificación
Densidad de pulpa	0 – 3 g/cm ³
Fluido	Pulpa de mineral
Caudal	0 – 15 m ³ /h
Señal de salida del sensor	4 – 20 mA o Comunicación Modbus RTU -RS485
Tipo de sensor	Electromagnético
Material del electrodo	Carburo de tungsteno
Material del revestimiento interno	Poliuretano
Temperatura de trabajo	18 – 32°C
Voltaje de funcionamiento	24V DC o 220V – 60Hz AC
Tipo de instalación	Tubería vertical de 2", 3". Bridado

Tabla 12. Características de selección del sensor de flujo de pulpa

- **Nota:** El electrodo del sensor de flujo de pulpa debe ser de carburo de tungsteno, ya que ofrece mayor resistencia al desgaste, dureza y mejora la conductividad eléctrica. (Infocorrosión, 2019)

El revestimiento del sensor de flujo debe ser de poliuretano ya que este material es resistente a la abrasión de agentes químicos, partículas sólidas los cuales se encuentran en el flujo de la pulpa. (Mariano, 2011)

Sensor de flujo de agua

Características	Especificación
Fluido	Agua
Caudal	0 – 5 m ³ /h
Señal de salida del sensor	Comunicación Modbus RTU - RS485
Tipo de sensor	Electromagnético
Material del electrodo	Acero inoxidable 316L
Material del revestimiento interno	PTFE (teflón)
Temperatura de trabajo	18 – 32°C
Voltaje de funcionamiento	24V DC o 220V – 60Hz AC
Tipo de instalación	Tubería horizontal de 1". Bridado

Tabla 13. Características de selección del sensor de flujo de agua

- **Nota:** El sensor de flujo de agua debe tener un revestimiento para evitar su desgaste interno; por qué, el agua que circula por el mismo tiene partículas de solidos debido a su recirculación de agua de los relaves.

Variador de frecuencia

Características	Especificación
Motor para bomba de solidos	
Tensión de alimentación	440V AC – 3 Fases
Corriente	13.4 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	10 HP – 7.5 KW
Protocolo de comunicación	RS – 485

Motor para Banda transportadora	
Tensión alimentación	440V AC – 3 Fases
Corriente	7.45 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	5 HP – 4 KW
Protocolo de comunicación	Modbus RTU - RS – 485

Tabla 14. Características de selección del variador de frecuencia

Válvula proporcional

Características	Especificación
Fluido	Agua
Presión	10 PSI
Señal de salida del actuador	Comunicación Modbus RTU - RS485
Señal de entrada al actuador	4-20mA
Actuador de la válvula	Eléctrico
Tipo de válvula	Válvula de bola
Material	Acero inoxidable
Temperatura de trabajo	18 – 32°C
Voltaje de funcionamiento	24V DC o 220V – 60Hz AC
Tipo de instalación	Tubería horizontal de 1". Roscado NPT

Tabla 15. Características de selección de la válvula proporcional

Válvula de ON / OFF

Características	Especificación
Fluido	Pulpa de mineral
Presión	12 – 16 PSI
Señal de salida del actuador	Comunicación Modbus RTU - RS485
Señal de entrada al actuador	Señal digital, ON/OFF
Actuador de la válvula	Eléctrico
Tipo de válvula	Válvula de guillotina
Material	Acero inoxidable
Temperatura de trabajo	18 – 32°C
Voltaje de funcionamiento	24V DC o 220V – 60Hz AC

Tipo de instalación	Tubería vertical de 2". Bridado
---------------------	---------------------------------

Tabla 16. Características de selección de la válvula ON/OFF

PLC

Características	Especificación
Alimentación	24V DC
Entradas Digitales	16
Entradas Analógicas	4
Salidas Digitales	16
Salidas Analógicas	2
HMI	1
Protocolos de comunicación	Modbus RTU RS – 485

Tabla 17. Características de selección del PLC

Sensor de peso

Característica	Especificación
Tonelaje máximo	250 toneladas / día
Fluido	Mineral triturado
Señal de salida del controlador	Comunicación Modbus RTU - RS485
Material	Acero dulce
Temperatura de trabajo	18 – 32°C
Voltaje de funcionamiento	220v-60Hz AC
Tipo de instalación	Banda transportadora de 60 cm
Tipo de sensor	Carga, velocidad

Tabla 18. Características de selección del pesómetro

6. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

La simulación del sistema de automatización de área de molienda se basa en un esquema de visualización del comportamiento de las variables, controladores y actuadores que están inmersos en el proceso de chancado.

La simulación industrial puede predecir el funcionamiento de determinada maquinaria, de la elaboración de un producto y cómo reaccionar y solucionar ante una detección de errores en producción. ("ITCL" Noticias, 2018)

Es recomendable, obtener el modelo matemático (función de transferencia) del proceso que se desea controlar, para estimar las ganancias P, I y D que se deben aplicar al sistema, siendo esta la forma generalizada de un controlador PID. A continuación, presentaremos la simulación de cada lazo de control de los sistemas existentes en el área de molienda de la planta Multicoexpa CIA. LTDA.

Entre los sensores a utilizar se tiene: presión, flujo, peso, nivel; de los cuales es importante conocer el comportamiento ante su medición. Su característica principal es la ganancia, la misma que se obtiene mediante la relación del rango de salida respecto al rango de entrada en caso de ser lineal, como se muestra en la ecuación 6. (Smith & Corripio, 1991)

$$K_t = \frac{\text{Rango de salida}}{\text{Rango de entrada}} \quad (6)$$

Dado que la mayoría de los sensores, transmisores y algunos actuadores tienen un comportamiento lineal, son considerados de primer orden. Por tal motivo, la función de transferencia de estos instrumentos está representada por la ecuación 7 (Smith & Corripio, 1991)

$$G(S) = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (7)$$

Donde:

K = Ganancia del sistema.

τ = Constante de tiempo.

Para conocer la actuación de cada controlador, utilizaremos el software de simulación Matlab y por medio de la herramienta simulink del mismo programa, observaremos gráficamente el comportamiento de los controladores con respecto al tiempo. Dicho programa fue escogido; debido a que, la universidad politécnica salesiana cuenta con licencia del software antes mencionado.

La simulación de los controladores que se presentarán en el transcurso de este capítulo, serán en condiciones ideales de los componentes eléctricos, electrónicos. Es decir, está simulación nos permitirá identificar que instrumento representa cada bloque del lazo de control.

Lazo de control de la densidad de pulpa

El control de densidad de pulpa en el área de molienda, se lo realiza por medio del suministro de agua y la carga de mineral al molino. Para la automatización se tomará en cuenta que la carga de mineral al molino será constante puesto que, la banda transportadora tiene un pesómetro que se encarga de controlar esta variable.

Este controlador se encarga del suministro de agua a la salida del molino, la cual es importante para su clasificación en el hidrociclón y para la estación de bombeo. El controlador de densidad la pulpa de mineral está compuesto por: Sensor de densidad, PLC, válvula proporcional de bola motorizada.

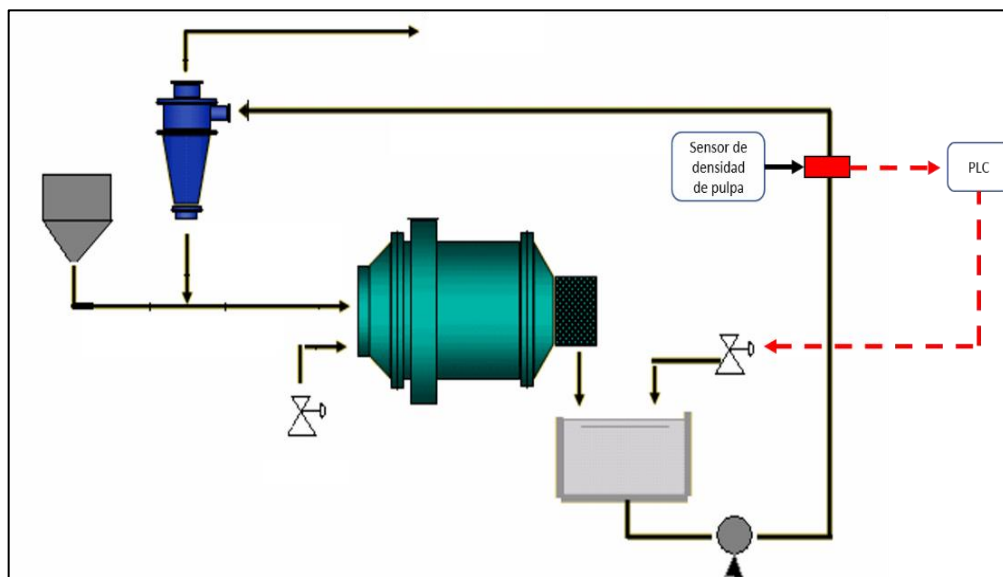


Fig. 24 Esquema de control de densidad en planta

El sensor es quien toma la medición de la densidad de la pulpa en la tubería vertical que entra al hidrociclón. Esta señal es enviada al PLC, quien procesa la información y calcula el error que existe entre la referencia de densidad y la medición del sensor, para ser enviada la señal a la válvula quien es el actuador final para la regulación proporcional del caudal del agua.

El lazo cerrado de control para este sistema se presenta en la figura 25.

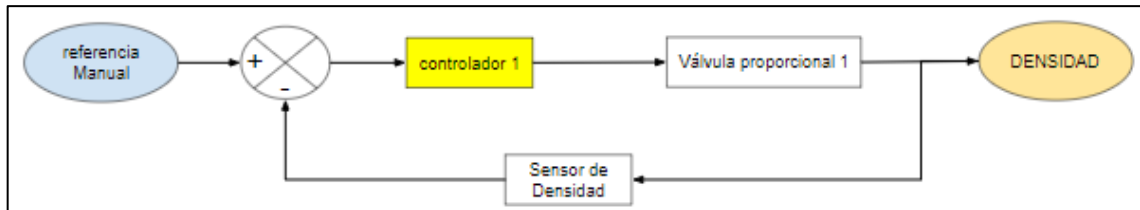


Fig. 25 Lazo cerrado de control de densidad

Función de transferencia del sensor de densidad

Para la deducción de la función de transferencia del sensor, encontraremos la constante de ganancia del sistema, a través de la linealidad que presenta el mismo, mediante la relación entrada / salida. El sensor tiene un rango de medición de 0.5 a 5 g/cm³, con respecto a una corriente de 4 a 20 mA.

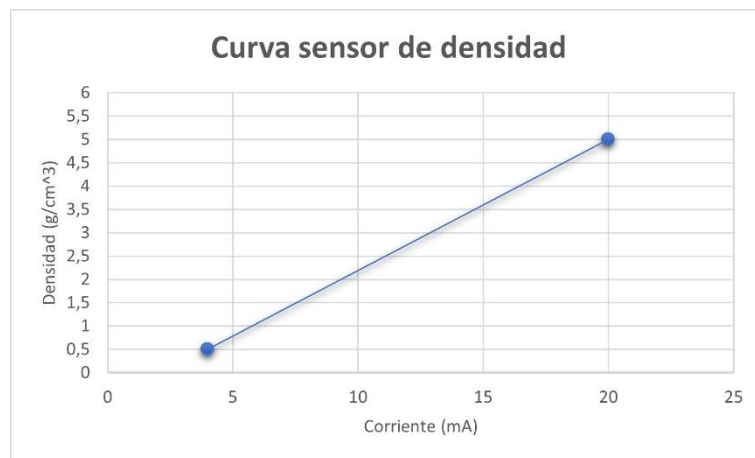


Fig. 26 Curva del sensor de densidad.

Aplicando la ecuación 6, obtenemos la constante de ganancia del sensor, como se muestra en la ecuación 8.

$$K_t = \frac{\text{Rango de salida}}{\text{Rango de entrada}} = \frac{20\text{mA} - 4\text{mA}}{5\text{g/cm}^3 - 0,5\text{g/cm}^3} = \frac{16 \text{ mA}}{4,5 \text{ g/cm}^3} = 3,55 \frac{\text{mA}}{\text{g/cm}^3} \quad (8)$$

El fabricante del sensor, nos indica la constante de tiempo transmisor, este tiempo es de 0.2 segundos. Reemplazando la respuesta de la ecuación 8 y la constante de tiempo, la función de transferencia del sensor de densidad es igual a la ecuación 9.

$$G(S) = \frac{3,55}{0.2s + 1} \quad (9)$$

Respuesta al escalón unitario del sensor de densidad

Por medio de herramienta simulink, se puede visualizar el comportamiento del sensor. Para esto, indicaremos el bloque del sensor con su respectiva función de transferencia.

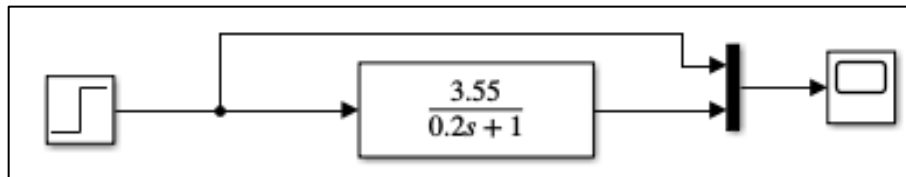


Fig. 27 Lazo del sensor de densidad.



Fig. 28 Respuesta al escalón unitario.

Función de transferencia de la válvula proporcional

La válvula de control de proporcional cambia su posición de 0 – 90 grados al ingresarle una corriente de 4 – 20 mA, para este actuador se despreciará las variaciones de caída de presión en la válvula; por lo consiguiente se mantiene como un sistema de primer orden.

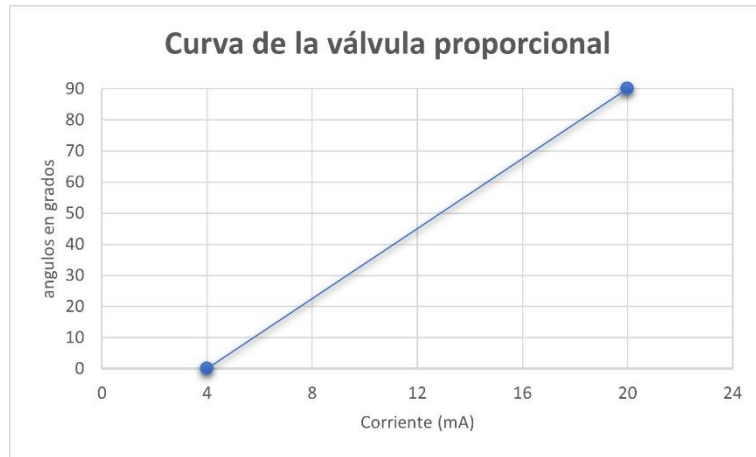


Fig. 29 Curva de la válvula proporcional

Por medio de la linealización del actuador proporcional, se obtiene la ganancia de la válvula aplicando la ecuación 6.

$$K_t = \frac{\text{Rango de salida}}{\text{Rango de entrada}} = \frac{90^\circ - 0^\circ}{20\text{mA} - 4\text{mA}} = \frac{90^\circ \text{ grados}}{16 \text{ mA}} = 5,63 \frac{\text{grados}}{\text{mA}} \quad (10)$$

El fabricante de dicho actuador, nos indica que el tiempo de respuesta del sistema es de 0.9 segundos. Dato con el cual podemos completar su función de transferencia, reemplazando los valores en la ecuación 7.

$$G(s) = \frac{5,63}{0,9s + 1} \quad (11)$$

Respuesta al escalón unitario de la válvula proporcional

Una vez obtenida la función de transferencia y con la ayuda de simulink, se puede obtener la respuesta al escalón unitario de la válvula proporcional, como se muestra en la figura 31.

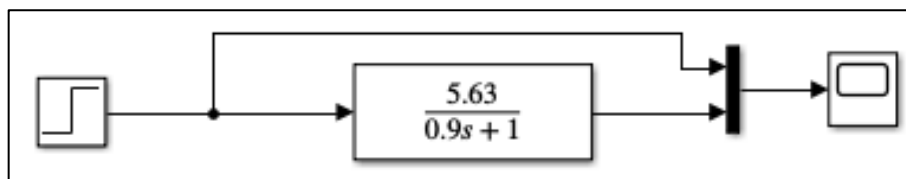


Fig. 30 Lazo de la válvula proporcional.



Fig. 31 Respuesta al escalón unitario.

Lazo de control de densidad

Para este lazo de control se toma en cuenta las funciones de transferencia obtenidas anteriormente; donde la planta es la válvula proporcional y la retroalimentación de este lazo es el sensor de densidad. Por medio de simulink conocemos la respuesta al escalón unitario del sistema. Obsérvese la figura 32 y 33.

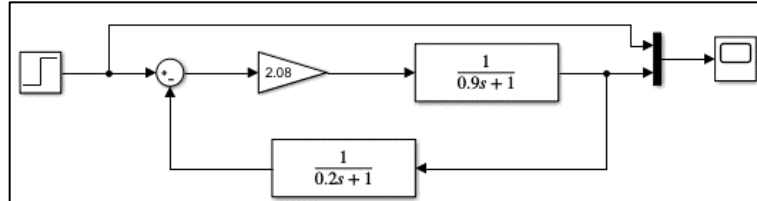


Fig. 32 Lazo de control de densidad.

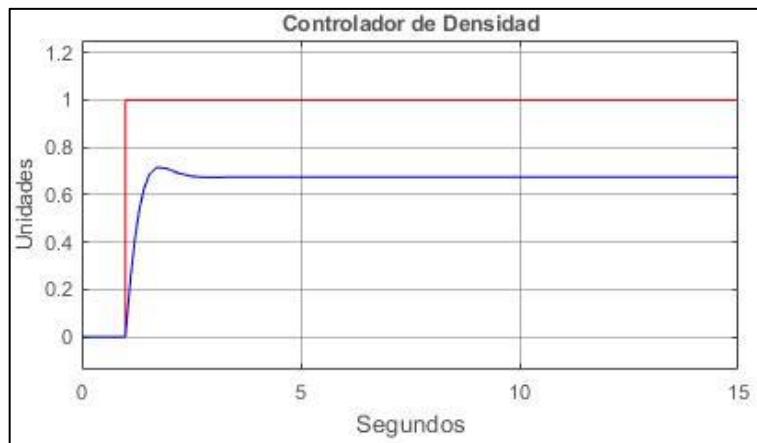


Fig. 33 Respuesta al escalón unitario del lazo de control.

Lazo de control de densidad implementado el controlador PID

La determinación de las constantes P, I y D; utilizamos el bloque de pid del simulink, el mismo que nos permite realizar un auto tune para el cálculo de las constantes. A continuación, se muestra la respuesta del lazo de control de densidad de pulpa.

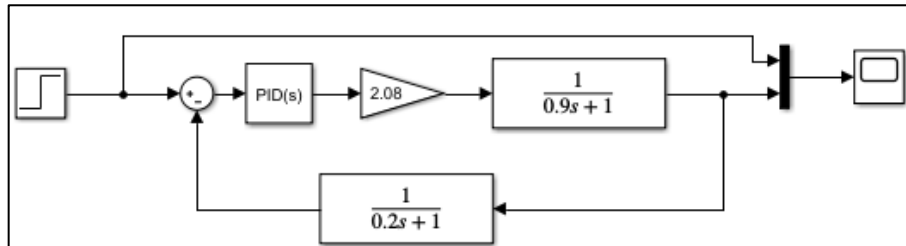


Fig. 34 Lazo de control con PID



Fig. 35 Respuesta al escalón unitario del lazo de control

Lazo de control de presión - Entrada al hidrociclón

Este control es muy importante en el área de molienda, puesto es quien mantiene una carga de pulpa al hidrociclón para su clasificación de partículas sólidas gruesas y finas. La presión es directamente controlada por la velocidad de la bomba, de tal manera que el hidrociclón funciona como una resistencia al paso de caudal de pulpa y por consecuencia existe una presión de bombeo. El controlador de presión de pulpa está compuesto por:

- Sensor de presión
- PLC
- Bomba de solidos

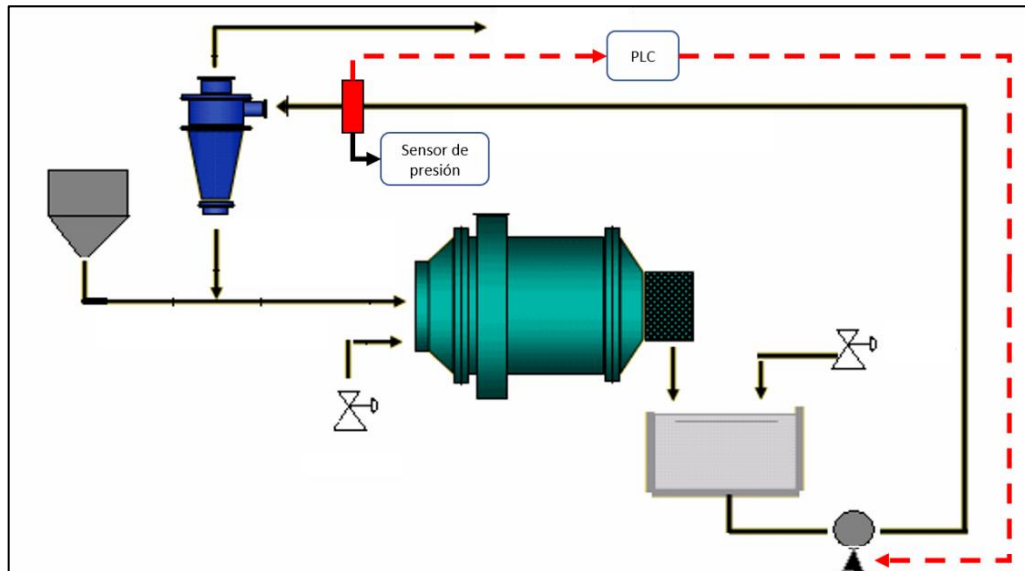


Fig. 36 Esquema de control de presión en planta

El sensor es quien mide la presión de la pulpa de mineral que ingresa al clasificador o hidrociclón para ser enviada al PLC, por medio de cálculo de error entre la referencia de presión y la señal del sensor, el microcontrolador envía la señal al variador de frecuencia para bajar o aumentar la velocidad del motor eléctrico para lograr mantener la referencia estable.

El lazo cerrado de control para esta variable se muestra en la figura 41.

