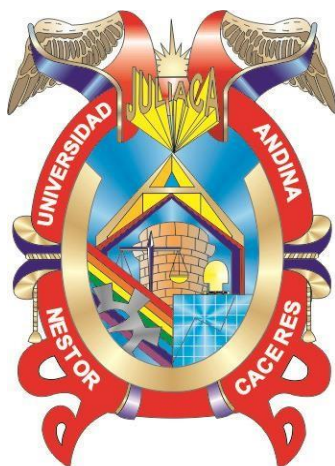




UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRÓNICO

JULIACA – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRÓNICO

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:


PRESIDENTE


Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

PRIMER MIEMBRO


Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

SEGUNDO MIEMBRO


MSc. ABELARDO LEON MIRANDA

ASESOR DE TESIS


MSc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

: TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN – P21



RESOLUCIÓN DECANAL N° 885-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 29 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 11315 presentado por el (la) Bachiller: EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN** para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Mgirt. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- * **1er Miembro** : Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN
- * **2do Miembro** : MSc. ABELARDO LEON MIRANDA

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, MSc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA.

ARTICULO TERCERO . - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Viernes 13 de setiembre del 2024
- * **HORA** : 10:00 a.m.
- * **LUGAR** : Aula 205 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Edwin Pacillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (-)



"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 286-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 09 de mayo del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-P-0777, presentado por el señor (a) EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 292 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 016 -2024 del integrante del comité de investigación EPIM de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) estudiante: EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI ha presentado su propuesta de investigación Titulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Ing. Adwar Ranulfo Sanchez Carreón de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 016 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, presentado por el o (la) Bachiller: EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, con el Tema Titulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



Dr. Elrain Pajillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2024
Interesado (a)



"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 748-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 05 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 8063 por el señor (a): **EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 642 - 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 004 - 2024 del integrante del comité de investigación **EPIM** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) **Titulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Ing. Adwar Raulfo Sanchez Carreón** de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 004 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) **titulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico, con el Tema **Titulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **la)**, **M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCÁ
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Efraín Porfirio Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS


1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	5%
2	es.maxwell-fa.com Fuente de Internet	1%
3	dokumen.pub Fuente de Internet	<1%
4	www.scielo.org.co Fuente de Internet	<1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
6	tesis.ipn.mx Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.utp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1%



Metadatos complementarios



TÍTULO DE LA TESIS	
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70112499
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-6979-9455
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	16660865
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-3158-198X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02064066
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	ABELARDO LEON MIRANDA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40198643

Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN – P21
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: Puno Distrito: Puno</p> <p>Coordenadas: Latitud: -15.8416446 Longitud: -70.0247757</p> <p>https://maps.app.goo.gl/G4R1SQbdLE21foYd8</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Mayo 2024 – Setiembre 2024
URL de disciplinas OCDE	<p>Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01</p> <p>Sistemas de automatización, Sistemas de control https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.03</p>
	<p>https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</p>

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI, identificado con DNI
Nro. 70112499 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
 Programa de Segunda Especialidad,
 Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA MECATRÓNICA

informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación**, **Trabajo Académico**
denominada:

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL
RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES

Asesorado por: MSc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.


Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 30 de Octubre del 2024



Firma del Asesor
(obligatoria)



FIRMA (obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

A mis mentores y profesores, quienes han sido guías y fuentes de inspiración en este viaje académico. Sus enseñanzas y aliento han sido fundamentales en mi desarrollo profesional y personal.

A todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron a que este logro fuera posible. Su influencia y apoyo han marcado una diferencia significativa en mi vida.



AGRADECIMIENTO

Estoy profundamente agradecido a Dios por brindarnos protección continua y no dejarnos en soledad. También deseo expresar mi agradecimiento a mi querido padre y a mi amada madre, ya que su apoyo ha sido fundamental para concluir este proyecto crucial y para mi crecimiento profesional. Además, estoy muy agradecido a mi adorada familia por su continuo respaldo y su amor incondicional durante todo este tiempo.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA iii

AGRADECIMIENTO iv

INDICE GENERAL..... v

ÍNDICE DE FIGURAS viii

ÍNDICE DE TABLAS..... x

RESUMEN xi

ABSTRACT..... xiii

INTRODUCCIÓN..... xiv

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1. 2 Formulación del problema..... 1

 1. 2. 1 Problema general 1

 1. 2. 2 Problemas específicos 1

1. 4 Objetivos de la investigación..... 2

 1. 4. 1 Objetivo general 2

 1. 4. 2 Objetivos específicos..... 2

1. 5 Hipótesis de la investigación 3

 1. 5. 1 Hipótesis general..... 3

 1. 5. 2 Hipótesis específicas 3

1. 6 Variables de investigación 3

1. 7 Operacionalización de variables 4

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS



2.1 Bases teóricas	6
2. 1. 1 Nivel internacional	6
2.1. 2 Nivel nacional	7
2. 2 Definición de términos.....	8
2. 2. 1 Procesos industriales.....	8
2. 2. 2 Tipos de control.....	8
2. 2. 3 Métodos o formas de control	9
2. 2. 4 Transformadores monofásicos	10
2. 2. 5 Proceso de electrodeposición.....	10
2. 2. 6 Controladores lógicos programables	11
2. 2. 7 Sensores industriales.	13
2. 2. 1 Actuadores industriales.	15

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Método de investigación	18
3.2 Ámbito de la investigación.....	18
3.3 Población y muestra	19
3.4 Técnicas e instrumentos de recogida de información	19
3.5 Recogida de datos	19
3. 5. 1 Selección de componentes y dispositivos.....	19
3. 5. 2 Cálculos matemáticos del sistema	26
3. 5. 3 Programación de PLC y HMI siemens.....	38
3. 5. 4 Implementación e instrumentación	46
3. 5. 5 Implementación de proceso	50

CAPITULO IV



4.1	Presentación	53
4.2	Análisis e interpretación de resultados.....	53
CONCLUSIONES.....		60
RECOMENDACIONES		61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		62
APÉNDICES		55
Apendice1: Matriz de consistencia.....		55
Apéndice2: Instrumentos.		56
Apéndice3: Validación de instrumentos.		56
Apéndice4: Tratamiento de Datos.....		57



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Intercambiador de calor	8
Figura 2 Control de lazo cerrado.	9
Figura 3 Principio de funcionamiento del Transformador	10
Figura 4 Elementos que actúan en un proceso electrolito	11
Figura 5 PLC s7 1200 CPU 1211 DC/DC/DC	12
Figura 6 Entrada analógica de 0 a 10 v y 4 20 mA	12
Figura 7 Salida Analógica M2 – 0A 10V 4 A 20 Ma AQ	13
Figura 8 PT100 Sensor de temperatura industrial	14
Figura 9 Sensor de corriente industrial	15
Figura 10 Variador de velocidad de bomba de agua.	16
Figura 11 Regulador de voltaje de 0 a 220v con 0 a 10 vDC.....	17
Figura 13 Representación gráfica del transformador	27
Figura 14 Representación gráfica de escalamiento 1.....	29
Figura 15 Representación gráfica de escalamiento 2.....	30
Figura 16 Representación gráfica de escalamiento 3.....	32
Figura 17 Representación de sensor de corriente	33
Figura 18 Representación gráfica de sensor de temperatura	34
Figura 19 Configuración de resistencias de 1 ohm	36
Figura 20 PLC y módulos Analógicos.....	38
Figura 21 comunicación PLC y HMI.....	39
Figura 22 Restablecer modo fabrica.....	39
Figura 23 Escalamiento de sensor de temperatura PT 100.....	40
Figura 24 Escalamiento de sensor de corriente.....	40
Figura 25 Escalamiento de salida analógica.....	41



Figura 26 Creación de Cyclic interrupt.....	41
Figura 27 configuración de tipo de regulación.	42
Figura 28 Configuración de entradas y salidas.	42
Figura 29 Limites superiores y inferiores.	42
Figura 30 Configuración de parámetros de PID.....	43
Figura 31 simulación y graficas en puesta marcha rápida.	44
Figura 32 Graficas de PID simulación.....	44
Figura 33 Presentación del proyecto de investigación	45
Figura 34 Pantalla de configuración y control de parámetros.	46
Figura 35 Instrumentación del controlador y HMI.	47
Figura 36 Sensores del proyecto de investigación.....	48
Figura 37 Regulador de voltaje de estado sólido	48
Figura 38 transformador y rectificador de corriente.....	49
Figura 39 Celda electrolítica para 150 A.....	49
Figura 40 Control de Bomba de agua	50
Figura 41 Implementación general del proceso.	50
Figura 42 Implementación de las estructuras	51
Figura 43 Implementación del tablero eléctrico.....	51
Figura 44 Implementación del proceso.....	52
Figura 45 Selección de voltaje de 0 a 7 v.	54
Figura 46 Pruebas de Medición de 2.58 voltios DC.....	54
Figura 47 Amperaje con 0.125 ohm en el sistema.....	55
Figura 48 Amperaje de 20 A en Pantalla HMI.....	56
Figura 49 Corriente de 40 Amperios con 0.0625 ohm.....	56
Figura 50 Pantalla HMI con un amperaje de 40 amperios	57



Figura 51 Pruebas de PID con una referencia alto.	58
Figura 52 Pantalla HMI y PID cerca de la referencia.	59
Figura 53 PID, temperatura superando la referencia.	59
Figura 54 proceso de Desorción general.....	58
Figura 55 Celada Electrolítica del proceso de desorción	58



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variable independiente " sistema de control de temperatura ".....	4
Tabla 2 Rectificador de corriente eléctrica en el proceso desorción.....	5
Tabla 3 Características del controlador s7 1200	20
Tabla 4 Parámetros de entrada Analógica SM1231.....	21
Tabla 5 Parámetros entrada Analógica SM1232 AQ.....	22
Tabla 6 Parámetros de sensor de temperatura tipo PT 100; Error! Marcador no definido.	
Tabla 7 Descripción de Chispero de Cocina	23
Tabla 8 Descripción monofásico 220v.....	24
Tabla 9 Descripción de regulador de voltaje solido	24
Tabla 10 característica de solenoide.....	25
Tabla 11 Característica de resistencia de cemento.....	25
Tabla 12 Tabla de datos del transformador.....	27
Tabla 13 Tabla de instrumentos electrónicos.....	56
Tabla 14 Validación de instrumentos Electrónicos.	56
Tabla 15 Tratamiento de Datos de estudio.	57





RESUMEN

El proyecto de investigación titulado "Implementación de una estructura de mando y supervisión de temperatura para el rectificador de corriente en el proceso de electrólisis de minerales. El desarrollo se realiza para mejorar las deficiencias que existen en el proceso de desorción de minerales mediante el electro obtención de minerales mediante la electrolisis.

El procedimiento es la implementación de la estructura de control de temperatura en el rectificador de corriente para mejorar el rendimiento del equipo de desorción evitando el sobrecalentamiento por sobrecarga en la celda electrolítica sin descuidar la optimización de recuperación de minerales.

El Control de temperatura en el rectificador de corriente se diseña con el objetivo de evitar el recalentamiento del rectificador y los conductores. Ya que se tiene una tensión baja de aproximadamente 5 v a una intensidad de 150 a 200 Amperios en la celda electrolítica.

Razón por el cual, se realiza el control de volumen de carga del líquido, el cual genera un consumo de corriente en la celda electrolítica utilizando controladores lógicos programables y sistemas HMI que nos ayudan en el control y configuración del sistema. Control de bombas mediante variadores de velocidad.

Palabras Claves: Implementación, Control de temperatura y Monitoreo, HMI, PLC, Siemens.



ABSTRACT

The research project entitled "Implementation of a temperature control and monitoring structure for the current rectifier in the mineral electrolysis process. The development is carried out to improve the deficiencies that exist in the mineral desorption process through the electro-obtaining of minerals by electrolysis.

The procedure in the implementation of the temperature control structure of the current rectifier to improve the performance of the desorption equipment avoiding overheating due to overload in the electrolytic cell without neglecting the optimization of mineral recovery.

The temperature control in the current rectifier is designed with the objective of avoiding overheating of the rectifier and the conductors. Since there is a low voltage of approximately 5 v at an intensity of 150 to 200 Amps in the electrolytic cell.

For this reason, the control of the liquid charge volume is carried out, which generates a current consumption in the electrolytic cell using programmable logic controllers and HMI systems that help us in the control and configuration of the system. Pump control through variable speed drives.

