



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
PARA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN
PLANTAS MOLIBDENO, 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. MADGER JOARY ANDIA LLERENA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
PARA IMPLANTACIÓN DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN
PLANTA DE MOLIBDENO, 2025**

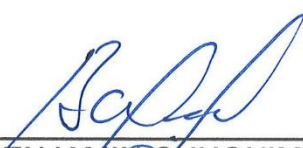
TESIS PRESENTADA POR:

Bach. MADGER JOARY ANDIA LLERENA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

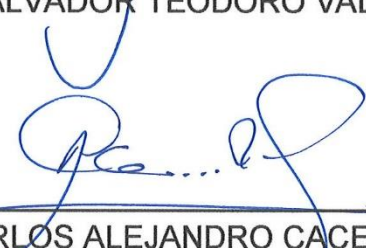
PRESIDENTE


: _____
Dr. BENJAMÍN CHUQUIMAMANI QUINTO

PRIMER MIEMBRO


: _____
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

SEGUNDO MIEMBRO


: _____
Ing. CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS

ASESOR DE TESIS


: _____
Ing. ADWAR RANULFO SÁNCHEZ CARREÓN

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA – P18



NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1662-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 02 de diciembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU - 12197 presentado por el (la) Bachiller: **MADGER JOARY ANDIA LLERENA** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** 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. **MADGER JOARY ANDIA LLERENA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN PLANTAS DE MOLIBDENO, 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**.

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 mérito 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** : Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
- * **1er Miembro** : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
- * **2do Miembro** : Ing. CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS

ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**.

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **MADGER JOARY ANDIA LLERENA**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN PLANTAS DE MOLIBDENO, 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : viernes 12 de diciembre del 2025
- * **HORA** : 08:30 horas
- * **LUGAR** : Aula 204 - EPIME

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 Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



cc.
Archivo
interesado (a)

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

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



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

Dr. César G. Camargo Najar
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1250-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 07 de octubre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU-8656 por el señor (a): **MADGER JOARY ANDIA LLERENA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 905-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 032 - 2025 del integrante del comité de investigación 1250 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): **MADGER JOARY ANDIA LLERENA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN PLANTAS DE MOLIBDENO, 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**.

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 **Mgtr. Salvador Teodoro Valdivia Cardenas** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 032 - 2025 **aprobandó** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN PLANTAS DE MOLIBDENO, 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA**.

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 mérito 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): **MADGER JOARY ANDIA LLERENA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulada: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN PLANTAS DE MOLIBDENO, 2025** correspondiente a la línea de investigación **INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **la**, **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**.

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 Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA

"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 856-2023-D-FICP-UANCV

Juliaca, 29 de agosto 2023

VISTOS:

El, **INFORME N° 486-2023-D-UI-FICP.UANCV** del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, **INFORME DE OPINIÓN TÉCNICA N° 004-2022-UANCV-FICP-UI-EPIET** del responsable del Comité de Investigación, la **opinión técnica N° 002-2023-UANCV-FICP-CACV** del presidente del sub comité de la Escuela Profesional de **Ingeniería Electronica y de Telecomunicaciones** y el **ACTA DE REGISTRO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN** según reglamento interno de aseguramiento de la calidad de trabajos de investigación de fecha **01 de agosto de 2023**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Electronico y Telecomunicaciones, con el tema titulado: **ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL LLENADO DE TANQUE ELEVADO CON PLC DE GAMA MEDIA**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bachiller: **PEDRO LUIS APAZA NINA**, ha presentado su Proyecto de Investigación Titulado: **ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL LLENADO DE TANQUE ELEVADO CON PLC DE GAMA MEDIA**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Electronico y de Telecomunicaciones**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras; el responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Electronica y de Telecomunicaciones**, Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, nominó a la sub comisión de evaluación de Proyecto de Investigación, a los siguientes Docentes:

- * **Presidente** : **Ing. CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS**
- * **1er Miembro** : **Ing. ABELARDO LEON MIRANDA**
- * **2do Miembro** : **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**

Que, la sub comisión de evaluación ha concluido aprobar sin observación el Proyecto de Investigación titulado: **ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL LLENADO DE TANQUE ELEVADO CON PLC DE GAMA MEDIA**, y;

Que, es requisito indispensable contar con un Docente Ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de magister y experiencia en la línea a investigar, que será el asesor de Proyecto de Investigación, y;

Estando, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, 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 de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el (la) Bachiller: **PEDRO LUIS APAZA NINA**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Electronico y de Telecomunicaciones**, con el Tema Titulado: **ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL LLENADO DE TANQUE ELEVADO CON PLC DE GAMA MEDIA**.

La misma que deberá proceder con la ejecución del Proyecto de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente ordinario, de la Escuela Profesional de Ingeniería Electronica y Telecomunicaciones de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, **Mgtr. GIOVANNI JOSE HUACASI SUPO**.

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 Electronica y de Telecomunicaciones** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.
archivo 2023
interesado (a)



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

Ing. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



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

Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
SECRETARIO ACADÉMICO
CIP. 95531



DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN PLANTAS MOLIBDENO, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

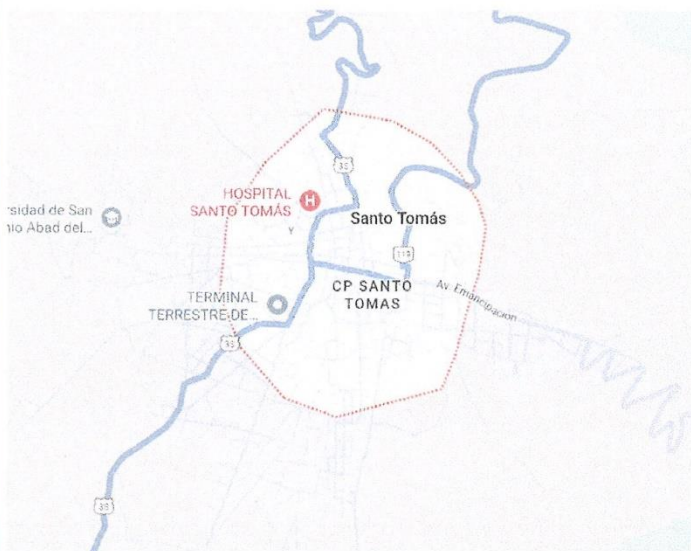
1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	3%
2	repositorio.udec.cl Fuente de Internet	3%
3	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
6	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	1library.co Fuente de Internet	<1%
8	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
9	lists.galaxyproject.org Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.upci.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	documentop.com Fuente de Internet	<1%



Metadatos complementarios - UANCV

Título de la Tesis	
DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA IMPLANTACIÓN DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN PLANTA DE MOLIBDENO, 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	MADGER JOARY ANDIA LLERENA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	45965398
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0000-3978-973X
Datos del asesor	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SÁNCHEZ CARREÓN
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02064066
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8065-6533
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02406088
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	CARLOS ALEJANDRO CACERES VARGAS
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	29591476



Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA – P18
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Departamento: CUSCO Provincia: CHUMBIVILCAS Distrito: SANTO TOMAS Longitud oeste: -14.450722 Latitud sur: -72.082221  URL: https://maps.app.goo.gl/faVVnBxYttET5Akh9
Año o rango de años en que se realizó la investigación	JULIO 2025 – NOVIEMBRE 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.00
- Librería	Mecánica aplicada https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Cesar G. Camargo Najar
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo MADGER JOARY ANDIA LLERENA, identificado con DNI Nro. 45965398, en mi condición de egresado de:

- ☒ Escuela Profesional
☐ Programa de Segunda Especialidad,
☐ Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

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

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN PLANTAS MOLIBDENO, 2025

Asesorado por: Ing. ADWAR RANULFO SÁNCHEZ CARREÓN

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 15 de DICIEMBRE del 2025



Firma del Asesor
(obligatoria)



Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Agradezco a Dios por guiar cada uno de mis pasos y por la bendición de permitirme llegar hasta este punto.

A mis padres, Lito y Nayda, por ser la fuente de mi inspiración y por los valores que me han inculcado. Esta tesis es un reflejo de su esfuerzo y sacrificio.

A mis hermanos, Karen y Roberto, por ser mis cómplices y por estar siempre a mi lado en este camino.

A mi tía, Rosa, por su inmensurable apoyo y por creer en mí. Sin su ayuda, este logro no hubiera sido posible.



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy infinitas gracias a Dios por haberme guiado en cada paso de este camino y por la fortaleza que me ha dado para lograr este sueño.

A mis amados padres, Lito y Nayda, por ser la fuente de mi inspiración, por su amor incondicional y por los valores que me han inculcado.

A mis hermanos, Karen y Roberto, por ser mis compañeros, por su apoyo constante y por estar siempre a mi lado en este camino.

A mi tía, Rosa, por su invaluable apoyo y por haber creído en mí. Sin su ayuda, este logro no hubiera sido posible.

A mis docentes y asesores de tesis, por compartir sus conocimientos y por la paciencia y guía que me brindaron durante todo el proceso.

Finalmente, agradezco a Andrea Tejada, por su cariño y aliento. Su apoyo ha sido fundamental para culminar esta etapa de mi vida.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Descripción del problema	1
1.1.1 A nivel internacional	1
1.1.2 A nivel nacional	1
1.1.3 A nivel local	2
1.2 Formulación del problema	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3 Justificación.....	3
1.3.1 Justificación teórica.....	3
1.3.2 Justificación práctica	3
1.3.3 Justificación metodológica	4



1.4	Objetivos de la investigación	4
1.4.1	Objetivo general	4
1.4.2	Objetivos específicos.....	4
1.5	Hipótesis.....	5
1.5.1	Hipótesis general	5
1.5.2	Hipótesis específicas	5
1.6	Variables	6
1.6.1	Variable independiente.....	6
1.6.2	Variable dependiente.....	6
1.6.3	Operacionalización de variables.....	6

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1	Antecedentes	7
2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	7
2.1.2	Antecedentes nacionales	8
2.1.3	Antecedentes locales	9
2.2	Bases teóricas.....	9
2.2.1	Niveles de automatización	9
2.2.2	Factores Físicos y de Entorno	11
2.2.3	Celdas de flotación	11
2.2.4	Funcionamiento básico de una celda de flotación.....	12
2.2.5	Componentes de una celda de flotación.....	12



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Enfoque	14
3.2	Método de investigación	14
3.3	Tipo de investigación	14
3.4	Nivel de investigación.....	14
3.5	Diseño de la investigación	15
3.6	Ámbito de investigación	15
3.7	Población y muestra	15
3.7.1	Población.....	15
3.7.2	Muestra.....	17
3.8	Técnicas e instrumentos	17
3.8.1	Técnicas de investigación.....	17
3.8.2	Instrumentos de investigación	18
3.9	Etapas de desarrollo del proyecto	20
3.9.1	Levantamiento de información.....	20
3.9.2	Diagnóstico del sistema existente	20
3.9.3	Diseño del sistema de control y automatización	21
3.9.4	Selección de equipos y materiales.....	21
3.9.5	Implementación y montaje	21
3.9.6	Pruebas y puesta en marcha	22

CAPÍTULO IV



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Introducción al capítulo.....	23
4.2	Resultados de las etapas de desarrollo del proyecto	23
4.2.1	Resultados del levantamiento de información	23
4.2.2	Resultados del diagnóstico del sistema existente	24
4.2.3	Resultados del diseño del sistema de control y automatización.....	27
4.2.4	Resultados de la selección de equipos y materiales	34
4.2.5	Resultados de la implementación y montaje	42
4.2.6	Resultados de las pruebas y puesta en marcha	64
4.3	Discusión de resultados.....	71
	CONCLUSIONES.....	74
	RECOMENDACIONES	75
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	ANEXOS.....	78
	Anexo 01: Detalle de cálculo de máxima demanda	79
	Anexo 02: Diagramas de flujo de procesos	80
	Anexo 03: Códigos, regulaciones y estándares	82
	Anexo 04: Panel fotográfico.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables.....	6
---------	--------------------------------------	---



Tabla 2	Etapas de flotación para la recuperación de molibdeno	25
Tabla 3	Identificación del Centro de Control de Motores (CCM)	29
Tabla 4	Identificación de alimentadores.....	31
Tabla 5	Listado de equipos eléctricos.....	34
Tabla 6	Listado de cables eléctricos	35
Tabla 7	Listado de cables de control e instrumentación.....	35
Tabla 8	Listado de equipos de instrumentación JB-01.....	36
Tabla 9	Listado de cables de instrumentación JB-01	38
Tabla 10	Listado de equipos de instrumentación JB-02.....	39
Tabla 11	Listado de cables de instrumentación JB-02	41
Tabla 12	Relación de equipos modificados y adicionados al proceso	42
Tabla 13	Metrado de cantidad de materiales eléctricos.....	45
Tabla 14	Metrado de cantidad de materiales de instrumentación	53
Tabla 15	Comparativo de recuperación de Molibdeno	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Nivel de campo	10
----------	----------------------	----



Figura 2 Componentes de un sistema de control.....	10
Figura 3 Tipos de automatización	11
Figura 4 Celda de flotación	12
Figura 5 Componentes de una celda de flotación.....	13
Figura 6 Circuito actual de la planta de molibdeno – Diagrama de flujo.....	26
Figura 7 Distribución de celdas y sus etapas limpieza de la planta actual de molibdeno.....	27
Figura 8 Circuito implementado para la optimización de flotación de molibdeno – Diagrama de flujo	43
Figura 9 Circuito para la optimización de flotación de molibdeno	44
Figura 10 Sistema de canalización y ductos bomba de recirculación	46
Figura 11 Sistema de canalización y ductos bomba de descarga	47
Figura 12 Sistema de fuerza y control	48
Figura 13 Diagrama unifilar CCM-01 - Bomba de recirculación	49
Figura 14 Diagrama unifilar CCM-01 - Bomba de Descarga	50
Figura 15 Diagrama esquemático arrancador bomba de descarga	51
Figura 16 Diagrama esquemático arrancador bomba de recirculación	52
Figura 17 Tendido de cable de Instrumentación	56
Figura 18 Diagrama de ubicación de instrumentos	57
Figura 19 Diagrama de terminaciones tablero JB-01 (1 de 2).....	58
Figura 20 Diagrama de terminaciones tablero JB-01 (2 de 2).....	59
Figura 21 Diagrama de terminaciones tablero JB-02 (1 de 2).....	60
Figura 22 Diagrama de terminaciones tablero JB-02 (2 de 2).....	61
Figura 23 Diagrama PI&D de instrumentos Celda Jameson.....	62
Figura 24 Diagrama PI&D de instrumentos Línea de concentrado de molibdeno.....	63
Figura 25 Diagrama de pruebas con agua	66



Figura 26 Pantalla de operación secuencia de arranque - Pruebas con agua.....	67
Figura 27 Diagrama de pruebas con carga	69
Figura 28 Pantalla de operación secuencia de arranque - Pruebas con carga.....	70
Figura 29 Diagrama de barras comparativo de recuperación de Molibdeno.....	73



RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema de control y automatización para la implantación de celdas de flotación en plantas de molibdeno, mediante la integración de una celda Jameson al circuito de flotación existente. En el sector minero, las celdas de flotación cumplen un rol fundamental en la recuperación de minerales valiosos, por lo que es indispensable contar con sistemas de control eficientes que optimicen el desempeño del proceso productivo.