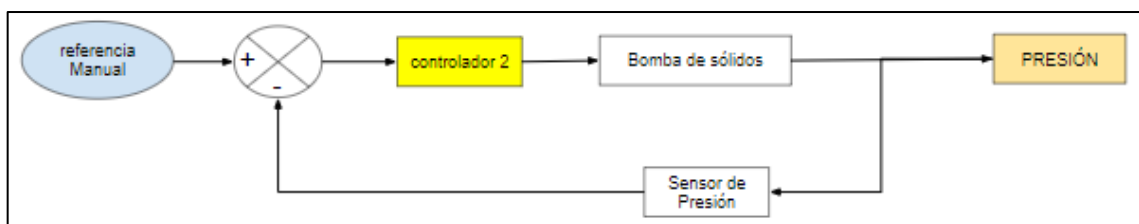


Fig. 37 Lazo de controlador de presión

Función de transferencia del sensor de presión

Para obtener la función de transferencia del sensor de presión, iniciamos con la linealización de la gráfica mostrada en la figura 38, puesto que la señal de salida del sensor es directamente proporcional a la variación de la presión. El rango de medición del sensor de presión es de 0 a 60 PSI respecto a una señal eléctrica de 4 a 20 mA.

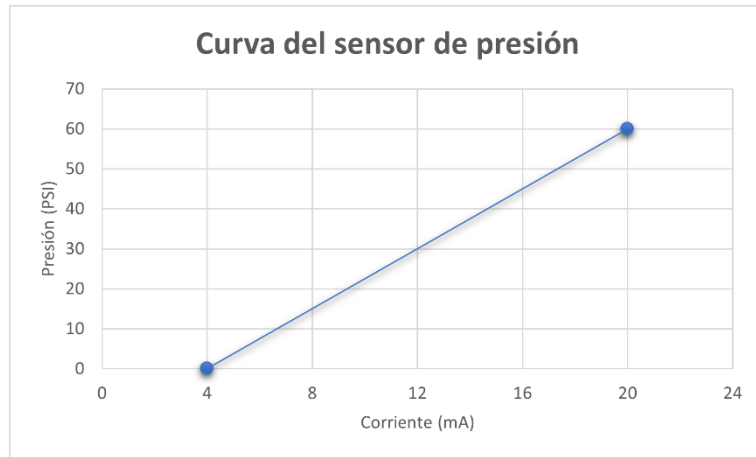


Fig. 38 Modo de operación sensor de presión.

La ganancia del sistema viene dada por la relación entre el rango de entrada y el rango de salida, aplicando la ecuación 6 la ganancia es igual a:

$$K_t = \frac{\text{Rango de salida}}{\text{Rango de entrada}} = \frac{20mA - 4mA}{60psi - 0psi} = \frac{16mA}{60psi} = 0.26 \frac{mA}{psi} \quad (12)$$

Para conocer la constante de tiempo, se toma la hoja de datos del sensor y el fabricante es quien determina el tiempo de respuesta. En este caso el sensor de presión tiene un tiempo de 0.090 segundos; entonces su función de transferencia es la ecuación 13.

$$G(S) = \frac{0.26}{0.09s + 1} \quad (13)$$

Respuesta al escalón unitario del sensor de presión

Aplicando la herramienta simulink del software, se obtiene la respuesta del sensor de presión ante un escalón unitario. Del cual, podemos concluir que estable durante el tiempo.

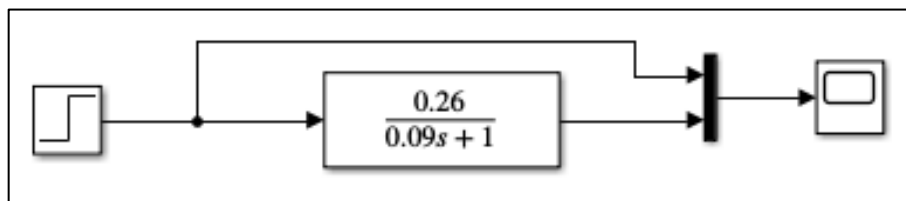


Fig. 39 Lazo de control de sensor de presión



Fig. 40 Respuesta al escalón unitario.

Función de transferencia de la bomba

La bomba de solidos esta comandada por un variador de frecuencia; donde la programación del variador está en una relación proporcional frecuencia / voltaje.

En nuestro caso de estudio vamos a considerar que, la velocidad de la bomba para alcanzar una presión determinada es lineal con respecto al voltaje de alimentación al motor eléctrico. Otra consideración, es el transporte de la pulpa, la misma que viaja por una tubería de diámetro de 2 pulgadas a una altura de 10 metros donde se encuentra el hidrociclón.

Tomando datos de la planta, la presión máxima que llega la bomba pulpa a una altura de 25 metros es de 40 PSI; con un voltaje nominal de alimentación de 440v AC. En base a estas consideraciones, se pudo obtener una gráfica linealizada de la bomba como se muestra en la figura 41.

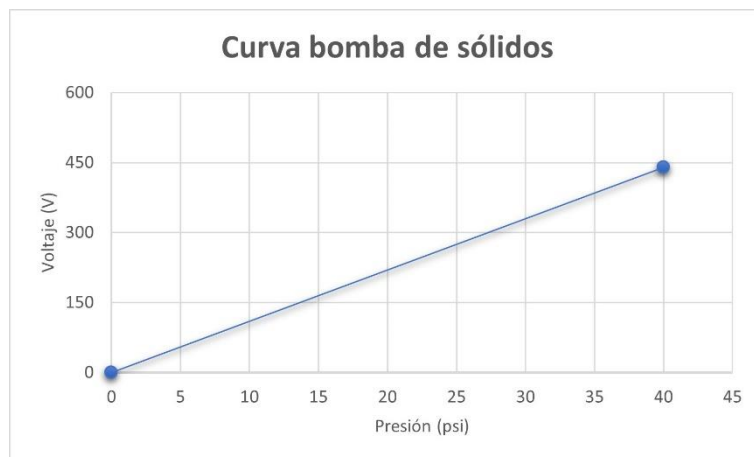


Fig. 41 Curva de funcionamiento de la bomba de sólidos.

Al igual que los casos anteriores, aplicando la ecuación 6 se puede conocer la ganancia de este sistema al conocer. El tiempo para formular la ecuación de transferencia viene dado por la respuesta del variador de frecuencia al momento de cambiar su velocidad de la máquina eléctrica, este tiempo es de 1 segundo.

$$K_t = \frac{\text{Rango de salida}}{\text{Rango de entrada}} = \frac{40 \text{ PSI} - 0 \text{ PSI}}{440v - 0 v} = \frac{40 \text{ PSI}}{440v} = 0.09 \frac{\text{PSI}}{v} \quad (14)$$

La función de transferencia de la bomba de sólidos es:

$$G(S) = \frac{0.09}{s + 1} \quad (15)$$

Respuesta al escalón unitario de la bomba

Esta respuesta se genera a partir de la función de transferencia de la ecuación 15, aplicando a la herramienta simulink para el trazo de la respuesta con respecto al tiempo.

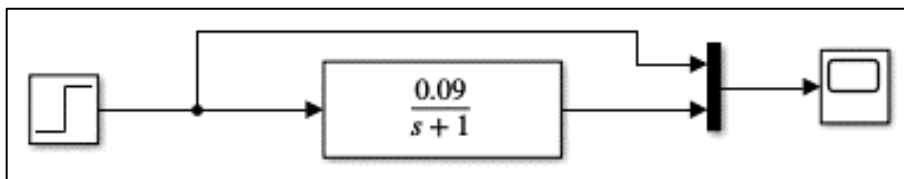


Fig. 42 lazo de control del VDF y bomba de sólidos.



Fig. 43 Respuesta al escalón unitario.

Lazo de control de presión

Al tener las funciones de transferencia que componen el lazo de control, en este caso la función del sensor de presión y de la bomba; se puede verificar su respuesta al escalón para determinar su respuesta con respecto al tiempo. Obsérvese la figura 45.

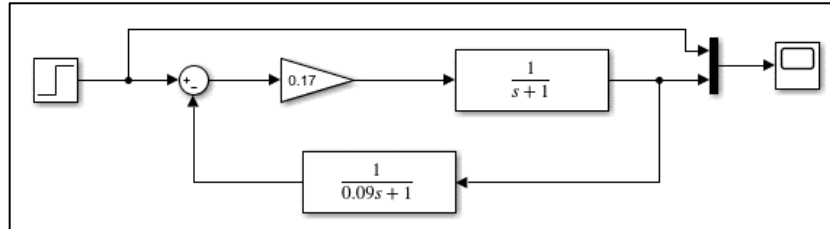


Fig. 44 Lazo de control presión



Fig. 45 Respuesta al escalón unitario.

Lazo de control de presión implementado el controlador PID

Después de conocer su respuesta al sistema, se le aplica un bloque PID para llegar al objetivo de controlar la variable. Aplicando la herramienta auto tune del bloque de control, se logró encontrar las constantes del controlador las cuales satisfacen la respuesta del sistema.

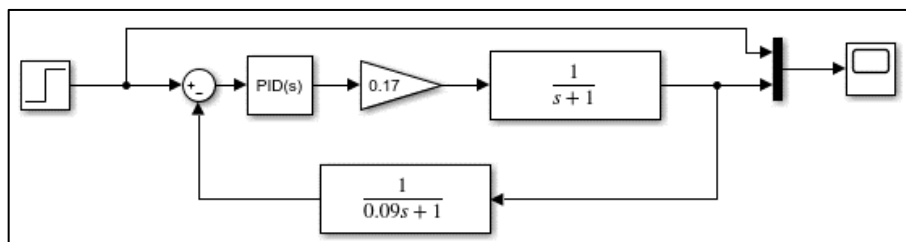


Fig. 46 Lazo de control con PID

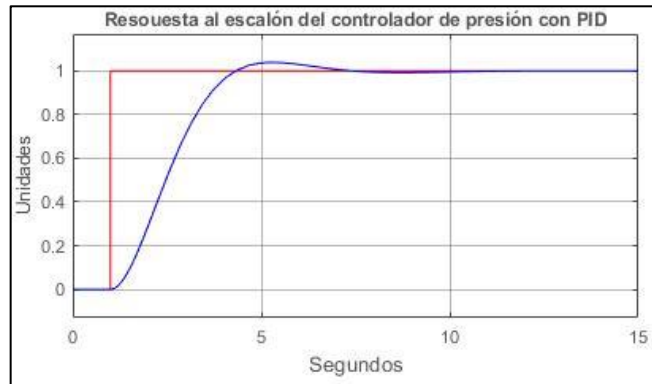


Fig. 47 Respuesta al escalón unitario del lazo de control.

Lazo de control de flujo - Entrada de agua al molino

Esta agua de ingreso al molino debe ser constante para mantener la pulpa equilibrada dentro de la máquina moledora; puesto que, si está es constante la clasificación en el hidrociclón será estable.

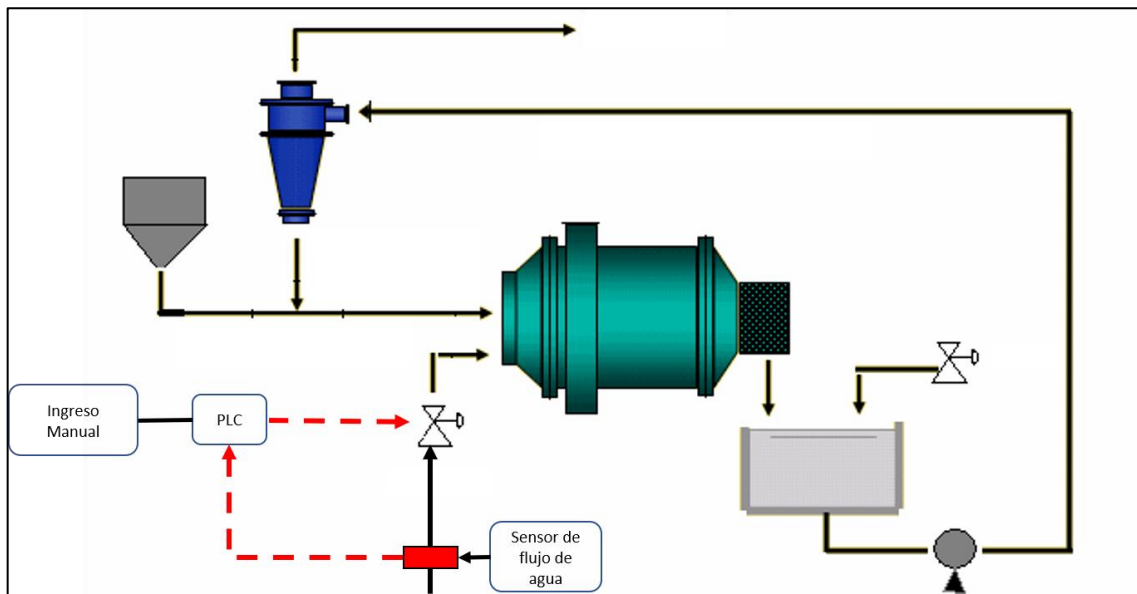


Fig. 48 Esquema de control ingreso de agua al molino.

Función de transferencia del sensor de flujo

El sensor de flujo es directamente proporcional a la señal de salida, por esta razón se puede obtener la ganancia a través de la relación expresada en la ecuación 6.

$$K_t = \frac{\text{Rango de salida}}{\text{Rango de entrada}} = \frac{20mA - 4mA}{8 m^3/h - 1 m^3/h} = \frac{16 mA}{7m^3/h} = 2.28 \frac{mA}{m^3/h} \quad (16)$$

El tiempo de respuesta del transmisor del sensor de flujo es de 1 segundo. Obtenidas todas las variables continuaremos se formulará la ecuación de transferencia.

$$G(S) = \frac{2.28}{s + 1} \quad (17)$$

Respuesta al escalón unitario del sensor de flujo

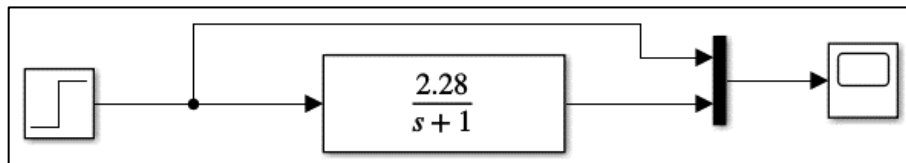


Fig. 49 Lazo de control del sensor de flujo

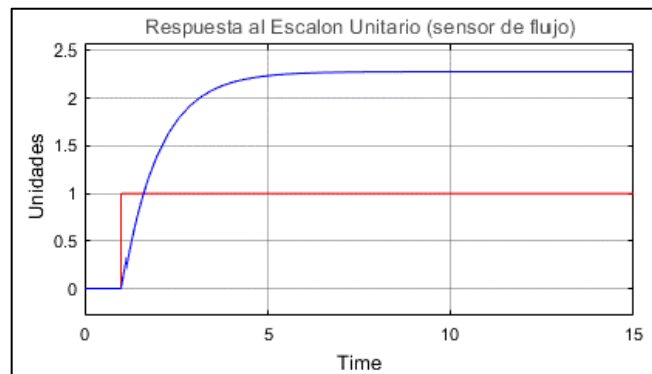


Fig. 50 Respuesta al escalón unitario.

Función de transferencia de la válvula proporcional.

Para el control de agua a la entrada del molino, se realizará con una válvula proporcional idéntica a la utilizada en el control de densidad. Para no redundar en los cálculos y variables se tomará los datos de la válvula anteriormente mencionados en el lazo de control de densidad.

Lazo de control de flujo

Al analizar la respuesta al escalón unitario del lazo de control, se puede concluir que el sistema tiene un inicio oscilatorio como se muestra en la figura 52, hasta lograr la estabilización.

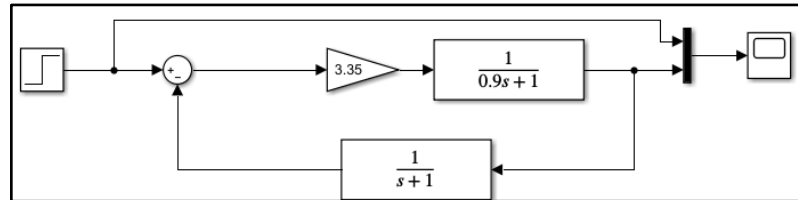


Fig. 51 Lazo de control de ingreso de agua al molino.

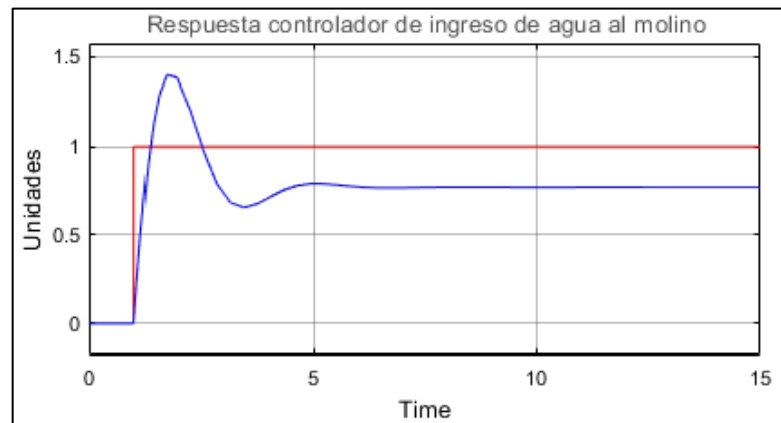


Fig. 52 Respuesta al escalón unitario.

Lazo de control de presión implementado el controlador PID

Con el software, al simular este caso de control con el bloque PID, se obtiene las constantes por medio de auto tune del bloque de control. El resultado final de control de muestra a continuación.

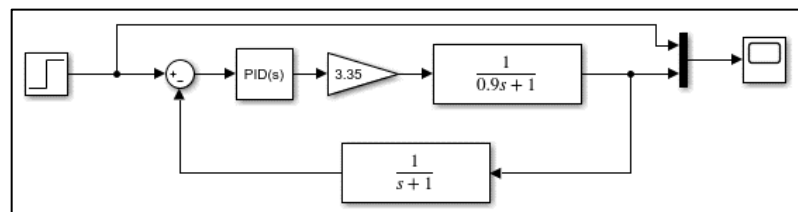


Fig. 53 Lazo de control implementado el PID.

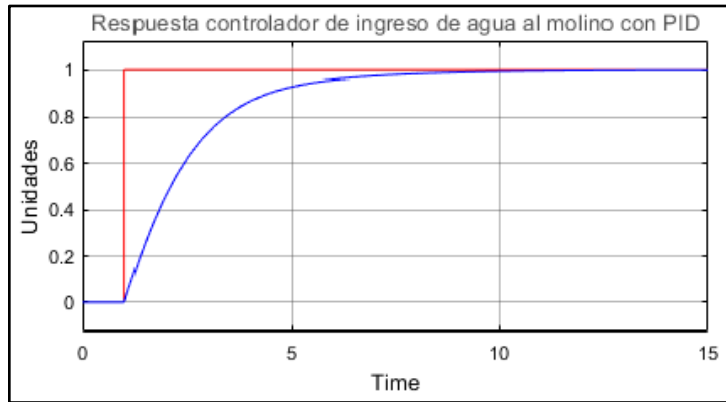


Fig. 54 Respuesta al escalón unitario del lazo de control con PID.

Lazo de control de peso – Banda alimentadora de mineral

El tonelaje de alimentación al molino es una variable de control constante, modo que no exista ningún desperfecto. La irregularidad de esta variable trae como consecuencia error del procesamiento de minerales y en los cálculos de acondicionamientos químicos en el proceso metalúrgicos.

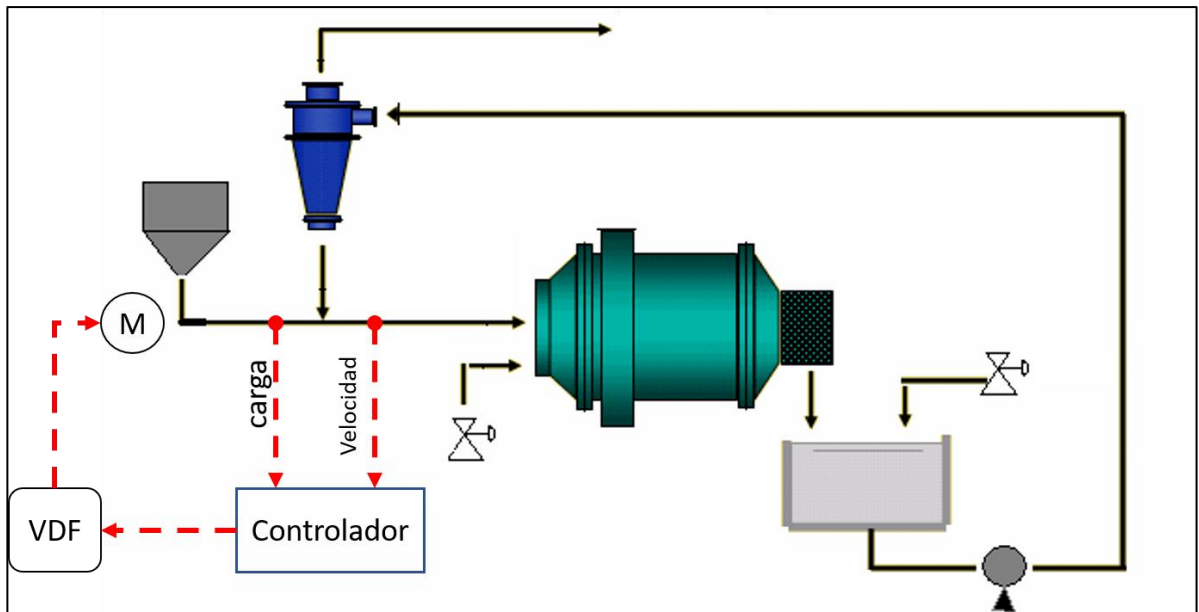


Fig. 55 Esquema de control de peso en planta

El análisis matemático para este controlador será obviado, dado que existen en el mercado equipos especializados para el manejo de dicho proceso, siendo este un equipo verificado, certificado y cumple con las características de nuestro proceso. A continuación, se presenta el funcionamiento del pesómetro para carga dinámica en bandas transportadoras.