Keywords: Implementation, Temperature Control and Monitoring, HMI, PLC, Siemens..



INTRODUCCIÓN

Actualmente en Perú, surge la necesidad de recuperar minerales eficientemente. Lograr recuperar minerales en un 99% sin preocuparse por el consumo o sobre trabajo en las maquinas recuperadoras de minerales. De tal forma que se pueda dar la confianza necesaria en la utilización de equipos eléctricos en el sector minero.

Actualmente existen los procesos de desorción de minerales que trabajan de manera manual, expuestos a cualquier tipo de fallo eléctrico, que pueda afectar los componentes eléctricos o electrónicos en el proceso de recuperación de minerales.

La intención de proyecto de investigación es solucionar las problemáticas que surgen en el proceso de recuperación de mineral mediante la electrolisis. Los problemas principales son la elevada temperatura en la rectificación de corriente y el control de volumen adecuado en circulación.

En el capítulo I, Se realiza a detalle las reseñas de la problemática que se presenta y los propósitos del proyecto en estudio que se desarrolla.

En el capítulo II, Se realiza la indagación necesaria de los precedentes de la investigación, se busca información necesaria para la ejecución del proyecto.

En el capítulo III, Se desarrolla los métodos de estudio que se han optado en la investigación de manera ordenada para la ejecución y su estudio.

En el capítulo IV, Se realiza las pruebas, ensayos y generar datos necesarios en los resultados en el proyecto de investigación.



CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente el proceso de desorción enfrenta una serie de problemáticas en los clientes, en donde la problemática principal es en la falta de control de temperatura en la rectificación, ya que cuando existe una sobre carga de material, el rectificador se recalienta y trabaja menor tiempo de lo programado.

Como es un proceso de recirculación se debe considerar el control de volumen o control de corriente eléctrica para lograr controlar una temperatura adecuada dentro del parámetro de funcionamiento. Ya que los costos de reposición de los componentes eléctricos son de precio considerable.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Como implementar el sistema de control de temperatura para el rectificador de corriente en el proceso de electrolisis de minerales?

1.2.2. Problemas específicos

PE₁: ¿De qué manera se realiza la instrumentación industrial, para controlar la temperatura en el rectificador de corriente?



PE₂: ¿Cómo realizar los algoritmos y escalamientos de sensores analógicos, para programar el controlador lógico programable s7 1200 CPU 1214 de siemens?

PE₃: ¿Cómo realizar el desarrollo de la pantalla HMI para el control y supervisión de temperatura en el rectificador de corriente en el software de Win CC.?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente el proceso necesita una constante supervisión y cuidado, por lo que es necesario la implementación de sensores industriales para controlar variables analógicas de proceso. Esto con el fin de mejorar las máquinas de desorción en el sector minero. El proceso se desarrollará de manera modular ya que no se cuenta con una planta real de funcionamiento de este proceso de recuperación de minerales.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Implementar el sistema de control de temperatura para el rectificador de corriente en el proceso de electrolisis de minerales.

1.4.2. Objetivos específicos

OE₁: Realizar la instrumentación industrial, para controlar la temperatura en el rectificador de corriente.

OE₂: Realizar los algoritmos y escalamientos de sensores analógicos, para programar el controlador lógico programable s7 1200 CPU 1214 de siemens.



OE₃: Realizar el desarrollo de la pantalla HMI para el control y supervisión de temperatura en el rectificador de corriente en el software de Win CC.

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis general

La implementación del sistema de control de temperatura evita el recalentamiento del mismo rectificador y los conductores eléctricos.

1.5.2. Hipótesis específicas

HE₁: La instrumentación y adecuación tecnológica en el tablero eléctrico mejora el control de temperatura en el rectificador.

HE₂: El desarrollo de programa en el software de TÍA PORTAL mejora el control y sintonización del control PI.

HE₃: El desarrollo de pantalla HMI mejora en el control y supervisión de parámetros del proceso.

1.6. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

1.6.1. Variables independientes

Sistema de control de temperatura

1.6.2. Variables dependientes

Temperatura en el rectificador de corriente eléctrica.

1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Variable independiente "Sistema de control de temperatura".

Matriz de operación de variables				
Variable independiente "Sistema de control de temperatura".				
Variab	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Sistema de control de temperatura	Se realiza la instrumentación tecnológica para control de temperatura en el rectificador de corriente del proceso de desorción.	Programación de controlador Programación de pantallas de visualización	<ul style="list-style-type: none">• Visualización de datos de sensores• Generación de secuencias• Variación de datos.• Temperatura EN HMI• Corriente en HMI.• Voltaje en HMI.	<ul style="list-style-type: none">• Observación visual• Observación visual• Observación visual• Grados °C.• Amp.• Volts

Nota: Operacionalización de variable independiente

Tabla 2

Variable dependiente "Temperatura en el rectificador de corriente eléctrica".

Matriz de operación de variables				
Variable dependiente "Temperatura en el rectificador de corriente eléctrica".				
Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Sistema de control de temperatura	En el proceso de desorción es necesario un rectificador de corriente de 160 a 200 amperios a un voltaje de 7v	Control de temperatura.	<ul style="list-style-type: none">• Sensor de Temperatura• Color	<ul style="list-style-type: none">• Grados °C.• Nanómetros (nm)
		Control de corriente eléctrica.	<ul style="list-style-type: none">• Pinza amperimétrica• Temperatura	<ul style="list-style-type: none">• Amp.• Grados °C

Nota: Operacionalización de variable dependiente.



CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. BASES TEÓRICAS

2.1.1. Nivel internacional

Automatización de la célula electrolítica en el proceso de mejora de aguas sucias oleosas.

Se instaló y evaluó un mecanismo de regulación automatizada en una instalación piloto para el proceso electrolítico sobre aguas residuales oleosas en una planta de transmisión automotriz. En este proceso continuo, el agua residual pasa a través de un ánodo compuesto por virutas de hierro poroso, donde la emulsión de aceite se separa mediante la disolución electrolítica del hierro, generando un lodo flotante rico en aceite y agua libre de aceite. (FG Oblinger, 1986).

Sistema de manejo para convertidor con relación de carga próximo a uno.

Se presentan en detalle el modelado y la linealización en torno al punto de operación del UPFC-HBB. Se proporciona un análisis exhaustivo y las consideraciones para el diseño del controlador de corriente y de voltaje de salida mediante el método de corriente



promedio. Además, se aborda el esquema de control destinado a corregir el desbalance de voltaje entre los dos condensadores de salida. (David Gúzman Obando, 2014)

Módulo educativo para rectificación trifásica, gestionado y supervisado con el software LabVIEW.

Se empleó la corriente trifásica junto con un conjunto de tres transformadores monofásicos conectados en configuración estrella-estrella (YY). para bajar el voltaje en fase de entrada. La herramienta informática LabVIEW, mediante el dispositivo de interfaz NI-USB 6008, se empleó para controlar y presentar gráficamente los trazados correspondientes a diversas cantidades, como VO, IO y VAK, adicionalmente a otras. (Xavier, 2015).

2.1.2. Nivel nacional

Instrumentación y control en el proceso de adsorción, desorción y reactivación del carbón activado, empleado en la recuperación de oro y plata.

El inicio de esta iniciativa de la instrumentación tecnológica en la industria. para un centro de recuperación de metales implica buscar información sobre Los dispositivos de campo (incluyendo transductores, equipos de potencia y de control, así como PLC y variadores), así como las normas de transmisión de datos. Además, es necesario documentar detalladamente la estructura de redes comunicación que se va a elaborar Posteriormente, se procederá a la etapa de pruebas y ensayos, alineándose con los protocolos de prueba establecidos. (Gómez Li, 2018).

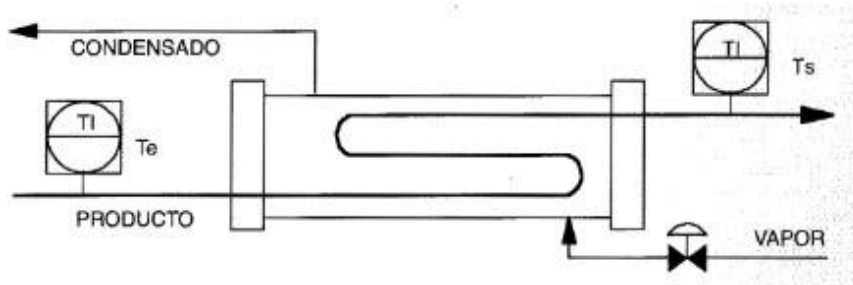
2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.2.1. Procesos industriales

En términos de producción, se entiende comúnmente como el lugar donde los elementos, y frecuentemente donde se transforma la energía en otro producto. Como ejemplo se tiene los reactores, hornos e intercambiadores de calor. (Sanchez, 2003).

Figura 1

Intercambiador de calor



Nota: Ejemplo de un proceso.

2.2.2. Tipos de control

Los tipos de control se distinguen por la retroalimentación de datos al controlador para realizar la acción correctiva necesaria.

2.2.2.1. Control de lazo abierto

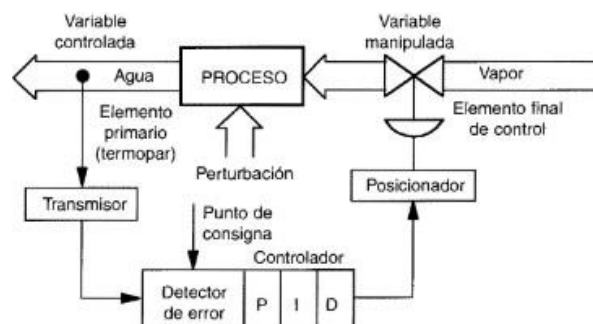
Este sistema no realiza la acción de corrección de información en el controlador. Uno de los sistemas es la lavadora automática, que está programada para realizar funciones definidas. Funciona según un programa predeterminado y no recibe información sobre el estado actual del lavado para ajustar el proceso en tiempo real. (Sanchez, 2003).

2.2.2.2. Control de lazo cerrado.

En este escenario, los datos son comparados con una referencia que es el valor requerido para luego realizar la corrección, todo esto se refiere con la realimentación al controlador. (Sanchez, 2003).

Figura 2

Control de lazo cerrado.



Nota: *Proceso con realimentación de señal.*

Existen 3 variables que se debe conocer:

- Variable controlada (CV).
- Variable manipulada (MV).
- Variable de perturbación (DV).

2.2.3. Métodos o formas de control

Existen diferentes variaciones de algunos métodos de control, como por ejemplo se utilizan en la industria. (Sanchez, 2003).

- Control de 2 posiciones
- Control proporcional (P).
- Control proporcional con acción integral (PI).

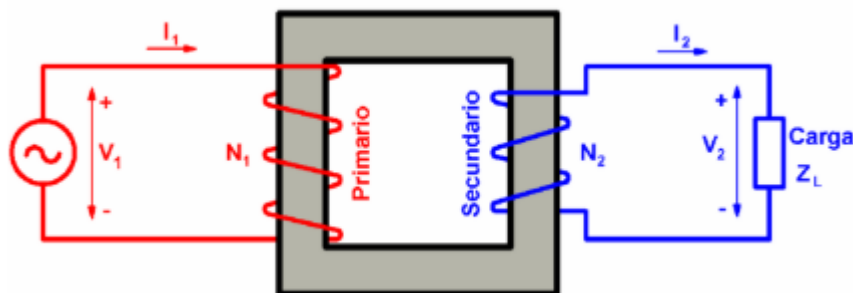
- Control proporcional con acción integral y derivativa (PID).

2.2.4. Transformadores monofásicos

Los transformadores son dispositivos estacionarios que poseen dos circuitos de corriente alterna enrollados alrededor de un núcleo magnético. El circuito que se alimenta se llama primario, mientras que el circuito secundario alimenta las cargas. el primario tiene n_1 numero de vueltas y secundario n_2 numero de vueltas. (Pozueta, 2018).

Figura 3

Principio de funcionamiento del Transformador



Nota: transformador Monofásico.

2.2.5. Proceso de electrodeposición

Es el procedimiento de recubrir con una fina capa de otro metal, el método se fundamenta como electrólisis, en donde la electrolisis significa (Electro-electricidad, lisis- ruptura). (Rodríguez., 2008).