El estudio comprendió el diseño del sistema eléctrico de alimentación y distribución, determinándose una máxima demanda de 51.57 kW, lo cual permitió establecer que no fue necesario modificar el suministro de energía eléctrica, debido a que los equipos del sistema fueron reubicados dentro del mismo circuito existente. El diseño eléctrico se desarrolló conforme a normas técnicas y de seguridad vigentes. Asimismo, se implementó un sistema de control y automatización integrado al sistema de control distribuido (DCS) de la planta, mediante módulos de entradas y salidas remotas (RIO), permitiendo el monitoreo en tiempo real de las principales variables del proceso.

Antes de la implementación, el circuito de flotación presentaba una recuperación de molibdeno entre 60% y 65%; posteriormente, dicha recuperación se incrementó a un rango de 66.75% a 75%, evidenciando una mejora significativa en la eficiencia y estabilidad del proceso, así como un incremento de la productividad y el cumplimiento de las normativas ambientales y operativas del sector minero.

Palabras claves: celdas de flotación, sistema de control, automatización, celda Jameson, molibdeno.



ABSTRACT

The objective of this research was to design and implement a control and automation system for the installation of flotation cells in molybdenum processing plants, through the integration of a Jameson cell into the existing flotation circuit. In the mining sector, flotation cells play a key role in the recovery of valuable minerals; therefore, efficient control systems are essential to optimize process performance.

The study included the design of the electrical power supply and distribution system, determining a maximum demand of 51.57 kW, which confirmed that no modifications to the power supply were required, as the system equipment was reallocated within the same existing electrical circuit. The electrical design complied with current technical and safety standards. In addition, a control and automation system integrated into the plant's Distributed Control System (DCS) was implemented using Remote Input/Output (RIO) modules, enabling real-time monitoring of the main process variables.

Prior to implementation, the flotation circuit achieved a molybdenum recovery ranging from 60% to 65%. After implementation, recovery increased to 66.75%–75%, demonstrating improved process efficiency, stability, productivity, and compliance with environmental and operational regulations in the mining sector.

Keywords: flotation cells, control system, automation, Jameson cell, molybdenum.



INTRODUCCIÓN

El diseño del presente trabajo de investigación está basado en las disposiciones establecidas en el reglamento de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, la misma que contiene los siguientes capítulos:

CAPÍTULO I: Se evidencia el planteamiento del problema, además se definen el problema general y los problemas específicos, junto con la justificación, los objetivos generales y específicos, y la hipótesis que orienta la investigación y la operacionalización de variables.

CAPÍTULO II: Se desarrolla el marco teórico, comenzando con los antecedentes internacionales, nacionales y locales. A continuación, se establecen las bases teóricas de la variable independiente y dependiente, finalizando con la definición de los términos clave de la investigación.

CAPÍTULO III: Se define la metodología, el diseño de investigación, la población y la muestra, y se establece el instrumento a utilizar para la recolección de datos en la investigación.

CAPÍTULO IV: Se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de la encuesta, acompañados de una discusión detallada sobre los hallazgos.

Finalmente, se describen las conclusiones a las que se llegó en el presente trabajo de investigación, así como las recomendaciones que se consideran necesarias.



CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Descripción del problema

1.1.1 *A nivel internacional*

El objetivo de la propuesta es mejorar el control de los efectos negativos del insoluble (Ins) en la flotación selectiva, entendiendo como Ins a toda ganga que contenga sílice y oxígeno. Durante mayo y junio de 2023 debido a un aumento de Ins en el concentrado colectivo (CC), de los espesadores de cabeza C6/C7 rebosaron 14.500 t CC con 2.5% Mo. Bajo la configuración normal del circuito, la corriente cola primera limpieza (K1L) retorna en su totalidad a los espesadores C6/C7. La propuesta de circuito plantea tratar en una etapa de barrido la mitad de la K1L, la cual se caracteriza por tener alta ley Ins y granulometría fina.

1.1.2 *A nivel nacional*

Por otra parte, las pruebas de sedimentación que se realizan en las mineras del sur del país se dan en condiciones de alto Ins% en CC, un aumento en la proporción másica de K1L aumenta los valores de NTU de las aguas claras y disminuye la velocidad de sedimentación en laboratorio en un 33%. Las pruebas de flotación de K1L revelaron que



el molibdeno que contiene se puede recuperar hasta un 90.7% para una ley de Mo en la alimentación de 1.9% y tiempos de flotación de 8 minutos. Se demostró que el pH de 8.5 aumenta en promedio la R Mo en un 3%. Las pruebas cinéticas de flotación bajo la configuración normal de circuito revelaron que en todas las etapas de flotación se debería disminuir el número de celdas.

1.1.3 A nivel local

Por otro lado, debido a la corta duración de la prueba industrial del circuito propuesto, no se tienen resultados de la cinética bajo esta configuración, por lo que no se pudo realizar un análisis concluyente respecto a estas pruebas, ni realizar una comparación entre ambas configuraciones. Respecto las configuraciones de circuito normal y propuesto estudiadas, se tiene que ambas lograron el estándar operacional de R Mo sobre 92% y la calidad del concentrado final con 48% Mo, específicamente, lograron 94.8% R Mo – 48.54% Mo y 93.6% R Mo – 50.33% Mo, respectivamente.

Finalmente, la configuración de circuito propuesta disminuyó el flujo másico de K1L que recirculaba al C6/C7 a un 30%. A pesar de que el escenario operacional que motivó el estudio de este circuito ya había mejorado, se determinó que esta propuesta operacional puede y será evaluada como una opción bajo posibles futuros escenarios que puede experimentar la planta de molibdeno, por estas razones se plantea la propuesta de diseño de un sistema de control y automatización.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo diseñar el sistema de control y automatización para la implementación de celdas de flotación en plantas de procesamiento de molibdeno, 2025?

1.2.2 Problemas específicos

PE1.- ¿Cómo determinar los requerimientos eléctricos adecuados para el diseño del sistema de control y automatización para la implementación de celdas de flotación en plantas de procesamiento de molibdeno, 2025?

PE2.- ¿Cómo debe diseñarse un sistema eléctrico de alimentación y distribución en cumplimiento de las normas para la automatización de celdas de flotación en plantas de molibdeno, 2025?

PE3.- ¿Cómo desarrollar el sistema de control y monitoreo a través de controladores lógicos programables para la implementación de celdas de flotación en plantas de molibdeno, 2025?

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

En la actualidad, algunas empresas del sector minero requieren de diseño de sistemas automatizados que ayuden a obtener indicadores útiles que ayuden a obtener una mayor eficiencia, para el control y aumento de su productividad. Estos indicadores resultan muy útiles para que el personal de la alta dirección, puedan tomar decisiones sobre la disponibilidad de sus equipos y la respuesta del personal a cargo.

1.3.2 Justificación práctica

En algunas de las empresas del sector minero cuentan con algunos equipos antiguos los cuales no tiene definida una frecuencia de mantenimiento; además del registro de producción realizado de forma manual el cual puede o no reflejar la real producción del turno. El diseño e implementación desarrollados en la propuesta busca ayudar al área a tener un mejor control sobre su maquinaria, su personal y su producción;



de manera que se cumpla las metas de producción y estándares de calidad, controlando las demoras en los mantenimientos preventivos y correctivos, además de registrar la hora de inicio de producción por turno, de la misma forma se busca poder supervisar y monitorear de forma remota la operatividad de los equipos y tener respaldo de la información de la planta de forma digital ya que solo se cuenta con documentos físicos.

1.3.3 Justificación metodológica

El enfoque de la investigación es mixto; según Hernández y Mendoza (2008) los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos. Así mismo tiene un alcance descriptivo explicativo; siendo el diseño no experimental. El diseño es no experimental, porque no se efectúa manipulación de las variables.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Diseñar el sistema de control y automatización para la implementación de celdas de flotación en plantas de procesamiento de molibdeno, 2025.

1.4.2 Objetivos específicos

OE1.- Determinar los requerimientos eléctricos adecuados para el diseño del sistema de control y automatización para la implementación de celdas de flotación en plantas de procesamiento de molibdeno, 2025.



OE2.- Diseñar el sistema eléctrico de alimentación y distribución en cumplimiento de las normas para la automatización de celdas de flotación en plantas de molibdeno, 2025

OE3.- Desarrollar el sistema de control y monitoreo a través de controladores lógicos programables para la implementación de celdas de flotación en plantas de molibdeno, 2025.

1.5 Hipótesis

1.5.1 *Hipótesis general*

Si se diseña el sistema de control y automatización para la implementación de celdas de flotación en plantas de procesamiento de molibdeno, se garantizará una operación segura y eficiente.

1.5.2 *Hipótesis específicas*

HE1.- Si se determinan los requerimientos eléctricos se garantizará un sistema de control y automatización adecuado para la implementación de celdas de flotación en plantas de procesamiento de molibdeno.

HE2.- Si se diseña el sistema eléctrico de alimentación y distribución en cumplimiento de las normas se garantizará una operación segura y eficiente de celdas de flotación en plantas de procesamiento de molibdeno.

HE3.- Si se desarrolla un sistema de control y monitoreo a través de controladores lógicos programables, mejoraran los indicadores de operación de las celdas de flotación en plantas de molibdeno.

1.6 Variables

1.6.1 Variable independiente

Diseño de sistema de control y automatización

1.6.2 Variable dependiente

Implementación de celdas de flotación

1.6.3 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
V.I Diseño de sistema de control y automatización	Niveles de automatización	Nivel de campo	Sensores y actuadores
		Nivel de control	Lógica de control
		Nivel de supervisión	Optimización de operaciones
	Componentes del sistema	Sensores	Variables de proceso: presión, Temperatura
		Actuadores	Acciones de control: Motores, válvulas
		Controlador	Procesamiento de entradas y salidas
	Tipos de Control	Automatización fija	Tareas repetitivas
		Automatización programable	Secuencia de operaciones
		Automatización flexible	Adaptación por procesos
		Automatización integrada	Operaciones conjuntas
V.D Implementación de celdas de flotación	Dimensiones de celdas	Tipo de celda	Mecánicos, neumáticos o de columna
		Capacidad de procesamiento	Toneladas/día
		Tiempo de residencia	Tiempo que necesita el mineral para recuperar
		Procesos	"Rougher", "Cleaner" y "Scavenger"
	Volúmenes	Volúmenes estandarizados	30 m3
			130 m3
			142 m3
			200 m3

Nota. Elaboración propia



CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Antecedentes

2.1.1 *Antecedentes Internacionales*

Melanie K. Jara Padilla (2004), de la Universidad de Concepción en su investigación denominada: Control de los problemas asociados al insoluble mediante la modificación del circuito de la Planta de Flotación Selectiva de Molibdeno, Codelco División Chuquicamata, en cuya conclusión se enfocó en mejorar el control de los efectos negativos del insoluble en la flotación selectiva de molibdeno mediante la implementación de un nuevo circuito en la Planta de Molibdeno y Filtros de Codelco División Chuquicamata. La propuesta logró una recuperación de molibdeno superior al 92% y una calidad del concentrado final de aproximadamente 48% Mo.

Emilio Hernán Molina Aguad (2012), de la Universidad Técnica Federico Santa María (Chile), en su investigación: Estudio de distribución de energía en planta de filtros para Codelco Andina, en la que analiza el sistema de distribución de energía eléctrica en la planta de flotación de molibdeno y filtrado de cobre de Codelco Andina, proponiendo mejoras en la confiabilidad y eficiencia del sistema mediante el reordenamiento de cargas y actualización de equipos.

Jiménez Torres, Daniela Belén (2024), de la Universidad de Concepción Chile, en su investigación: Optimización del circuito de planta flotación selectiva para condiciones de baja ley de molibdeno, Codelco división Chuquicamata, en la que se enfocó en actualizar el circuito de flotación selectiva para mejorar la calidad del concentrado de molibdeno en condiciones de baja ley, mediante muestreos y pruebas de flotación.

2.1.2 *Antecedentes nacionales*

Gliserio García Rivera & Wilfredo García Rivera (2018), de la Universidad Nacional de Huancavelica, en la investigación: Sistema de control automático para mejorar la eficiencia de operación de la rastra de espesador clarificador de molibdeno, en la planta hidrometalúrgica del Proyecto Toromocho - Minera Chinalco Perú S.A. en cuya conclusión: diseñó e implementó un sistema de control automático para la rastra del espesador clarificador de molibdeno, logrando mejorar la eficiencia de operación en más del 5%. Se desarrollaron subsistemas de control de torque, temperatura y nivel, utilizando PLCs para automatizar el proceso.

César Orlando Gonzáles Vega (2000), de la Universidad Nacional de Ingeniería, en su investigación: Diseño de un sistema eléctrico y control de una planta de molienda, en cuya conclusión, aborda el diseño de las instalaciones eléctricas y sistemas de control para una planta de molienda, incluyendo desde la subestación hasta el arranque de motores y control del proceso. Se utilizaron sistemas electrónicos y variadores de velocidad para mejorar la disponibilidad y flexibilidad de operación.

José Antonio Zolla Díaz (2002), de la Universidad de Ingeniería, en su investigación: Montaje del sistema eléctrico, sistema de control e instrumentación en el área de flotación de la concentradora de Cuajone, presenta una experiencia en el montaje

de sistemas eléctricos, de control e instrumentación en el área de flotación de la concentradora de Cuajone, destacando la implementación de sistemas de control distribuido y la importancia de la instrumentación en procesos mineros.

Ccarita Cruz, Juan Carlos (2017), de la Universidad de Ingeniería, la investigación: Diseño de un controlador predictivo generalizado multivariable para el control de una celda de flotación tipo columna utilizada en el proceso de recuperación de cobre, propone Se propone un controlador predictivo multivariable para mejorar el control de celdas de flotación tipo columna en la recuperación de cobre, considerando la dinámica compleja del proceso.

Güere Quintero, Leonidas Abnidego (2016) de la Universidad Nacional de Ingeniería, en su investigación: Diseño de un banco de 4 celdas de flotación tipo celda-celda de 5.4m^3 para el proceso de flotación de una planta concentradora en la pequeña y mediana minería, detalla el diseño de un banco de celdas de flotación tipo celda-celda, incluyendo cálculos y consideraciones para su implementación en plantas concentradoras de pequeña y mediana minería.

2.1.3 Antecedentes locales

A nivel local no encontró antecedentes relacionados a la propuesta de investigación.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Niveles de automatización

Los niveles de automatización están en función de la complejidad de los procesos en el que deben actuar, por lo que existe una variedad para los diferentes sectores industriales, entre ellos se tiene:

2.2.1.1 Niveles de campo

Es considerado con el nivel más bajo de la automatización industrial, en la cual incluye dispositivos físicos, entre ellos se tiene los sensores y actuadores, los cuales interactúan directamente con la maquinaria de cada uno de los procesos.