El modo de operación del pesómetro, se basa en la excitación de la celda de carga, la celda se alimenta con un voltaje de 0 a 10V a una corriente máxima de 250mA, la cual está conectada a la estación de los rodillos, los mismos que se encuentran en suspensión, es decir no están en contacto con la estructura, cuando existe un peso que circula sobre los rodillos de carga este mueve un elemento de deformación y envía la señal al controlador para ser convertida a un valor de peso.

Para el sensor velocidad de la banda se tiene un tacómetro que envía una señal de 12V a una corriente máxima de 100mA, lo cual permite enviar una velocidad de pulsos de 0.5 a 3000Hz, esta señal es interpretada por el controlador electrónico y así convierte dicha señal en un valor de velocidad. (Vassaux Castro, 2007)

7. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Implementación mecatrónica

A partir de las características de selección de sensores y actuadores prescritas en el capítulo de diseño, se pudo determinar los instrumentos adecuados para el sistema de automatización.

Para implementar el sistema de monitoreo y control, se utilizó un PLC de la marca Unitronics, un HMI para la visualización y carga de datos al proceso, un pesómetro para verificar el peso que existe en la banda transportadora, sensores de flujo, presión y nivel; actuadores como válvulas de guillotina on/off y válvulas proporcionales para el control. Todos los datos tomados por medio de los sensores son enviados al PLC, quien tiene integrado los controladores para posteriormente enviar los datos a los actuadores para su respectivo trabajo.

Controlador lógico programable - PLC

El PLC que se implementó para controlar el área de moliendo de la planta concentradora de minerales es el modelo VISION 1040; el mismo, tiene integrado una pantalla HMI, módulos de comunicación industrial, puertos ethernet para comunicación con los módulos y con la PC. Además, se colocó módulos de entrada digitales, salidas tipo relé a 220vAC, entrada y salidas analógicas. Este PLC de la marca Unitronics, tiene las ventajas de utilizar un software de programación gratuito, una expansión hasta 1000 E/S y puede llegar a manejar hasta 24 lazos de control independientes.





Fig. 56 Adaptador y módulos de expansión colocados en el panel eléctrico.



Fig. 57 PLC y HMI visión 1040 Unitronics (UNITRONICS, n.d.)

Sensores, actuadores y controladores.

Para automatizar un proceso es indispensable conocer cuáles son los equipos que realizarán la medición y ejecutarán las acciones para el control de las variables dentro del proceso. A continuación, mostraremos los sensores y actuadores seleccionados para la automatización del área de molienda.

<i>Controlador</i>	<i>Características del instrumento</i>		<i>Grafico</i>
Controlador de peso BST100-E21	Aplicaciones principales	Pesadora de cinta con totalizador de peso.	
	Fuente de alimentación	AC220V ± 15%, 50 / 60Hz, Max. 15W	
	Voltaje / corriente de excitación de la celda de carga	DC10V / 250mA	
	Rango de entrada de la señal de pesaje	0 ~ 25 mV	
	Voltaje / corriente de excitación del sensor de velocidad	DC12V / 100mA	
	Rango de entrada de señal de velocidad	0.5 ~ 3000Hz.	






	3 entradas de interruptor normalmente abiertas	DI	
	4 salidas de relé normalmente abiertas	DO: AC250V / DC24V, 1A.	
	2 salidas analógica de "control PID"	AO: 4 ~ 20 mA	
	Puerto COM	RS232 / RS485 / RS422 / Profibus-DP / Ethernet opcionales.	
	Temperatura de funcionamiento	-25°C ~ + 45°C.	


Tabla 19. Controlador de peso seleccionado

<i>Variable</i>	<i>Instrumento</i>	<i>Características del instrumento</i>		<i>Grafico</i>
Presión	AT3051TG	Rango de presión	0 – 60 PSI	
		Fluido	Pulpa de mineral	
		Señal de salida	4 – 20 mA	
		Material	Acero inox 304 SS	
		Temperatura de trabajo	-25°C a +85°C	
		Voltaje de alimentación	12V - 45V DC	
		Tipo de Instalación	Tubería 2"	
		Tipo de sensor	Transmisión de presión con diafragma	
Flujo de agua	ATWFD-DN25	Fluido	Agua	
		Caudal	1 – 8m ³ /h	

		Señal de salida sensor	RS-485	
		Tipo de sensor	Electromagnético	
		Material electrodo	Acero Inox 316L	
		Material revestimiento	PTFE (teflón)	
		Temperatura de trabajo	150°C	
		Voltaje funcionamiento	220V AC	
		Tipo de instalación	Brida	
Flujo de pulpa	ATWFD – DN80	Fluido	Pulpa	
		Caudal	5 – 150m ³ h	
		Señal de salida sensor	RS-485	
		Tipo de sensor	Electromagnético	
		Material electrodo	Carburo de Tungsteno	
		Material revestimiento	Poliuretano	
		Temperatura de trabajo	70°C	
		Voltaje funcionamiento	220V AC	
		Tipo de instalación	Brida 2” y 3”	
Nivel		Rango de medición	0 – 5metros	
		Fluido	Pulpa de mineral	
		Señal de salida	RS – 485	
		Material	-----	

		Temperatura de trabajo	-20°C a +60°C	
		Voltaje de funcionamiento	220V AC	
		Tipo de instalación	Tanque abierto	
		Tipo de sensor	Ultrasónico	
Densidad	DT501	Rango de Medición	0 – 5g/cm ³	
		Fluido	Pulpa de mineral	
		Señal de salida	4 – 20 mA	
		Material	Acero inox 316L	
		Temperatura de trabajo	-20°C a +120°C	
		Voltaje de funcionamiento	12V – 45V DC	
		Tipo de instalación	Tubería vertical	

Tabla 20. Sensores seleccionados.

<i>Actuador</i>	<i>Características</i>		<i>Grafico</i>
HK60-Q-3PS 3-PIECE ELECTRIC ACTUADOR BALL VALVE	Fluido	Agua	
	Presión	10 bar	
	Señal de salida	RS – 485	
	Señal de entrada	4 – 20 mA	
	Actuador de la válvula	Eléctrico	
	Tipo de válvula	Bola	
	Material	Acero inox 304	
	Temperatura de trabajo	10°C - 120°C	
	Voltaje de funcionamiento	220V AC 60Hz	
	Tipo de instalación	Roscado NPT	

COVNA HK60-Z-DS	Fluido	Pulpa	
	Presión	10 bar	
	Señal de salida	RS-485	
	Señal de entrada	Digital	
	Actuador de la válvula	Eléctrico	
	Tipo de válvula	Guillotina	
	Material	Acero inox 304SS	
	Temperatura de trabajo	10°C – 120°C	
	Voltaje de funcionamiento	220V AC	
	Tipo de instalación	Brida 2”	

Tabla 21. Actuadores seleccionados.


<i>Pre – actuadores</i>	<i>Características</i>		<i>Grafico</i>
PI – 500	Tensión de alimentación	440V AC	
	Corriente	9 A	
	Frecuencia	60Hz	
	Potencia	4 Kw	
	Protocolo de comunicación	RS – 485	
PI – 500	Tensión de alimentación	440V AC	
	Corriente	25 A	
	Frecuencia	60Hz	
	Potencia	7.5 Kw	
	Protocolo de comunicación	RS – 485	

Tabla 22. Pre - actuadores seleccionados

Comunicación entre maestro - esclavos

El intercambio de información entre los sensores, actuadores, PLC y HMI es por medio del protocolo de comunicación Modbus RTU RS485, E/S analógicas y digitales y puertos ethernet. Un puerto ethernet está empleado hacia la comunicación del PLC con los módulos de expansión y el otro es dedicado a la comunicación del PLC con la PC.

El protocolo Modbus es implementado en los sensores de nivel, flujo, variadores de frecuencia, pesómetro; mientras que las entradas y salidas analógicas están asignadas a los sensores de presión, densidad y al control de las válvulas proporcionales. Por último, las salidas tipo relé son quienes manejan las válvulas de guillotina on/off.

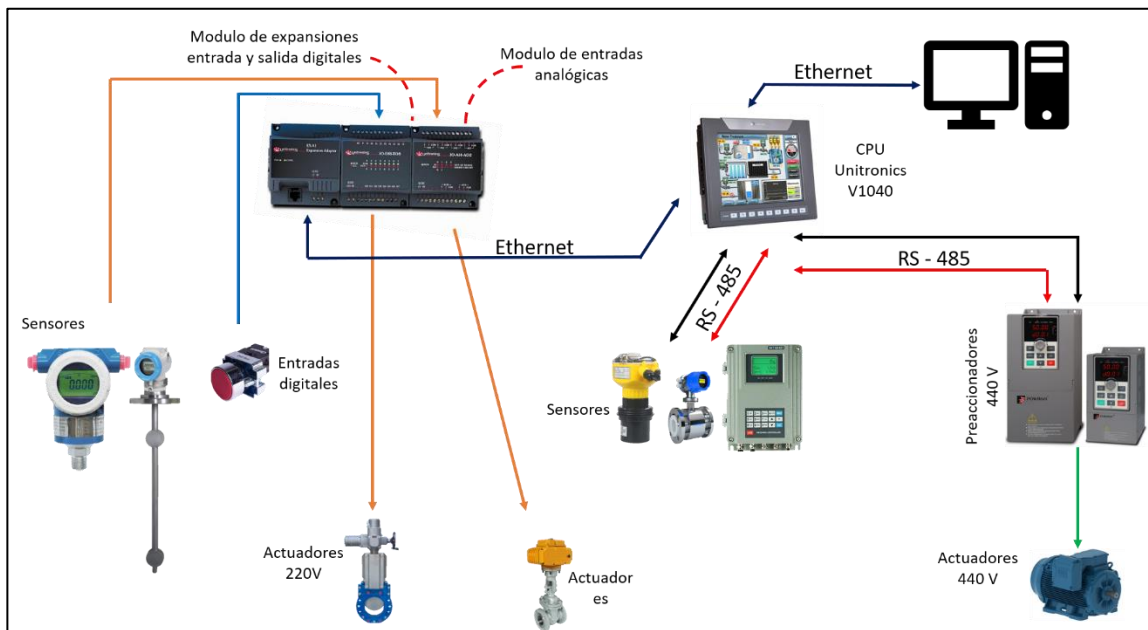


Fig. 58 Esquema de comunicaciones entre equipos e instrumentos.

Tablero Eléctrico

En la siguiente figura se muestra el tablero de mando y de control eléctrico/electrónico, quien se encargará de comandar el área de molienda de la planta Multicoexpa CIA. LTDA. En dicho panel eléctrico, se puede observar los principales componentes usados para lograr el control del proceso. Entre ellos existen disyuntores termomagnéticos, contactores, módulos de PLC, variadores de frecuencia, fusibles, relés, detector de fase, instrumentos de medición, etc. Aquí es el lugar donde se concentran todas las señales por recibir y por enviar a la planta.

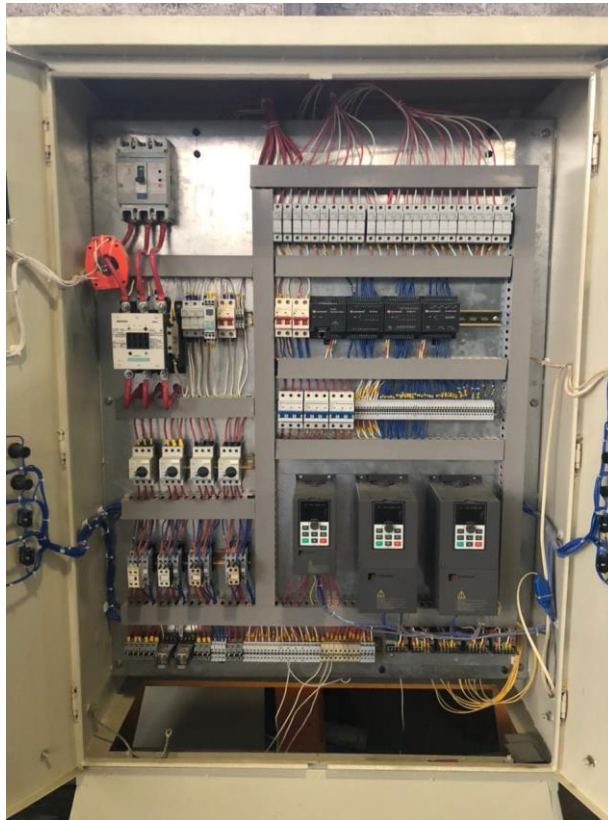


Fig. 59 Parte interna del tablero eléctrico.



Fig. 60 Parte externa tablero eléctrico.

Configuración y programación del PLC

En el siguiente apartado se describe como se realizó la comunicación entre maestro esclavo; es decir; el PLC con los sensores y actuadores. Para esta programación se utilizó el software VISILOGIC.



Fig. 61 Software de programación.

Configuración de la comunicación Modbus RS485 en el PLC

A continuación, indicaremos los pasos a seguir para la configuración maestro – esclavo en el PLC Visión 1040.

- 1. Iniciar puerto de comunicación.** - Los parámetros básicos a configurar en este bloque son: puerto con del PLC, estándar de comunicación, velocidad de comunicación. Como se muestra en la figura.

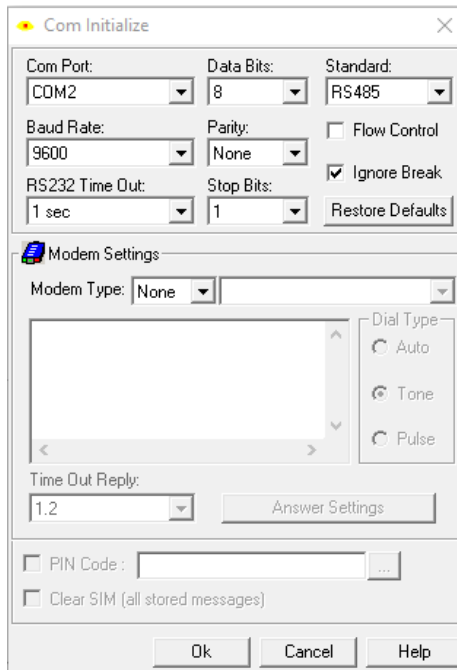


Fig. 62 Bloque de inicio de comunicación.

2. Configuración Modbus. – En este bloque se configura los ítems para el maestro de la comunicación, en este caso es el PLC visión 1040. Aquí debemos ingresar el puerto ya configurado, el número de identificación del maestro, el tiempo que el maestro espera la respuesta del esclavo, numero de reintentos.

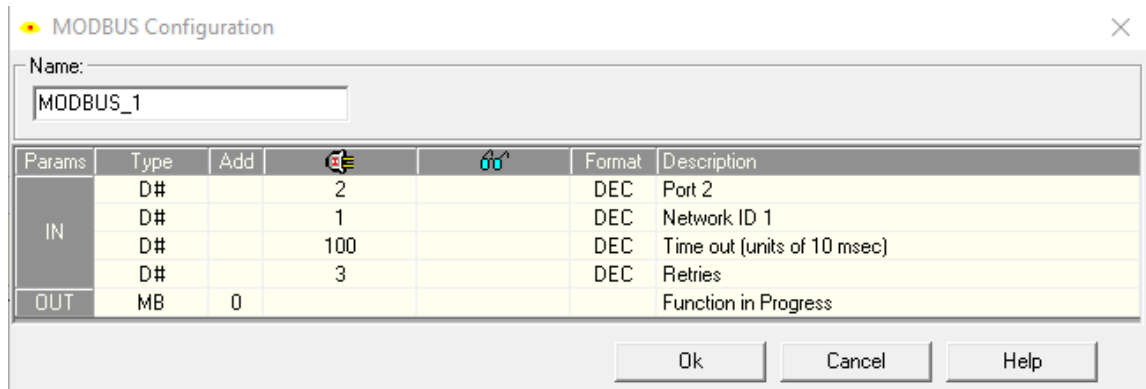


Fig. 63 Bloque de configuración MODBUS maestro.

En la figura 64, se muestra la programación para el inicio de la comunicación; cabe recalcar, que en esta línea de programación existe un SB2, quien se encarga de iniciar la comunicación cuando se enciende el PLC.

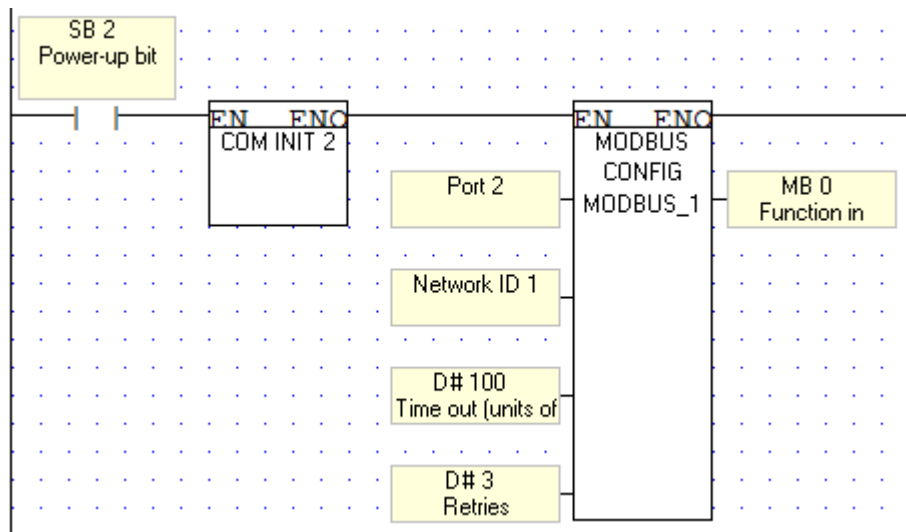


Fig. 64 Línea de programación para el inicio de la comunicación.

Para la configuración esclavos, todo esclavo debe tener un número de identificación por lo general puede ir de 0 – 255, este número es único para cada esclavo. Este número le sirve al maestro para poder leer o escribir en el mismo.

- 3. Configuración de escritura para esclavo Modbus.** – Para esta configuración es importante conocer el número de esclavo de cada actuador. Además, se debe asignar la dirección de operando, es decir que acción quiere que realice el esclavo.

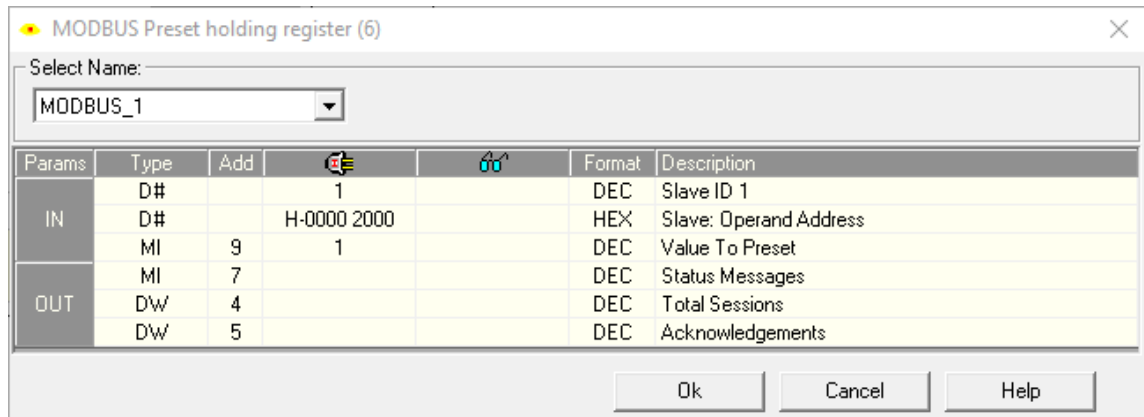


Fig. 65 Bloque de configuración de escritura del esclavo

- 4. Configuración de lectura para esclavo Modbus.** – Al igual que la escritura, en el bloque de lectura se debe considerar el esclavo a quien se le va a pedir información, el inicio del vector del esclavo y la longitud del vector a leer.

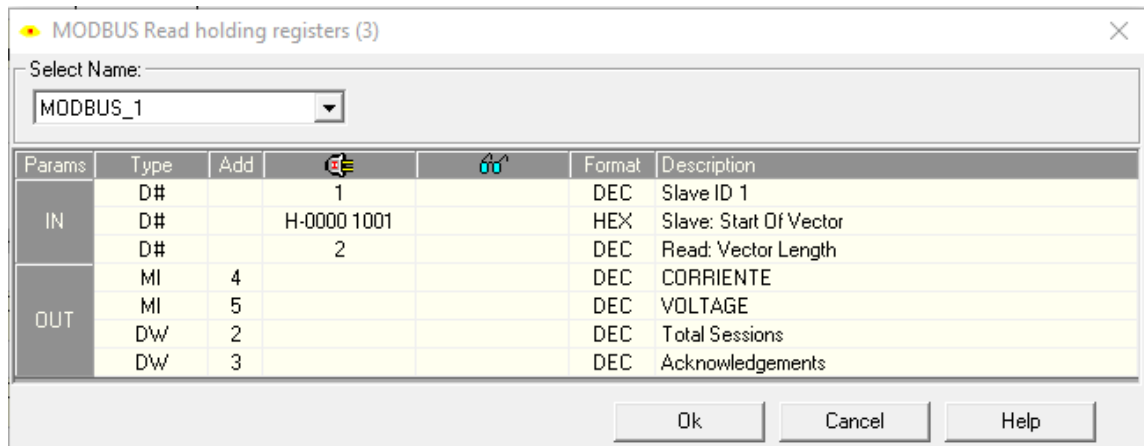


Fig. 66 Bloque de configuración de lectura del esclavo.

Programación del PLC

El lenguaje de programación para este PLC es tipo Ladder (escalera). En la figura 67, se muestra un ejemplo de la programación de encendido y apagado de bobinas, por medio de entradas digitales las cuales son pulsantes normalmente abiertos y cerrados.

Condiciones de arranque.

Para el inicio del sistema automático, se debe verificar las siguientes condiciones, las cuales son:

- Carga de mineral triturado en la tolva de finos.
- Flujo de agua.
- Comprobar las bombas de sólidos, no estén atoradas.
- Verificar el valor de referencia de los controladores.

Tipos de arranque para el área de molienda

Dentro de la programación del PLC existen 2 modos de arranque del sistema automático.

Estos son: modo Manual y modo Automático

Modo manual: El operario se encarga de prender y apagar cada actuador del sistema implementado. Este modo está diseñado para la parte de mantenimiento en caso de comprobar el funcionamiento de máquina específica dentro del proceso.