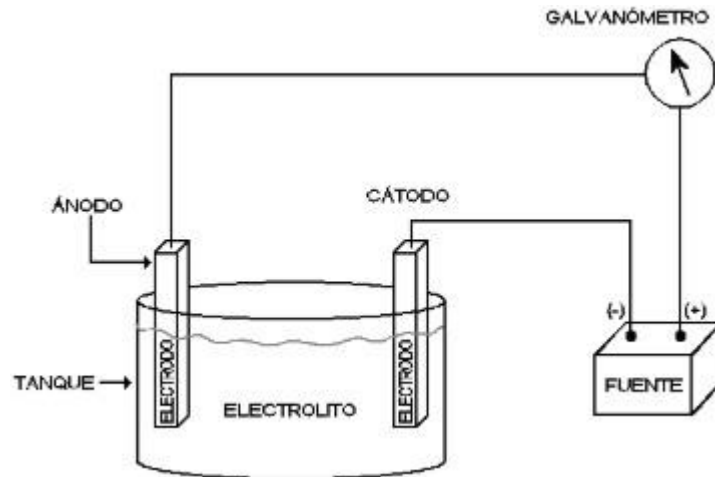
2.2.5.1. Proceso electrolítico.

El método indica el proceso de conexión de una fuente al ánodo y cátodo. La conexión se realiza ánodo al positivo y cátodo al

negativo. Es esta forma realizando la oxidación en ánodo y reducción en cátodo. (Rodríguez., 2008)

Figura 4

Elementos que actúan en un proceso electrolítico.



Nota: Proceso electrolítico.

2.2.6. Controladores lógicos programables

Se puede definir como una computadora que se utiliza para automatizar procesos industriales, en donde se puede cargar un algoritmo destino para diferentes procesos.

2.2.6.1. PLC S7 1200 CPU 1211 DC/DC/DC

La gama modular de s7 1200 ofrece una serie posibilidades en control, por su diseño compacto realiza una serie de actividades ya que tiene un bajo costo y realiza una serie de programaciones digitales como analógicas. (Siemens, 2024)

Figura 5

PLC s7 1200 CPU 1211



Nota: Controlador lógico programable

2.2.6.2. Entrada analógica.

La referencia 6ES7231-4HD32-0XB0 corresponde a un módulo de entrada analógica para SIMATIC S7-1200. Es el SM 1231 con 4 entradas analógicas que soportan ± 10 V, ± 5 V, ± 2.5 V o 0-20 mA/4-20 mA. Ofrece una resolución de 12 bits más signo (13 bits ADC). (Siemens, 2024)

Figura 6*Entrada analógica de 0 a 10 v y 4 20*

Nota: Entrada analógica s71200.

2.2.6.3. Salida analógica

La referencia 6ES7232-4HD30-0XB0 corresponde a un módulo de salida analógica para SIMATIC S7-1200. Es el SM 1232 con 2 salidas analógicas que soportan ± 10 V, ± 5 V, ± 2.5 V, o 0-20 mA/4-20 mA. Ofrece una resolución de 12 bits más signo (13 bits DAC). (Siemens, 2024)

Figura 7

Salida Analógica M2 – 0A



Nota: Salida analógica s71200.

2.2.7. Sensores industriales.

2.2.7.1. Sensores de temperatura.

El Pt100 es un termómetro de inmersión que utiliza un dispositivo termo resistivo (RTD) basado en un alambre de platino. A 0 °C, tiene una resistencia de 100 ohms, aumentando con la temperatura de manera creciente y característica del platino. Se emplea para medir la temperatura de líquidos y

gases en un rango de -50 a 400 °C. El sensor está encapsulado en el recubrimiento de aluminio con protección IP54.

Figura 8

PT100 Sensor de temperatura industrial.



Nota: Salida analógica s71200.

2.2.7.2. Sensor de corriente

El transductor mide la corriente eléctrica en un conductor que se fundamenta en sistemas electromagnéticos o efectos Hall. Puede ser no invasivo (utilizando transformadores de corriente) o invasivo (con shunts o resistencias de medida). Es esencial para control de potencia, monitoreo de consumo y protección de circuitos, integrándose fácilmente en sistemas industriales.

Figura 9

Sensor de corriente industrial.



Nota: Salida analógica s71200.

2.2.8. Actuadores industriales.

2.2.8.1. Variador de velocidad.

Es un equipo electrónico que regula la frecuencia y el voltaje en motores eléctricos. De esta manera se ajusta la velocidad en los motores según las necesidades del proceso industrial. Los variadores de velocidad son fundamentales para reducir el consumo de energía en los arranques y mejorar el control preciso en aplicaciones industriales como bombas, ventiladores y transportadores.

Figura 10

Variador de velocidad de bomba de agua.



Nota: Salida analógica s71200.

2.2.8.2. Regulador de voltaje de 220v AC.

Un regulador de voltaje de 0 a 220 V con control de 0 a 10 V es un dispositivo que permite ajustar la salida de voltaje entre 0 y 220 V utilizando una señal de control de 0 a 10 V. Esto facilita la regulación precisa de la tensión suministrada a equipos eléctricos o electrónicos, adaptándose a diferentes requerimientos de operación y control.

Figura 11

Regulador de voltaje de 0 a 220v con 0 a 10



Nota: Salida analógica s71200.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el proyecto y aplicación del control PID en el proceso de desorción, se emplea un enfoque experimental. Este método implica:

- Investigación Experimental
- Sintonización de Parámetros
- Implementación y Validación

Este enfoque experimental y de sintonización es fundamental para optimizar el control PID en aplicaciones específicas como la desorción, donde la precisión y la estabilidad son críticas para el rendimiento del proceso.

3.2. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN.

El espacio donde se desarrolla la investigación "proceso de desorción de minerales", incluye diversos aspectos clave:

- Tecnologías de Desorción: Investigación de tecnologías y métodos de desorción adecuados para diferentes tipos de minerales y composiciones químicas, como la desorción térmica, química o por solventes.



- Optimización de Procesos: Evaluación y optimización de variables operativos, tiempo de residencia y tamaño de partícula para mejorar la extracción de minerales.

La investigación en desorción de minerales busca mejorar la eficiencia del proceso, reducir costos operativos, minimizar impactos ambientales y aumentar la recuperación de minerales valiosos, contribuyendo así al desarrollo sostenible y a la rentabilidad en la industria minera.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

En los procesos de recuperación de minerales el sistema de desorción es uno de los métodos que se aplica la corriente eléctrica para descomponer los complejos metal -absorbente y liberar los metales en solución. En la problemática principal es controlar la temperatura del rectificador de corriente eléctrica y evitar sobrecorrientes.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN

Son utilizados en diversos contextos de investigación y recolección de datos, adaptándose según los objetivos específicos y las características del estudio.

- Observación: Método sistemático de registro y análisis de comportamientos, acciones y eventos en un entorno específico.

3.5. RECOGIDA DE DATOS

3.5.1. SELECCIÓN DE COMPONENTES Y DISPOSITIVOS.

3.5.1.1. Sistema de control.

Se realiza la búsqueda de dispositivos electrónicos, ya sea los controladores o sensores hacen posible el control de temperatura en el rectificador de corriente en alto

amperaje de 150 amperios en los sistemas de desorción de minerales, de acuerdo a la programación y algoritmo necesario que se implementa.

- **Autómata.** Los autómatas son dispositivos o sistemas que ejecutan tareas de manera automática sin intervención humana directa. Estos sistemas utilizan diversos tipos de controladores y tecnologías para realizar sus funciones. Así es como se tiene al controlador lógico programable s7 1200 CPU 1214.

Tabla 3

Características del controlador s7 1200.

DESCRIPCION	PARAMETROS
Designación del tipo de producto CPU	1214C AC/DC/RLY
Versión de firmware	V4.4
Fuente de alimentación	220 a 230 voltios
Frecuencia	47-63Hz
Memoria de trabajo	100Kbyte
Área de datos marcas	8 Kbyte
Área de datos locales	16 Kbyte
Área de direccionamiento E/S	1 Kbyte
Entradas digitales	14 (6 hsc)
Salidas digitales	10 a relé
Entradas analógicas	2 (0-10v)
Interfaz	PROFINET Ethernet

Fuente: Elaboración Propia

- **Módulo de entrada.** Los módulos, así como las entradas y salidas, se seleccionan para ser compatibles con el PLC SIMATIC S7-1200. Esto garantiza la compatibilidad con el sistema existente. Además, se eligen los puertos necesarios para la conexión de los sensores, asegurando una integración eficaz.

Tabla 4

Parámetros de entrada Analógica SM1231.

DESCRIPCION	PARAMETROS
Designación del tipo de producto	SM 1231, AI 8x13 bit
Versión de firmware	V4.4
Fuente de alimentación	24 voltios DC
Entradas analógicas	8 (Corriente y tensión)
Rango de entradas en tensión	± 10 V, ± 5 V, $\pm 2,5$ V
Rango de entradas en corriente	4 a 20 mA, 0 a 20 mA
Resolución de rango de rebase	12 bit
Señal de diagnóstico	LED
Temperatura mínima	-20 °C
Temperatura máxima	60 °C
Humedad relativa de aire	95%
Interfaz	PROFINET RJ45 Ethernet
Lenguaje de programación	KOP/FUT/SCL
Dimensiones	45mm/100mm/75mm
Peso	180g

Fuente: *Elaboración Propia*

- **Módulo de Salida.** El módulo de salida AQ es una parte integral del sistema PLC SIMATIC S7-1200, diseñado para proporcionar salidas analógicas de alta precisión. Estos módulos convierten señales digitales del PLC en señales analógicas que pueden ser utilizadas para controlar dispositivos externos, como actuadores, válvulas y variadores de frecuencia.

Tabla 5

Parámetros entrada Analógica SM1232 AQ

DESCRIPCION	PARAMETROS
Designación del tipo de producto	SM 1231, AQ 8x14 bit
Versión de firmware	V4.4
Fuente de alimentación	24 voltios DC
Entradas analógicas	2 (Corriente y tensión)
Rango de entradas en tensión	± 10 V, ± 5 V, $\pm 2,5$ V
Rango de entradas en corriente	4 a 20 mA, 0 a 20 mA
Resolución de rango de rebase	14 bit
Señal de diagnóstico	LED
Temperatura mínima	-20 °C
Temperatura máxima	60 °C
Humedad relativa de aire	95%
Interfaz	PROFINET RJ45 Ethernet
Lenguaje de programación	KOP/FUT/SCL
Dimensiones	45mm/100mm/75mm
Peso	180g

Nota: Elaboración Propia.

- **Sensor de temperatura tipo K.** Un sensor de temperatura tipo K es un termopar compuesto de níquel-cromo y níquel-aluminio. Es utilizado en aplicaciones industriales por su amplio rango de temperatura (-200°C a 1260°C) y durabilidad, proporcionando mediciones precisas.

DEFINICIÓN	ESPECIFICACIÓN
Sensor térmico	PT100
marca	TAPECHX
Intervalo de detección	0-100
Longitud de cable	3m
estrada	M12*1.5
material	304 acero inox
Uso	Industrial

Nota: Elaboración Propia.

1. 1. 1. 1. Sistema de fuerza.

- **Rectificador de corriente.** El DQFI200A es un soldador de corriente continua monofásico con rectificador de puente. Convierte corriente alterna en continua, proporcionando una salida estable para soldadura. Es ideal para aplicaciones.

Tabla 6

Descripción de Chispero de Cocina.

DESCRIPCION	PARAMETROS
Material	aluminio
Amperaje	200A
fase	1
Voltaje	220-240V +-10%
Frecuencia	50-60HZ

Nota: Elaboración Propia

- **Motor monofásico.** Un motor monofásico es un tipo de motor eléctrico diseñado para operar con corriente alterna (AC) de una sola fase. Es común en aplicaciones residenciales.

Tabla 7

Descripción monofásico 220v

DESCRIPCION	PARAMETROS
Potencia nominal	1/4 HP
Corriente nominal	1.5 amp
Fases	1
Voltaje	220-240V +-10%
Frecuencia	50-60HZ
Factor de potencia	0.84
Grado de protección	IP54

Nota: Elaboración Propia

- **Regulador de voltaje de estado sólido monofásico.** Un rectificador controlado por silicio (SCR), es un equipo de conmutación de estado sólido que puede proporcionar un control proporcional rápido, infinitamente variable de la energía eléctrica, no solo brinda el máximo control de su proceso de calor, sino que también puede extender la vida útil del calentador muchas veces en comparación con otros métodos de control, en maxwell, ofrecemos SCR simple y SCR con pantalla digital avanzada con otras características adicionales.