Figura 1
Nivel de campo

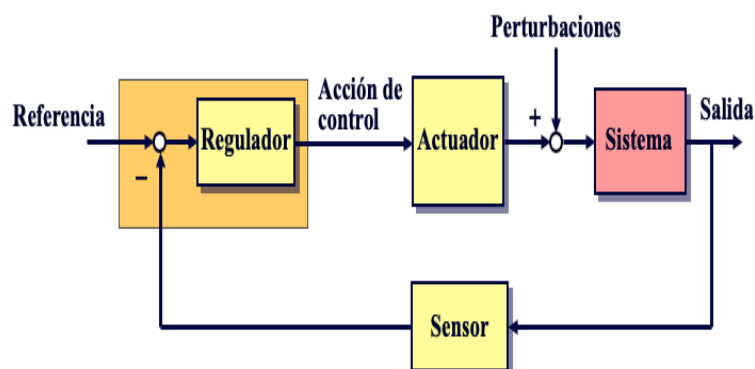


Nota. Fuente: Movicontrol

2.2.1.2 Componentes de un Sistema

Los sistemas de control están compuestos por diferentes elementos, los mismos que están interconectados entre sí, y dependerá mucho del tipo de proceso ya que cada uno tiene diferente enfoque, dentro de ellos están los sensores, actuadores y controladores.

Figura 2
Componentes de un sistema de control

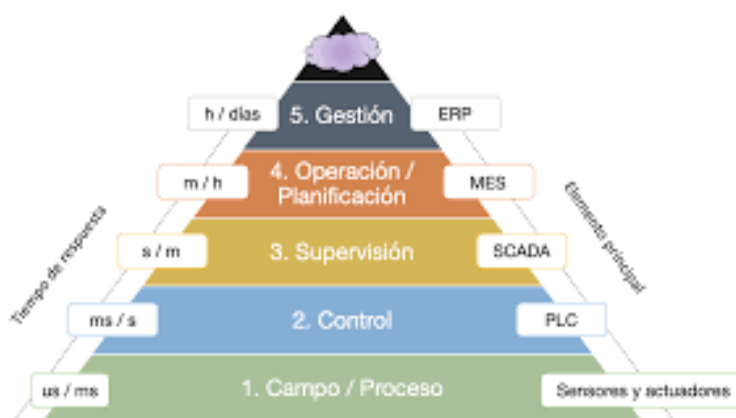


Nota. Elaboración propia

2.2.1.3 Tipos de automatización

En todo proceso industrial existen tipos de automatización, entre las utilizadas se pueden considerar la automatización fija, la automatización y la automatización flexible, estos tipos varían de acuerdo al proceso y la tecnología empleada y la que se pueda adaptarse al sistema.

Figura 3
Tipos de automatización



Nota. Fuente: Bookdown

2.2.2 Factores Físicos y de Entorno

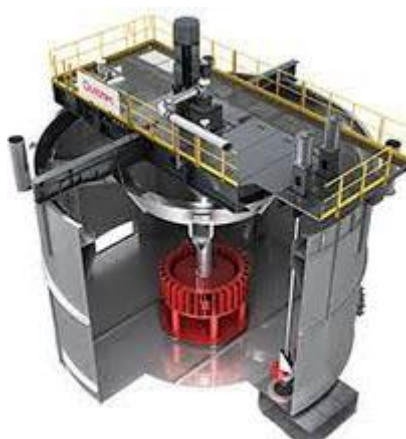
Todo nivel de automatización debe considerar el entorno y la estructura física del sistema a diseñar, lo cual implica que se tendrá en cuenta lo siguiente: estructuras - bastidores, encapsulados, estaciones de trabajo; todo esto con la finalidad de considerar los espacios para la disposición de los equipos, considerando aspectos ambientales y de seguridad en las instalaciones.

2.2.3 Celdas de flotación

Una celda de flotación está compuesta por equipos mecánicos, que tienen por finalidad la separación de minerales mediante el proceso de infusión de aire para la

creación de burbujas, las mismas que se adhieren a las partículas hidrofóbicas para el descarte de material no deseado.

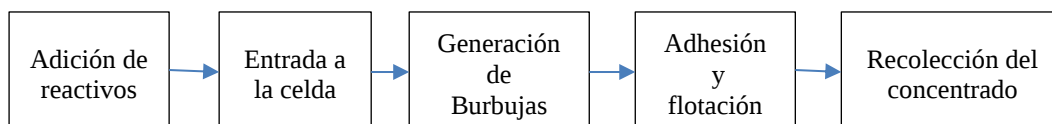
Figura 4
Celda de flotación



Nota. Fuente: Metso Outotec

2.2.4 *Funcionamiento básico de una celda de flotación*

El funcionamiento de una celda de flotación está basado en un procedimiento que se describe en el siguiente diagrama:



2.2.5 *Componentes de una celda de flotación*

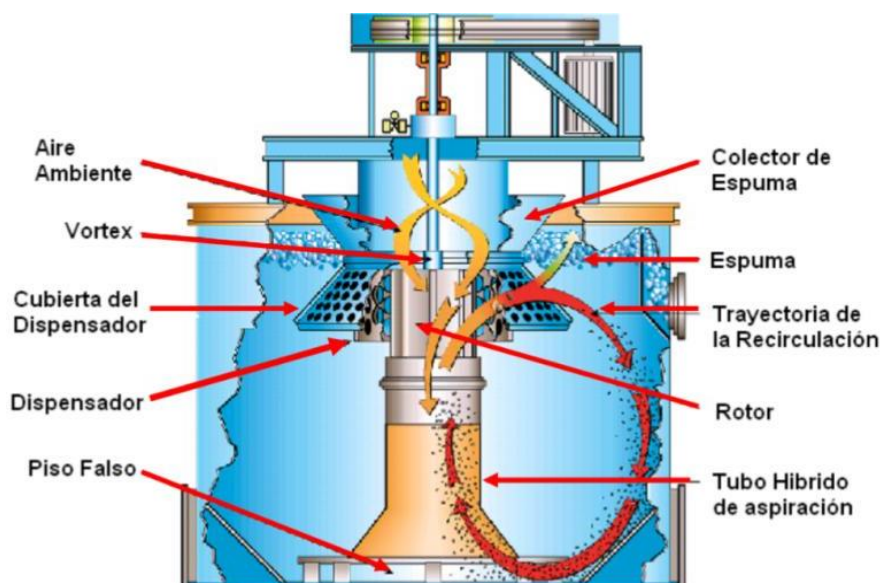
Los principales componentes de una celda de flotación son:

- A. Tanque:** Componente donde se realizará el proceso
- B. Rotor/Impulsor:** Dispositivo mecánico que mediante el giro realizara la agitación y aireación generara las burbujas
- C. Dispensor/Estator:** Dispositivo que acompaña al rotor con la finalidad de mejorar el rendimiento en la generación de las burbujas

D. Tubo de tiraje: Dispositivo mediante el cual la celda de flotación recibe el aire

E. Canaleta de recolección: Dispositivo ubicado en la parte superior de la celda con la finalidad de acopiar el concentrado del mineral

Figura 5
Componentes de una celda de flotación



Nota. Fuente: Johel Córdova



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Enfoque

La presente investigación tiene un enfoque mixto, ya que plantea un conjunto de procesos para la recolección y análisis de datos cualitativos y cuantitativos.

3.2 Método de investigación

La presente investigación estará basada en métodos inductivos y deductivos, dado que parte del análisis del sistema actual, analiza los datos específicos y a partir de ello plantea soluciones a implementar.

3.3 Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, dado que tiene por finalidad resolver un problema concreto en la planta, implementando acciones concretas para lograr el objetivo esperado.

3.4 Nivel de investigación

Nivel: Descriptivo-Explicativo

La presente investigación es de tipo descriptivo-explicativo debido a que detalla las condiciones iniciales de la planta y el sistema antes de su implementación para



posteriormente describir la solución a implementar, explicando además cómo esta implementación contribuirá a la mejora del sistema en general.

3.5 Diseño de la investigación

El diseño es explicativo-secuencial.

La presente investigación analiza diversos factores para lograr la identificación de causas del problema planteado, todo ello para posteriormente detallar las fases de la implementación que, de forma sucesiva, contribuirán para brindar solución al problema inicial.

3.6 Ámbito de investigación

El ámbito de la presente investigación se sitúa en el sector minero, el cual constituye una de las actividades estratégicas para la economía nacional, proporcionando materia prima e insumos de alto valor para la industria en general. Este estudio en particular, se enfoca en los procesos de flotación de molibdeno, en los cuales es muy importante garantizar eficiencia y estabilidad de las variables para alcanzar una alta recuperación metalúrgica.

Esta investigación se desarrolla específicamente dentro de la automatización de procesos, complementándose con ingeniería de electricidad, control e instrumentación para lograr la optimización de los procesos, combinando así los fundamentos tecnológicos de la ingeniería con tanto la realidad actual de las operaciones mineras, desarrollando soluciones innovadoras para favorecer la productividad y eficiencia del sector minero.

3.7 Población y muestra

3.7.1 Población

La población de la presente investigación se encuentra conformada por aquellas operaciones mineras que realicen procesamiento de cobre teniendo como uno de sus subproductos el molibdeno a partir de la etapa de flotación.

Este tipo de industrias forman un sector importante de la minería nacional, especialmente en el sur del país, ya que el molibdeno tiene gran importancia como materia prima en la fabricación de diferentes tipos de aceros y aleaciones. Esta investigación, por lo tanto, se encuentra centrada en la población conformada por industrias mineras que poseen plantas concentradoras que incluyen circuitos de flotación para recuperación de molibdeno, para lo cual requieren la optimización de los niveles de recuperación del mismo.

3.7.1.1 Criterios de inclusión:

- Industrias mineras con plantas concentradoras de cobre que realicen un proceso de recuperación de molibdeno como subproducto.
- Plantas de procesamiento de flotación para recuperación de molibdeno (celdas convencionales o celdas Jameson).
- Sistemas de control, instrumentación y/o sistemas eléctricos relacionados con celdas de flotación o celdas Jameson.
- La planta de procesamiento de cobre del presente estudio, específicamente a nivel de su área de recuperación de molibdeno.

3.7.1.2 Criterios de exclusión:

- Operaciones mineras de cobre que no cuenten con un área o proceso para recuperación de molibdeno.
- Operaciones mineras de beneficio de otros minerales ajenos al cobre, que no tienen como subproducto el molibdeno.
- Procesos posteriores a flotación, que no tengan por finalidad la recuperación de molibdeno, por ejemplo: fundición, refinación, etc.



3.7.2 *Muestra*

La muestra de la presente investigación corresponde al proceso de recuperación de molibdeno de la planta concentradora de cobre en la cual se realizará el estudio, específicamente en la celda Jameson y sus equipos relacionados en el funcionamiento (hoppers, bombas, tuberías y equipos de control e instrumentación).

La técnica de selección empleada es de muestreo no probabilístico de tipo intencional, debido a que se eligió de forma deliberada el proceso de recuperación de molibdeno de la planta de cobre donde se realizará la investigación, debido a que se trata del área de ejecución del presente proyecto.

3.8 *Técnicas e instrumentos*

3.8.1 *Técnicas de investigación*

3.8.1.1 *Análisis documental*

Esta técnica fue empleada para la recopilación y revisión de la información concerniente al proceso actual que se venía manejando en planta concentradora, haciendo uso de memorias descriptivas, planos, fichas técnicas, manuales de funcionamiento y normas nacionales e internacionales del sector, los cuales contribuyeron para el desarrollo del marco de trabajo, definiendo las condiciones existentes y planeando los objetivos a lograr con la posterior implementación.

3.8.1.2 *Observación estructurada y no estructurada*

Se aplicó observación estructurada por medio de visitas a campo haciendo uso de listas de chequeo para detallar las condiciones actuales de la celda Jameson y sus equipos complementarios, además de las instalaciones eléctricas, sistemas de control y variables operativas. Por su parte, la observación no estructurada se realizó mediante recorridos

donde se realizó inspecciones visuales a los equipos, verificando condiciones de operatividad, problemas recurrentes identificados por personal encargado de la operación de los mismos, así como posibles limitaciones detectadas en el sistema de control anterior. Ambas técnicas, trabajadas conjuntamente, facilitaron la articulación de los datos teóricos y técnicos con las condiciones prácticas de funcionamiento real de equipos.

3.8.1.3 Entrevista

Esta técnica se aplicó mediante diálogos semiestructurados con personal encargado de la operación del proceso: operadores de procesos-planta, ingenieros de procesos, operadores de planta molibdeno, analistas de laboratorio, técnicos de instrumentación y personal de mantenimiento eléctrico. La finalidad de dichas entrevistas fue identificar las distintas dificultades o limitaciones en la operación y funcionamiento del circuito de recuperación de molibdeno, validando de esta forma la necesidad de implementar mejoras en el sistema de control y recabar información acerca del proceso de funcionamiento de la celda Jameson. La información recopilada fue decisiva para realizar el planteamiento y la interpretación del problema y, a partir de ello, definir el diseño a implementar para el nuevo sistema, tomando en cuenta el funcionamiento y los requerimientos reales de las personas que interactúan con mayor frecuencia en el proceso.

3.8.2 Instrumentos de investigación

3.8.2.1 Información bibliográfica

Como parte de este instrumento se consultó distintos artículos y publicaciones científicas relacionadas con recuperación de minerales por medio de procesos de flotación y también acerca de diseño de sistemas de control y automatización de procesos industriales, así como diferentes normas técnicas nacionales e internacionales. La

consulta a estas fuentes permitió establecer el fundamento teórico de la investigación para de esta forma plantear el diseño a implementar en el proyecto.

3.8.2.2 Manual de operación y mantenimiento

Se realizó la revisión de los documentos de referencia de la celda Jameson y sus equipos auxiliares, es decir fichas técnicas y manuales proporcionados por el fabricante de cada uno de ellos. El contenido de estos documentos ha sido tomado como referencia para definir los parámetros de funcionamiento de los equipos, mecanismos de arranque y parada y condiciones de mantenimiento preventivo del circuito en general, conjugando todas las especificaciones identificadas para establecer el diseño del sistema de control a implementar.

3.8.2.3 Registro de inspecciones

Se utilizaron listados de verificación propios para recopilar información a partir de las visitas e inspecciones realizadas a lo largo del proceso de recuperación de molibdeno. Dentro de estos formatos se registraron las distintas observaciones acerca del funcionamiento de los equipos, estado de los instrumentos, desempeño eléctrico y condiciones de trabajo, mismos datos que fueron utilizados para realizar el diagnóstico inicial del circuito en evaluación.