Modo automático: El operario debe seleccionar el modo por medio de un selector físico en el panel eléctrico y en la pantalla HMI muestra los botones de iniciar o parar el sistema. Al momento de pulsar estos botones el PLC cumplirá con una secuencia programada, esta sea de inicio o de paro.

Secuencia de arranque del área de molienda

El arranque de esta sección se procede de la siguiente manera.:

1. Arrancar el molino de bolas 6 x10.
2. El sensor de nivel del tanque de almacenamiento de pulpa envía la señal para el arranque de la bomba de sólidos.
3. Arrancar la banda transportadora de mineral, esta es quien manda la señal a la válvula de ingreso de agua al molino.

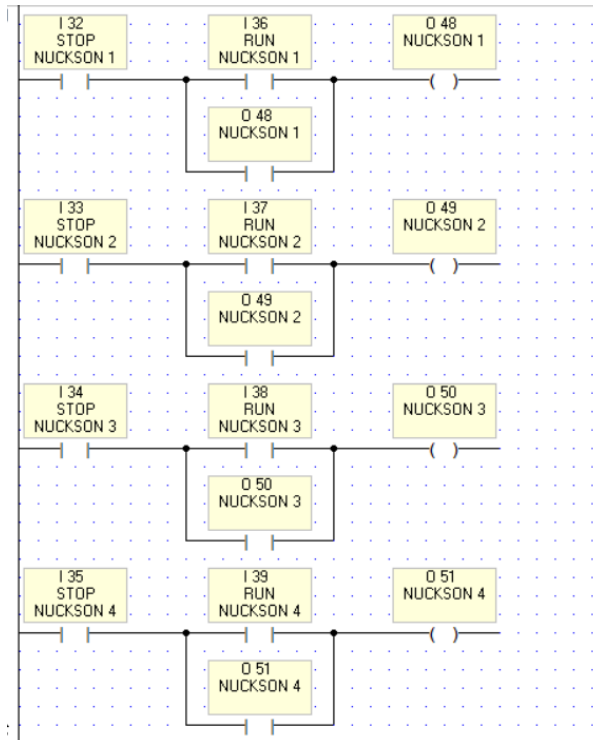


Fig. 67 Ejemplo de programación tipo escalera.

Condiciones de parada.

Para apagar completamente el área de molienda automático, existes unas condiciones que se deben cumplir. Estas son:

- Descargar el molino completamente, para que su próximo arranque, el motor eléctrico no exceda su límite de amperaje.
- El tanque de almacenamiento de pulpa no debe ser rebosado por el material.

Secuencia de paro del área de molienda

1. Parar la banda transportadora de mineral que a su vez envía la señal para el cierre de la válvula de ingreso de agua al molino.
2. Esperar que el molino se descargue completamente antes de realizar el paro de este. Aproximadamente se debe tener 20 minutos el molino encendido sin ingreso de mineral y agua.
3. Esperar la descarga del tanque de almacenamiento de pulpa, el sensor enviara la señal para el paro de las bombas de sólidos.

Fallo de las variables del proceso

Variable del proceso	Alarma del PLC	Posible falla	Solución
Peso	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador en HMI • activación de sirena 	Sobre carga	Verificar la salida de la tolva de finos
		Carga baja	Verificar la carga de la tolva de finos
		Paro de la banda	Verificar mecanismo de transmisión
Densidad de salida del molino		Densidad Alta	Verificar banda transportadora y revisión de la válvula de agua de ingreso y de salida del molino
		Densidad Baja	Verificar la banda transportadora, revisión del agua de ingreso al molino
Presión		Presión alta	Revisar entrada al hidrociclón (atoro)
		Presión baja	Revisar impulsor de la bomba de solidos Verificar las válvulas de guillotina Encender la bomba en stand by
Densidad de salida del hidrociclón		Densidad alta	Verificar el ápex y vortex del hidrociclón.
		Densidad baja	

Tabla 23. Fallas del Proceso

Fallo de sensores y actuadores en el proceso

Sensores y actuadores	Alarma del PLC	Posible fallo	Solución
Sensor de peso	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador en HMI • activación de sirena 	Error de comunicación	Verificar las conexiones RS-485
		Error en el controlador	Revisar las conexiones en el controlador
		Sobre corriente	Verificar la banda transportadora
Sensor de densidad		Fallo de salida analógica	Comprobar conexión analógica entre el sensor y el PLC
Sensor de presión		Fallo en la lectura de datos	Verificar el orificio de la tubería donde se encuentra el sensor
		Fallo de salida analógica	Comprobar conexión analógica entre el sensor y el PLC
Sensor de Flujo		Fallo de comunicación	Verificar conexión RS-485
		Fallo de medición	Verificar revestimientos y electrodos de medición
Válvula proporcional		Fallo de comunicación	Revisar conexión analógica
		Fallo de funcionamiento	Comprobar parte mecánica de la válvula y actuador eléctrico
Válvula de guillotina	Falla de funcionamiento	Comprobar parte mecánica de la válvula y actuador eléctrico.	
Variador de frecuencia	Falla de comunicación	Comprobar conexión RS - 485	

Tabla 24. Fallos de sensores y actuadores.

Configuración y programación del variador de frecuencia

La configuración y la programación del variador de frecuencia Powtran PI500, se lo realiza desde la pantalla de este, configurando los parámetros establecidos en las tablas presentadas a continuación siguientes.



Fig. 68 Pantalla del VDF PI500 Powtran (POWTRAN, s.f.)

Los códigos “b” del variador de frecuencia, representan el grupo de parámetros del motor, los cuales hay que configurar con respecto a las características de la máquina eléctrica que va a funcionar con dicho variador.

Código	Nombre del parámetro	Rango de ajuste	Ajuste de fabrica
B0.00	Selección de tipo de motor	0: motor asíncrono general	Depende el modelo
B0.01	Potencia nominal	1: motor inversor asíncrono	
B0.02	Voltaje nominal	2: motor asíncrono de imanes permanentes. 0.1KW a 1000KW 1V a 2000V	

B0.03	Corriente nominal	0.01A a 655.35A <55KW 0.1A a 6553.5A >55KW	Depende el modelo
B0.04	Frecuencia nominal	0.01Hz a F0.19 (máxima frecuencia)	Depende el modelo
B0.05	Velocidad nominal	1rpm a 36000rpm	Depende el modelo

Tabla 25. Parámetros básicos del motor a configurar [29]

Los parámetros “F”, hacen referencia a la configuración para la comunicación RS485. Estos códigos hacen que el variador de frecuencia se comporte con un esclavo en la red Modbus.

Parámetro	Nombre	Rango de ajuste	Ajuste
F0.03	Ajuste de frecuencia del máster	0 a 9; 9: ajuste de comunicación remota	9
F0.11	Selección de fuente de comando	0 a 2; 2 Mando de control de comunicación	2
F9.00	Rango de Baudios	5: 9600 BPS	6005
F9.01	Formato de datos	3: (8, N, 1)	3
F9.02	Dirección de la unidad	1~250	1

Tabla 26. Parámetros básicos de comunicación a configurar [29]

Por último, indicaremos las direcciones de escritura y lectura que necesita el variador de frecuencia para responder a las solicitudes del maestro. Las direcciones que maneja este variador de la marca Powtran son hexadecimales, las cuales hay que tomar en cuenta en la programación de la configuración del esclavo.

Funcion	Direccion	Dato	Leer/Escribir
Comando de conteol de comunicacion	2000H	0001H: en marcha adelante	L/E
		0002H: en marcha en reversa	
		0003H: marcha hacia adelante	
		0004H: marcha en reversa	
		0005H: parada libre	
		0006H: paro y desaceleracion	

		0007H: restauracion de fallos	
Fuente de frecuencia	1000H	Rango (-10000 a 10000)	L/E
Selección de parametros Paro/Inicio	1001H	Frecuencia de funcionamiento	L
	1002H	Voltaje de entrada	
	1003H	Voltaje de salida	
	1004H	Corriente de salida	
	1005H	Potencia de salida	

Tabla 27. Direcciones para lectura o escritura del esclavo. [29]

Configuración y programación del panel operador HMI

La configuración y programación de la pantalla HMI, se la realizo en el mismo software de programación del PLC. A través de una pantalla de 10.4" se puede visualizar los estados de funcionamiento, datos y alarmas de cada sensor y actuador inmersos en el proceso.

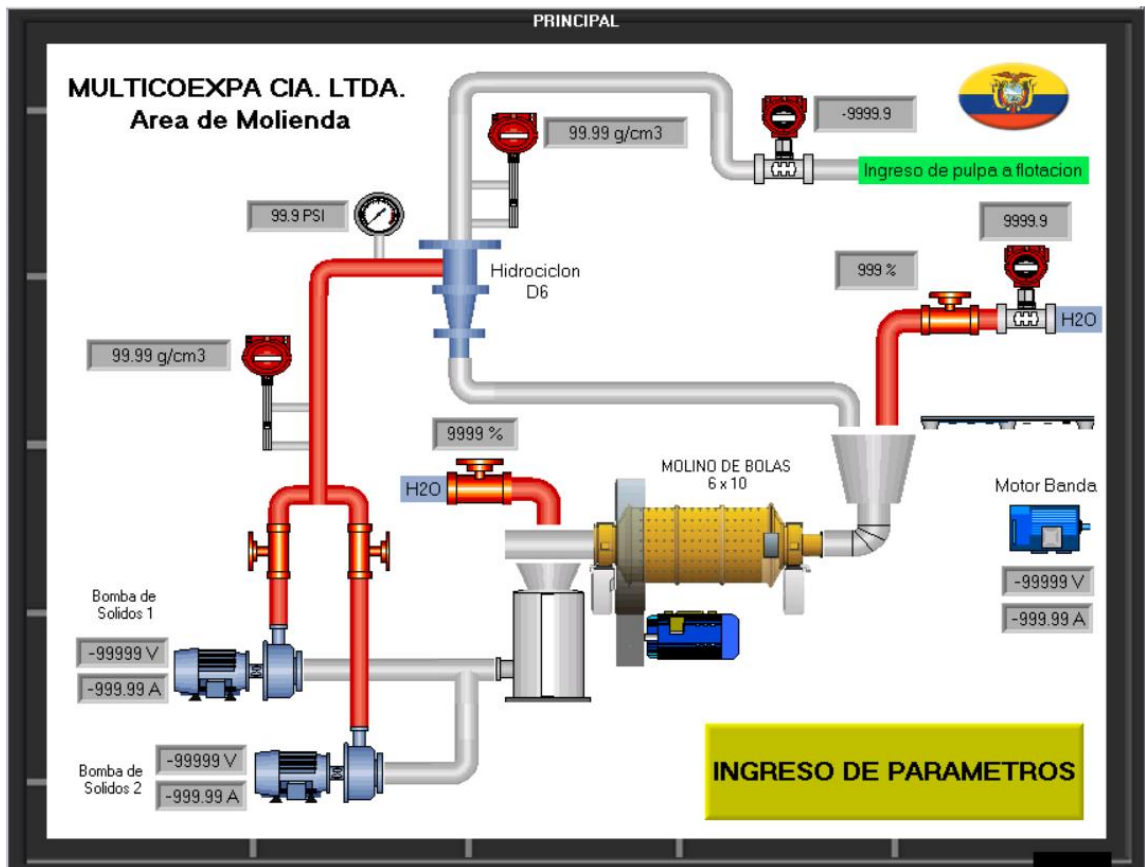


Fig. 69 HMI Principal del área de molienda.

El HMI presenta como pantalla principal, una interfaz del área de molienda de la planta concentradora de minerales; desde la cual, se puede ingresar a un menú que muestra varias opciones de ingreso hacia los controladores.

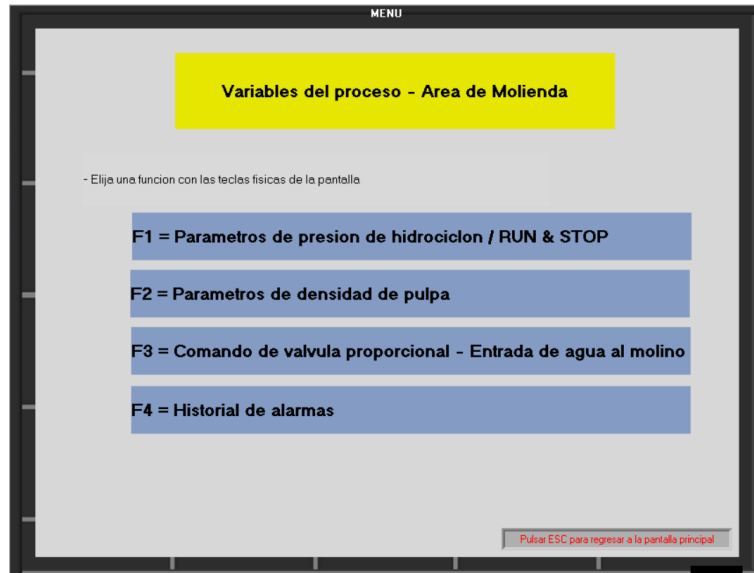


Fig. 70 Menú de parámetros del área de molienda

Dentro de las pantallas de los controladores, se ingresa la referencia de trabajo de cada variable. También, contiene imágenes binarias que permite demostrar el estado de operación de las máquinas y graficas de la variable con respecto al tiempo.

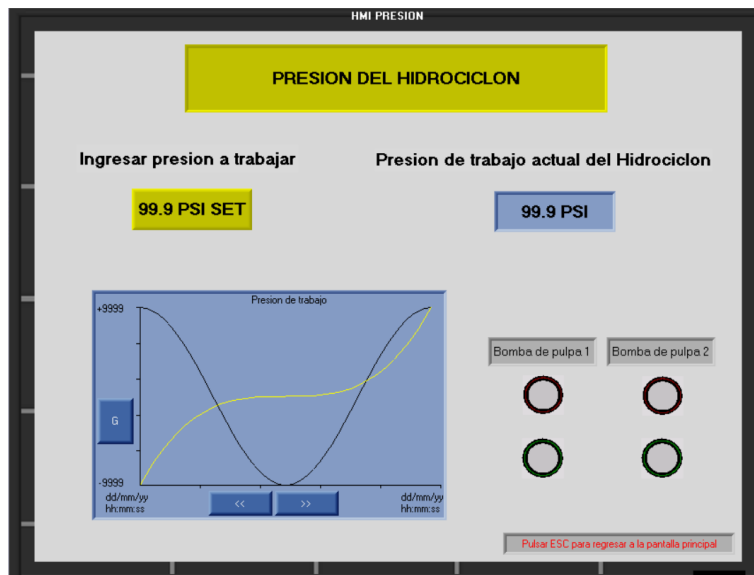


Fig. 71 Pantalla del HMI del controlador de presión.

Montaje de los sensores y actuadores en planta

Para el montaje en planta de los diferentes sensores y actuadores, se realizó el diseño y construcción de acoples bridados y roscados, los cuales facilitan la conexión entre los diferentes equipos.

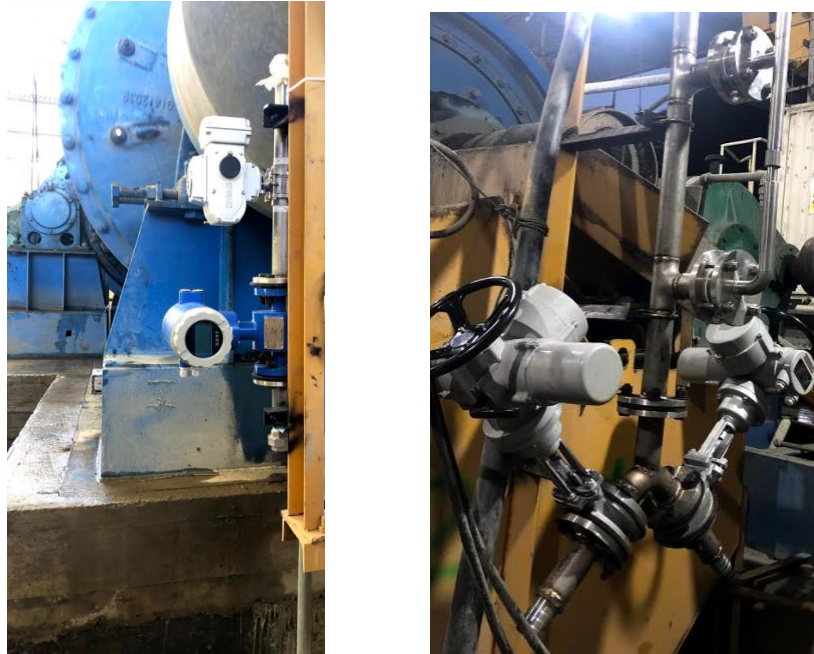


Fig. 72 Montaje de sensores y actuadores en planta.

La construcción de los diferentes acoples se realizó en acero inoxidable 304L, resistente a la corrosión, ya que estará en contacto permanente con la pulpa del mineral y con el agua del proceso. A continuación, se presenta dos tablas con los dispositivos de acople para cada sensor, actuador y su cantidad requerida.



Fig. 72 Montaje sensor de presión.






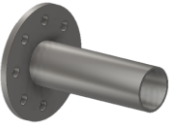


Instrumentos	Imagen	Acople brida	Cantidad
AT3051TG			1
ATWFD – DN25			2
ATWFD – DN80			2
DT501			2

Tabla 28 Dispositivos para montaje de Sensores.


Actuadores	Imagen	Acople brida	Cantidad
VALVULA CON ACTUADOR ELECTRICO			3
COVNA HK60 – Z – DS.			1

Tabla 29 Dispositivos para montaje de actuadores.

8. VALIDACIÓN DEL SISTEMA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Luego de finalizar la etapa de implementación de sistema supervisión, control y adquisición de datos dentro de la empresa Multicoexpa CIA. LTDA, se inició con la fase de validación del sistema, verificando en tiempo real, la comunicación de los equipos conectados mediante la red Modbus RS – 485, así como los sensores conectados a las entradas y salidas analógicas del PLC.

Previo a la validación de la información que se recibe de los sensores, es importante encerrar los sensores, es decir luego de energizar cada instrumento se procede a configurar su lectura de datos en cero “0000” con esto confirmamos que la lectura del sensor será correcta para cada medición que realice.

Validación del sistema de comunicación.

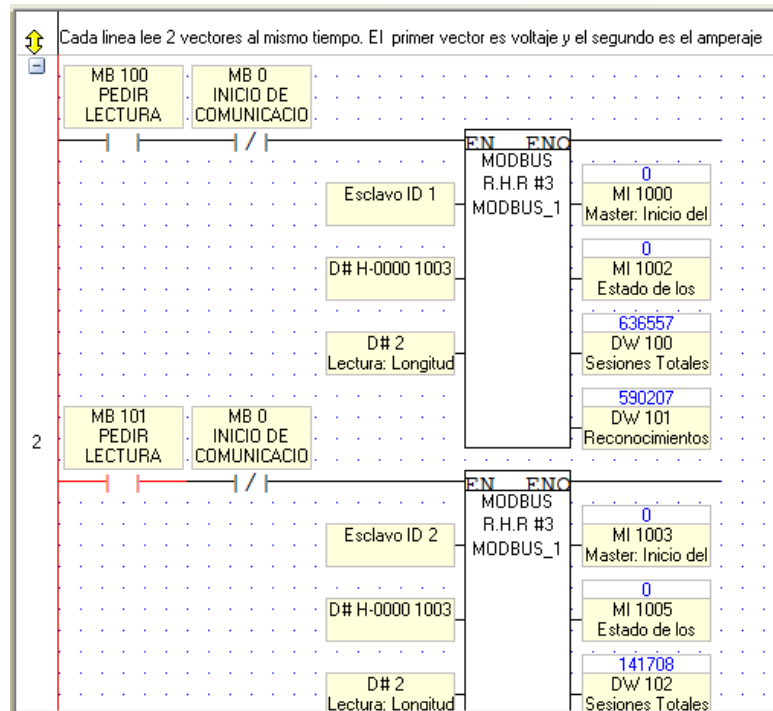


Fig. 73 Visualización en tiempo real de la comunicación de la red Modbus RS – 485

Como ya se mencionó anteriormente se diseñó una red de comunicación Modbus por un medio físico de RS – 485 para la lectura y escritura de datos de los sensores de flujo de

pulpa, flujo de agua, variadores de velocidad para los motores de las bombas y banda transportadora.

Para la validación de esta comunicación observaremos en tiempo real los mensajes de estado en la programación de nuestro PLC, como lo muestra la siguiente imagen. El valor de la memoria integrada del PLC “MI” designado al mensaje de estado nos proporciona la información para conocer si existe una comunicación o no.

Cuando el valor de MI del mensaje de estado es igual a cero “0”, significa que existe una comunicación maestra – esclavo; caso contrario, si el valor de este MI es igual a cinco “5”, nos indica que existe un error de comunicación.

Validación de lectura y escritura de los instrumentos conectados al módulo de entradas y salidas analógicas.

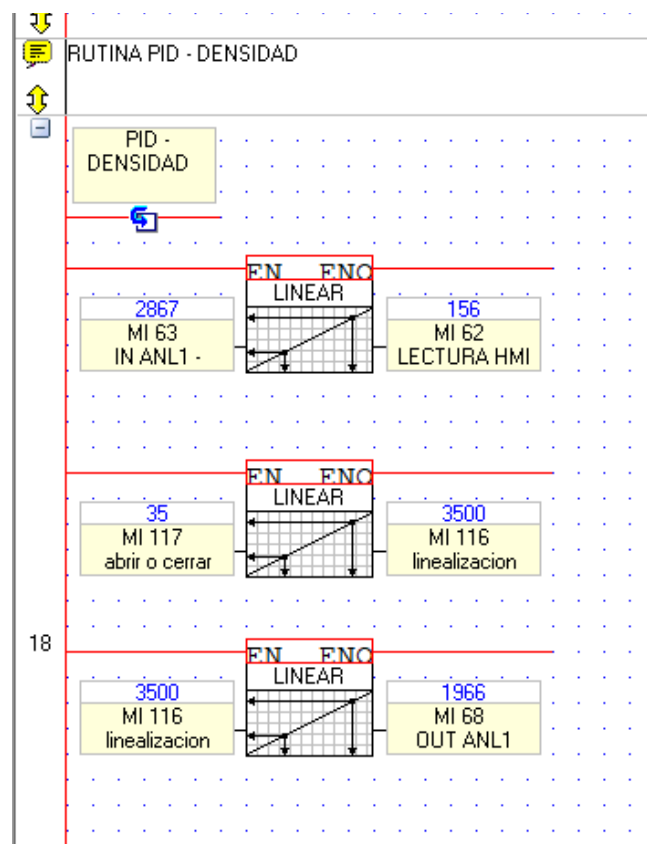


Fig. 74 Visualización de linealización de valores de medición

Para la validación de esta parte del sistema lo podremos hacer en tiempo real, observando lo que recibe nuestro sistema de adquisición de datos, los cuales deben estar dentro del rango de los valores requeridos por el personal de planta.