Tabla 8

Descripción de regulador de voltaje solido

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS
Marca	LCTC
Control	0 a 10 v
fases	1
alimentación	24v

Nota: Elaboración Propia

- **Variador de velocidad.** Equipo electrónico que tiene la finalidad de reducir el consumo de corriente en los arranques y

desaceleraciones también controla la velocidad del motor existen una serie de aplicaciones que se necesita controlar la velocidad.

Tabla 9

característica de solenoide.

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS
Variador de frecuencia	Siemens V20
Alimentación	220v AC
frecuencias	50 y 60 Hertz
Entrada analógica	2; 0 a 10 v, 4 a 20 mA
Salida analógica	0 a 20 mA
Entrada Digital	4
Salida digital	2
Clasificación IP	IP20

Nota: *Elaboración Propia*

- **Resistencia de cemento.** Es un tipo de resistencia bobinada que es una resistencia de potencia relativamente alta que permite que pase una gran cantidad de corriente, que utilizan potencia por encima de 100W, básicamente utilizan cemento.

Tabla 10

Característica de resistencia de cemento.

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS
Resistencia	Cemento/ cerámico
ohm	1
watios	25w

Nota: *Elaboración Propia*



3.5.2. Cálculos matemáticos del sistema.

3.5.2.1. Cálculos del transformador.

Con fines de estudio se considera los objetivos necesarios en el sistema, por estudio el sistema de electrolisis de minerales se sabe que es necesario un voltaje en corriente continua de 2.5 v, esto con el fin de atraer minerales como el oro y la plata, se sabe que el proceso de desorción se puede recuperar metales con un costo elevado por lo que el sistema debe tener un margen de regulación de 0 a 7 v DC.

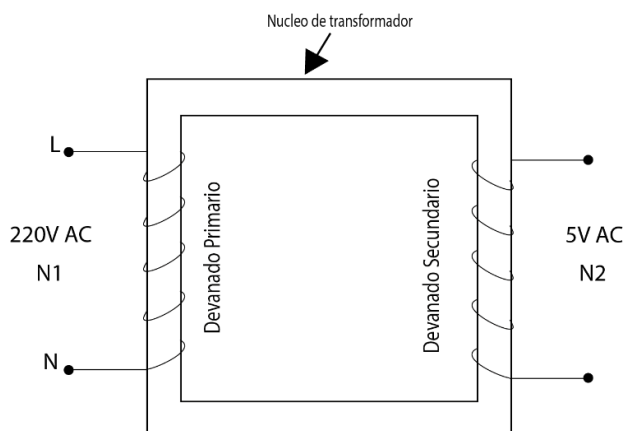
Teniendo los parámetros se realiza los cálculos necesarios para la obtención de 2.5 v de corriente continua. Entonces será necesario un transformador de 220 v AC a 7v a AC, como es de conocimiento la regulación de voltaje en las bobinas secundarias se realizaría con equipos más grandes. Por lo que se realizara la regulación en las bobinas primarias.

En el apartado se realizará un cálculo matemático simple para la selección de conductores necesarios.

Los cálculos se realizarán para la obtención de 150 Amperios en el secundario a 7 v AC. Para ello se realiza la relación de transformación.

Figura 12

Representación gráfica del transformador



Fuente: Elaboración Propia

Los cálculos se realizarán según los parámetros que requieren para ello se realiza una lista de parámetros.

Tabla 11

Tabla de datos del transformador.

Parámetros	Datos
Voltaje primario	220 v AC
Voltaje secundario	7V AC
Corriente primario	4.77 A
Corriente secundario	150 A
Numero de vueltas primario	157
Numero de vueltas secundarios	5
Relación de transformación K	31.42

Fuente: Elaboración Propia

Según la formula se realiza el remplazo de datos en donde:

$$K = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Remplazando a las ecuaciones se tiene.

$$K = \frac{V_1}{V_2}$$



$$K = \frac{220 \text{ V AC}}{7 \text{ V AC}}$$

$$K = 31.4$$

Los realiza el cálculo de amperaje en el primario a 150 Amperios en el secundario.

$$K = \frac{I_2}{I_1}$$

$$K = \frac{150 \text{ A AC}}{I_1}$$

$$I_1 = \frac{150 \text{ A AC}}{31.4}$$

$$I_1 = 4.77 \text{ Amp}$$

La potencia aparente del transformador será:

$$P = V * I$$

$$P = 220 * 4.77$$

$$P = 1050 \text{ VA}$$

Para 157 vueltas en el primario se tendría:

$$44 = \frac{N1}{N2}$$

$$31.4 = \frac{157}{N2}$$

$$N2 = \frac{157}{31.4}$$

$$N2 = 5$$

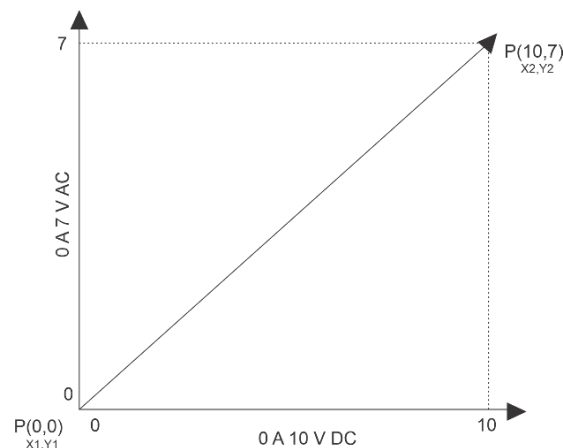
Teóricamente se tendría 157 vueltas en primario y 5 vueltas en el secundario para obtener un voltaje de 7 voltios en el secundario, por lo que haremos un requerimiento de un transformador de 220 a 7 v AC con salida 150 amperios y una entrada de 5 amperios.

3.5.2.2. Cálculos para regular la salida.

En la pantalla se debe seleccionar de 0 a 7v por lo que se debe escalar la equivalencia a 0 a 10 v DC que es lo que se enviara para regular, por lo que se tiene esta grafica.

Figura 13

Representación gráfica de escalamiento 1.



Nota: *Elaboración Propia*

Según la ecuación de recta se tiene la siguiente ecuación para identificar la ecuación que tiene relación entre estos 2 puntos.

$$(y - y_1) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Remplazando en la ecuación 1:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{7 - 0}{10 - 0}$$

$$m = \frac{7}{10}$$

Remplazando en la ecuación 2:

$$(y - y_1) = \frac{7}{10}(x - x_1)$$

$$(y - 0) = \frac{7}{10}(x - 0)$$

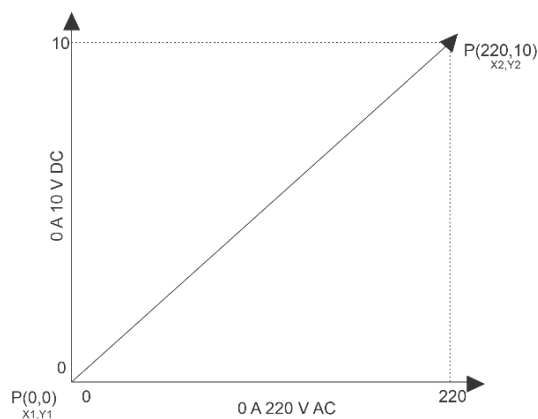
$$y = \frac{7}{10}x$$

$$x = \frac{10y}{7}$$

Esto indica que si pedimos 2.5 v AC, El PLC nos votara en la salida analógica un voltaje de 3.57 v DC, este cálculo se realizó reemplazando 2.5 en la ecuación y como resultado tenemos 3.57. A continuación, se realiza el escalamiento de 0 a 10 v DC a 0 a 220 v esto con el fin de saber a cuanto se está reduciendo el voltaje en el primario.

Figura 14

Representación gráfica de escalamiento 2



Nota: *Elaboración Propia*

De la misma forma se realiza la resolución de las ecuaciones reemplazando en las ecuaciones generales de la recta. Calculando la ecuación de la recta.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$



$$m = \frac{10 - 0}{220 - 0}$$

$$m = \frac{1}{22}$$

Remplazando en la ecuación:

$$(y - y_1) = \frac{1}{22}(x - x_1)$$

$$(y - 0) = \frac{7}{10}(x - 0)$$

$$y = \frac{1}{22}x$$

$$x = \frac{22y}{1}$$

$$x = \frac{22(3.57)}{1}$$

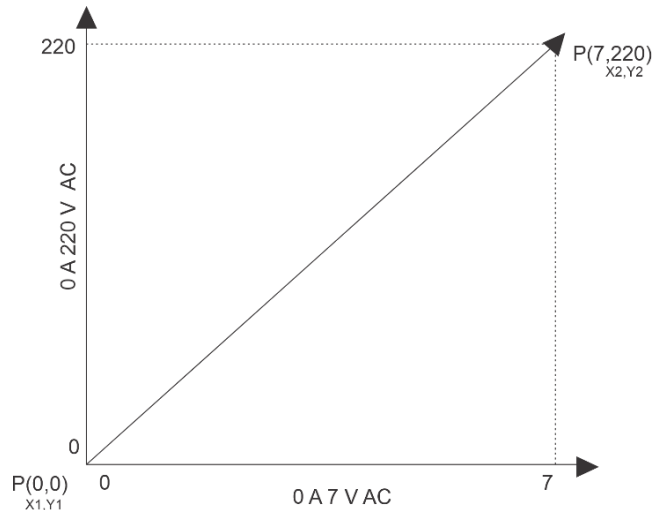
$$x = 78 \text{ Amp}$$

Como resultado se tiene 78 amperios de corriente alterna ingresado al regulador de estado sólido, el regulador de estado sólido tiene un control de 0 a 10 V DC y regula un voltaje de 0 a 220v corriente alterna. Entonces se puede indicar que ingresa un voltaje de corriente alterna de 78 voltios de corriente alterna a los devanados primarios del transformador.

A continuación, se realizará el escalamiento y se hallará la ecuación para calcular la salida del transformador. Para ello también se realiza una gráfica representativa para poder ubicar los puntos en el plano.

Figura 15

Representación gráfica de escalamiento 3



Nota: *Elaboración Propia*

Se remplazará de la misma forma en la ecuación de punto pendiente para obtener una ecuación 1.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{220 - 0}{7 - 0}$$

$$m = \frac{220}{7}$$

Remplazando en la ecuación: 2

$$(y - y_1) = \frac{220}{7} (x - x_1)$$

$$(y - 0) = \frac{220}{7} (x - 0)$$

$$y = \frac{220}{7} x$$

$$x = \frac{7y}{220}$$

$$x = \frac{7(78)}{220}$$

$$x = 2.48 \text{ voltios}$$

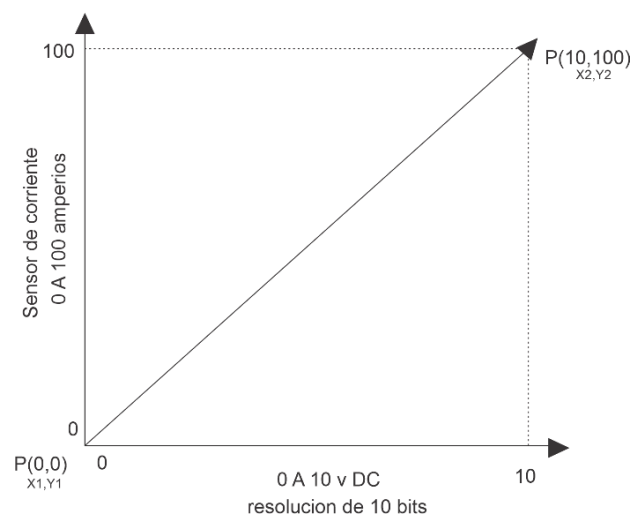
De esta forma se realiza el cálculo para programación en el PLC de tal forma que se pueda variar de 0 a 7 v en corriente alterna.

3.5.2.3. Escalamiento de señal de los sensores

Se realiza el escalamiento de equivalencia de datos del sensor de 0 a 100A A 0 a 10v para ello se realiza un grafica representativa para poder ver el comportamiento de la señal analógica.