3.8.2.4 Ficha de incidencia diaria

Por medio de esta ficha, se realizó la recopilación de las incidencias y eventos suscitados dentro de condiciones normales de operación diaria del proceso de recuperación de molibdeno. Dentro de estas fichas de incidencia se incluyó reportes de falla de instrumentos del circuito, variaciones de caudal, desajuste de bombas y otras incidencias que pudieran servir para la identificación de fallas recurrentes y determinar criterios de mejora en la implementación del nuevo diseño.



3.8.2.5 Registro de operaciones

Para este instrumento se tomó como referencia los registros operacionales de la planta que consignan parámetros de funcionamiento de los equipos como nivel, presión y caudal, lo cual permitirá la comparación de condiciones antes y después de la implementación del sistema de control.

3.9 Etapas de desarrollo del proyecto

La presente investigación se desarrollará en seis etapas consecutivas, con la finalidad de realizar el diagnóstico, diseño e implementación del sistema eléctrico, de automatización y control para la recuperación de molibdeno para una planta concentradora de cobre. Se procede a describir las etapas de la investigación:

3.9.1 Levantamiento de información

Es la primera etapa de la investigación. Consta de la recopilación de los antecedentes documentarios y técnicos que se tienen a disposición para recabar información acerca del proceso existente para recuperación de molibdeno por medio del proceso de flotación. Se revisó diagramas unifilares, planos eléctricos y de instrumentación, manuales de operación de la celda Jameson y equipos auxiliares, memorias descriptivas y normas nacionales e internacionales aplicables al proyecto.

3.9.2 Diagnóstico del sistema existente

Para esta etapa, se realizó visitas a campo con apoyo de listas de verificación para registrar el funcionamiento y posibles observaciones y fallas del sistema eléctrico y de control durante su funcionamiento previo al desarrollo del nuevo sistema. Para el desarrollo del sistema eléctrico, se evaluó el estado del centro de control de motores (CCM) sistemas de puesta a tierra, protecciones y alimentadores existentes. Para el

desarrollo del sistema de control y automatización, se reconoció las condiciones de la instrumentación instalada y el funcionamiento del sistema del proceso.

3.9.3 *Diseño del sistema de control y automatización*

Usando la información recopilada en las dos etapas anteriores, se procedió con el detalle de requerimientos a implementar para el sistema eléctrico y el de control y automatización. Para el sistema eléctrico, se definió la máxima demanda, rutas y memorias de cálculo de alimentadores, diagramas unifilares y rutas de cableado. Para el sistema de control y automatización, se identificó las variables críticas que debían ser medidas y reguladas (nivel de pulpa, caudales, presiones) y la planificación para la instalación de los sensores y equipos de instrumentación.

3.9.4 *Selección de equipos y materiales*

En esta etapa se especificó los equipos eléctricos y de control requeridos para la implementación del nuevo sistema, tales como sensores, válvulas, flujómetros, tableros de control, tableros neumáticos, cables eléctricos y de control, bandejas portacables, variadores, motores eléctricos y bombas. La selección de equipamiento se basó en las condiciones normales en las que opera la planta, además de considerar recomendaciones del fabricante contenidas en las hojas de datos técnicos de los equipos.

3.9.5 *Implementación y montaje*

En esta etapa se realizó la ejecución de las actividades constructivas y de instalación requeridas para desarrollar la infraestructura del sistema eléctrico y de control diseñado previamente. Dentro del proceso, se desarrollaron las siguientes actividades:

- **Obras eléctricas:** tendido de cable de fuerza, instalación de bandejas portacables y canalizaciones, conexión de motores y centros de control de motores (CCM).



- **Montaje de instrumentación:** instalación de sensores de presión, sensores de nivel, flujómetros y pH metros, válvulas de control relacionados con la celda Jameson y sus equipos auxiliares. Asimismo, se instaló las canalizaciones y se realizó el tendido de cable de instrumentación y conexión de instrumentos y tableros de control.

3.9.6 *Pruebas y puesta en marcha*

Es la etapa final de la investigación, la cual consistió de la verificación de la correcta operatividad y confiabilidad del sistema implementado. Para ello, se desarrollaron las siguientes actividades:

- **Pruebas eléctricas:** se realizó las pruebas de continuidad de cables eléctricos y pruebas de aislamiento de cables.
- **Pruebas de instrumentación y control:** se verificó la calibración de sensores, validación de lazos de control, pruebas de continuidad de cables de control y comprobación de señales en el PLC.
- **Pruebas en vacío y en carga:** se realizó el arranque de la celda Jameson sin carga, posteriormente se realizó pruebas de funcionamiento con agua y finalmente se ejecutaron pruebas con mineral en condiciones reales de operación.
- **Puesta en marcha:** se dio inicio a la operación del sistema implementado, comprobando la estabilidad de variables (nivel de pulpa y caudal) y comprobando la integración del proceso implementado con el proceso de la planta de molibdeno.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Introducción al capítulo

El presente capítulo de la investigación desarrolla los resultados obtenidos de la puesta en práctica de las etapas del proyecto descritas en el capítulo anterior. Se procede a detallar la información recopilada en la etapa de levantamiento de datos, así como el diagnóstico desarrollado para el sistema existente y el diseño formulado para la nueva implementación. Se desarrollan también los aspectos identificados en las pruebas realizadas para garantizar el adecuado funcionamiento del proceso implementado en la celda Jameson y sus equipos correspondientes para recuperación de molibdeno.

Para finalizar, el presente capítulo desarrolla la discusión de resultados, en la cual se compara la situación inicial del proceso con la situación posterior a la implementación del diseño, evaluando de esta forma el alcance de los objetivos formulados al inicio de la investigación.

4.2 Resultados de las etapas de desarrollo del proyecto

4.2.1 *Resultados del levantamiento de información*

En esta etapa se reunió información existente que permitiera identificar la situación inicial del sistema de recuperación de molibdeno, así como se realizaron

verificaciones en el área de trabajo para verificar el funcionamiento del proceso. Dentro de la revisión, se verificó diagramas unifilares, memoria descriptiva anterior, procedimiento de operación de planta molibdeno, manual de la celda Jameson, infraestructura disponible y las características de los equipos existentes. Además, con respecto al funcionamiento actual, se revisó condiciones de volumen y de operación. Se tomó como referencia, además, normas, estándares y regulaciones nacionales e internacionales.

Esta toma de datos facilitó la reorganización de la información existente, tomando en cuenta además que algunos documentos no se encontraban actualizados. La revisión permitió además contrastar las condiciones reales de los equipos y el proceso. Esta conjunción de información fue clave para el desarrollo del diagnóstico a tratar en el siguiente ítem de la presente investigación.

4.2.2 Resultados del diagnóstico del sistema existente

La revisión de la documentación existente y la verificación de las condiciones en campo permitieron realizar un diagnóstico de las condiciones existentes de funcionamiento del proceso de recuperación de molibdeno de la planta en estudio.

El sistema comienza con la llegada de la pulpa de planta de flotación colectiva, con un contenido de cobre de entre 22 - 25% y Molibdeno entre de 0.3 - 0.5%. Durante el proceso de flotación se obtiene un concentrado de molibdeno que varía de 45 - 50% y un concentrado de cobre que oscila entre 22 - 25%. La flotación de la planta de molibdeno cuenta con las siguientes etapas: Rougher, Cleaner1, Cleaner Scavenger, Cleaner 2, Cleaner 3, Cleaner 4, Cleaner 5, cada una de las cuales consta de diferentes celdas según se detalla en la Tabla 2. Una vez concluido el proceso existente, se obtiene una recuperación de molibdeno entre 60 y 65%.

Tabla 2*Etapas de flotación para la recuperación de molibdeno*

Etapas de flotación	Número de celdas	Volumen
Flotación Rougher	6 celdas	28.3 m ³ c/u
Flotación Cleaner 1	5 celdas	14.2 m ³ c/u
Flotación Cleaner-Scavenger	4 celdas	14.2 m ³ c/u
Flotación Cleaner 2	4 celdas	14.2 m ³ c/u
Flotación Cleaner 3	5 celdas	14.2 m ³ c/u
Flotación Cleaner 4	4 celdas	4.3 m ³ c/u
Flotación Cleaner 5	1 celda	4 m ³ c/u

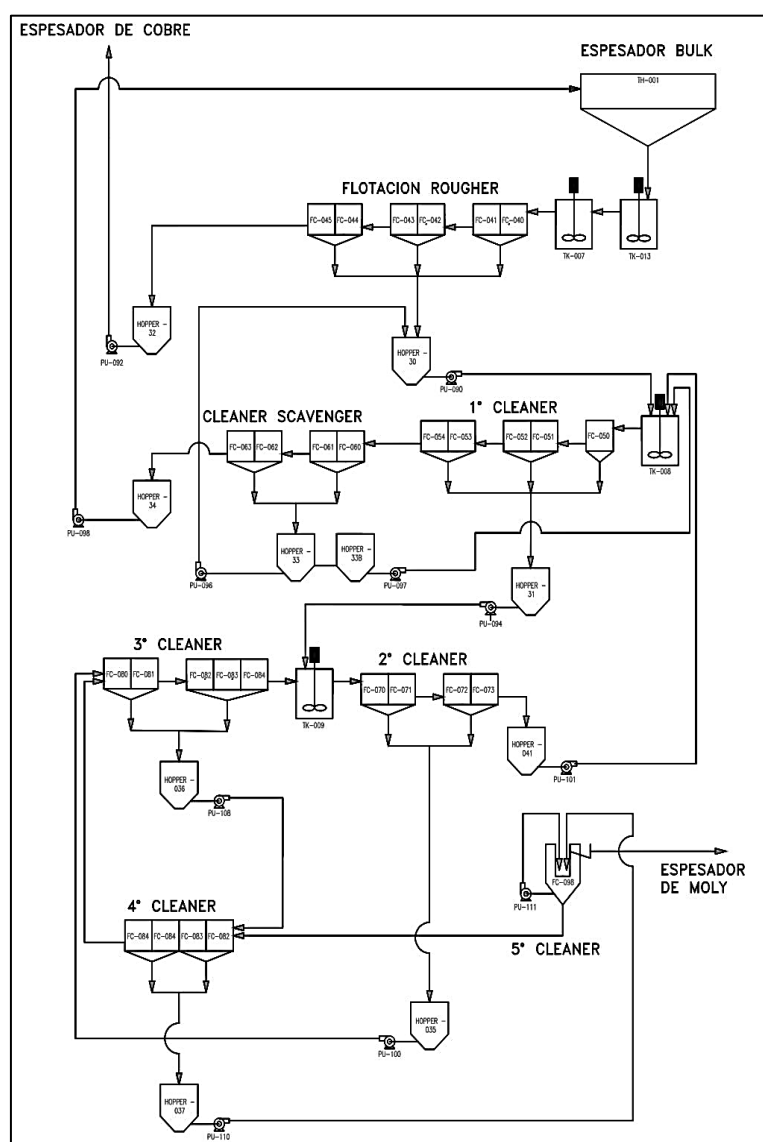
Nota. Elaboración propia

Dentro de esta revisión, se identificó el suministro eléctrico existente que contaba con capacidad para suministrar energía a los equipos complementarios de la celda Jameson, pero se identificaron también ciertas limitaciones para una posible expansión del circuito. Los alimentadores y el centro de control de motores (CCM) cumplían con las características de distribución, pero se identificó la necesidad de generar una actualización para garantizar la adecuada integración con las cargas eléctricas a implementar y las protecciones requeridas.

Con respecto al sistema de control e instrumentación, se pudo verificar que el montaje previo no había sido diseñado considerando la instalación de la celda Jameson y sus accesorios. En este sentido, el sistema no contaba con lazos de control ni con los instrumentos requeridos para la medición de parámetros y variables del proceso. En este contexto, se constituye necesario plantear la propuesta para el desarrollo de un sistema que pueda acoplarse al existente y garantice el adecuado funcionamiento de todo el proceso.

Si bien el sistema existente es funcional y cumple con los objetivos para los cuales fue diseñado inicialmente, se pueden identificar varias oportunidades de mejora de cara a la ampliación del sistema considerando la inclusión de la celda Jameson y sus accesorios, iniciando por la implementación de un sistema eléctrico de mayor capacidad y el diseño de un sistema de automatización y control que permita estabilizar y monitorear las condiciones de operación del nuevo proceso para garantizar su éxito.

Figura 6
Circuito actual de la planta de molibdeno – Diagrama de flujo



Nota. Elaboración propia

Figura 7

Distribución de celdas y sus etapas limpieza de la planta actual de molibdeno



Nota. Elaboración propia

Las Figuras 6 y 7 esquematizan el diagrama de flujo y la distribución del circuito actual de planta molibdeno, detallando el proceso y los componentes con los que cuenta el sistema antes de la propuesta de implementación que se desarrolla en la presente investigación.

4.2.3 Resultados del diseño del sistema de control y automatización

El diseño del sistema a implementar se planteó tomando en consideración los requerimientos eléctricos e instrumentales para el nuevo proceso. Se tomó como referencia el diagnóstico inicial y se determinó el procedimiento a seguir para lograr la inclusión de la celda Jameson al circuito en actual funcionamiento, tomando en cuenta la integración y automatización de las variables del proceso y la implementación de un suministro eléctrico acorde a lo requerido.

El proyecto de mejora de recuperación de la planta de molibdeno tiene por finalidad aumentar la producción de molibdeno. Luego del análisis del proceso se tomó como principal tratamiento las colas o relaves provenientes de las celdas Cleaner Scavenger por registros que enmarcaron una elevada cantidad de finos con altos contenidos de molibdeno, por lo que se determinó adicionar una limpieza adicional en dicho punto. Para realizar esto se planificó la instalación de una celda Jameson. Como parte del proyecto se añadirá una línea adicional de derivación proveniente de los concentrados de la línea Rougher como alimentación a la celda Jameson para tratarlos como una primera limpieza.

4.2.3.1 Sistema eléctrico

Para el diseño eléctrico se utilizó espacios disponibles del centro de control de motores (CCM) existente y se desarrolló la redistribución de cargas, para poder incorporar bombas requeridas para la alimentación, recirculación y descarga de la nueva celda Jameson. Se procedió a definir los alimentadores principales para el circuito, las protecciones a implementar y el sistema de puesta a tierra para el circuito.

4.2.3.1.1 Suministro de energía

En el caso del suministro de energía, tanto para la bomba de recirculación y bomba de descarga, se realizará a partir de una sala eléctrica existente, la cual es alimentada a través de un transformador de potencia de 3000 kVA 22,9/0,48 kV de grupo de conexión Dyn11.

El suministro de energía eléctrica para las bombas vinculadas a la implementación se realizará mediante los Centros de Control de Motores (CCM) detallados en la Tabla 3, los cuales son componentes de la sala eléctrica existente.