Al igual que la escritura de datos la podremos comprobar observando la posición física de los actuadores y el valor que ingresamos por pantalla en nuestro HMI.

Mediante las herramientas internas del PLC, linealizamos los valores obtenidos por los sensores, lo que nos permitirá una mejor comprensión de lectura de los datos requeridos dentro del proceso; esto se debe, al valor que ingresa o sale del PLC es un valor de corriente 4 a 20 mA, y el valor que necesitamos visualizar o escribir es un número entero.

Validación del control PID de presión

Mediante el uso de la herramienta PID server que proporciona software del PLC, se pudo sintonizar y ajustar el controlador de presión. Al presentar la siguiente grafica se puede validar el funcionamiento de este controlador al observar que el valor del proceso sigue a la referencia de trabajo.

La grafica a continuación muestra el trabajo de la bomba de sólidos manteniendo la presión de trabajo del hidrociclón constante. La señal de color azul representa la referencia de la presión ingresada por pantalla, la señal de color rojo simboliza el valor del proceso.



Fig. 75 Respuesta del control PID de presión

Validación del control PID de Densidad

La grafica que se muestra a continuación indica el funcionamiento del control PID de densidad, que al igual que el control de presión se realizó con la herramienta de PID server propia del PLC.

Se puede constatar que el funcionamiento del controlador es válido debido a que, el valor del proceso intenta perseguir el valor de referencia que se ingresa en la pantalla de parámetros de densidad de pulpa.

En esta grafica; el control se muestra de forma inestable, puesto que, entre el sensor y su actuador existe un proceso intermedio de separación de partículas sólidas por medio gravimetría “Nuckson” y esta es la razón por lo cual varía el valor del proceso durante el tiempo.



Fig. 76 Respuesta del control PID de densidad

Pruebas de Funcionamiento

Una vez realizada la validación del sistema, que todo estaba acorde a como fue diseñado su funcionamiento, se procedió a la realización de las pruebas de funcionamiento guiados por la experiencia de los operadores de la planta. A continuación, se presentará el trabajo de cada instrumento dentro del área de molienda de la planta concentradora de minerales.

Funcionamiento del PLC y HMI

Mediante esta imagen se puede verificar que el PLC y el HMI está procesando la información para que el operario logre observar que está ocurriendo en su área de producción. Esto quiere decir, que el PLC Vision 1040 está en pleno funcionamiento y sus módulos de señales analógicas, digitales, tipo relé y comunicación están trabajando correctamente con los sensores y actuadores implementados en planta.

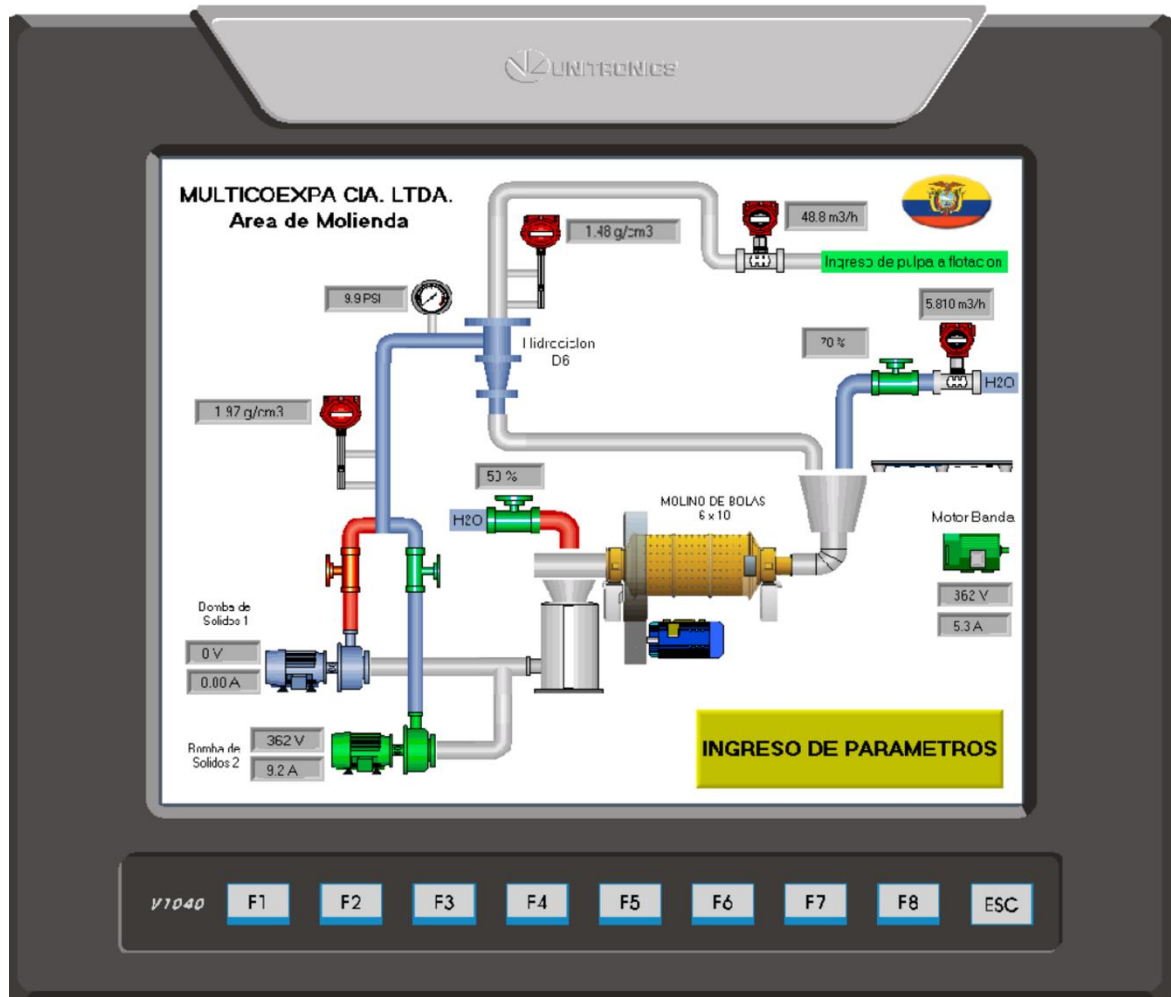


Fig. 77 Imagen de operador remoto de HMI en planta

Funcionamiento de la válvula control de agua y sensor de flujo de agua

En la imagen se puede observar el posicionamiento que se ingresa por teclado en la pantalla del HMI, mediante el PLC se linealiza el dato y se envía hacia el actuador, observando el posicionamiento físico de la válvula que controla el flujo de agua de ingreso, además que se observa el flujo de agua en la pantalla HMI y en la pantalla del sensor de flujo ubicado en planta.



Fig. 78 Visualización en el sensor de flujo y panel HMI

Funcionamiento de la válvula de control de agua y el sensor de densidad

Para verificar el correcto funcionamiento de la válvula control de agua y el sensor de densidad, podemos observar que el medidor de densidad está dentro del rango requerido, estableciéndose en el punto de referencia ingresado por el operario, este valor de densidad a su vez controla el posicionamiento de la válvula de agua, haciendo su lazo de control, observando también el correcto posicionamiento de la válvula ubicada en planta.



Fig. 79 Visualización de valores de densidad en el sensor y panel HMI

Funcionamiento del sensor de presión

Al observar esta imagen, se puede verificar que el trabajo del hidrociclón es constante; es decir, por medio del sensor de presión se puede controlar la velocidad de la bomba para

que exista una clasificación de la pulpa eficiente. Se puede observar que el valor del indicador de presión corresponde al valor que se visualiza en el HMI ubicado en el tablero de control.



Fig. 80 Visualización de valores de presión en el sensor y panel HMI

Funcionamiento del sensor de flujo de pulpa

Para comprobar el funcionamiento del sensor de flujo de pulpa, podemos observar en la imagen que el valor leído por el sensor dentro del proceso se visualiza también en el HMI, es decir que la comunicación entre el sensor y el PLC está funcionando correctamente.



Fig. 81 Visualización de valore de flujo de pulpa en sensor.

Funcionamiento del controlador de peso

En presentada a continuación se puede observar al controlador de peso trabajando correctamente, entregándonos valores de velocidad de la banda y del peso de material de ingreso al molino, los cuales se asemejan a los valores tomados por los trabajadores dentro de la planta.



Fig. 82 Controlador de peso configurado a cero

Funcionamiento de los variadores de frecuencia

Se puede observar que los variadores de frecuencia están funcionando correctamente, al escribir la frecuencia y al leer las variables de voltaje y amperaje de cada motor. Las

variables de lectura se muestran en el HMI y la escritura se puede validar al conectar en tiempo real el PLC con el sistema.



Fig. 83 Variadores de frecuencia en funcionamiento

9. Conclusiones

- Mediante este trabajo de diseño e implementación de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos en el área de molienda de la planta concentradora de minerales Multicoexpa Cia. Ltda, se ah identificando las necesidades que requiere esta parte del proceso y su importancia para el desarrollo de las siguientes fases antes del producto terminado.
- El uso de este tipo de tecnología dentro de la minería constituye un antes y un después para la evolución de la misma, y que ayudara a una mayor tecnificación de los procesos; ya que, dentro de la región no se ha realizado diseños o implementaciones que ayuden a los operarios de planta a llevar un control más eficiente de cada etapa.
- Las conversaciones con el jefe y operarios de planta sobre cómo es la forma correcta del proceso, permitió establecer las características de los sensores, actuadores y controladores, y una vez establecidos estos, optar por las formas de comunicación más eficientes entre ellos y controladores, logrando el diseño de las secuencias de funcionamiento de todo el sistema mediante la implementación del PLC, permitiendo centralizar toda la información en un HMI amigable al operario.
- En la actualidad es indispensable contar con herramientas dinámicas e interactivas para la supervisión y control de los procesos industriales; los cuales, le permitan al operario tener un control estricto en las variables del proceso y en casos de emergencia conocer lo que está pasando durante la operación del área de molienda.
- Al concluir las pruebas de funcionamiento nos percatamos que la red de comunicación Modbus tenía un fallo intermitente en la lectura de datos de los sensores y actuadores implementados en esta red. Este fallo ocurre, debido a que la industria minera no tiene regularizado una puesta a tierra del sistema eléctrico causando así un ruido eléctrico en la señal de comunicación.
- Con la elaboración de este trabajo se demostró que para realizar de forma correcta y eficiente la automatización de un proceso de molienda de minerales, es necesario la integración de conceptos, tecnologías que permitan conocer de forma clara como se debe automatizar un proceso industrial, podemos decir entonces que con las tecnologías correctas y el conocimiento adquirido durante el desarrollo del

presente proyecto se puede elaborar una automatización que permita un mayor control de dicho proceso garantizando el correcto funcionamiento de toda el área y minimizando riesgo a los operarios, proyectándose a una minería responsable, eficaz, marcando un inicio en la automatización de procesos mineros en la región.

10.Recomendaciones

- Se recomienda utilizar las herramientas, tecnologías y metodologías que permitieron el desarrollo de este trabajo, en otras aplicaciones industriales de características similares, ya que ofrece muchas ventajas para la empresa al igual que a los operarios en planta, realizando el proceso de producción de una formas más eficiente y rentable.
- En trabajos a futuro se propone la implementación de un sistema SCADA que integre toda la información que se genere por áreas de la empresa, ya que se tiene pensado la automatización del área de flotación.
- Al iniciar un proyecto de automatización industrial, siempre se debe evaluar la rentabilidad y perspectiva del proceso a automatizar, considerando cuales serían sus ventajas y desventajas, lo cual ayudaría a las proyecciones a futuro de la industria.
- Para automatizar alguna etapa del proceso metalúrgico, se debe conocer a profundidad cual es el funcionamiento de cada área inmersa en el proceso. Dicha manera, ayuda a evitar errores muy peligrosos al momento de poner en marcha el nuevo sistema implementado; los mismos que pueden ser accidentes laborales o pérdidas económicas para la industria.
- Antes de realizar un proyecto de automatización industrial en una empresa se debe tener presente la puesta tierra del sistema eléctrico para evitar ruidos y fallos en el sistema automático.

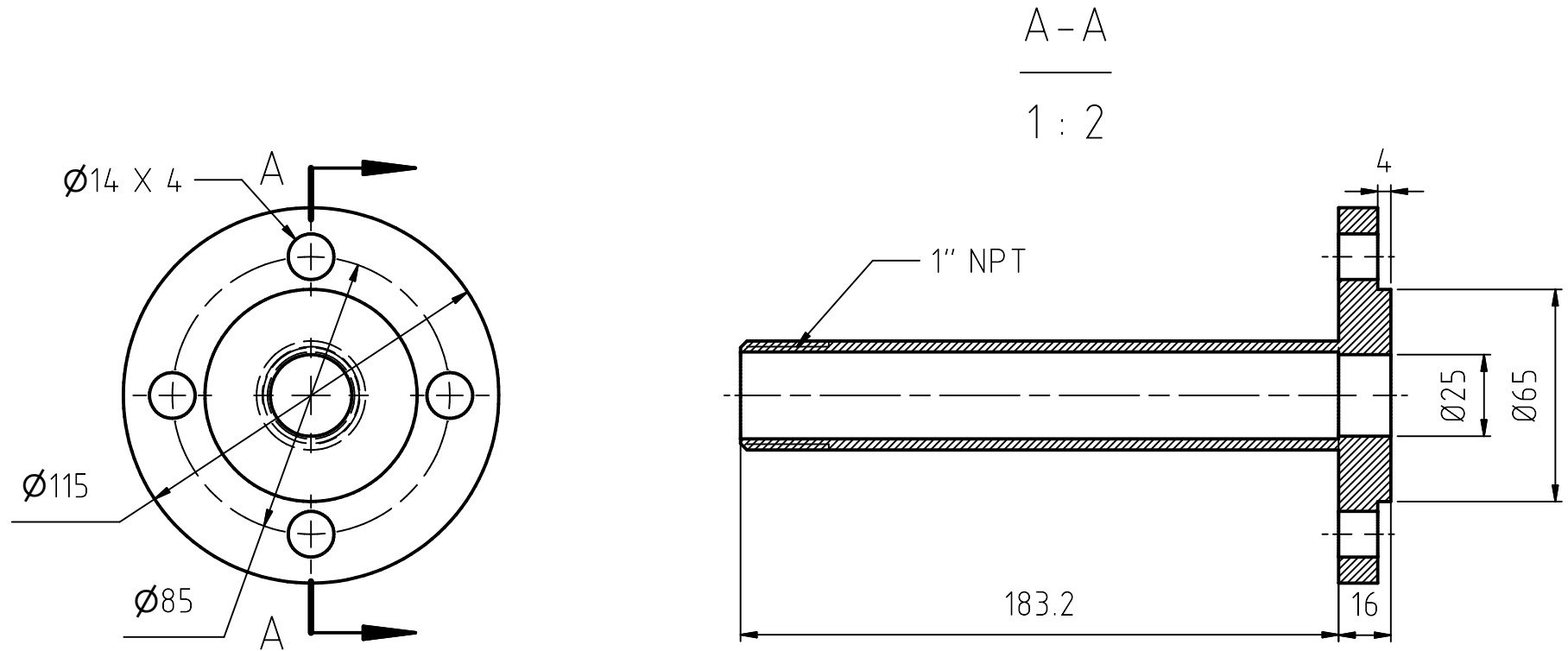
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- "ITCL" Noticias, B. (04 de Septiembre de 2018). *ITCL*. Recuperado el 08 de Abril de 2021, de <https://itcl.es/blog/para-que-sirven-los-sistemas-de-simulacion/>
- Arana, L. X. (2017). Variadores de Frecuencia para el control de velocidad de motores asincronos jaula de ardilla. Quito.
- Ariel, R., & Laura, C. (2018). Parámetros de operación de un hidrociclón para la clasificación de relaves mineros en la UMCL - compañía Minera Milpo S.A.A. Huancayo.
- Blanco, & Andrea, E. (2014). Molienda. En *Introducción a la mineralurgia* (pág. 15). Cantabria: Universidad de Cantabria.
- Bravo Galvéz, C. A. (2003). Manual de Molienda y Clasificación. Casapalca.
- Cedeño, C. (2020). Diseño de supervisor trifásico contra caída de fase. Parte I. Caracas.
- Chávez, M., & Jaigua, D. (2017). Rediseño e implementación de las instalaciones eléctricas para los laboratorios de la carrera de ingeniería electromecánica en la universidad técnica de cotopaxi cumpliendo las normativas regionales vigentes. Latacunga.
- CHINT. (2019). Catálogo General. Zhejiang, CHINA.
- CHINT. (s.f.). *CHINT Empower the world*. Recuperado el 01 de DICIEMBRE de 2020, de <https://www.chint.eu/productos>
- Currie, J. M. (1990). *Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales*. McGRAW-HILL.
- GENIUS. (2020). *Supervisor Trifásico GENIUS*. Recuperado el 01 de Diciembre de 2020, de http://www.maresa.com/pdf/12%20reles%20electronicos%20supervision%20y%20control/p%2012-1_2_18_19%20supervisores%20trif%C3%A1sicos%20serie%20genius.pdf
- Grados Material Mundial. (s.f.). *Acero Inoxidable AISI 304 Ficha Técnica, Propiedades, Densidad, Dureza*. Recuperado el 10 de Abril de 2021, de <https://www.materialmundial.com/acero-inoxidable-ss-astm-sae-aisi-304-ficha-tecnica/#:~:text=El%20SS304%20tiene%20buena%20procesabilidad,ning%C3%BAn%20endurecimiento%20por%20tratamiento%20t%C3%A9rmico>.
- Guerrero Monsalves, F. (2014). Simulación y Control de un Circuito de Molienda. Concepción.
- INDUSTAY, V. (2016). Apartado 3. En *Instrumentación y Control* (págs. 5-11). Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Infocorrosión. (23 de 06 de 2019). *Infocorrosión*. Recuperado el 10 de 04 de 2021, de <https://infocorrosion.com/index.php/infocorrosion-vip/infocorrosion-recomienda/item/999-cuales-son-los-metales-mas-duros-que-existen>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2001). *Código Eléctrico Nacional*. Quito.

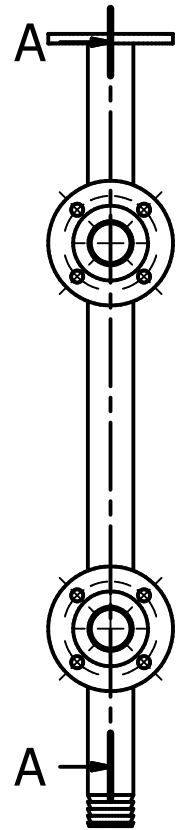
- Junior, V., & Cabrera, Z. (2019). Automatización de un molino de bolas y desarrollo de implementación de un sistema scada para la molienda de cemento en una gran cementera de arequipa. Arequipa.
- Lima Yanque, M. H. (2016). *Control y monitoreo de la carga de mineral en los molinos de bolas en un proceso de molienda convencional - caso planta concentradora de cobre*. Arequipa.
- Lledo, G. L. (2006). AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA INDUSTRIAL. Alicante: Universidad de Alicante.
- Loja, M. R. (2007). Automatización de la estación satelital del observatorio astronómico de Quito. Quito.
- López, A., & Viteri, G. (2010). Aplicación de fusibles e interruptores termo- magnéticos. Guayaquil.
- Mariano. (23 de 06 de 2011). *Blogger*. Recuperado el 10 de 05 de 2021, de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/poliuretano.html>
- Mogrovejo, J. (2017). *Proyecto de monitoreo, supervisión en molienda y flotación en la planta metalúrgica Antonio Raymondí con software especializado*. Arequipa.
- Niño Martínez, C. (2019). DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE RELAVES APLICADO AL REQUERIMIENTO DE UNA OPERACIÓN MINERA. Piura.
- Padilla, E. (1999). Aplicaciones de los Aceros Inoxidables. *Revista del instituto de investigación de la facultad de geología. Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, II(3), 1.
- Peru, F. (2015). *FAMINGPeru Fabricación de equipos para minería*. Recuperado el 01 de Julio de 2020, de <http://www.famingperu.com/>
- POWTRAN. (s.f.). *PI500 INVERTER FREQUENCY*. Recuperado el 01 de DICIEMBRE de 2020, de <https://www.powtran.com/>
- PublicaTIC. (23 de Octubre de 2018). *PublicaTIC*. Recuperado el 02 de Diciembre de 2020, de <https://blogs.deusto.es/master-informatica/una-vista-global-a-los-sistemas-de-control-industrial/>
- Rodríguez, J., Carda, L. M., & Bezos, R. (2014). *Automatismos Industriales*. España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Senner, A. (1994). *Principios de electrotecnia*. Barcelona: Reverté S.A.
- Sepúlveda, A. B. H. (2018). Diseño del proceso de fabricación de una pieza fundida, Lifter molino SAG. Santiago de Chile.
- SESCO. (s.f.). *PPC SESCO*. Recuperado el 23 de 04 de 2021, de <https://ppcsesco.com/producto/valvulas-manuales-automaticas-on-off-y-control-modulante-de-bola/>

- Shicheng Gaoxuan Bearing Bush Co., L. (2008). Molinos de bolas de molienda máquina de aplastado las partículas minerales en polvo.
- Silva Balocchi, M. A. (2013). Variables Operacionales y su influencia en la operación, pro optimización del consumo energetico en la molienda sag. Santiago de Chile.
- Smith, C., & Corripio, A. (1991). *Control automático de procesos teoría y práctica*. Mexico DF: Limusa S.A.
- Southern Copper. (s.f.). *Southern Copper*. Recuperado el 06 de 05 de 2021, de <http://www.southernperu.com/ESP/opinte/Pages/PGGlosario.aspx#u>
- UNITRONICS. (s.f.). *PLC+HMI TODO EN UNO*. Recuperado el 01 de DICIEMBRE de 2020, de <https://www.unitronicsplc.com/>
- Varela Escobar, F. E. (2019). Estrategia de mantenimiento y propuesta de innovación para baterías de hidrociclón en las plantas concentradoras. Valparaíso.
- Vassaux Castro, L. P. (2007). Instalacion de equipos de pesaje en banda transportadora para totalizar la producción de productos terminados. Guatemala.
- Vergara, D. F. (2018). Ley de Minería. Quito.
- VOGT, E. e. (2015). *Bombas centrífugas de pulpa*. Santiago de Chile.
- Waganoff, N. (1956). *Trituracion - Molienda y Separacion de Minerales*. Buenos Aires: ALSINA.