Figura 16

Representación de sensor de corriente



Nota: Elaboración Propia

Remplazando los datos en la ecuación tendremos:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{100 - 0}{10 - 0}$$

$$m = 10$$

Remplazando en la ecuación general:

$$(y - y_1) = 10 (x - x_1)$$

$$(y - 0) = 10(x - 0)$$

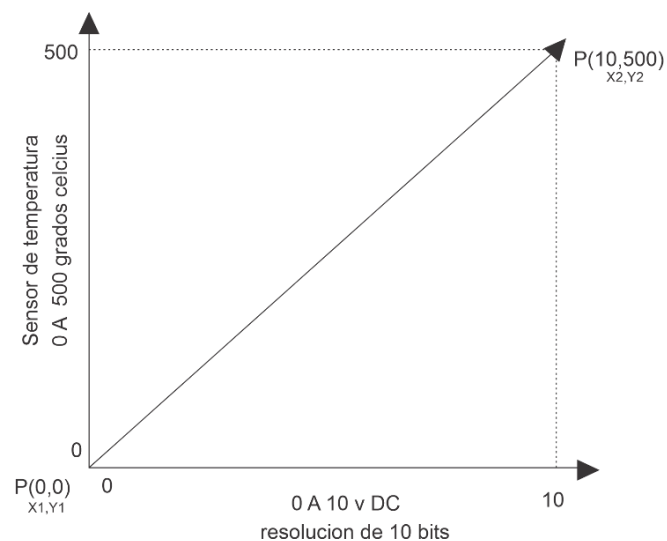
$$y = 10x$$

De esta forma si tuviéramos un amperaje de 50 Amperios equivaldría a 5 v DC. Lo cual se obtiene remplazando en la ecuación.

Para el sensor de temperatura se realiza de la misma forma un escalamiento de 0 a 500 c° en un voltaje de 0 a 10 v como se ve en la figura.

Figura 17

Representación gráfica de sensor de temperatura.



Nota: Elaboración Propia



Remplazando los datos en la ecuación tendremos:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{500 - 0}{10 - 0}$$

$$m = 50$$

Remplazando en la ecuación general:

$$(y - y_1) = 50 (x - x_1)$$

$$(y - 0) = 50(x - 0)$$

$$y = 50x$$

De esta forma se realiza el escalamiento del sensor de temperatura en donde si tuviera 20 grados estaría con una salida de 0.4 v DC en la salida del módulo del PLC S7 1200.

3.5.2.4. Cálculo para hallar resistencia adecuada.

Se inicia con los cálculos necesarios para forzar el sistema utilizando resistencias, cabe resaltar que necesitamos generar un consumo de corriente de 80 a 150 amperios. Se ha buscado resistencia que puedan conducir mayor corriente entonces en las tiendas se encontró resistencias de 1 ohm de 10 watts, 20 watts, 25 watts.

Entonces se realizó la compra de resistencias de 25 watts cada uno ya que puede soportar mayor corriente que los demás. En voltaje de 2.5 voltios.

$$P = V * I$$

$$25 \text{ Watts} = 2.5 \text{ v} * I$$

$$\frac{25 \text{ Watt}}{2.5} s = I$$

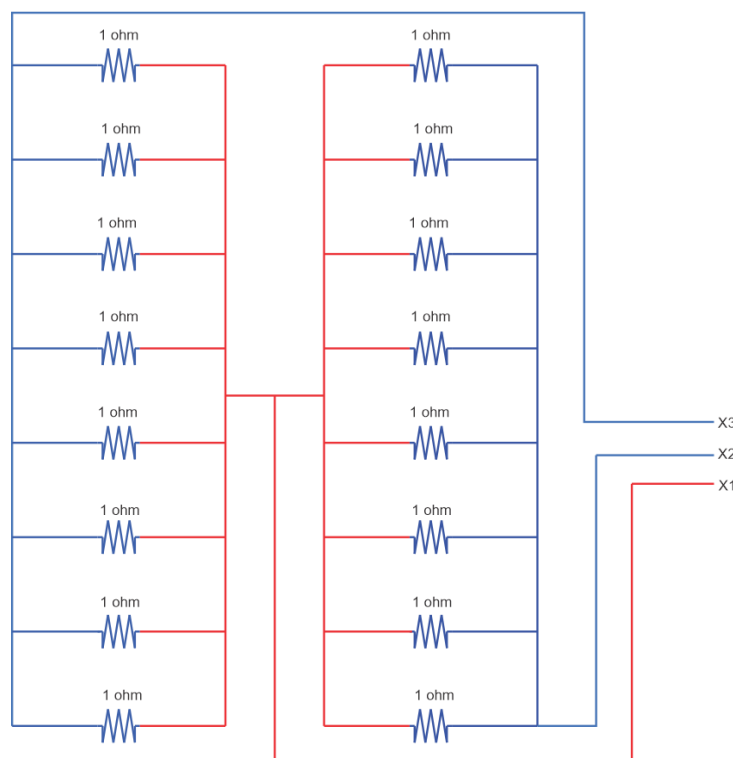
$$10A = I$$

Teniendo el amperaje que puede soportar cada resistencia, es necesario saber que es inversamente proporcional, por lo que se tiene que bajar la resistencia a mínimo, para ello se debe realizar la configuración paralela en las resistencias.

Si bien es cierto que existen resistencias más pequeñas, pero no logran conducir una buena cantidad de corriente. Se realizará una configuración de 8 unidades de resistencia y luego 16 resistencias para ver cuánto de amperaje pueden conducir.

Figura 18

Configuración de resistencias de 1 ohm



Nota: Elaboración Propia



Se usará la siguiente fórmula para calcular las resistencias en paralelo de 8 unidades.

$$R_8 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \dots}$$

$$R_8 = \frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1}}$$

$$R_8 = \frac{1}{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1}$$

$$R_8 = \frac{1}{8}$$

$$R_8 = 0.125$$

Esta cantidad de 0.125 ohm en un voltaje de 2.5v, puede conducir un amperaje de 20 amperios:

$$V = I * R$$

$$2.5 = I * 0.125$$

$$I = \frac{2.5}{0.125}$$

$$I = 20 A$$

Ahora se usará 16 resistencias al doble, entonces se realiza el cálculo:

$$R_{16} = \frac{R_8 * R_{16}}{R_8 + R_{16}}$$

$$R_{16} = \frac{0.125 * 0.125}{0.125 + 0.125}$$

$$R_{16} = \frac{0.015625}{0.25}$$

$$R_{16} = 0.0625$$

Con esta cantidad de 0.0625 ohm en un voltaje de 2.5v, puede conducir un amperaje de 40 Amperios:

$$V = I * R$$

$$2.5 = I * 0.0625$$

$$I = 40$$

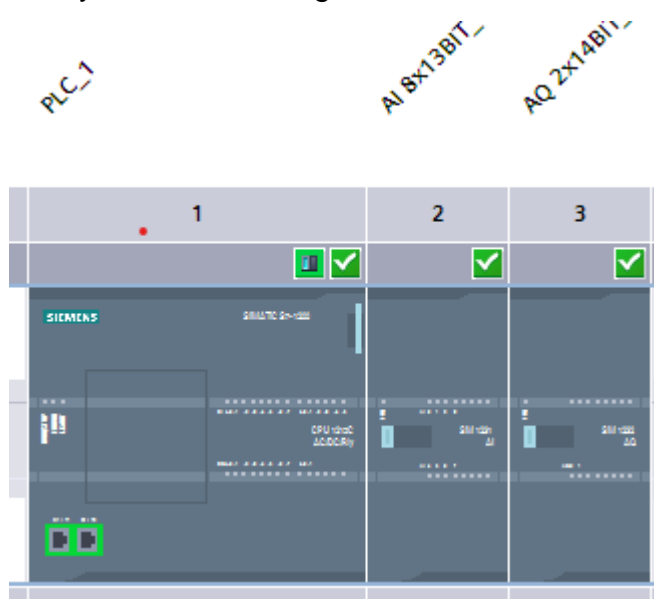
3.5.3. Programación de PLC y HMI siemens.

3.5.3.1. Agregar PLC y módulos.

Primeramente, los equipos modulares de siemens se programan con TIA PORTAL, en donde se selecciona el equipo PLC s7 1200 con CPU 1212, además se agregan de la misma forma los módulos de entrada analógicas y salida analógica. En el sistema cuando existe comunicación entre los módulos nos manda las aspas verdes como se muestran en la imagen.

Figura 19

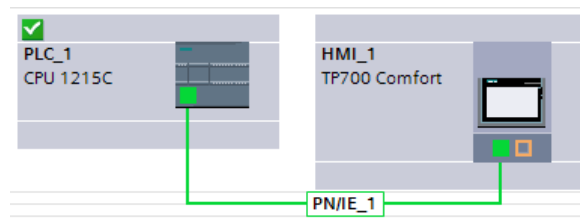
PLC y módulos Analógicos.



Nota: Captura de pantalla.

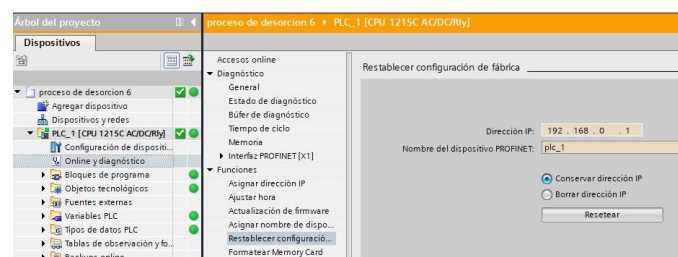
Cuando existe una comunicación correcta se remarcará con unas líneas verdes entre PLC y HMI como se muestra en la figura, si ocurriera que no existe esta comunicación, se debe restablecer el PLC a modo fabrica, en caso este error continúe existe la posibilidad de que el fireware no sea compatible, entonces en este caso se realizara la descarga de fireware y cargar en PLC, de esta manera se actualiza el fireware en los PLC s7 1200 de siemens.

Figura 20
comunicación PLC y HMI



Nota: Captura de pantalla.

Figura 21
Restablecer modo fabrica.



Nota: Captura de pantalla.

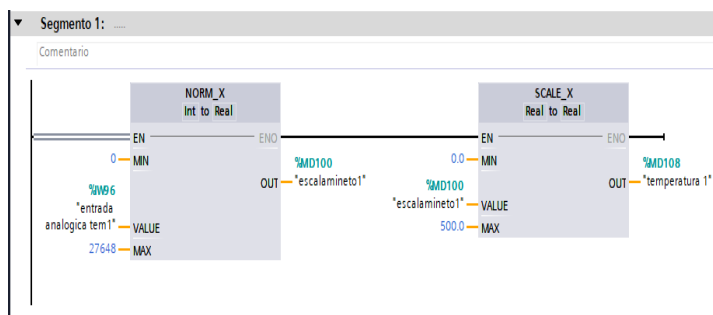
3.5.3.2. Lectura de sensores.

Para este apartado, se realiza la programación y escalamiento en el programa de tía portal versión 16, se realizará primeramente el escalamiento del sensor de temperatura que utiliza un transductor de resistencia a señales reales de 0 a 10

v DC o 4 a 20 Ma, con una lectura de 0 a 500 grados de temperatura.

Figura 22

Escalamiento de sensor de temperatura PT 100.

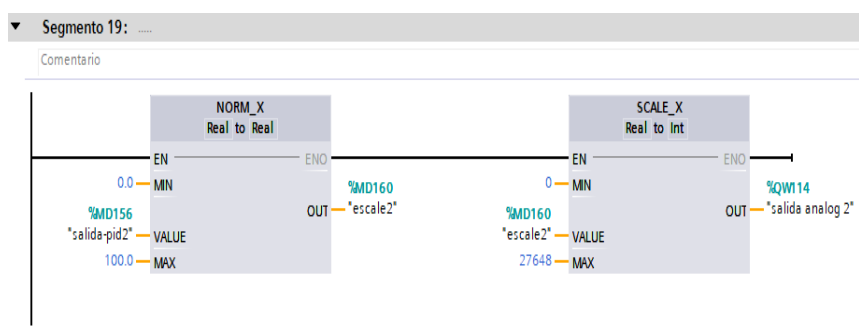


Nota: Captura de pantalla.

A continuación, realizaremos el escalamiento del sensor de corriente, para la investigación se utiliza el sensor de corriente de 0 a 100 amperios. La salida del sensor de 0 a 10 v, el PLC lectura datos de ES de 0 A 27648 datos enteros que se escalan a 0 a 100 amperios.

Figura 23

Escalamiento de sensor de corriente.



Nota: Captura de pantalla.