Tabla 3*Identificación del Centro de Control de Motores (CCM)*

CCM	Descripción del equipo	Suministra energía a
CCM-01	Centro de control de motores en baja tensión 0,46kV, 2500A, 100 kA, 3F, 3H+T, 60Hz	Bomba de recirculación
CCM-02	Centro de control de motores en baja tensión 0,46kV, 2500A, 100 kA, 3F, 3H+T, 60Hz	Bomba de descarga

Nota. Elaboración propia

4.2.3.1.2 Condiciones de servicio del sistema

Todo el equipamiento y suministro eléctrico operará con los siguientes valores:

- Tensión de suministro : 480 Vac, 3F
- Tensión de utilización : 460 Vac, 3F
- Sistema : Estrella con neutro aterrado
- Rango de variación del servicio : +- 5%
- Frecuencia : 60 Hz
- Factor de potencia : 0,85

4.2.3.1.3 Máxima demanda

La máxima demanda eléctrica de la Planta de Molibdeno es de 51,57 kW según la Memoria de Cálculo trabajada para identificar la máxima demanda. Los criterios de cálculo consideran los siguientes puntos:

- Para efecto de estimar el rendimiento de los motores proyectados, se ha considerado que los motores son del tipo “NEMA Premium”.
- Para los mismos efectos, se ha considerado que los motores en baja tensión son del tipo totalmente cerrados TEFC, 4 polos, factor de potencia a plena carga, 1800 rpm y están a una eficiencia mínima (operación).
- La demanda máxima del conjunto de cargas, se obtiene como resultado de la suma de las demandas máximas individuales.

Para el desarrollo de los cálculos se usaron los factores de eficiencia y factor de potencia obtenidos de la norma NEMA MG-01 y del catálogo de motores de “NEMA Premium” de Baldor respectivamente. Al tratarse de motores accionados con variador de frecuencia, se asumió un factor de potencia igual a 100%. En el Anexo 1 se desarrolla con mayor detalle el cálculo correspondiente para la máxima demanda.

Por lo tanto, la potencia aparente del transformador que alimenta a la Sala existente es de 3000kVA. La máxima demanda correspondiente a la implementación es de 51,57kW(57,3kVA). La potencia aparente (57,3kVA) requerida para la puesta en marcha de la Celda Jameson corresponde al 1,91% de la potencia del transformador.

4.2.3.1.4 Cálculo de alimentadores

Para la elección de los cables del alimentador y sub alimentadores se tomó como referencia la relación directa con la capacidad de interruptor general del tablero y la máxima demanda. Los alimentadores principales 3F+T existentes correspondientes al CCM-01 y CCM-02 se mantuvieron dado que se encontraban en buenas condiciones. Los alimentadores secundarios 3F+T o sub alimentadores tenían como punto de inicio el CCM-01 y CCM-02, 460 VAC, 2500 A, 100 kA y culminaban en las bombas, tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4*Identificación de alimentadores*

Circuito	Descripción en diagrama unifilar	Descripción del cable	Equipo de origen	Equipo de destino
Bomba de recirculación	1c - 3 x 35 mm ² (F) + 1 x 35 mm ² (T)	Cable RV-K 0,6/1 kV	CCM-01	Bomba de recirculación
Bomba de descarga	1c - 3 x 50 mm ² (F) + 1 x 50 mm ² (T)	Cable RV-K 0,6/1 kV	CCM-02	Bomba de descarga

Nota. Elaboración propia

4.2.3.1.5 Sistema de puesta a tierra

La Planta de Molibdeno cuenta con un sistema de puesta a tierra único compuesto por una malla a tierra construido con cable de cobre desnudo de 120 mm² cableado de temple blando.

Los requerimientos generales de puesta a tierra se proyectaron de acuerdo con lo establecido en la norma IEEE Std. 80-2000. Se proyectó un sistema equipotencial donde las bandejas portacables cuenten un conductor a tierra de 70 mm² a lo largo del recorrido. Cada sección de bandeja será conectada al conductor de puesta a tierra el cual terminará en la barra colectora de tierra del tablero general o directamente al sistema de aterramiento existente según aplique.

Toda puesta a tierra de cables protegidos de instrumentos será hecha conectando la pantalla en sólo un extremo, directamente con el terminal de la barra colectora de tierra en gabinetes. Las conexiones a encerramientos no provistos con barras de tierra o terminales de tierra serán por medio de terminales tipo presión o fijados en forma permanente con tornillos.

Todos los conductores de puesta a tierra serán de cobre y las conexiones a la malla de puesta a tierra existente, se ejecutarán con proceso de soldadura exotérmica y/o compresión bajo la norma IEEE 837-2000.

Los siguientes equipos que forman parte del sistema eléctrico, deberán conectarse al conductor de protección o barra equipotencial por los menos en dos puntos diagonalmente opuestos:

- Tableros eléctricos
- Motores eléctricos
- Cables alimentadores

Los equipos que forman parte del sistema de instrumentación deberán conectarse al conductor de puesta a tierra o a la barra equipotencial, con el fin de garantizar una referencia común de potencial y minimizar interferencias electromagnéticas:

- Gabinetes de instrumentos y tableros de campo (JBs)
- Transmisores y sensores de proceso (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.)
- Cableado de instrumentación (par + Sh y multipar + Sh)

Se deberá aterrizar aquellos equipos que no pertenecen al sistema eléctrico, pero que por su naturaleza o material con el que fueron fabricados, generalmente metales, pueden conducir electricidad en caso de fallas eléctricas, tales como:

- Estructuras metálicas
- Bandejas portacables
- Tuberías Conduit

4.2.3.1.6 Instalaciones eléctricas

Para el tendido de los alimentadores eléctricos, se utilizarán principalmente bandejas portacables de acero galvanizado, tipo escalera con tapa a dos aguas para el nivel superior y tuberías conduit RGS (Rigid Galvanized Steel), para hacer las derivaciones hacia los equipos.

Para la conexión final, sea a tablero eléctrico o equipo se utilizarán tuberías conduit flexibles tipo Liquid Tight con prensaestopas metálicas.

4.2.3.2 Sistema de control e instrumentación

Para el sistema de control e instrumentación, se desarrolló el planteamiento de una integración con las condiciones existente de la planta. Las señales de campo provenientes de la celda Jameson se conectaron a un módulo de entradas y salidas remotas (RIO) que ya se encontraba instalado previamente en el área. A su vez, este módulo mantenía conexión con el PLC central de la planta, permitiendo la integración de las nuevas variables al sistema DCS que se encontraba operativo con anterioridad por medio de cables de comunicación Profibus. De esta manera, no se requirió la instalación de un nuevo controlador, sino que se amplió la capacidad del existente.

Para el tendido de cables de control e instrumentación, se emplearon bandejas portacables de acero galvanizado tipo escalera con tapa a dos aguas en el nivel superior, y tuberías conduit RGS (Rigid Galvanized Steel) para las derivaciones hacia los instrumentos. Las señales y la alimentación se distribuyeron desde el tablero RIO existente hacia los instrumentos mediante los tableros de campo JB-01 y JB-02, instalados exclusivamente para señales eléctricas. Adicionalmente, se instalaron tableros neumáticos TN-JB-01 y TN-JB-02 independientes para la distribución de aire a los instrumentos que lo requieren.

La conexión final a los instrumentos se realizó mediante tuberías conduit flexibles tipo Liquid Tight, con prensaestopas metálicos. La sección mínima empleada para los cables de control fue de 2,5 mm² (4 AWG). Adicionalmente, se utilizaron cables de instrumentación tipo par trenzado con malla de blindaje (par + Sh) y cables multipar

blindados (multipar + Sh) de 24 pares AWG 16, así como cables de 2 pares y 1 par, según el requerimiento de cada señal de campo.

4.2.4 Resultados de la selección de equipos y materiales

Para seleccionar los materiales y equipos a implementar, se tomó en consideración criterios como la compatibilidad con el sistema existente, el cumplimiento de normativa y la facilidad de mantenimiento. El principal objetivo consistía en lograr la correcta incorporación de la celda Jameson de forma totalmente compatible, sin generar ningún tipo de sobrecarga o inconveniente con el actual funcionamiento del proceso.

Para la implementación del eléctrico, se seleccionó los alimentadores y protecciones adecuados para la demanda de las bombas de recirculación y descarga asociadas a la celda Jameson, implementando interruptores, contactores y relés térmicos existentes de acuerdo con a la potencia nominal de cada equipo. Adicionalmente, se consideró un variador de 100 HP para la bomba de descarga, según se detalla en la Tabla 5. Se eligieron, además, cables de potencia y control que cuenten con aislamiento para ambientes con condiciones como de humedad y polvo, utilizando canalizaciones y bandejas portacables normadas para garantizar la protección de los conductores. El listado de los cables fuerza y cables de control e instrumentación seleccionados se encuentra detallado en las Tablas 6 y 7.

Tabla 5

Listado de equipos eléctricos

CCM	Descripción del equipo	Requiere Variador de Frecuencia (VFD)	Tipo de carga (Motor, feeder)	Potencia nominal
CCM-01	Bomba de recirculación	No	Motor	50 HP
CCM-02	Bomba de descarga	Sí	Motor	100 HP

Nota. Elaboración propia

Tabla 6

Listado de cables eléctricos

Circuito	Descripción	Descripción del cable	Potencia	Cable para VFD	Trifásico o Monofásico	Unipolar o multipolar
Línea de bomba de recirculación	1c-3x35mm ² (F) + 1 x 35mm ² (N) + 1 x 35mm ² (T)	Cable RV-K 0,6/1 kV	50 HP	No	Trifásico	Multipolar
Línea de bomba de descarga	1c-3x50mm ² (F) + 1 x 50mm ² (N) + 1 x 50mm ² (T)	Conductor: Cobre recocido, Flexible, Clase 5	100 HP	No	Trifásico	Multipolar
Línea de variador	1c-3x50mm ² (F) + 1 x 50mm ² (N) + 1 x 50mm ² (T)	Aislamiento: Polietileno reticulado XLPE	100 HP	Sí	Trifásico	Multipolar

Nota. Elaboración propia

Tabla 7

Listado de cables de control e instrumentación

Circuito	Descripción	Descripción del cable	Voltaje	Trifásico o Monofásico	Unipolar o multipolar
Línea de bomba de recirculación	1c-7 x 2.5mm ²	Clase 600 v, aislamiento xple 90 °C, chaqueta pvc, retardante al fuego por aceite, químicos, a prueba de radiación solar, blindaje electrostático de aluminio mylar, alambre de cobre desnudo de dren. Clase 600 v, aislamiento xple 90 °C, chaqueta pvc, retardante al fuego por aceite, químicos, a prueba de radiación solar, blindaje electrostático de aluminio mylar, alambre de cobre desnudo de dren.	120	Trifásico	Multipolar
Línea de bomba de descarga	1c-7 x 2.5mm ²	Clase 600 v, aislamiento xple 90 °C, chaqueta pvc, retardante al fuego por aceite, químicos, a prueba de radiación solar, blindaje electrostático de aluminio mylar, alambre de cobre desnudo de dren.	120	Trifásico	Multipolar

Nota. Elaboración propia

En cuanto a la selección de materiales y equipos para control e instrumentación, se consideraron sensores de nivel y presión, pH metros y flujómetros de acuerdo con las necesidades de la celda Jameson, buscando además la compatibilidad con el sistema de comunicación del RIO ya existente. Se gestionó la estandarización con marcas y protocolos que permitan garantizar la operabilidad del proceso. Adicionalmente, se incluyeron accesorios como válvulas de control e indicadores visuales. Las Tablas 8 y 9 detallan los equipos y cableado relacionados con el tablero JB-01, mientras que las Tablas 10 y 11 detallan aquellos relacionados con el tablero JB-02.

Tabla 8
Listado de equipos de instrumentación JB-01

Descripción	Junction Box	Voltaje	Señal	Fabricante	Modelo	Lazo	Tipo de I/O PCS	Ubicación
Sonar Flowmeter	JB-01	24VDC , 4wire	4-20mA Hart	CiDRA	FMS-E08-03-5-08-0A-01A-02-01-01-ES	FIT	AI	RIO
Sonar Flowmeter	JB-01	24VDC , 4wire	4-20mA Hart	CiDRA	FMS-E08-03-5-08-0A-01A-02-01-01-ES	FIT	AI	RIO
pH Transmitter	JB-01	Loop	4-20mA	Yokogawa	FLXA21-D-P-D-EA-P1-NN-A-N-LA-N-NN/H6/SCT/UM	AIT	AI	RIO
pH Transmitter	JB-01	Loop	4-20mA	Yokogawa	FLXA21-D-P-D-EA-P1-NN-A-N-LA-N-NN/H6/SCT/UM	AIT	AI	RIO
pH Transmitter	JB-01	Loop	4-20mA	Yokogawa	FLXA21-D-P-D-EA-P1-NN-A-N-LA-N-NN/H6/SCT/UM	AIT	AI	RIO



Pressure Indicating Transmitter	JB-01	Loop	4-20mA Hart	Siemens	7MF4033-1DA10-2AB6-Z A02/T03/Y01/Y15	PIT	AI	RIO
Pressure Indicating Transmitter	JB-01	Loop	4-20mA Hart	Siemens	7MF4033-1DA10-2AB6-Z A02/T03/Y01/Y15	PIT	AI	RIO
Level Indicating Transmitter	JB-01	Loop	4-20mA Hart	Siemens	SiTrans LU 7ML5221-2BA11	LIT	AI	RIO
BUTTERFLY VALVE - MODULATING	JB-01	Loop	4-20mA			FV	AO	RIO
KNIFE GATE VALVE - ACTUATED	JB-01	24Vdc	Switch	TBD	TBD		N/A	RIO
KNIFE GATE VALVE - ACTUATED	JB-01	24Vdc	Switch	TBD	TBD	XV	N/A	RIO
Position Switch - Closed	JB-01	24VDC , 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSC	DI	RIO
Position Switch - Open	JB-01	24VDC , 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSO	DI	RIO
KNIFE GATE VALVE - ACTUATED	JB-01	24Vdc	Switch	TBD	TBD	XV	N/A	RIO
Position Switch - Closed	JB-01	24VDC , 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSC	DI	RIO
Position Switch - Open	JB-01	24VDC , 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSO	DI	RIO
KNIFE GATE VALVE - ACTUATED	JB-01	24Vdc	Switch	TBD	TBD	XV	N/A	RIO
DART VALVE - MODULATING CONTROL	JB-01	Loop	4-20mA Hart			LV	AO	RIO



BUTTERFLY VALVE -
MODULATOR

JB-01

Loop

4-
20mA

FV

AO

RIO

Nota. Elaboración propia

Tabla 9

Listado de cables de instrumentación JB-01

Tipo cable	Voltaje de señal	Núcleo	Sección (mm ²)	Grado/tipo
Control	24	24P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	1P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	1P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Alimentación	220 VAC	2C + E	2.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Alimentación	220 VAC	2C + E	2.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	1P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	1P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	1P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	1P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	4C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	4C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	4C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	4C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	4C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	1P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90