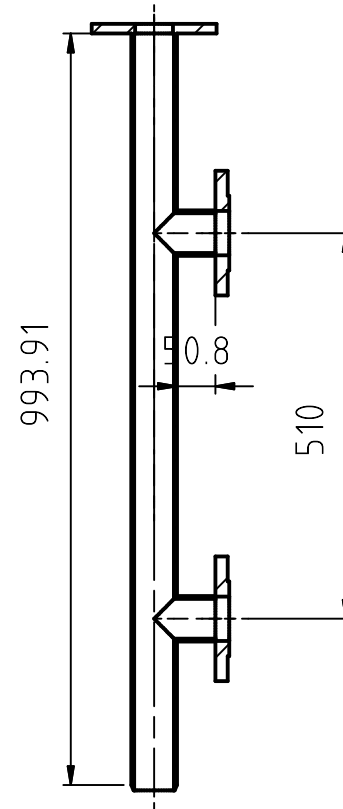
ANEXOS



----	3		Acero 1304	s/n	----
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
		Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
Dibujado	27/04/2021	Panama L Rojas C.			
Comprobado	06/07/2021	Ing. Castillo			
Diseño Plegadora de Carton					
Escala: 1:2	Top. gen.: 1	Subconjunto:			
Lámina: 1		Acople Flujo de Agua			

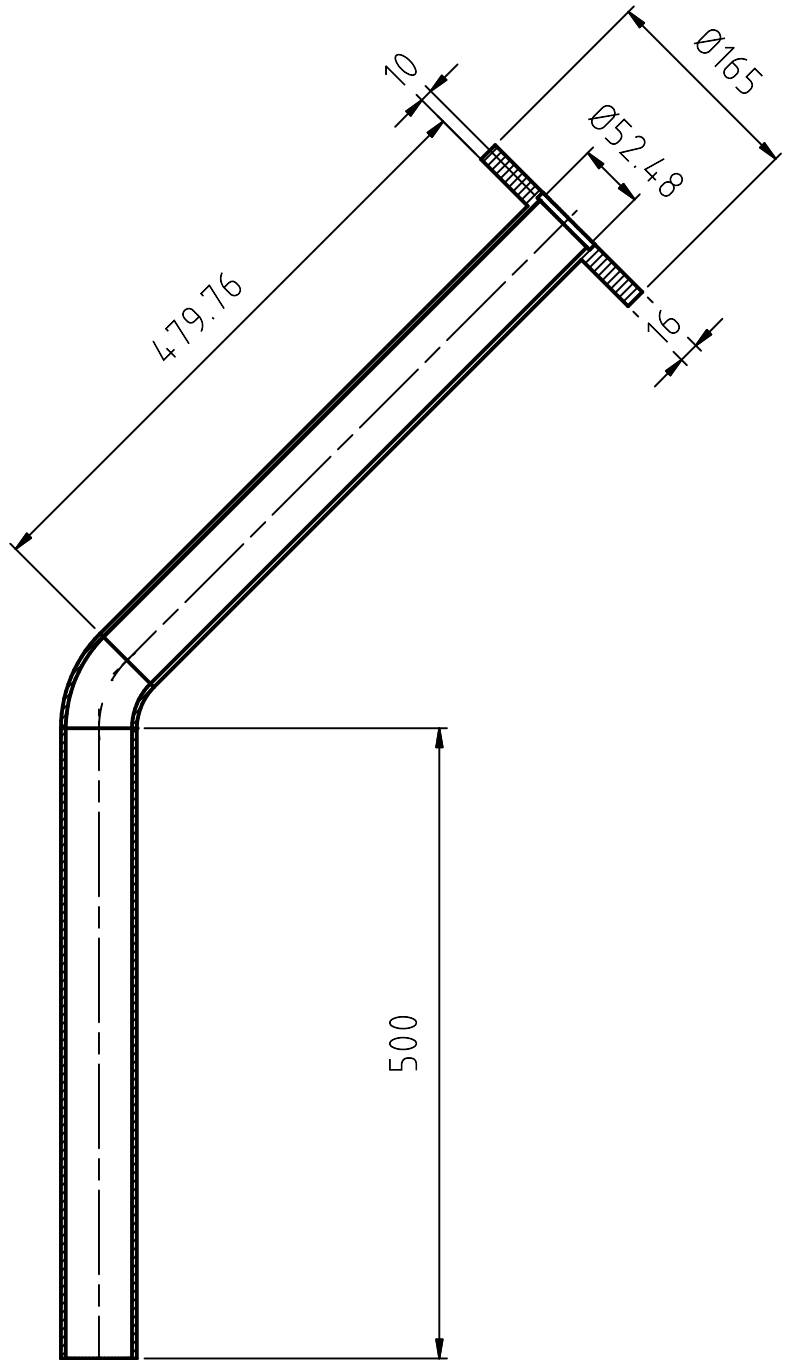
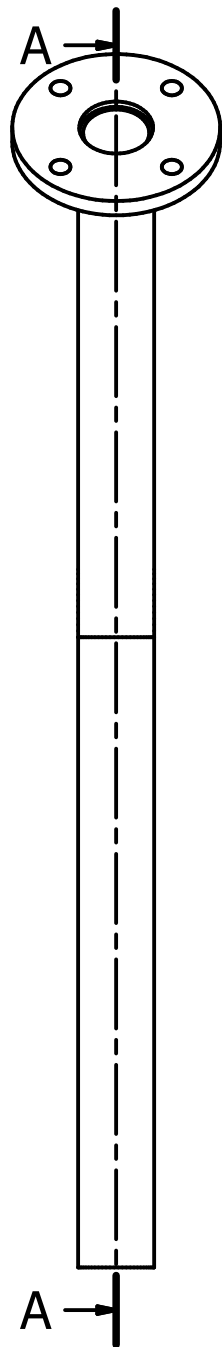



A-A (1 : 10)

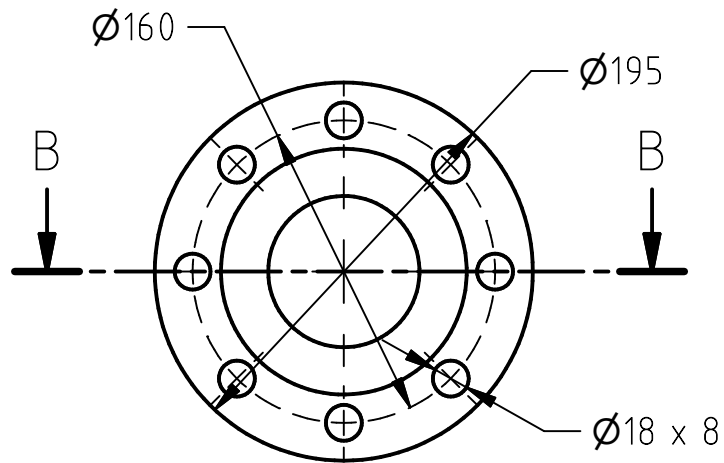


----	1		Acero I 304	s/n	----
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
		Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
Dibujado	11/05/2021	Panama L Rojas C			
Comprobado	06/07/2021	Ing. Castillo			
Diseño Plegadora de Carton					
Escala: 1:6	Top. gen.: 1	Subconjunto:			
Lámina:	2	Acople Sensor Densidad			

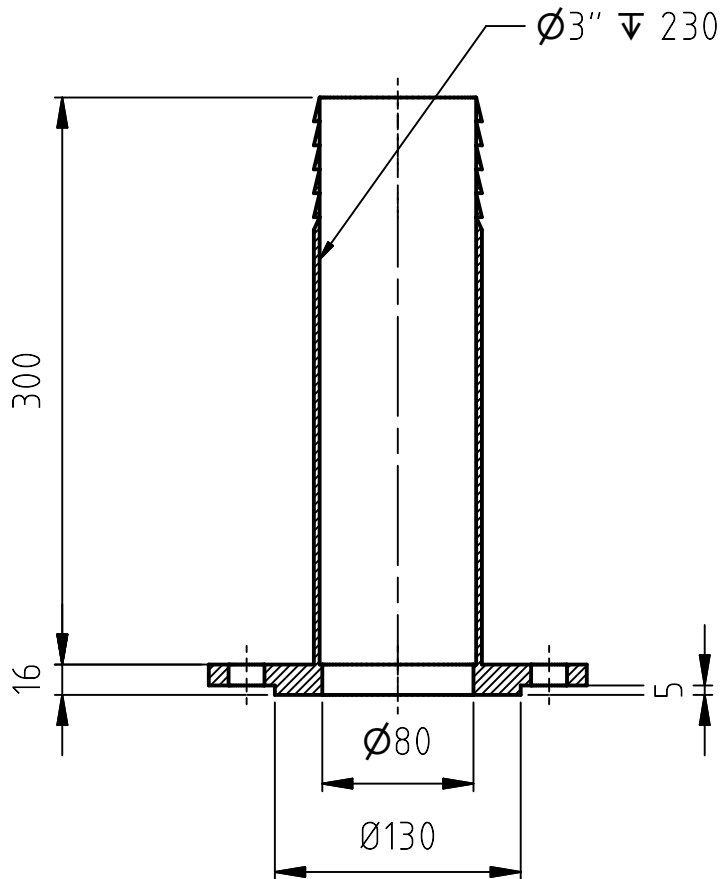
A-A (1 : 6)



----	2			A Inoxidable. 304	s/n	----
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
		Fecha	Nombre	 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p>		
Dibujado	27/04/2021	Panama L. Rojas C.				
Comprobado	06/07/2021	Ing. Castillo				
Diseño Plegadora de Carton				INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Escala: 1:2	Tol. gen.: ±0.1	Subconjunto:				
Lámina:	3	Acople Bombas				

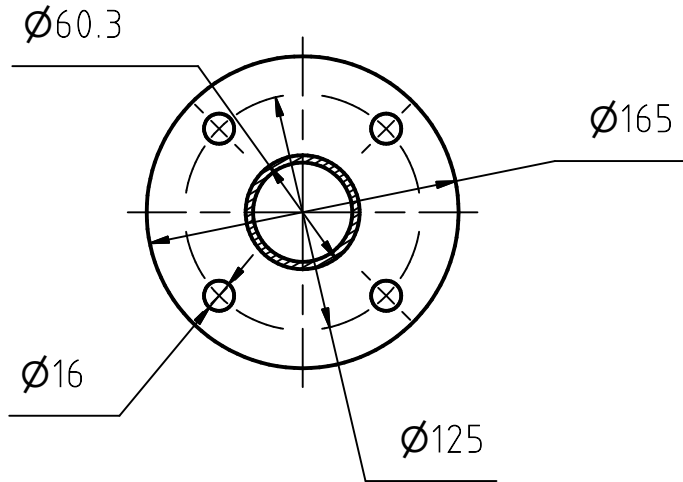


B-B (1 : 4)

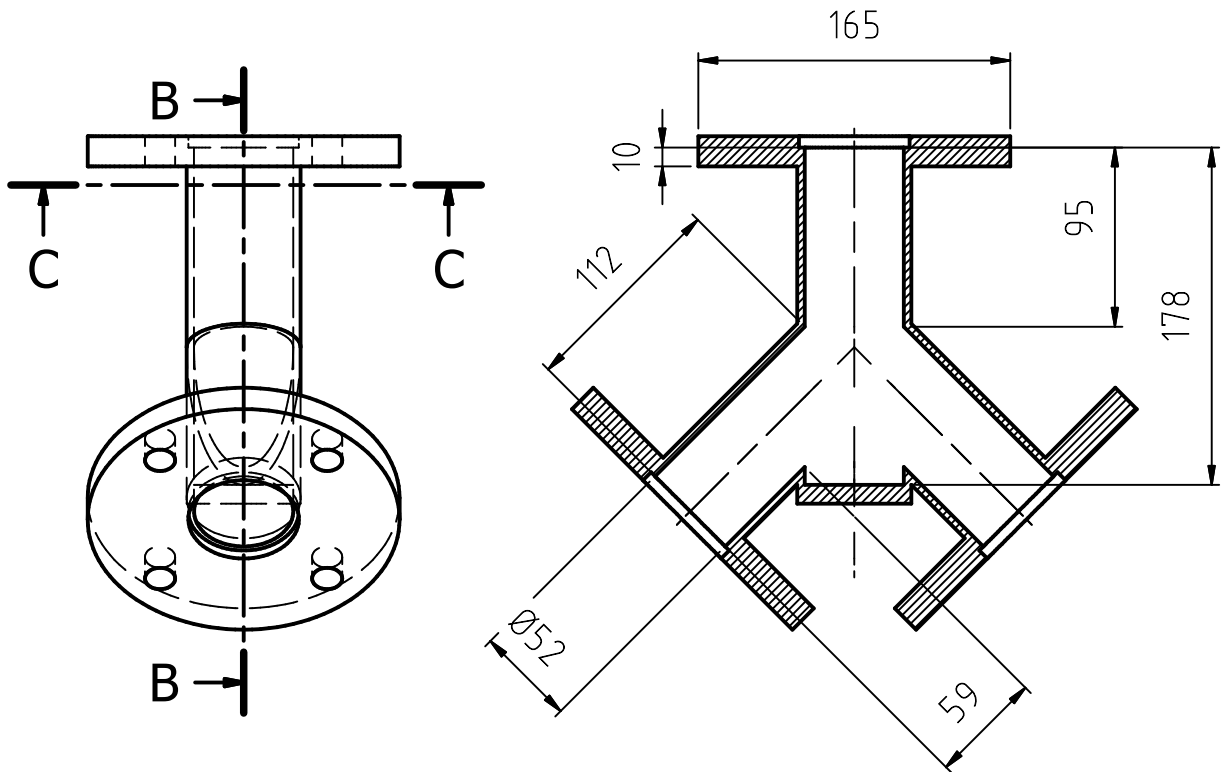


----	2			A. Inox 304	s/n	----
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
		Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA	
Dibujado	03/05/2021	Panama L. Rojas C.				
Comprobado	06/07/2021	Ing. Castillo				
Diseño Plegadora de Carton				INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Escala:	1:4	Tol. gen.:		Subconjunto:		
Lámina:	4	Acople Flujo de Pulpa				

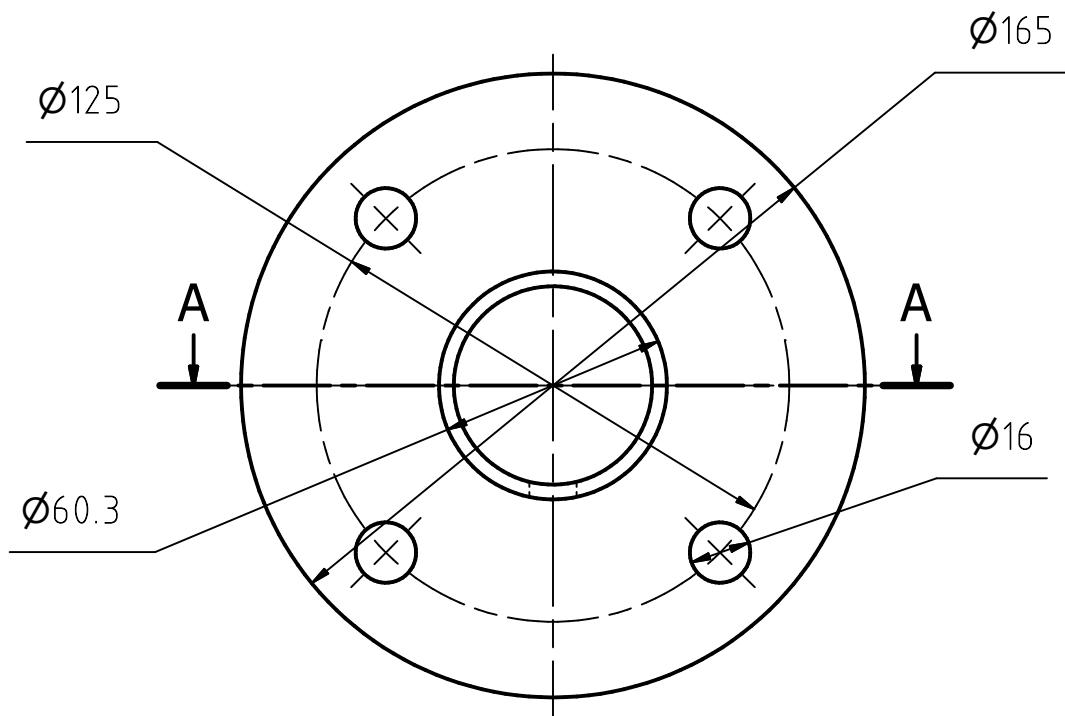
C-C (1 : 4)



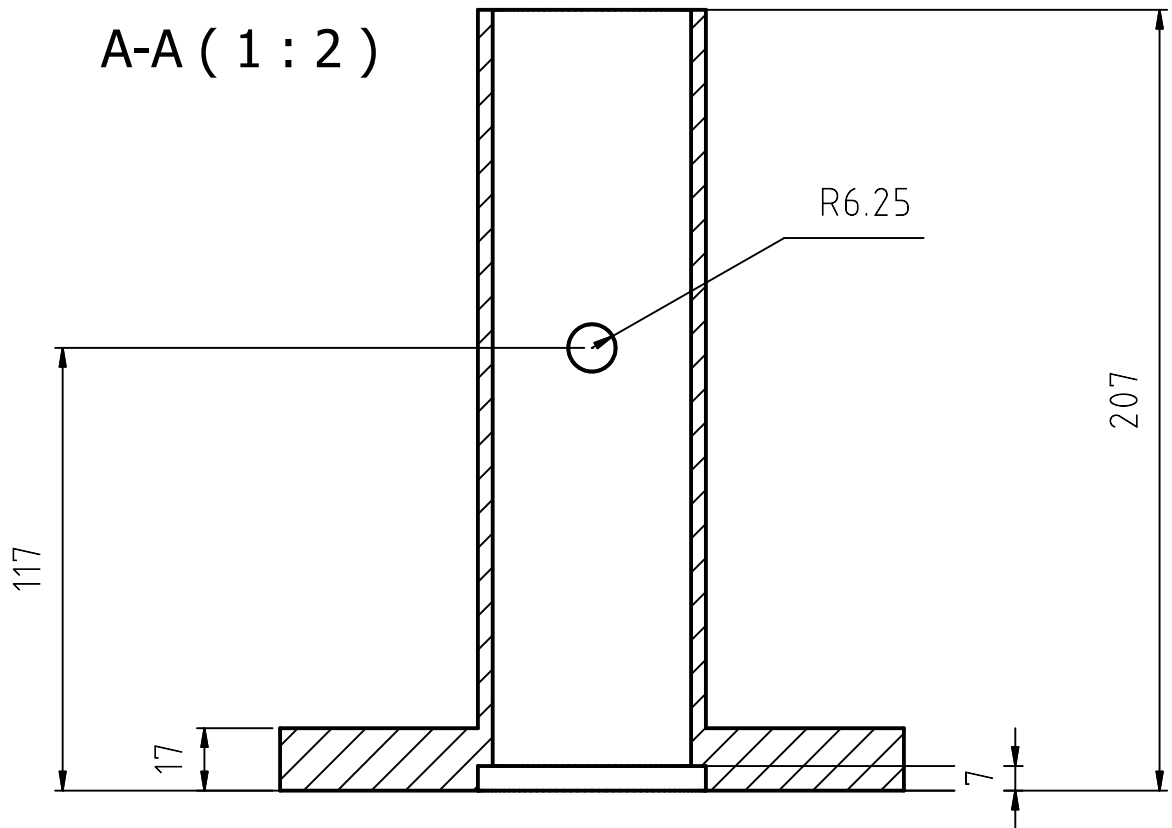
B-B (1 : 4)