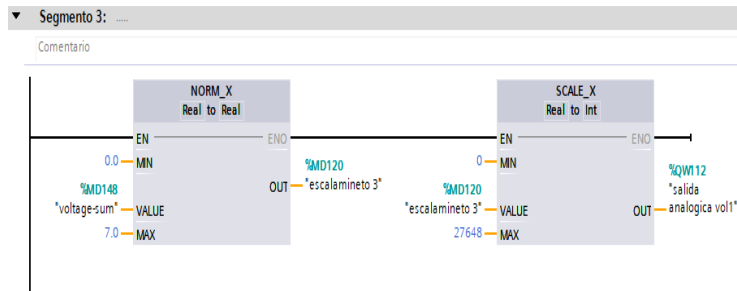
3.5.3.3. Escalamiento de salidas.

En este apartado se tiene que realizar el escalamiento para poder regular el voltaje de salida desde un HMI, se debe tener

en consideración que se requiere regular un voltaje bajo de 0 a 7 v DC y con ello controlar un voltaje de 220v.

Figura 24

Escalamiento de salida analógica.



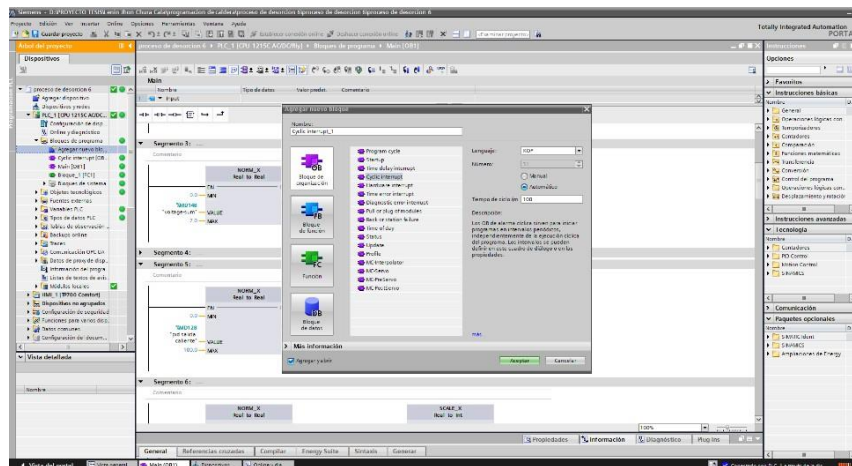
Nota: Captura de pantalla.

3.5.3.4. Programación de control PID.

En este caso, se realiza la implementación del PID compact para ello se debe crear un nuevo bloque, en Cyclic interrupt_1 con tiempos de ciclo de 100 ms e insertamos desde objetos tecnológicos como se muestra en la figura.

Figura 25

Creación de Cyclic interrupt

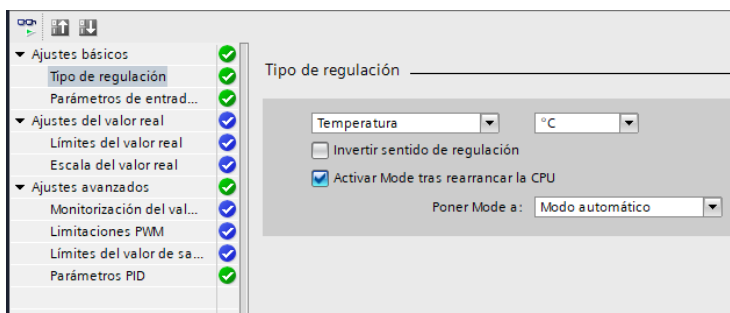


Nota: Captura de pantalla.

Se realiza la configuración del controlador PID en donde se realizarán los cambios de tipo de regulación "Temperatura".

Figura 26

configuración de tipo de regulación.

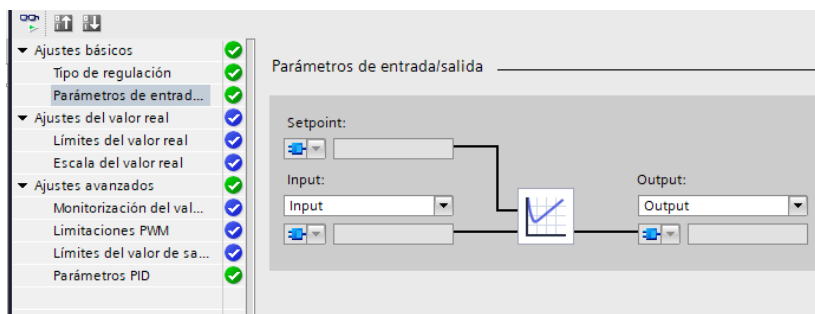


Nota: Captura de pantalla.

Se realiza la configuración del controlador PID en donde se realizarán los cambios de entrada y salida a señales reales.

Figura 27

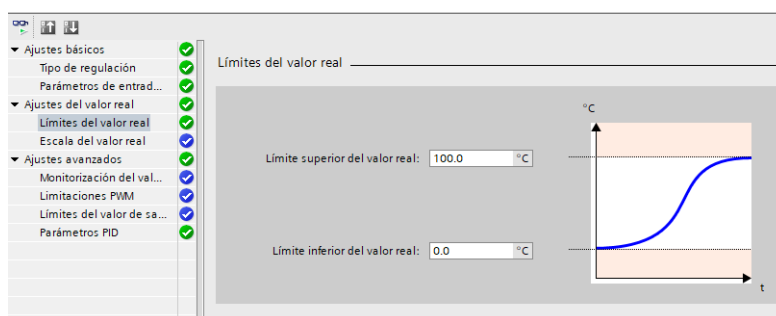
Configuración de entradas y salidas.



Nota: Captura de pantalla.

Figura 28

Límites superiores e inferiores.



Nota: Captura de pantalla.

A continuación, se realiza la configuración del controlador PID, se puede realizar de dos maneras, una es utilizando los datos calculados y el otro usando el autotuning de tía portal.

Figura 29

Configuración de parámetros de PID.

Categoría	Estado
Ajustes básicos	✓
Tipo de regulación	✓
Parámetros de entrad...	✓
Ajustes del valor real	✓
Límites del valor real	✓
Escala del valor real	✓
Ajustes avanzados	✓
Monitorización del val...	✓
Limitaciones PWM	✓
Límites del valor de sa...	✓
Parámetros PID	✓

Parámetros PID

Activar entrada manual

Ganancia proporcional:

Tiempo de integración: s

Tiempo derivativo: s

Coeficiente retardo derivativo:

Ponderación de la acción P:

Ponderación de la acción D:

Tiempo muestreo algoritmo PID: s

Regla para la optimización

Estructura del regulador:

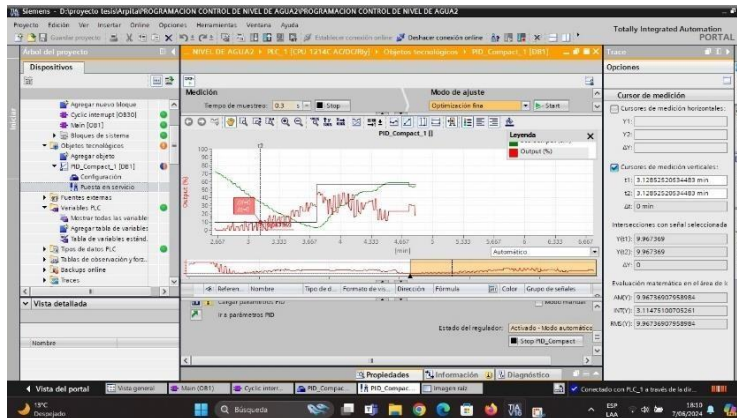
Fuente: Captura de pantalla.

3.5.3.5. Pruebas en puesta en marcha.

En este apartado, se visualiza las gráficas generadas en el software de Tía portal. Y se puede poner en marcha y desactivar mientras muestra las imágenes, también tiene la opción de sintonización fina.

Figura 30

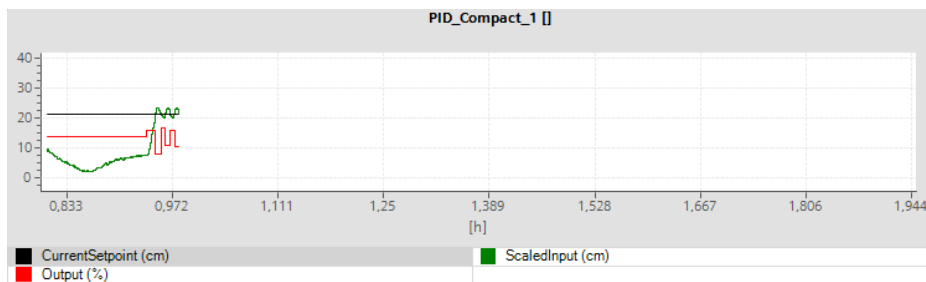
simulación y graficas en puesta marcha rápida.



Nota: Captura de pantalla

Figura 31

Graficas de PID simulación.



Nota: Captura de pantalla.

3.5.3.6. Programación de HMI.

La programación de los sistemas HMI se realiza mediante implementación graficas de simulación y sistemas de escritura y lectura. En la primera pantalla se tendrá la presentación del proyecto.

Figura 32

Presentación del proyecto de investigación.

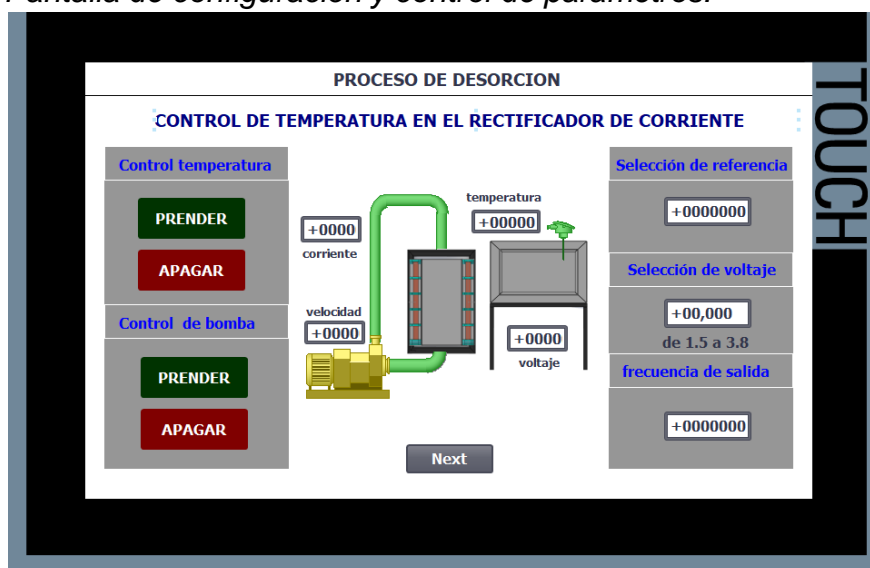


Nota: Captura de pantalla

La programación del sistema HMI se realiza configurando los parámetros de escritura y lectura, ya sea en imágenes o datos como se muestra en la figura.

Figura 33

Pantalla de configuración y control de parámetros.



Nota: Captura de pantalla

3.5.4. Implementación e instrumentación.

3.5.4.1. Instrumentación del sistema de control.

El sistema de control se instrumenta buscando alternativas más eficientes en los sensores y actuadores que son controlados por un controlador PLC s7 1200 CPU 1215.

El PLC s7 1200 se ha implementado con una fuente adicional para los módulos de entrada y salida. Además, se tienen una pantalla HMI en donde se puede modificar los parámetros necesarios.

Figura 34

Instrumentación del controlador y HMI.

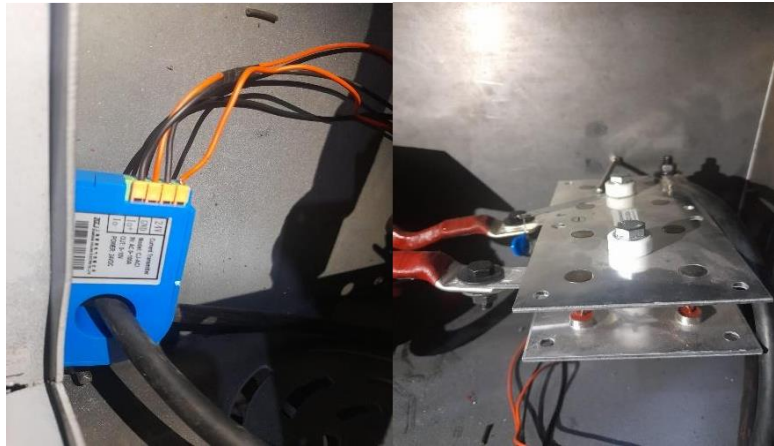


Nota: fotografía del tablero de control.