Nota. Elaboración propia

Tabla 10
Listado de equipos de instrumentación JB-02

Descripción	Junction Box	Voltaje	Señal	Fabricante	Modelo	Lazo	Tipo de I/O PCS	Ubicación
Low Oil Level	JB-02	Loop	Switch			LSL	DI	RIO
Level Indicating Transmitter	JB-02	Loop	4-20mA Hart	Siemens	SiTrans LU 7ML5221-2BA11	LIT	AI	RIO
Nucleonic Indicating Transmitter	JB-02	24VDC, 4wire	4-20mA Hart	Vega	DIS61CIV NB	DIT	AI	RIO
Sonar Flowmeter	JB-02	24VDC, 4wire	4-20mA Hart	CiDRA	FMS-E08-03-5-08-0A-01A-02-01-01-ES	FIT	AI	RIO
Sonar Flowmeter	JB-02	24VDC, 4wire	4-20mA Hart	CiDRA	FMS-E08-03-5-08-0A-01A-02-01-01-ES	FIT	AI	RIO
Sonar Flowmeter	JB-02	24VDC, 4wire	4-20mA Hart	CiDRA	FMS-E08-03-5-08-0A-01A-02-01-01-ES	FIT	AI	RIO
KNIFEGATE VALVE - ACTUATED	JB-02	24Vdc	Switch	TBD	TBD	XV	N/A	RIO
KNIFEGATE VALVE - ACTUATED	JB-02	24Vdc	Switch	TBD	TBD	XV	N/A	RIO
Position Switch - Closed	JB-02	24VDC, 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSC	DI	RIO
Position Switch - Open	JB-02	24VDC, 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSO	DI	RIO
KNIFEGATE VALVE - ACTUATED	JB-02	24Vdc	Switch	TBD	TBD	XV	N/A	RIO
Position Switch - Closed	JB-02	24VDC, 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSC	DI	RIO
Position Switch - Open	JB-02	24VDC, 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSO	DI	RIO
KNIFEGATE VALVE - ACTUATED	JB-02	24Vdc	Switch	TBD	TBD	XV	N/A	RIO



Position Switch - Closed	JB-02	24VDC, 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSC	DI	RIO
Position Switch - Open	JB-02	24VDC, 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSO	DI	RIO
KNIFEGATE VALVE - ACTUATED	JB-02	24Vdc	Switch	TBD	TBD	XV	N/A	RIO
Position Switch - Closed	JB-02	24VDC, 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSC	DI	RIO
Position Switch - Open	JB-02	24VDC, 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSO	DI	RIO
KNIFEGATE VALVE - ACTUATED	JB-02	24Vdc	Switch	TBD	TBD	XV	N/A	RIO
Position Switch - Closed	JB-02	24VDC, 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSC	DI	RIO
Position Switch - Open	JB-02	24VDC, 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSO	DI	RIO
KNIFEGATE VALVE - ACTUATED	JB-02	24Vdc	Switch	TBD	TBD	XV	N/A	RIO
Position Switch - Closed	JB-02	24VDC, 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSC	DI	RIO
Position Switch - Open	JB-02	24VDC, 3wire	Switch	Emerson/Go switch	74-13567 (N.C.)	ZSO	DI	RIO
KNIFEGATE VALVE - ACTUATED	JB-02	24Vdc	Switch	TBD	TBD	XV	N/A	RIO

Nota. Elaboración propia

Tabla 11

Listado de cables de instrumentación JB-02

Tipo cable	Voltaje de señal	Núcleo	Sección (mm ²)	Grado/tipo
Control	24	24P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	1P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	1P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Alimentación	220 VAC	2C + E	2.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	1P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	1P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	1P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	10C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	10C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	4C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	4C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	4C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	4C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	4C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	2P + SH	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90
Control	24	4C + E	1.5	OAS Cu PVC/PVC V-90

Nota. Elaboración propia

Para concluir, se seleccionó materiales adicionales como soportes, anclajes, tuberías y accesorios de instalación, tomando como criterio que cumplieran con las especificaciones requeridas para garantizar durabilidad y resistencia a las condiciones de exposición a productos químicos y a humedad propios del área donde se realizaría la instalación. Adicionalmente, se seleccionó estos equipos considerando también un

criterio de robustez y resistencia a la abrasión para garantizar la sostenibilidad y duración de los componentes del circuito en el largo plazo.

4.2.5 Resultados de la implementación y montaje

Se realizó la implementación del sistema de control y automatización para la celda Jameson a través de etapas planificadas previamente, tomando como prioridad la comunicación de ida y vuelta con las áreas operativas de planta para minimizar los tiempos perdidos por parada de equipos. El montaje del nuevo sistema incluyó obras mecánicas y eléctricas, además de contar con la integración del sistema de control al proceso existente.

La modificación, verificación y adición de equipos realizada se encuentra detallada en la Tabla 12.

Tabla 12

Relación de equipos modificados y adicionados al proceso

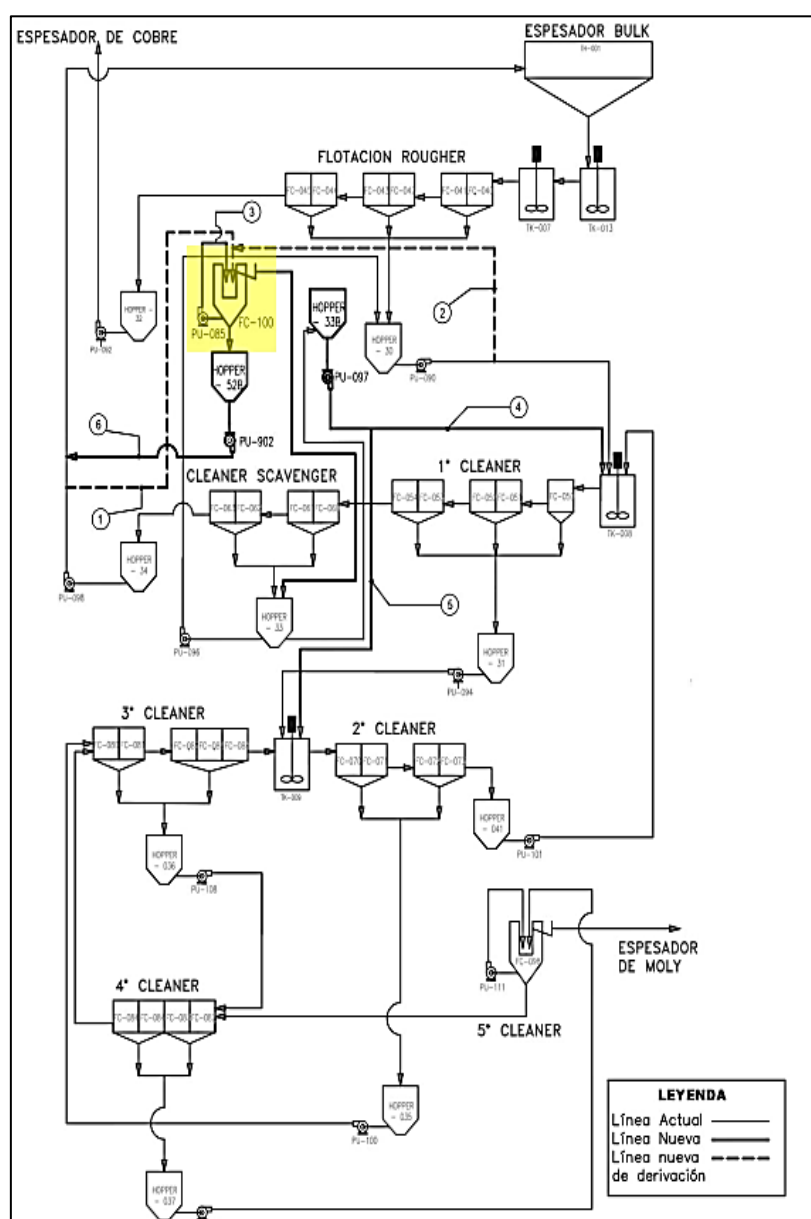
Descripción	Desde	Hasta	Fluido
Líneas de alimentación a celda Jameson			
Nueva línea de alimentación hacia la celda Jameson Flujo aproximado: 100 – 173 m ³ /h	Derivación de la línea de alimentación existente desde la línea de descarga existente	Celda Jameson FC-100	Colas Cleaner Scavenger de Molibdeno
Nueva línea de alimentación hacia la celda Jameson. Se usará cuando se tengan leyes altas. Flujo aproximado: 180 – 249 m ³ /h	Derivación de la línea de alimentación existente desde la línea de descarga	Celda Jameson FC-100	Concentrados de las celdas Rougher
Línea existente de recirculación en celda Jameson Flujo aproximado.: 258 – 284 m ³ /h	Bomba recirculación implementada	Celda Jameson FC-100	Flujo recirculante de la celda Jameson
Líneas de concentrado de celda Jameson			
Nueva línea de alimentación a Cleaner 01 Flujo aproximado.: 22,1 – 38.3 m ³ /h	Bomba de alimentación existente	Tanque 1	Concentrado de celda Jameson
Nueva línea de alimentación a Cleaner 02 Flujo aproximado.: 22,1 – 38.3 m ³ /h	Bomba de alimentación existente	Tanque 2	Concentrado de celda Jameson
Línea de colas de celda Jameson			
Nueva línea de alimentación a celdas Rougher Flujo aproximado.: 105.6 – 192.1 m ³ /h	Bomba de descarga implementada	Espesador	Colas de celda Jameson

Nota. Elaboración propia

En las Figuras 8 y 9 se observa el esquema de la flotación de cobre que se tendrá luego de la optimización. La Figura 10 describe que la celda Jameson fue ubicada dentro de la planta de molibdeno para evitar futuros riesgos de liberación de gases peligrosos como H_2S , ya que este es el principal gas tóxico que emana la planta de molibdeno.

Figura 8

Circuito implementado para la optimización de flotación de molibdeno – Diagrama de flujo



Nota. Elaboración propia

Figura 9*Circuito para la optimización de flotación de molibdeno**Nota.* Elaboración propia

En cuanto a la implementación eléctrica, se realizó la instalación de los alimentadores a las bombas y equipos auxiliares de la celda. En la Tabla 13 se detalla la implementación de bandejas portacables, canalizaciones y sistemas de puesta a tierra para garantizar el cumplimiento de normativas vigentes. La instalación se realizó considerando distancias y condiciones físicas del área, lo cual permitió la optimización del tendido de cables para reducir pérdidas eléctricas. Para el sistema de puesta a tierra se instaló una malla de puesta a tierra que cubre la zona de instalación de la celda Jameson, bombas y hoppers los cuales se unieron con la malla de puesta a tierra existente.

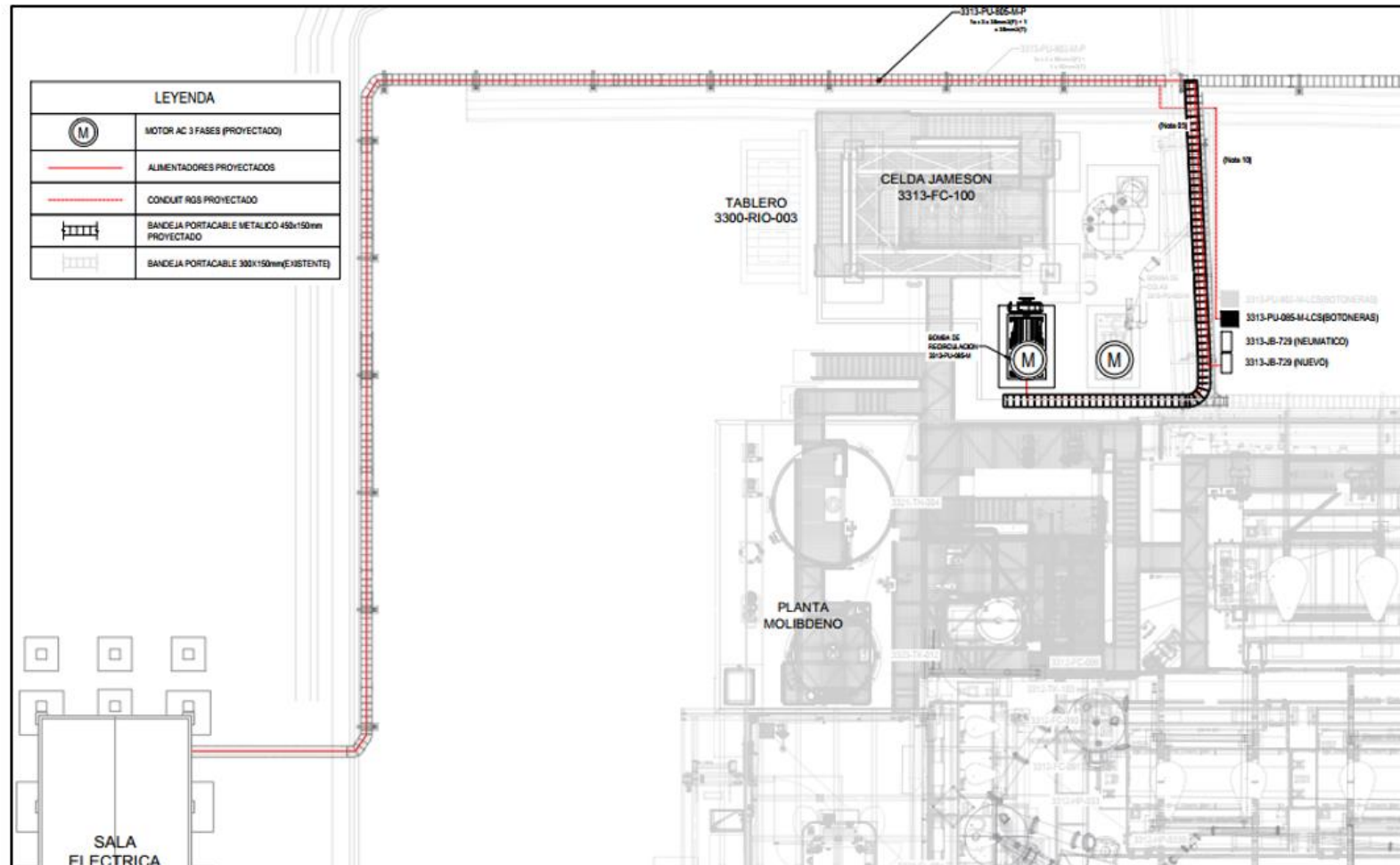
Tabla 13
Metrado de cantidad de materiales eléctricos