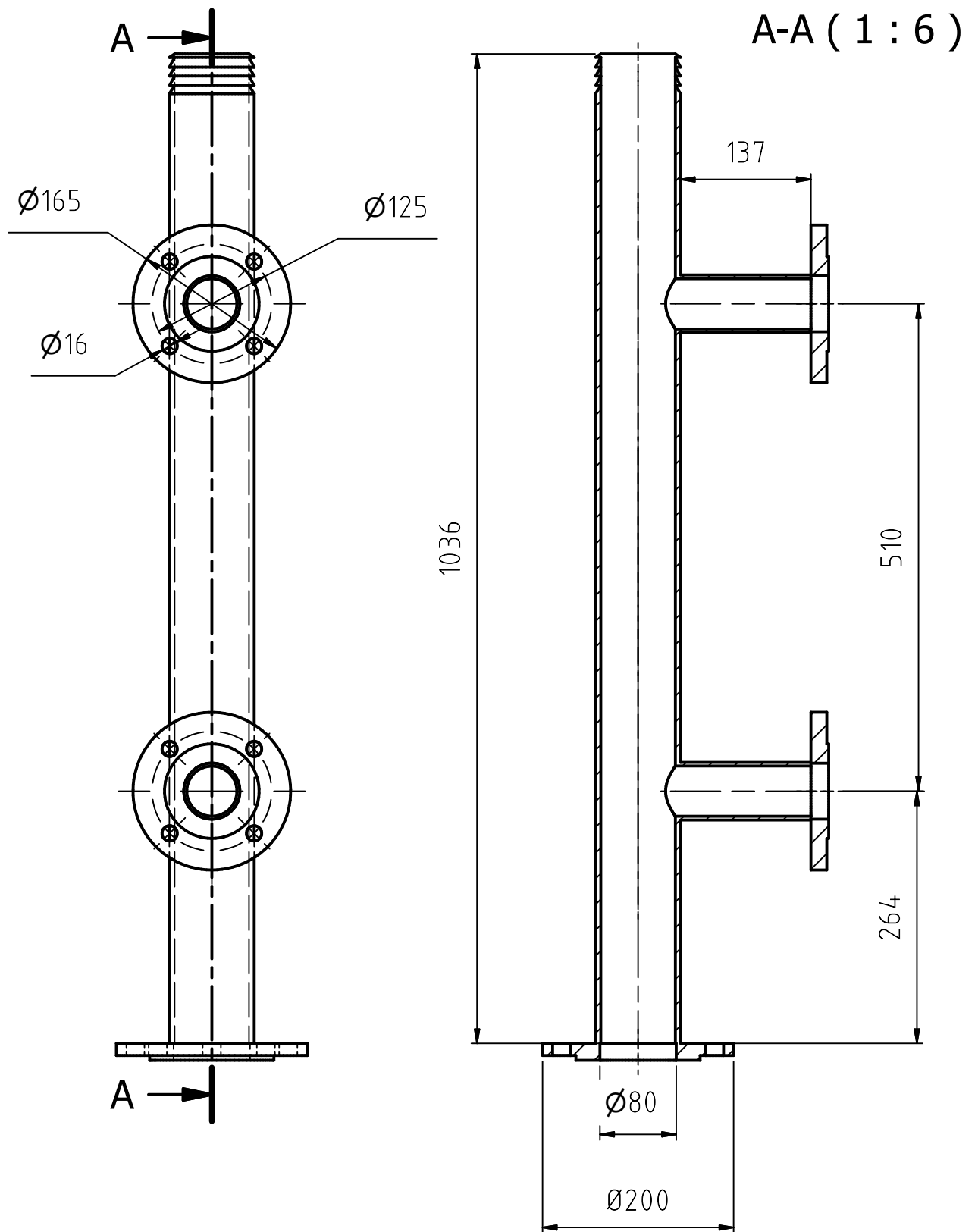
----	1		A. Inox 304	s/n	----
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
		Fecha		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA	
Dibujado	10/05/2021	Panama L. Rojas C.			
Comprobado	06/07/2021	Ing. Castillo			
Diseño Plegadora de Carton			INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Escala:	1:4	Top. gen.:	Acople tipo " Y "		
Lámina:	5	Subconjunto:			




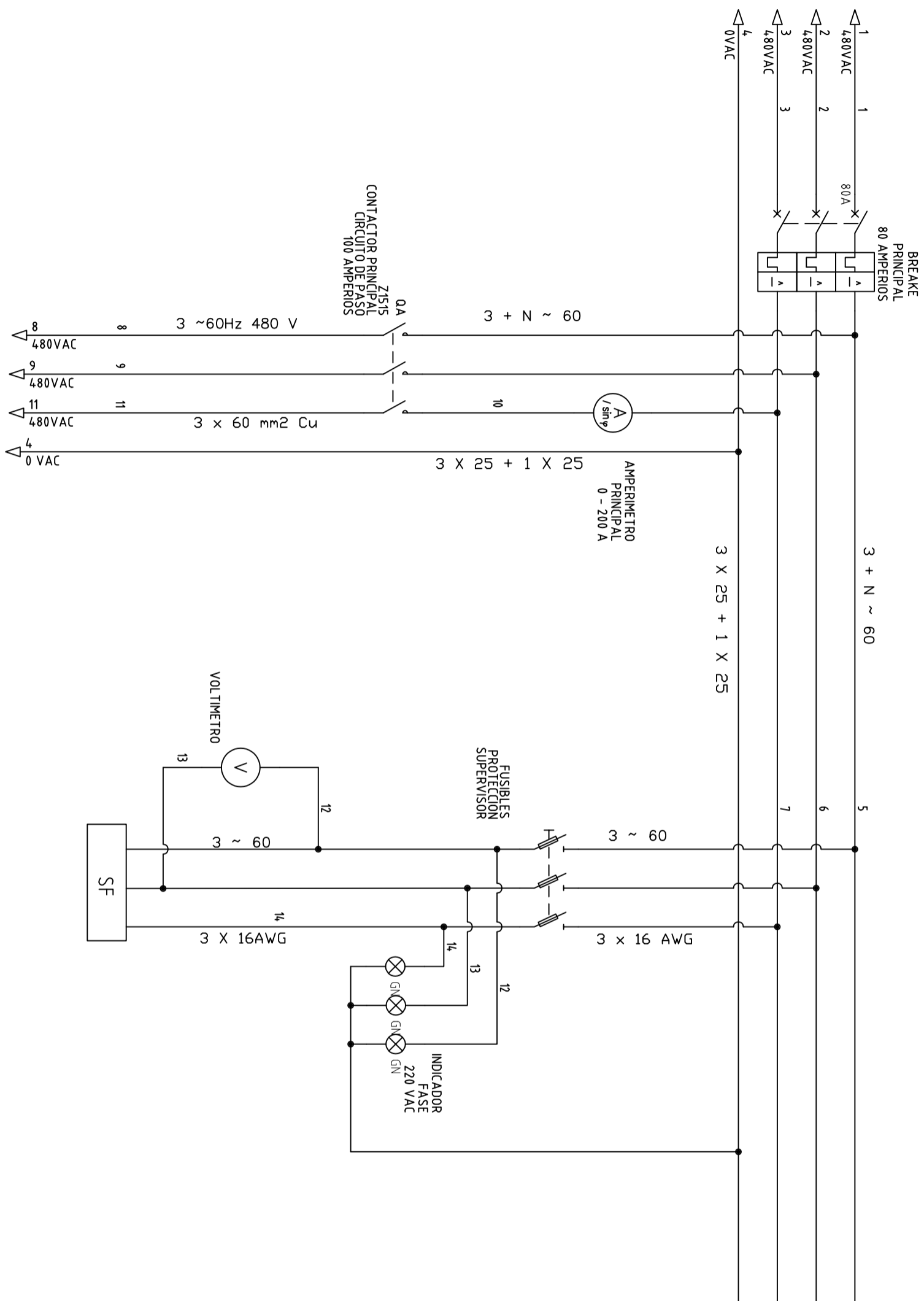
A-A (1 : 2)




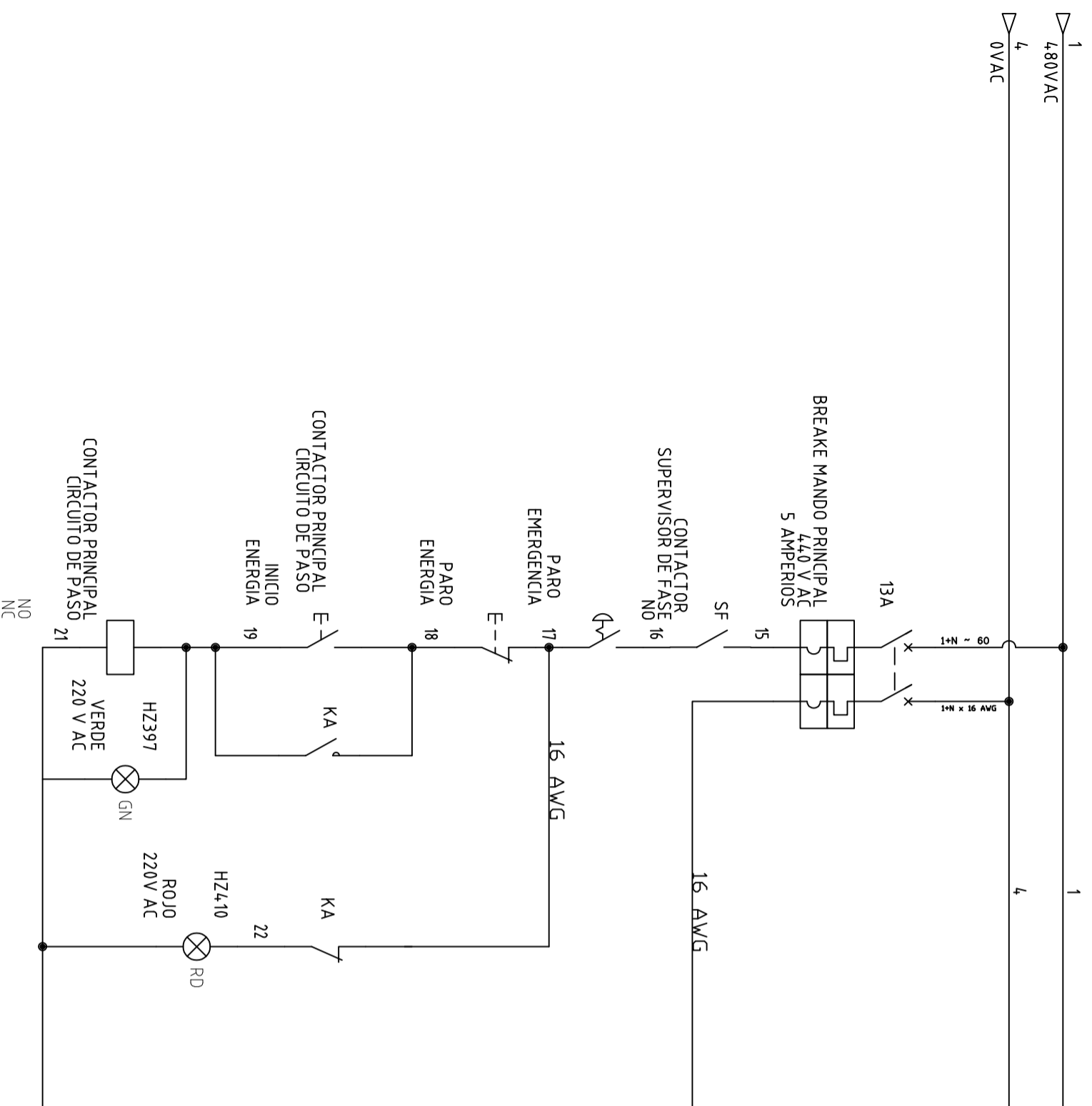
----	1			A. Inox 304	s/n	----
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
		Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
	Dibujado	06/07/2021	Panama L. Rojas C			
	Comprobado	0607/2021	Ing. Castillo			
Diseño Plegadora de Carton						
Escala:	Tol. gen.:		Subconjunto:			
1:2	6		Acople sensor Presion			
Lámina:	6					



----	1			A. Inox 304	s/n	----
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
		Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA		
Dibujado	11/05/2021	Panama L. Rojas C.				
Comprobado	06/07/2021	Ing. Castillo				
Diseño Plegadora de Carton				INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica		
Escala: 1:6	Tpl. gen.: 5	Subconjunto:				
Lámina:	7	Acople sensor densidad 3"				



Circuito Principal		IEC 60617	
Pos. Cant.	Denominación	Material	Norma
	Fecha	Nombre	Notas
Dibujado	08/05/2021	Panama L. Rojas C.	
Comprobado			
Diseño Plegadora de Carton		 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica</p>	
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:	
		CIRCUITO DE PASO	
Lámina:	1/11		



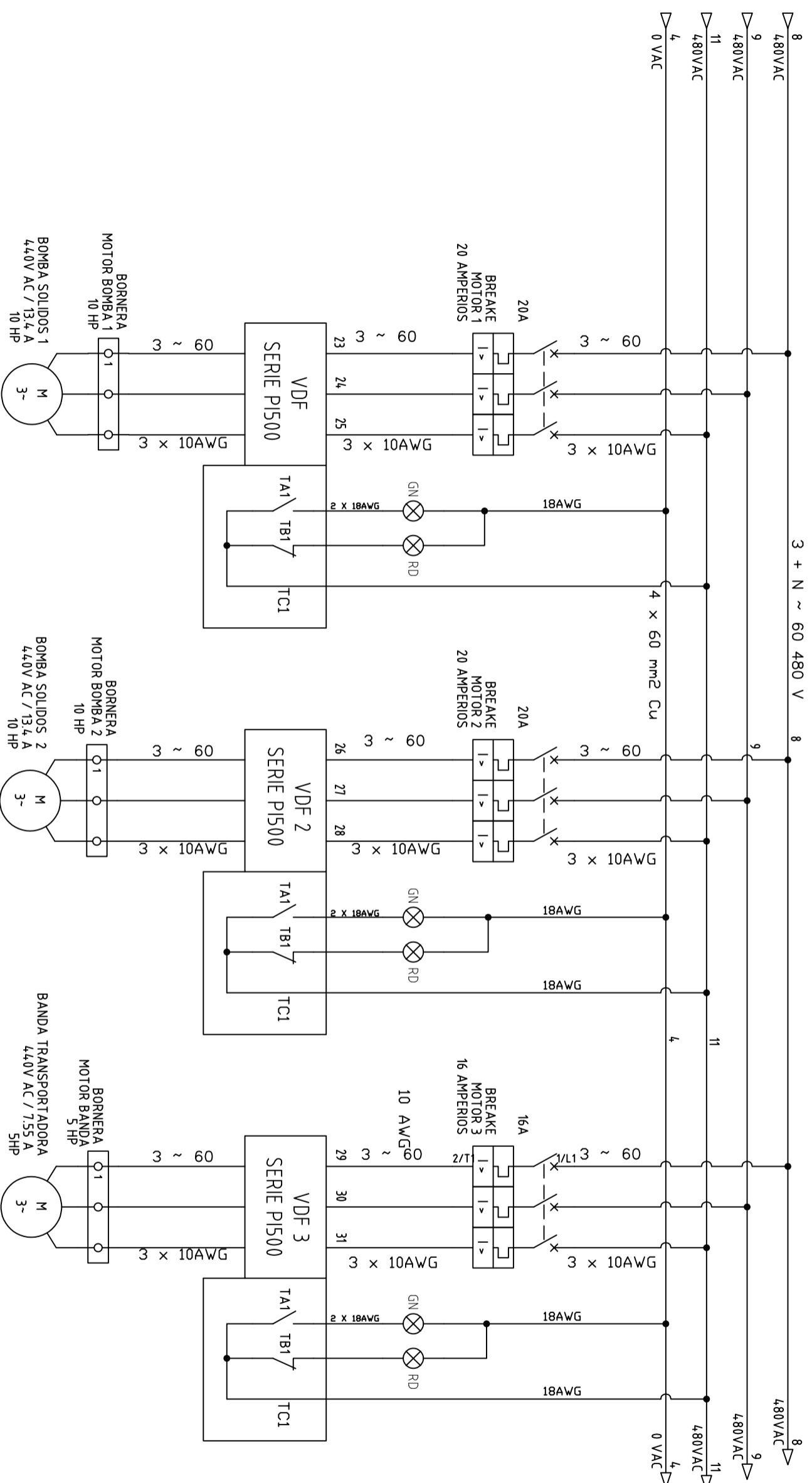
Pos.	Cant.	Fecha	Nombre	Material	Norma	Notas
		08/05/2021	Panama L. Rojas C.			
Comprobado						
Diseño Plegadora de Carton						
Escala: Tol. gen.: Subconjunto:						
Lámina: 2/11						
CIRCUITO DE MANDO PRINCIPAL						



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**
SEDE MATRIZ CUENCA

INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

IEC 60617



Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
		Circuito Principal		IEC 60617	

Dibujado	08/05/2021	Nombre	Panama L. Rojas C.
Comprobado			



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE MATRIZ CUENCA

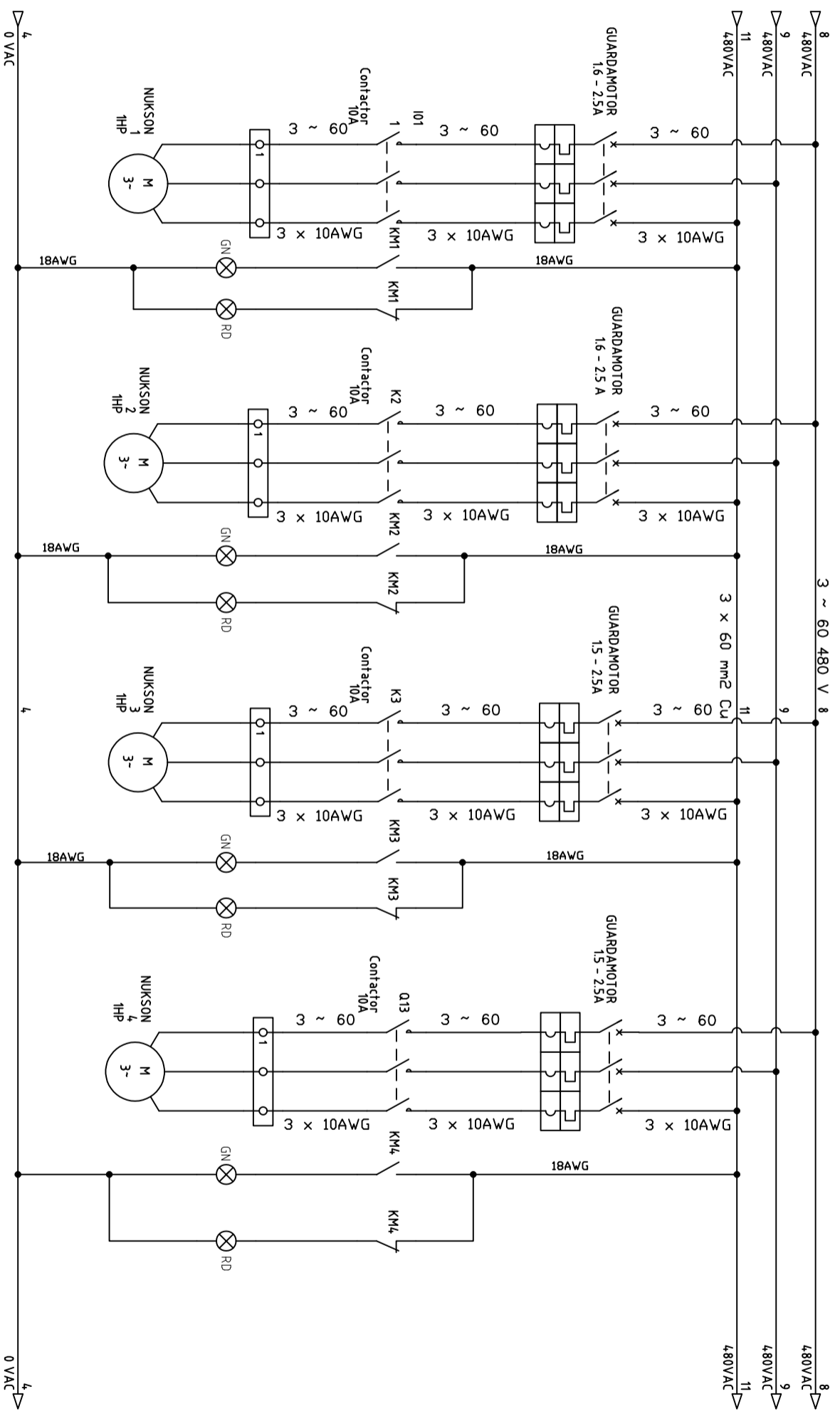
INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica


Diseño Plegadora de Carton

Subconjunto:

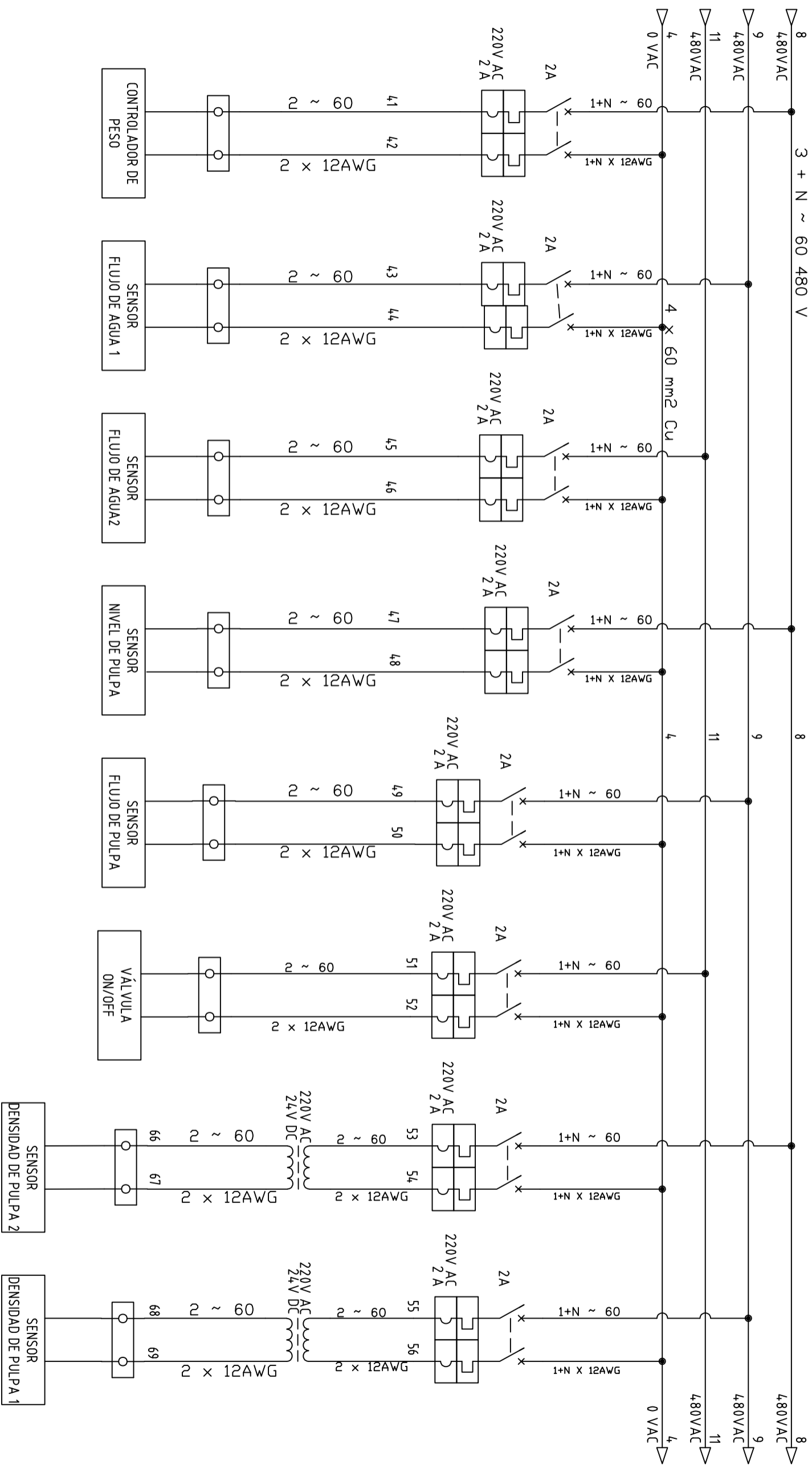
Escala: Tol. gen.:
Lámina: 3/11

CIRCUITO DERIVADOS MOTORES




Circuito Principal		IEC 60617	-----
Pos. Cant.	Denominación	Material	Norma
	Fecha	Nombre	Notas
Dibujado	08/05/2021	Panama L. Rojas C.	
Comprobado			
Diseño Plegadora de Carton		 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p>	
Escala: Tol. gen.:		INGENIERÍAS	
Lámina: 4/11		Carrera de Ingeniería Mecatrónica	