Se realiza la instrumentación de sensores de temperatura y sensores de corriente, cada uno ubicado en posición el sensor de corriente mide el paso de corriente de un cable que va a la celda electrolítica, el sensor de temperatura PT100 mide la temperatura en el rectificador de corriente. Como se muestra en la figura.

Figura 35

Sensores del proyecto de investigación.

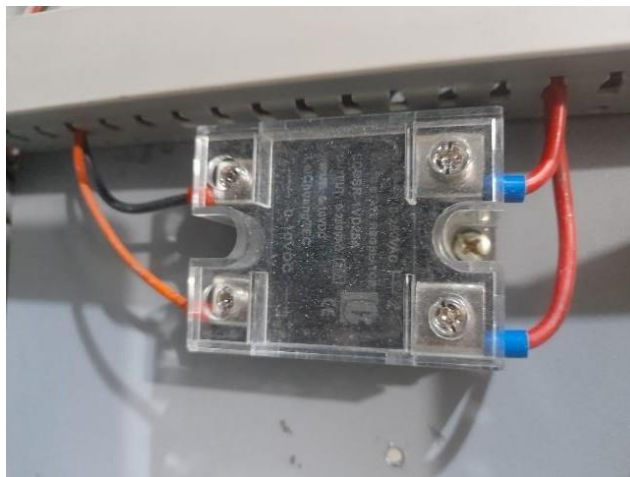


Nota: fotografía de sensores.

La instrumentación de regulador de voltaje mediante un relé de estado sólido, se realiza en el tablero eléctrico de control como muestra en la figura.

Figura 36

Regulador de voltaje de estado sólido.



Nota: fotografía de sensores.

3.5.4.2. Instrumentación del sistema de fuerza.

El sistema de fuerza se instrumenta con un transformador de 220v a 7 v y un rectificador de 150 amperios. Que está instalado en la parte inferior del tablero eléctrico de control.

Figura 37

transformador y rectificador de corriente.



Nota: fotografía de sensores.

El sistema tiene una celda electrolítica que, cuando en el paso de material genera un amperaje de 80 a 150 amperios dependiendo del concentrado.

Figura 38

Celda electrolítica para 150 A.

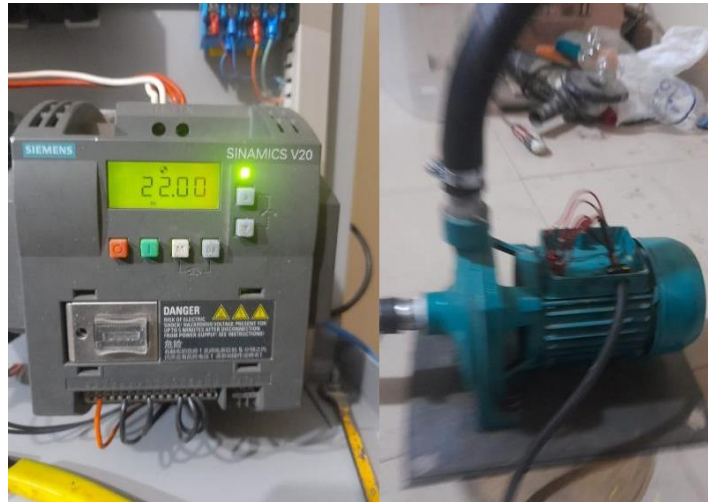


Nota: fotografía de sensores.

Y por último se tiene un variador de velocidad y una bomba trifásica para controlar el flujo del concentrado que está recirculando.

Figura 39

Control de Bomba de agua.



Nota: fotografía de sensores.

3.5.5. Implementación de proceso.

La implementación general se realiza de la siguiente manera:

Figura 40

Implementación general del proceso.



Nota: fotografía de proceso

Figura 41

Implementación de las estructuras



Nota: fotografía de proceso

Figura 42

Implementación del tablero eléctrico.



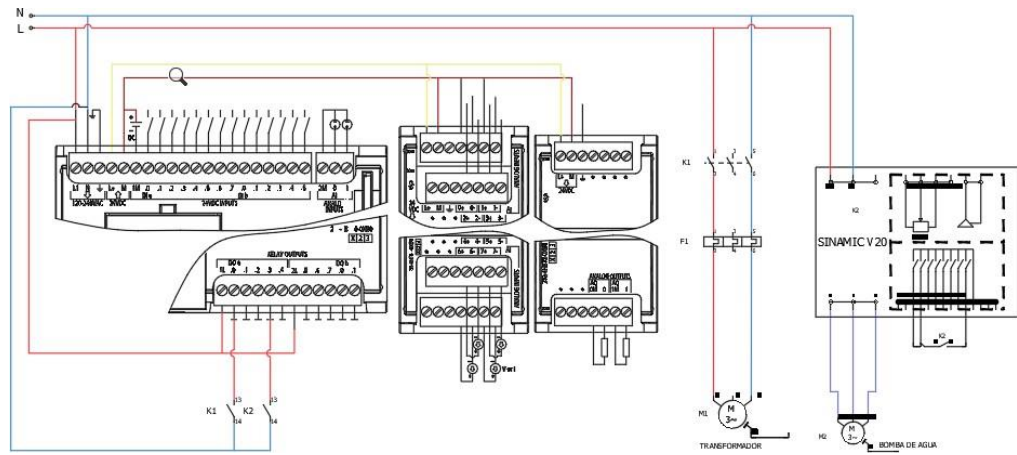
Nota: fotografía del proceso

3.5.5.1. Diagrama de control del proceso.

La instalación se ha realizado según el diagrama del proyecto.

Figura 43

Instrumentación industrial del proceso



Nota: fotografía del proceso



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN

Si bien es cierto, que la electrolisis tenía un control manual, pero se busco tecnológicas que pueden reducir los errores y realizar el trabajo de manera continua. De manera que se presenta actuadores y sensores controlados analógicamente.

4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Es este apartado se presentarán las pruebas de control que se han realizado.

4.2.1. Control de voltaje desde HMI:

Se representa en una pantalla donde se puede seleccionar voltajes bajos para el sistema se necesita seleccionar un voltaje de 0 a 7v con un mando analógico de 0 a 10 V DC a un relé regulador de 0 a 220 v AC.

A continuación, se presenta la pantalla HMI en donde se puede seleccionar el voltaje requerido en el proceso de desorción.

Figura 44

Selección de voltaje de 0 a 7 v.



Nota: fotografía de pantalla HMI.

Se visualiza en la figura las mediciones correspondientes para lograr un voltaje de 2.5, en donde se puede ver que el sistema tiene una tolerancia de 0.08 voltios en corriente continua.

Figura 45

Pruebas de Medición de 2.58 voltios DC.



Nota: fotografía de celdas de carga.

4.2.2. Pruebas de carga con resistencias

Se realiza la segunda prueba con una carga de 0.125 ohm de resistencia en el sistema, cabe recalcar que la carga va depender de concentrado que este recirculando, pero para fines de estudio se realiza las pruebas forzando con una resistencia de 1 ohm en paralelo de 8 unidades, donde generaremos una resistencia de 20 amperios como se muestra en la figura.

La medición se realiza por partes en el circuito de la carga y en la salida del rectificador indica una caída de 1 amperio como se muestra en la figura.

Figura 46

Amperaje con 0.125 ohm en el sistema.



Nota: fotografía de pantalla HMI.

Las mediciones aparte de ser realizadas con el instrumento, se ha realizado con el sensor de corriente que se muestra en la pantalla HMI.

Figura 47

Amperaje de 20 A en Pantalla HMI



Nota: fotografía de pantalla HMI.

Para la tercera prueba se realiza aumentando la carga al doble, entonces se realizará con una carga de 40 amperios, para ello se necesitan conectar 16 resistencia de 1 ohm. Entonces como resultado se tiene 40 amperios como se muestra en la figura.

Figura 48

Corriente de 40 Amperios con 0.0625 ohm.



Nota: fotografía de pruebas con instrumentos.

Figura 49

Pantalla HMI con un amperaje de 40 amperios

**Nota:** fotografía de pruebas con instrumentos.

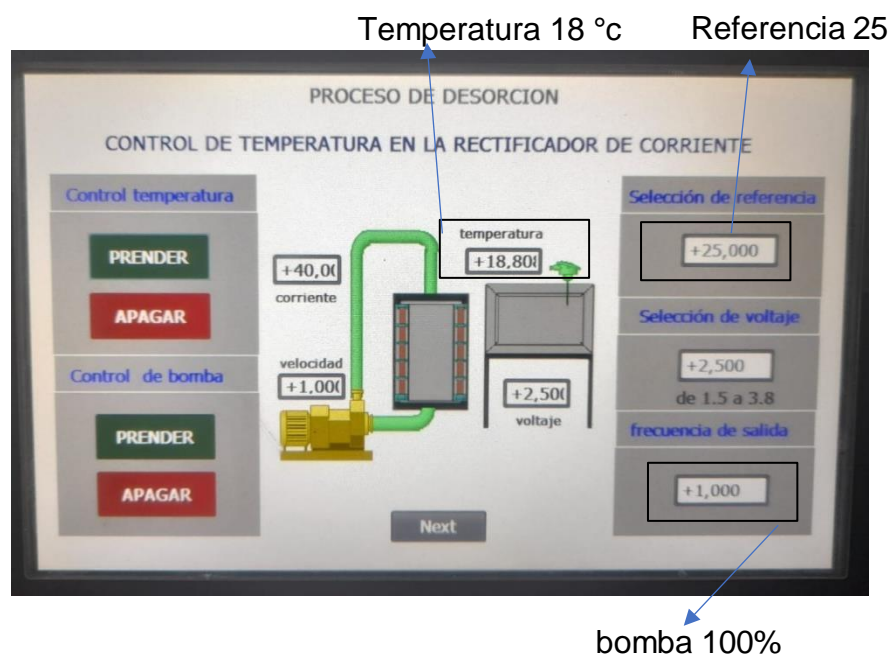
4.2.3. Pruebas de control PID.

Para realizar el control PID es necesario tener una resistencia en carga que puede regular con la bomba de agua, pero al no tener material y exceder los presupuestos de estudio se realizaron forzados por las resistencias de cemento de 1 ohm.

Para esta última prueba se realiza una prueba con una referencia (set point). De 25 grados y se puede visualizar que la bomba funciona al 100%, ya que 18 grados es menor del set point entonces se entiende que se puede trabajar a toda carga.

Figura 50

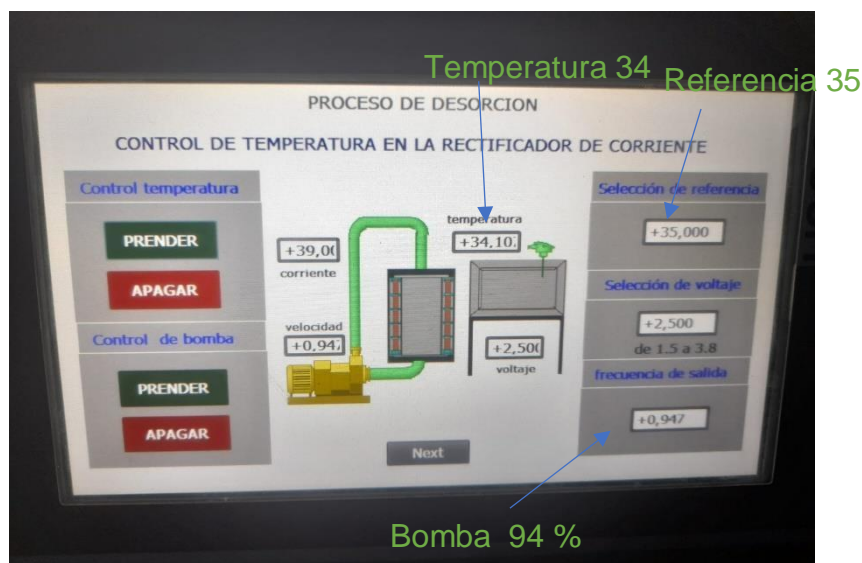
Pruebas de PID con una referencia alta.

**Nota:** fotografía de pruebas de control PID.

En esta imagen se mostrará las imágenes en donde la temperatura se acerca a la referencia, de manera que la bomba empieza a disminuir a un 94 %, en la imagen se muestra que tiene una referencia de 35 grados y la temperatura en el rectificador se acerca a 34 y la bomba inicia el descenso a 94%.