Descripción	Und	Cantidad
Bandeja Portacable de 450mm x 150mm para cables de fuerza e iluminación NEMA clase 20, 3m.	Und	7
Cable multipolar 4x4mm ² (3F+T), tipo XHHW-2, 90°	m	110
Cable multiconductor de cobre para iluminación 3Cx2,5mm ² tipo XHHW-2, 90° C	m	137
Conduit RGS de Ø19mm U.L ANSI de L: 3m	Und	60
Conduit RGS de Ø50mm U.L ANSI de L: 3m	Und	12
Cable alimentación de 1x3x70 mm ² + tierra	m	110
Cable alimentación de 1x3x4mm ² + tierra.	m	110
Fluorescentes para iluminación interior y exterior	Und	11
Conduit flexible de Ø19mm Liquid-Tight tipo UA.	m	40
Conduit flexible de Ø50mm Liquid-Tight tipo UA.	m	3
Abrazaderas unicanal de 19mm para Conduit RGS.	Und	80
Abrazaderas unicanal de 50mm para Conduit RGS.	Und	70
Caja Condulet tipo LB de 19mm Rosca NPT Cert. UL Pesado	Und	10
Caja Condulet tipo LB de 50mm Rosca NPT Cert. UL Pesado	Und	5
Unión bushing de 19mm	Und	20
Unión bushing de 50mm	Und	20
Liquid tight recto 19mm p/conduit flex.	Und	25
Liquid tight recto 50mm p/conduit flex.	Und	25
Liquid tight curvo de 19mm p/conduit flex.	Und	5
Liquid tight curvo de 50mm p/conduit flex.	Und	8
Autoperforantes de 5/16	Caja	3
Perno Hilti de 3/8 x 2"	Und	20
Cinta Aislante 3M 3/4 x 18m Temflex 165 Verde	Und	30
Cinta Aislante 3M 3/4 x 18m Temflex 165 Negra	Und	30
Plancha metálica de 3/8", 10x10cm	Und	3
Canal Unistrut P1000(41,3mm x 41,3mm) de 3m	m	20

Nota. Elaboración propia

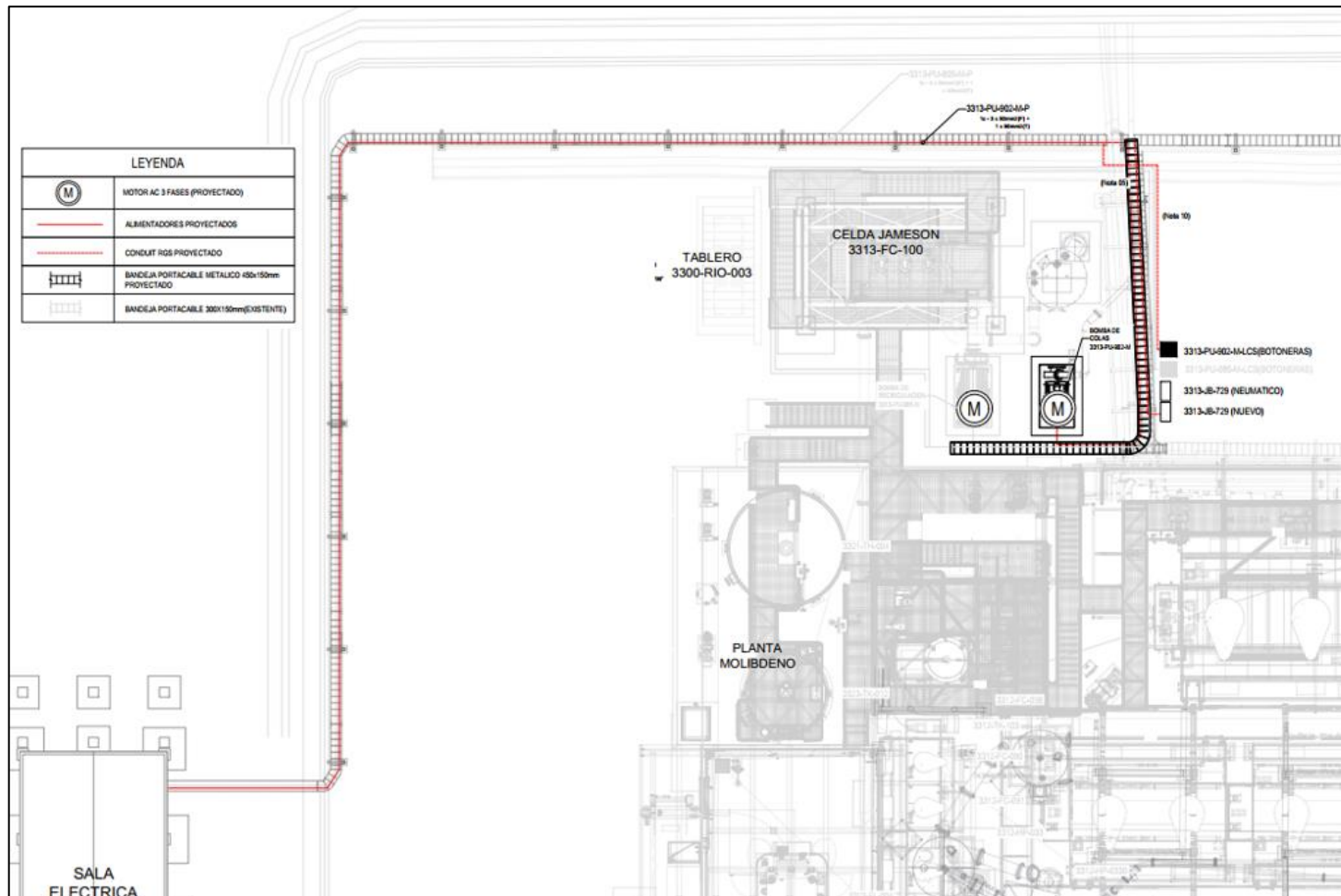
En la Figura 10 se visualiza el recorrido de la canalización y ductos implementados desde la sala eléctrica hasta la bomba de recirculación. Del mismo modo, en la Figura 11 se muestra el recorrido de la canalización y ductos implementados desde la sala eléctrica hasta la bomba de descarga. En la Figura 12 se detalla el recorrido del cableado de fuerza y control para el arranque de la bomba de recirculación y descarga desde la sala eléctrica existente.