CIRCUITO DERIVADOS NUKSON



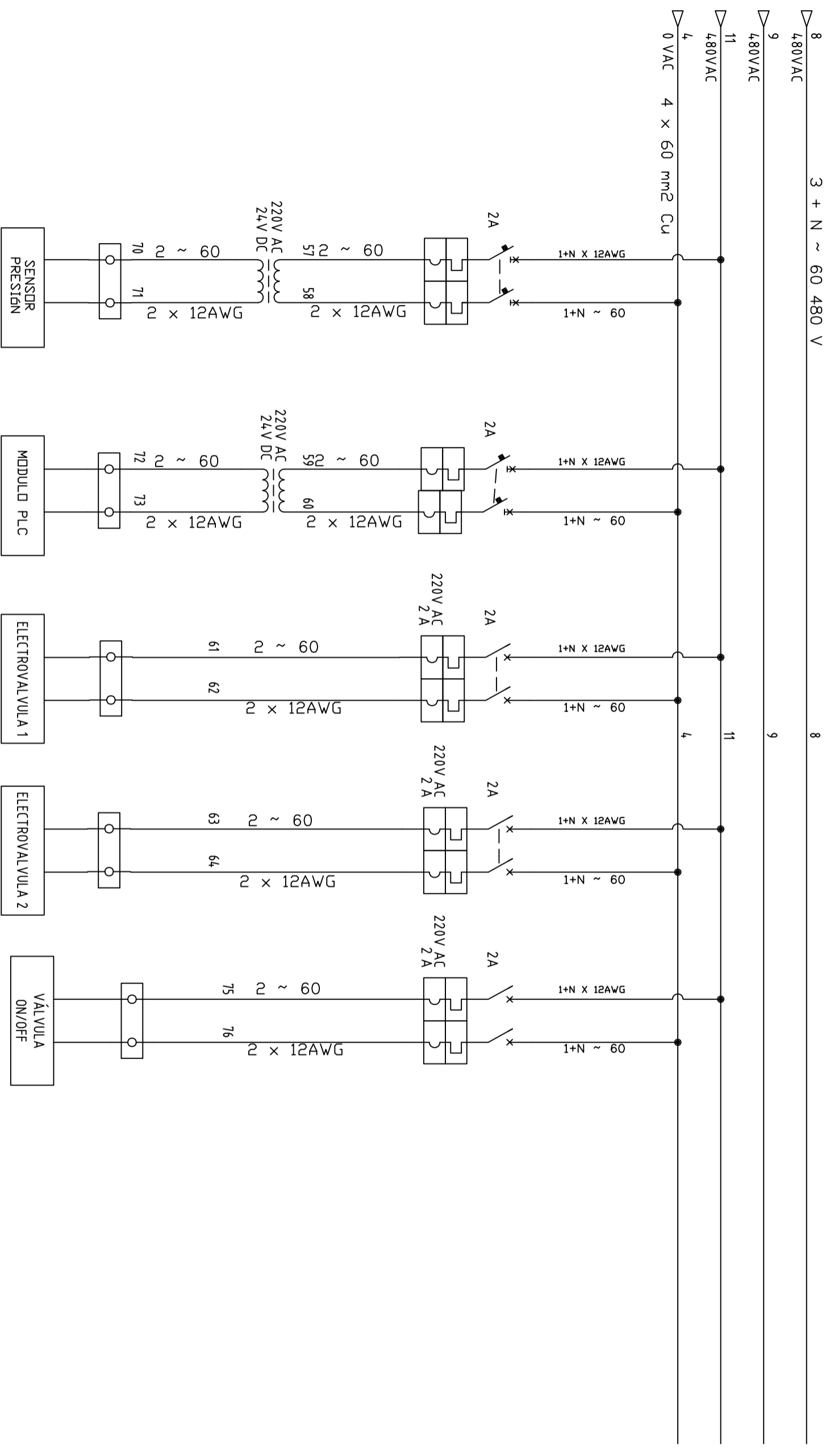
Circuito Principal		Material	IEC 60617	Notas
--------------------	--	----------	-----------	-------

Pos. Cant.	Denominación	Fecha	Nombre	Material	Norma	Notas
		08/05/2021	Panama L. Rojas C.			
Dibujado				 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica</p>		
Comprobado						

Diseño Plegadora de Carton	
-----------------------------------	--

Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:

Lámina:	CIRCUITOS DERIVADOS SENSORES
5/11	



Circuito Principal

IEC 60617

Pos. Cant. Denominación

Material Norma Notas

Fecha

Nombre

Dibujado

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA

Comprobado

INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Diseño Plegadora de Carton

Subconjunto:

CIRCUITOS DERIVADOS SENSORES

Escala: Tol. gen.:

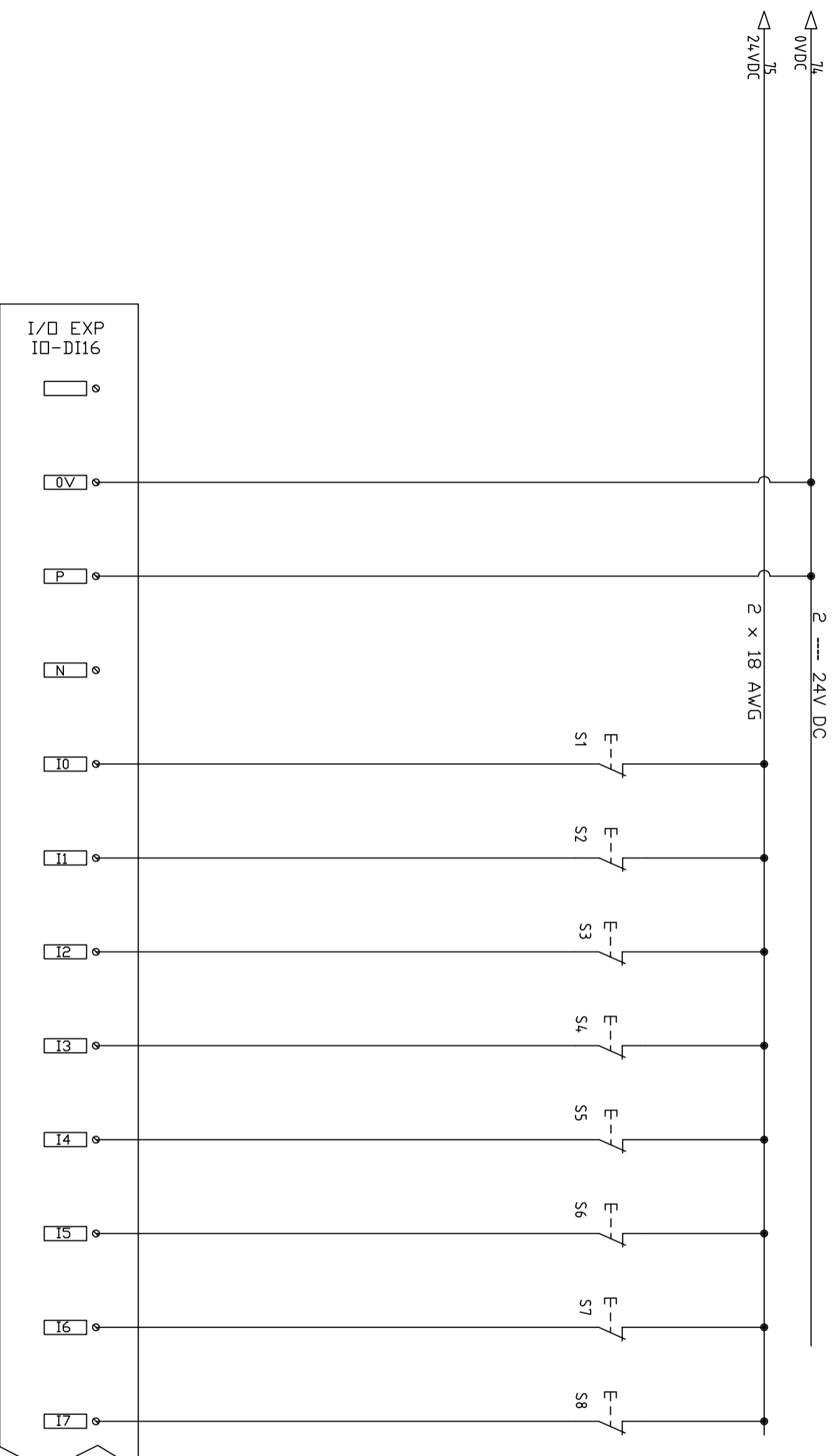
Lámina: 6/11




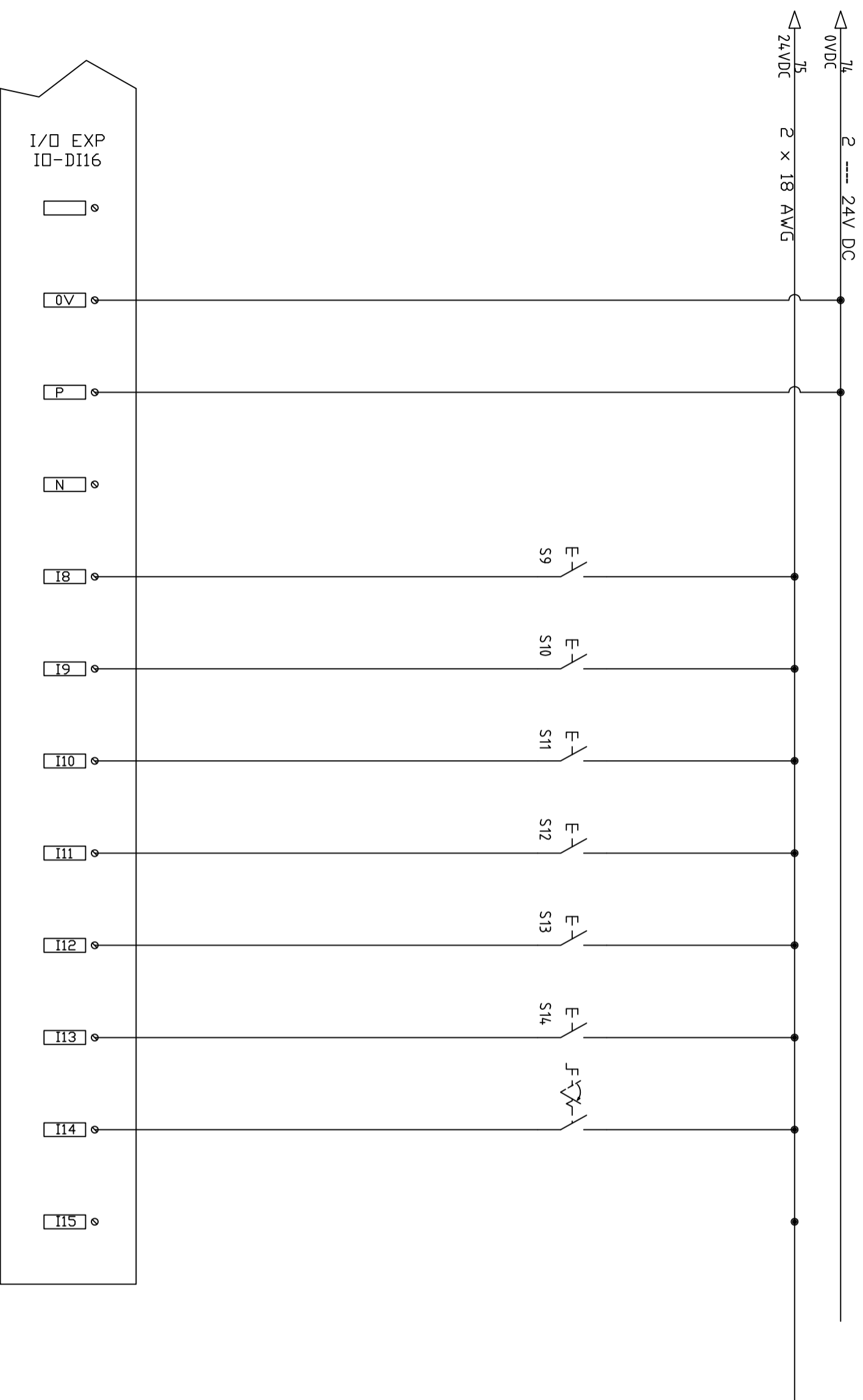
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA


INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica

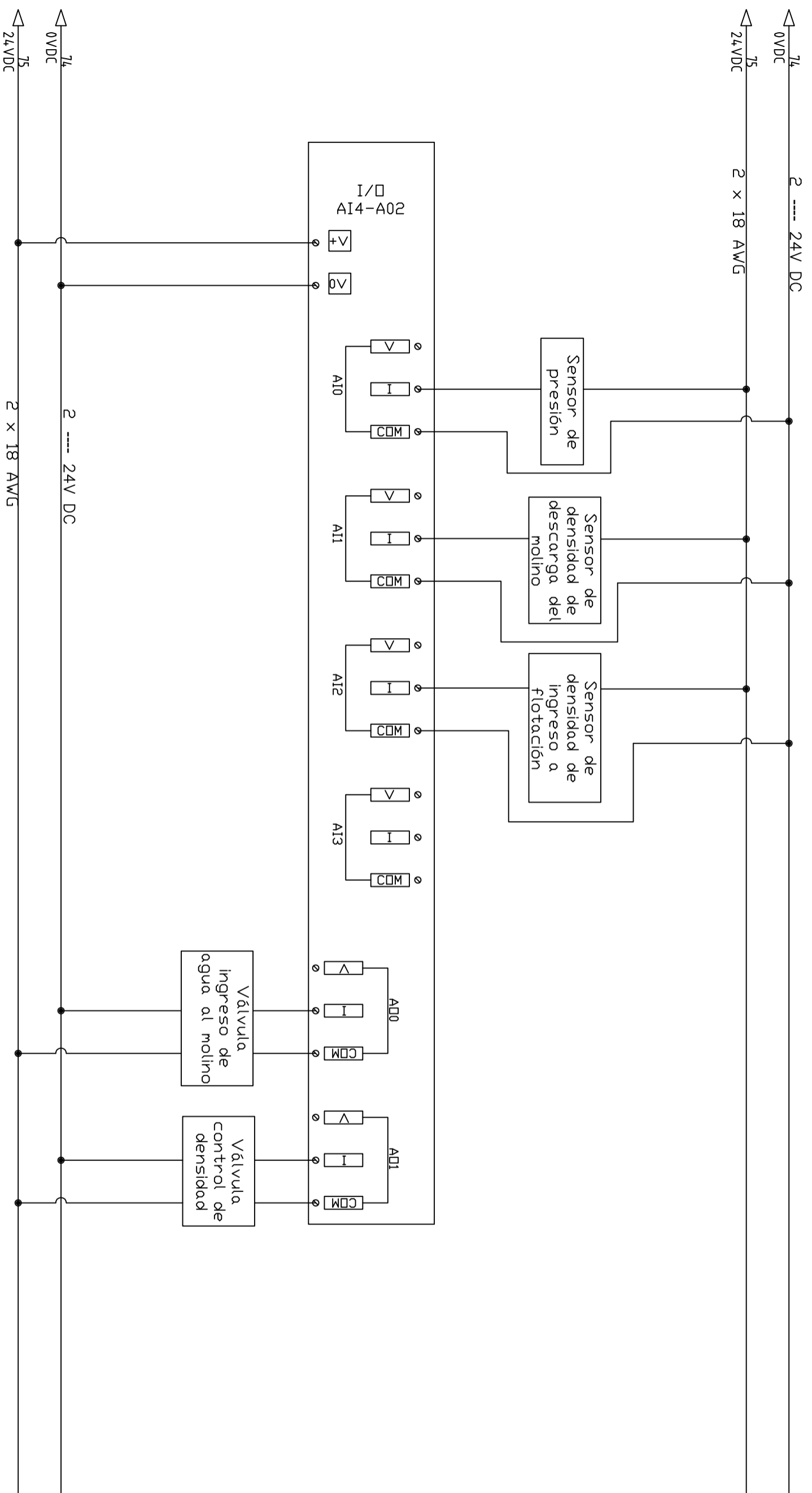
CIRCUITOS DERIVADOS SENSORES




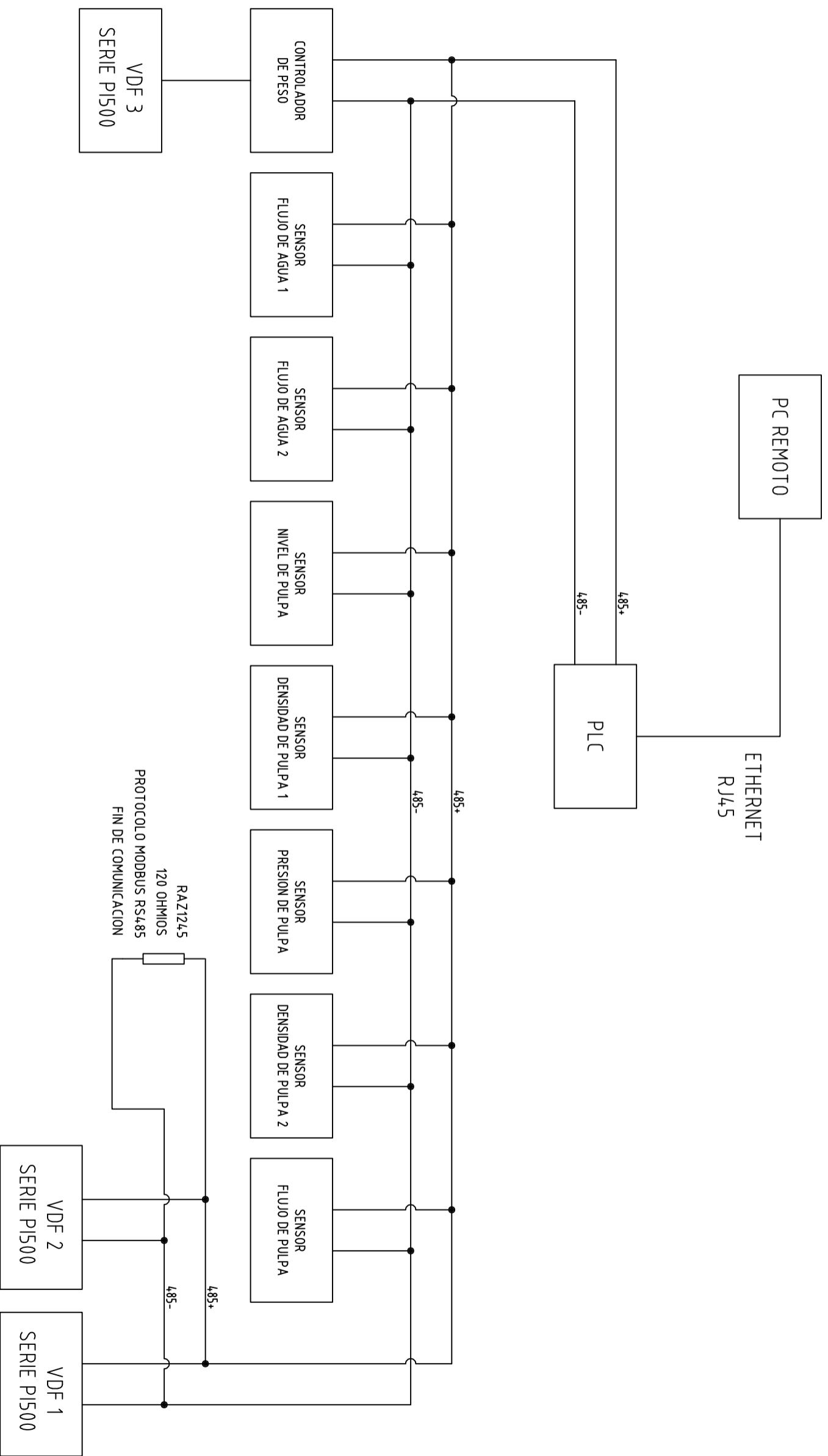
Circuito Principal		IEC 60617	-----
Pos. Cant.	Denominación	Material	Norma
	Fecha	Nombre	Notas
Dibujado	08/05/2021	Panama L. Rojas C.	
Comprobado			
Diseño Plegadora de Carton		 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica</p>	
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:	
Lámina:	7/11	CIRCUITOS ENTRADAS PLC	




Circuito Principal		IEC 60617	
Pos. Cant.	Denominación	Material	Norma
	Fecha	Nombre	Notas
Dibujado	08/05/2021	Panama L. Rojas C.	
Comprobado			
Diseño Plegadora de Carton		 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica</p>	
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:	
		CIRCUITOS ENTRADAS PLC	
Lámina:	8/11		



Circuito Principal		IEC 60617	-----
Pos. Cant.	Denominación	Material	Norma
	Fecha	Nombre	Notas
Dibujado	08/05/2021	Panama L. Rojas C.	
Comprobado			
Diseño Plegadora de Carton		 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica</p>	
Escala: Tol. gen.:		Subconjunto:	
Lámina: 10/11		CONEXION MODULO ANALOGICO	



Circuito Principal		IEC 60617	-----
--------------------	--	-----------	-------

Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
Dibujado	08/05/2021	Nombre Panama L. Rojas C.	 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA</p> <p>INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica</p>		
Comprobado					

Diseño Plegadora de Carton	
----------------------------	--

Subconjunto:	
--------------	--

Escala:	Tol. gen.:
---------	------------

Lámina:	11/11
---------	-------

RED DE COMUNICACION RS 485