Figura 51

Pantalla HMI y PID cerca de la referencia.



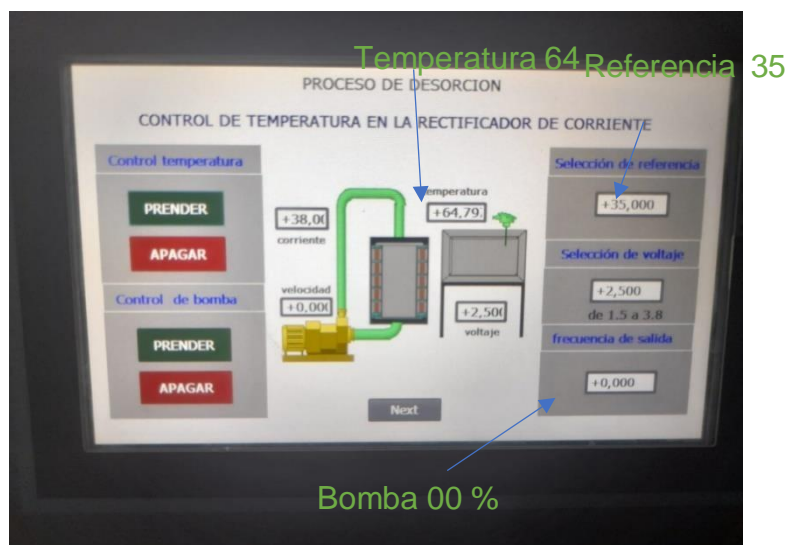
Fuente: fotografía de pruebas con instrumentos.

A continuación, se muestra cuando la referencia es superada por la temperatura, de manera que la bomba disminuye, en caso de que siga subiendo la bomba puede llegar al reposo hasta que baje la

Figura 52

PID, temperatura superando la referencia.

temperatura.



Fuente: fotografía de pruebas con instrumentos.



CONCLUSIONES

- PRIMERA** Se ha realizado la implementación del sistema de temperatura para el rectificador de corriente con instrumentación tecnológica industrial, en donde se implementó sensores analógicos que nos ayudan a lecturar datos constantemente y conocer el estado del proceso de electrolisis de minerales.
- SEGUNDA** La instrumentación industrial en el tablero para el control de temperatura en el rectificador de corriente tiene una funcionalidad muy adecuada en el proceso de desorción para controlar de manera eficiente.
- TERCERA** Se realizo cálculos matemáticos para corroborar los resultados que se deberían obtener como respuesta, por lo que se escaló los sensores y las salidas analógicas en el controlador lógico programable s7 1200 CPU 1214 de siemens según el requerimiento en el proceso.
- CUARTA** Se implemento y desarrollo los sistemas HMI para realizar las pruebas de control, como es el voltaje y la visualización de corriente, temperatura y velocidad de la bomba en el software de Win CC.



RECOMENDACIONES

- PRIMERA** Se recomienda realizar las pruebas reales con material para mejorar el comportamiento del control PID, ya que es indispensable tener material en la celda electrolítica de desorción de minerales.
- SEGUNDA** En el caso del tablero de control se recomienda establecer un programa de mantenimiento preventivo para la instrumentación del tablero. Esto asegurará que todos los componentes funcionen correctamente, minimizando el riesgo de fallas durante el proceso de desorción.
- TERCERA** Se recomienda realizar el monitoreo continuo que registre las lecturas de los sensores y las salidas programadas en el PLC, esto permitirá realizar un seguimiento del rendimiento en tiempo real y detectar variaciones que puedan indicar problemas.
- CUARTA** Recomiendo asegurarse de que el personal este debidamente capacitado en el uso del sistema HMI y en la interpretación de datos que se presenten, esto con el fin de garantizar que pueda tomar decisiones informadas y responder adecuadamente a las alertas del sistema.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Céspedes Malpartida, D. B. (2015). *Diseño de un rectificador trifásico controlado*. LIMA,PERU: UNI, TESIS.
- David Gúzman Obando, F. S. (2014). *Control para rectificador con factor de potencia cercano a la unidad*. COLOMBIA: Escuela Colombiana de Carreras Industriales.
- FG Oblinger, M. W. (1986). Automatización de una celda electrolítica para el tratamiento de aguas residuales con contenido oleoso. *wiley online library*, 5.
- Gómez Li, J. J. (2018). *Automatización de la planta de procesos de adsorción, desorción y reactivación del carbón activado, utilizada para la extracción de oro y plata*. Lima,PERU.: Universidad Nacional de Ingeniería (Perú).
- Pozueta, M. Á. (2018). *maquinas electricas I, TRANSFORMADORES I*. ESPAÑA: UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.
- Rodríguez., M. D. (2008). *principios de elctrobtencion de minerales*. IZCALLI: CUAUTILAN.
- Sanchez, J. a. (2003). *control avanzado de Procesos*. Madrid: Ediciones dias de santos S.A.
- Siemens. (24 de 06 de 2024). *PLC Siemens*. Obtenido de <https://www.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/logo.html>
- SUNTAXI, M. D. (2022). *Análisis termodinámico de un motor de encendido provocado funcionando con mezclas enriquecidas en oxígeno e hidrógeno*



obtenidos mediante electrólisis del agua. Quito, Ecuador: UNIVERSIDAD
PPOLITECNICA PALESTINA .

Xavier, P. B. (2015). *MODULO DIDÁCTICO PARA RECTIFICACIÓN
TRIFÁSICA, CONTROLADO Y MONITOREADO CON EL SOFTWARE
LABVIEW.* Guayaquil, Colombia: Universidad Politécnica Salesiana.

APÉNDICES

Apéndice1: Matriz de consistencia.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES						
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	ANTECEDENTES	DISEÑO METODOLOGICO
<p>Actualmente proceso de desorción, enfrenta una serie de problemáticas en los clientes, en donde la problemática principal es en la falta de control de temperatura en la rectificación, ya que cuando existe una sobre carga de material, el rectificador se recalienta y trabaja menor tiempo de lo programado. Como es un proceso de recirculación se debe considerar el control de volumen o control de corriente eléctrica para lograr controlar una temperatura adecuada dentro del parámetro de funcionamiento. Ya que los costos de reposición de los componentes eléctricos son de precio considerable.</p>	<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cómo implementar el sistema de control de temperatura para el rectificador de corriente en el proceso de electrolisis de minerales?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Implementar el sistema de control de temperatura para el rectificador de corriente en el proceso de electrolisis de minerales.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>La implementación del sistema de control de temperatura evita el recalentamiento del mismo rectificador y los conductores eléctricos.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Sistema de control de temperatura.</p>	<p>A1. En este proceso continuo, el agua residual pasa a través de un ánodo compuesto por virutas de hierro poroso, donde la emulsión de aceite se separa mediante la disolución electrolítica del hierro, generando un lodo flotante rico en aceite y agua libre de aceite. (FG Obligar, 1986).</p> <p>A2. Se presentan en detalle el modelado y la linealización en torno al punto de operación del UPFC-HBB. Se proporciona un análisis exhaustivo y las consideraciones para el diseño del controlador de corriente y de voltaje de salida mediante el método de corriente promedio. Además, se aborda el esquema de control destinado a corregir el desbalance de voltaje entre los dos condensadores de salida. (David Gúzman Obando, 2014)</p> <p>A3. Se empleó la corriente trifásica junto con un conjunto de tres transformadores monofásicos conectados en configuración estrella-estrella (YY). para bajar el voltaje en fase de entrada. La herramienta informática LabVIEW, mediante el dispositivo de interfaz NI-USB 6008, se empleó para controlar y presentar gráficamente los trazados correspondientes a diversas cantidades, como VO, IO y VAK, adicionalmente a otras. (Xavier, 2015).</p>	<p>Enfoque: cuantitativo Diseño: experimental Tipo: descriptivo</p>
	<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>PE1: ¿De qué manera se realiza la instrumentación industrial, para controlar la temperatura en el rectificador de corriente?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>OE1: Realizar la instrumentación industrial, para controlar la temperatura en el rectificador de corriente.</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>HE1: La instrumentación y adecuación tecnológica en el tablero eléctrico mejora el control de temperatura en el rectificador.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>temperatura en el rectificador de corriente eléctrica.</p>		<p>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</p>
	<p>PE2: ¿Cómo realizar los algoritmos y escalamientos de sensores analógicos, para programar el controlador lógico programable s7 1200 CPU 1214 de siemens?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>OE2: Realizar los algoritmos y escalamientos de sensores analógicos, para programar el controlador lógico programable s7 1200 CPU 1214 de siemens.</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>HE2: El desarrollo de programa en el software de TÍA PORTAL mejora el control y sintonización del control PI.</p>			<p>Técnica: Observación directa. Instrumentos: descripción de parámetros de control.</p>
	<p>PE3: ¿Como realizar el desarrollo de la pantalla HMI para el control y supervisión de temperatura en el rectificador de corriente en el software de Win CC.?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>OE3: Realizar el desarrollo de la pantalla HMI para el control y supervisión de temperatura en el rectificador de corriente en el software de Win CC.</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>HE3: El desarrollo de pantalla HMI mejora en el control de parámetros de proceso.</p>			



Apéndice2: Instrumentos.

Se realizan una lista de instrumentos electrónicos que se utilizaron para el proyecto “implementación de un sistema de control de temperatura para el rectificador de corriente en el proceso de electrólisis de minerales”, en donde se utilizaron los instrumentos de investigación de Observación directa y experimentación.

Tabla 12

Tabla de instrumentos electrónicos.

INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS	DESCRIPCIÓN
Multímetro Uni - T	Multímetro para medir corriente, voltaje, ohm, continuidad, etc.
Pirómetro	Temperatura
Termocupla PT100	Temperatura
Sensor de corriente	Corriente eléctrica
Sensor de voltaje	voltaje
Regulador de voltaje	voltaje

Nota: Instrumentos electrónicos en la experimentación.

Apéndice3: Validación de instrumentos.

Se ha realizado un cuadro de validación de instrumentos que se ha realizado en esta investigación.

Tabla 13

Validación de instrumentos Electrónicos.

INSTRUMENTOS	VALIDACIÓN
Multímetro Uni - T	CERTIFICADO
Pirómetro	CERTIFICADO
Termocupla PT100	Pirómetro
Sensor de corriente	Multímetro
Sensor de voltaje	Multímetro
Regulador de voltaje	Multímetro

Nota: Se valida datos con instrumentos tecnológicos.



Apéndice4: Tratamiento de Datos.

Se realiza un cuadro de tratamiento de datos de los sensores y actuadores electrónicos con el fin de poder realizar la adquisición y procesamiento de algoritmos según los datos obtenidos.

Tabla 14

Tratamiento de Datos de estudio.

INSTRUMENTOS DE ESTUDIO	INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS	PARÁMETROS	DATOS	VALIDACIÓN
Observación directa	Multímetro Uni - T			certificado
	Pirómetro Termocupla PT100	Resistencia (ohm) a V 0 a 10v	0 a 27648 bits	certificado Multímetro/ PLC
Experimentación	Sensor de corriente	Corriente(A) 4 a 20mA	0 a 27648 bits	Multímetro/ PLC
	Sensor de voltaje	Voltaje (V) 0 a 10v	0 a 27648 bits	Multímetro/ PLC
	Regulador de voltaje	Voltaje(V) 0 a 10v	0 a 27648 bits	Multímetro/ PLC

Nota: El estudio y la validación de datos obtenidos.

Figura 53

proceso de Desorción general.



Fuente: fotografía de pruebas con instrumentos.

Figura 54

Celda Electrolítica del proceso de desorción.



Fuente: fotografía de pruebas con instrumentos.



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 30 - 10 - 2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: EDWARD REYNALDO CASTILLO ZUNI

Dirección: Av. GONZALES PRADA 108 P. J. MARICAL CASTILLA

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70112499

Teléfono: 934714136 email: edwardcz.9810@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO MECATRÓNICO

Asesor: MSc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA EL RECTIFICADOR DE CORRIENTE EN EL PROCESO DE ELECTRÓLISIS DE MINERALES

Palabras claves, (3 a 5 términos): Implementación, Control de temperatura y Monitoreo, HMI, PLC, Siemens.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

- Internacional
- Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA INSTRUMENTACIÓN – P21

Firma de Autor



huella digital

30 - 10 - 2024

Fecha