Figura 10
Sistema de canalización y ductos bomba de recirculación



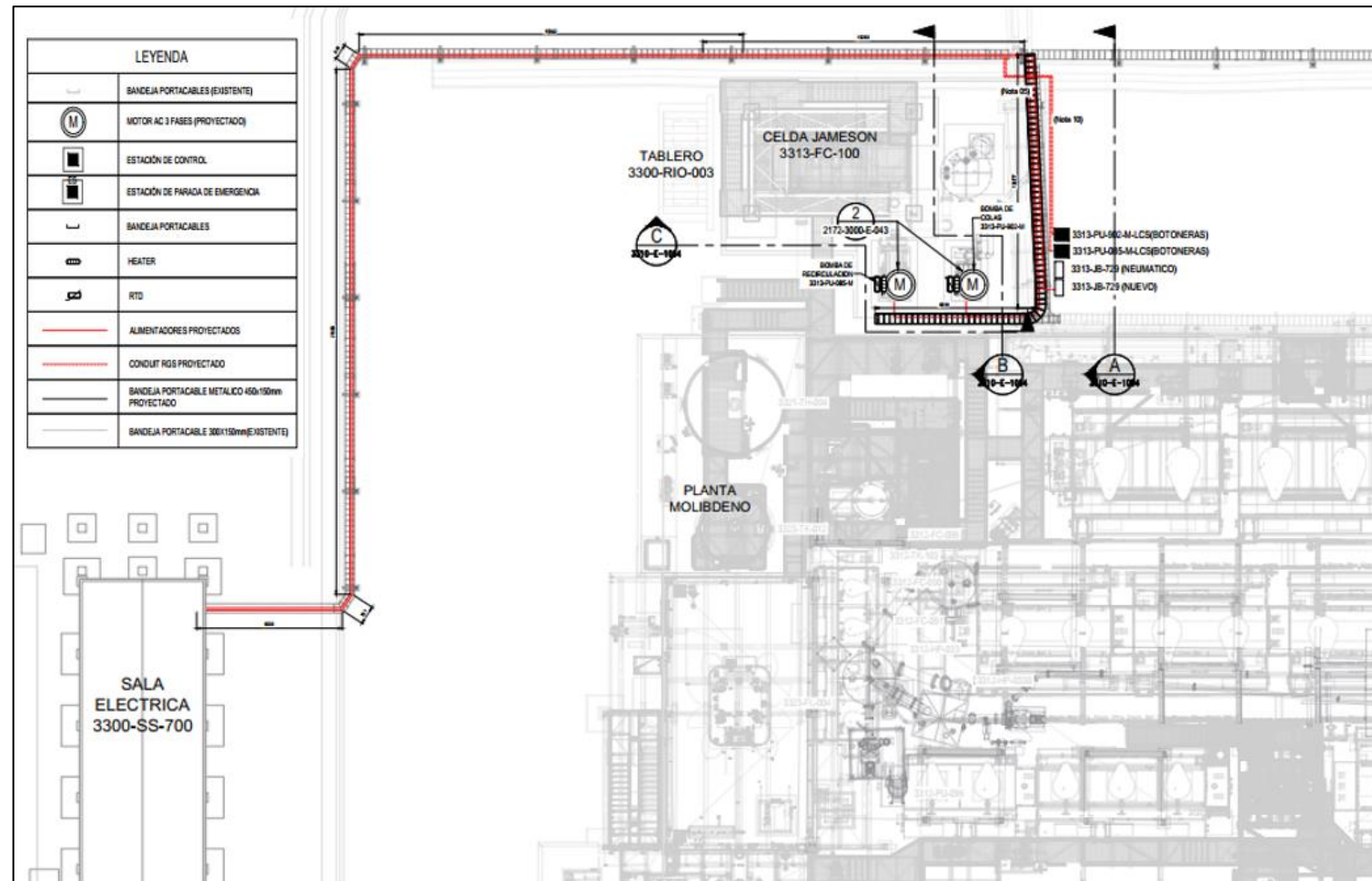
Nota. Elaboración propia

Figura 11
Sistema de canalización y ductos bomba de descarga



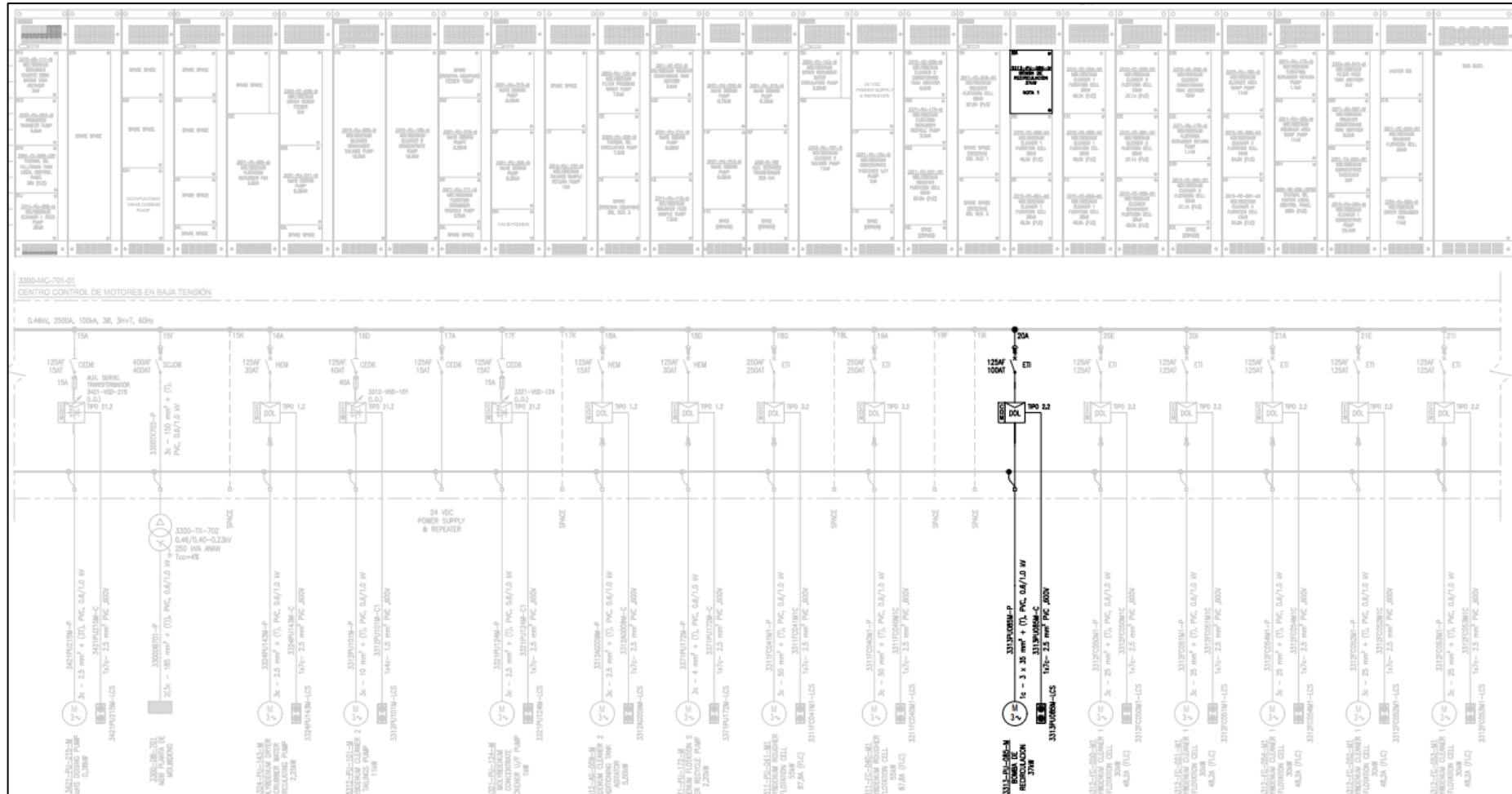
Nota. Elaboración propia

Figura 12
Sistema de fuerza y control



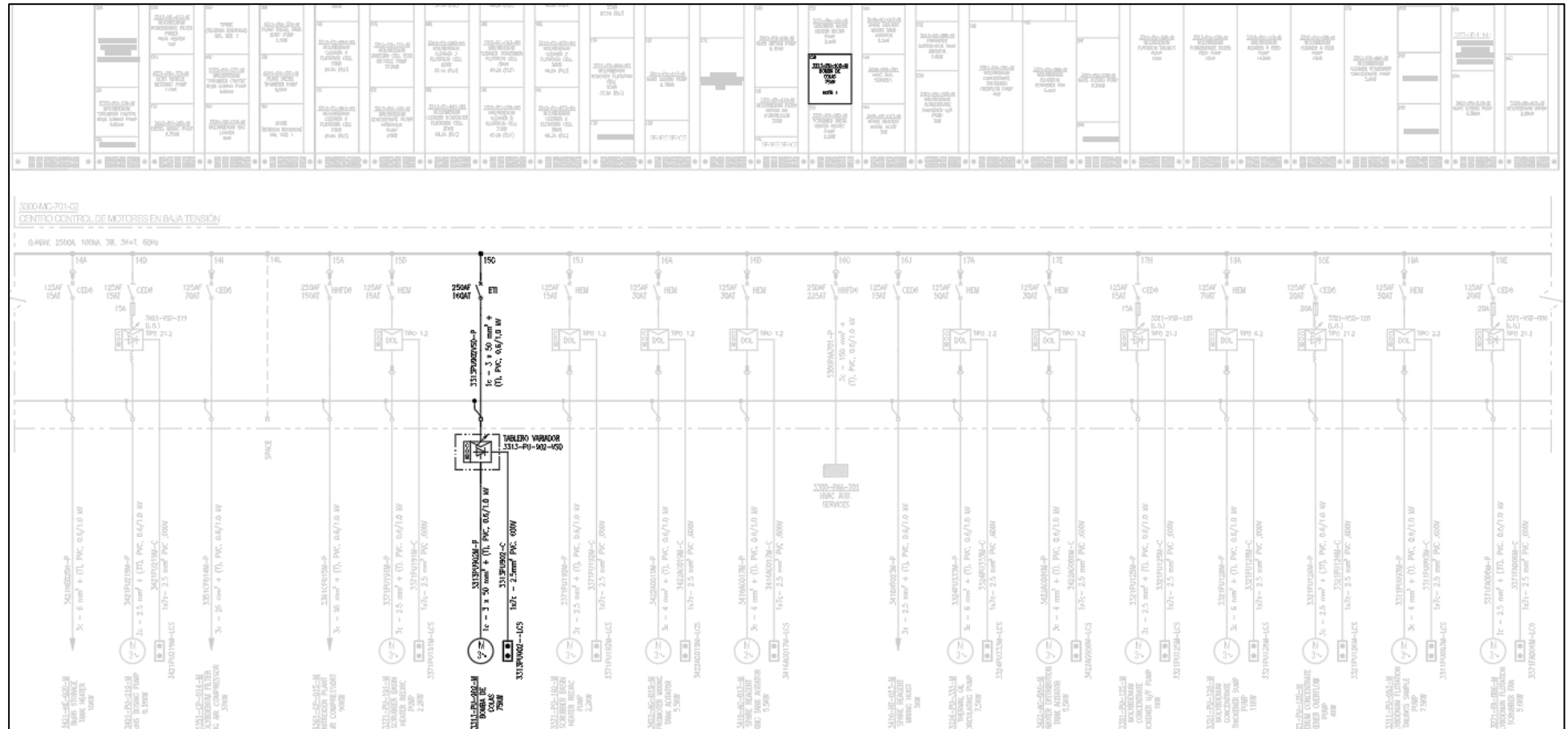
Nota. Elaboración propia

Figura 13
Diagrama unifilar CCM-01 - Bomba de recirculación



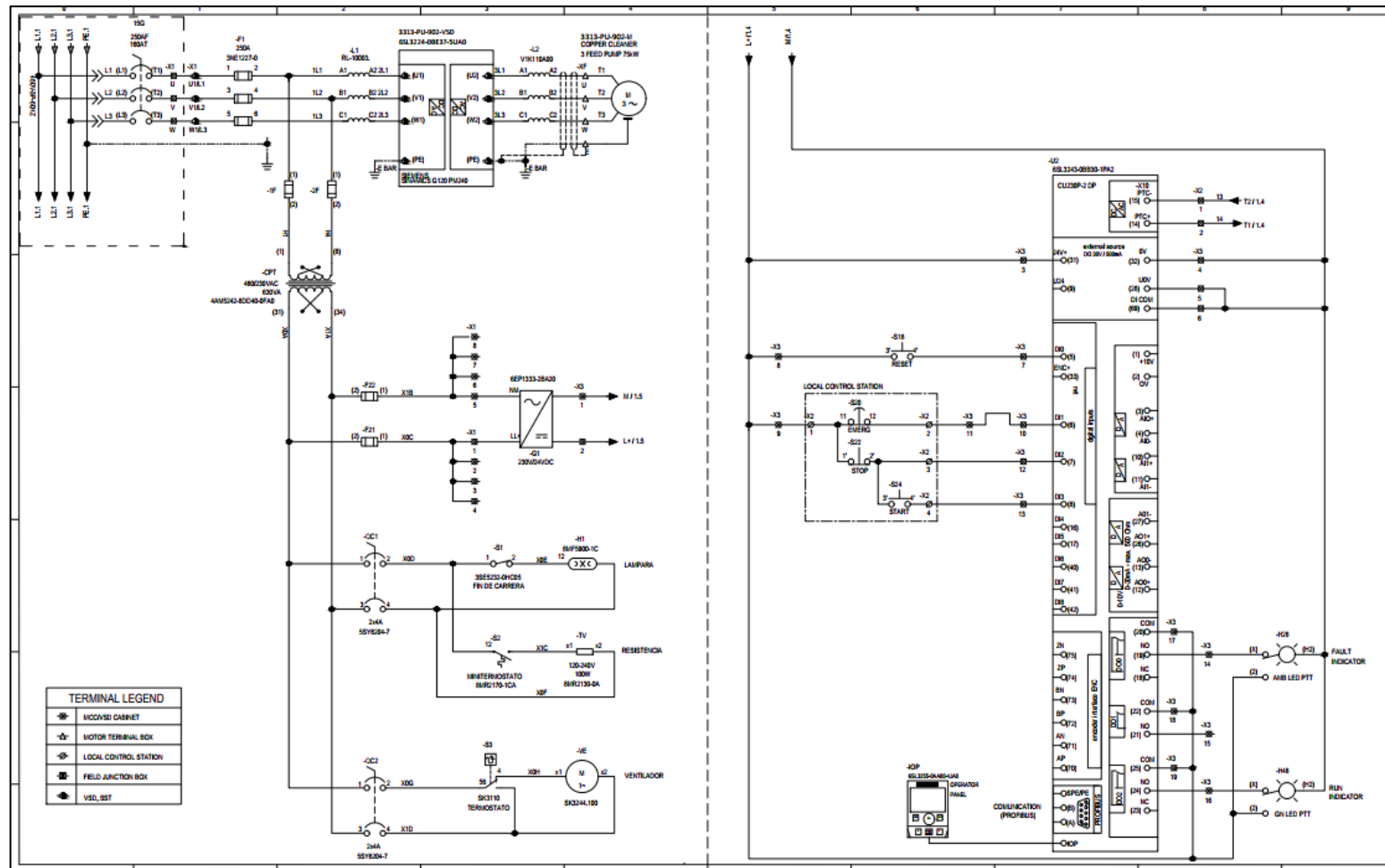
Nota. Elaboración propia

Figura 14
Diagrama unifilar CCM-01 - Bomba de Descarga



Nota. Elaboración propia

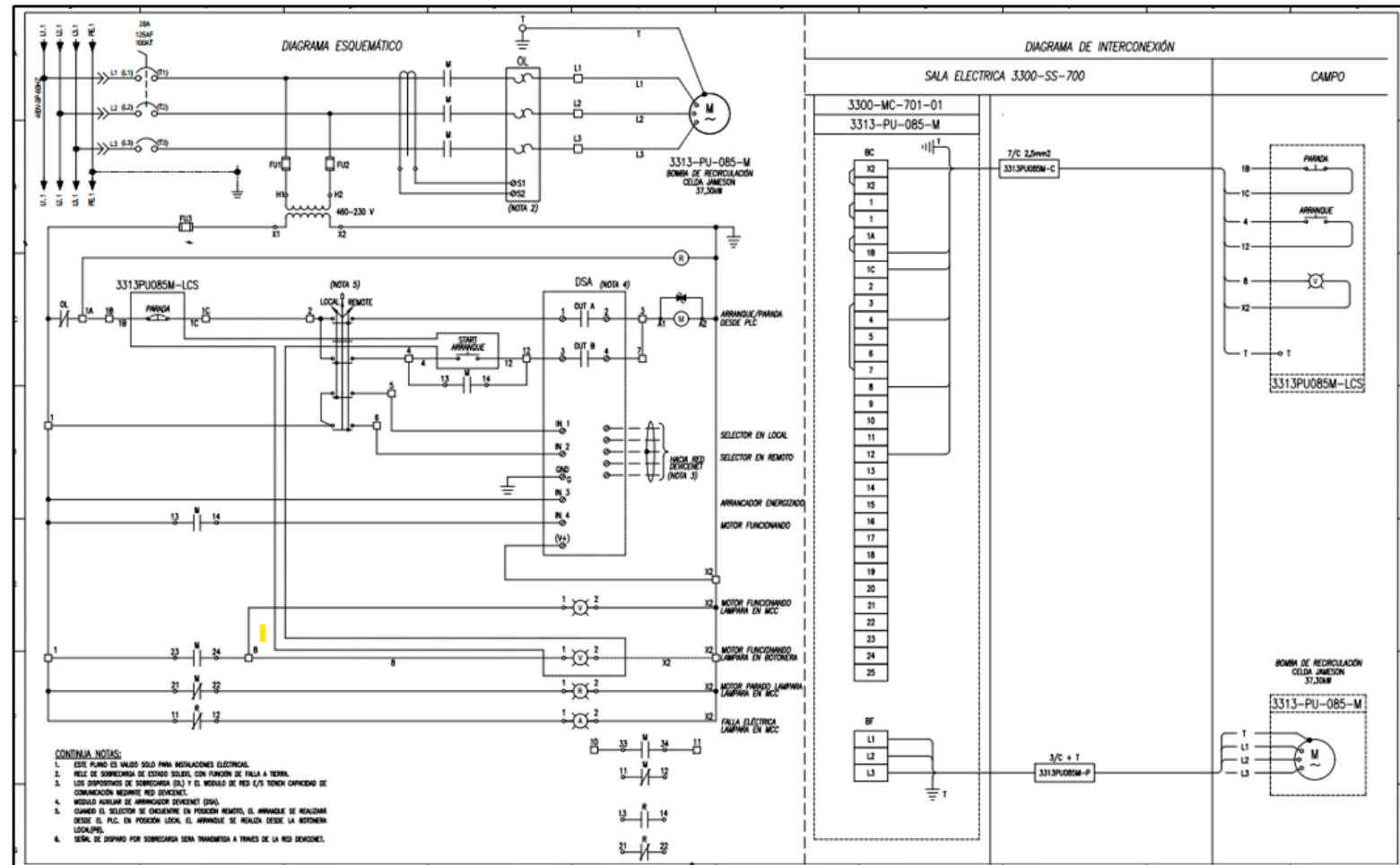
Figura 15
Diagrama esquemático arrancador bomba de descarga



Nota. Elaboración propia

Figura 16

Diagrama esquemático arrancador bomba de recirculación



Nota. Elaboración propia

La Figura 13 esquematiza el diagrama unifilar del Centro de Control de Motores (CCM) existente, el cual muestra la ubicación donde se realiza la conexión de arranque directo de la bomba de recirculación. La Figura 14 detalla el diagrama unifilar del Centro de Control de Motores (CCM), el cual muestra la ubicación donde se realiza la conexión por medio de un variador de frecuencia para el arranque y control de la bomba de descarga. La Figura 15 muestra el esquema de fuerza y control para el arranque de bomba de descarga. La Figura 16, por su parte, esquematiza el arranque directo de bomba de recirculación.

Con respecto a la implementación del sistema de control, el montaje se realizó basándose en la conexión de los instrumentos de campo al módulo de entradas y salidas remotas (RIO) ya existente. Las señales de nivel, caudal, presión y otras variables críticas fueron cableadas y configuradas para integrarse al PLC y al DCS de planta. Se realizó el aseguramiento de conexiones estandarizadas considerando protocolos compatibles, con la finalidad de asegurar la operabilidad con el resto de los procesos. En la Tabla 14 se detalla el metrado de los materiales empleados para la implementación del sistema de control.

Tabla 14*Metrado de cantidad de materiales de instrumentación*

Descripción	Und	Cantidad
Instrumentos montados en campo		
Sonar Flowmeter	ea	1
Sonar Flowmeter	ea	1
pH Transmitter	ea	1
pH Transmitter	ea	1
Pressure Indicating Transmitter	ea	1
Pressure Indicating Transmitter	ea	1
Level Indicating Transmitter	ea	1
Level Indicating Transmitter	ea	1
Nucleonic Indicating Transmitter	ea	1
Sonar Flowmeter	ea	1

Sonar Flowmeter	ea	1
Sonar Flowmeter	ea	1
Materiales		
Cable alimentación 2 x 2,5mm ² awg+linea tierra aislado XLPE/XLPE 600v 105°C	m	80
Conduit RGS, 19mm U.L ANSI C80 Unidades de L: 3m	Und	60
Conduit flexible 38mm. Liquid-Tight tipo UA.	m	8
Conduit flexible 50mm. Liquid-Tight tipo UA.	m	4
Conduit flexible 19mm. Liquid-Tight tipo UA.	m	105
Conector recto HUB 50mm, acero galvanizado	Und	8
Conector recto HUB 19mm, acero galvanizado	Und	50
Conector recto p/conduit flex. 38mm NPT-M, acero galvanizado	Und	40
Conector recto p/conduit flex. 50mm NPT-M, acero galvanizado	Und	8
Conector recto p/conduit flex. 19mm NPT-M, acero galvanizado	Und	50
Adaptador curvo de 90 grados, acero galvanizado, 19mm	Und	10
Adaptador curvo de 90 grados, acero galvanizado, 38mm	Und	10
Caja conduit tipo LB 19mm Rosca NPT Cert. UL Pesado	Und	40
Caja conduit tipo LL 19mm Rosca NPT Cert. UL Pesado	Und	40
Caja conduit tipo LR 19mm Rosca NPT Cert. UL Pesado	Und	40
Caja conduit tipo T 19mm Rosca NPT Cert. UL Pesado	Und	40
Prensa cables 13mm NPT-M	Und	30
Prensa cables 19mm NPT-M	Und	30
Cámara de videovigilancia tipo bullet IR	Und	1
Tableros JB's neumáticos, acero inoxidable AISI 304, IP65, con prensaestopas para tubería neumática, riel DIN interno, racores rápidos de conexión y purga	Und	2
Tablero de conexión tipo JB, acero inoxidable AISI 304, IP65, con borneras tipo tornillo.	Und	2
Cable de 2 par, calibre 1,5mm ² , trenzado, con pantalla general (overall shield), cubierta exterior en PVC o PE, para señales e instrumentación.	m	330
Cable de 1 par, calibre 1,5mm ² , trenzado, con pantalla general (overall shield), cubierta exterior en PVC o PE, para señales e instrumentación.	m	250
Cable Multipar de 24 Pares, Calibre 1,5mm ² , Trenzado, Con Pantalla Total (Shield Overall), con Cubierta Exterior en PVC o Polietileno, para Señal e Instrumentación	m	500
Cable de datos UTP CAT6, 4 pares trenzados, 23 AWG, sin blindaje, PVC/LSZH, 1000BASE-T, frecuencia hasta 250 MHz, color azul, certificado ANSI/TIA-568-C.2.	m	40
Tubería neumática 13mm, material poliuretano (PU) o polietileno (PE)	m	150

Nota. Elaboración propia



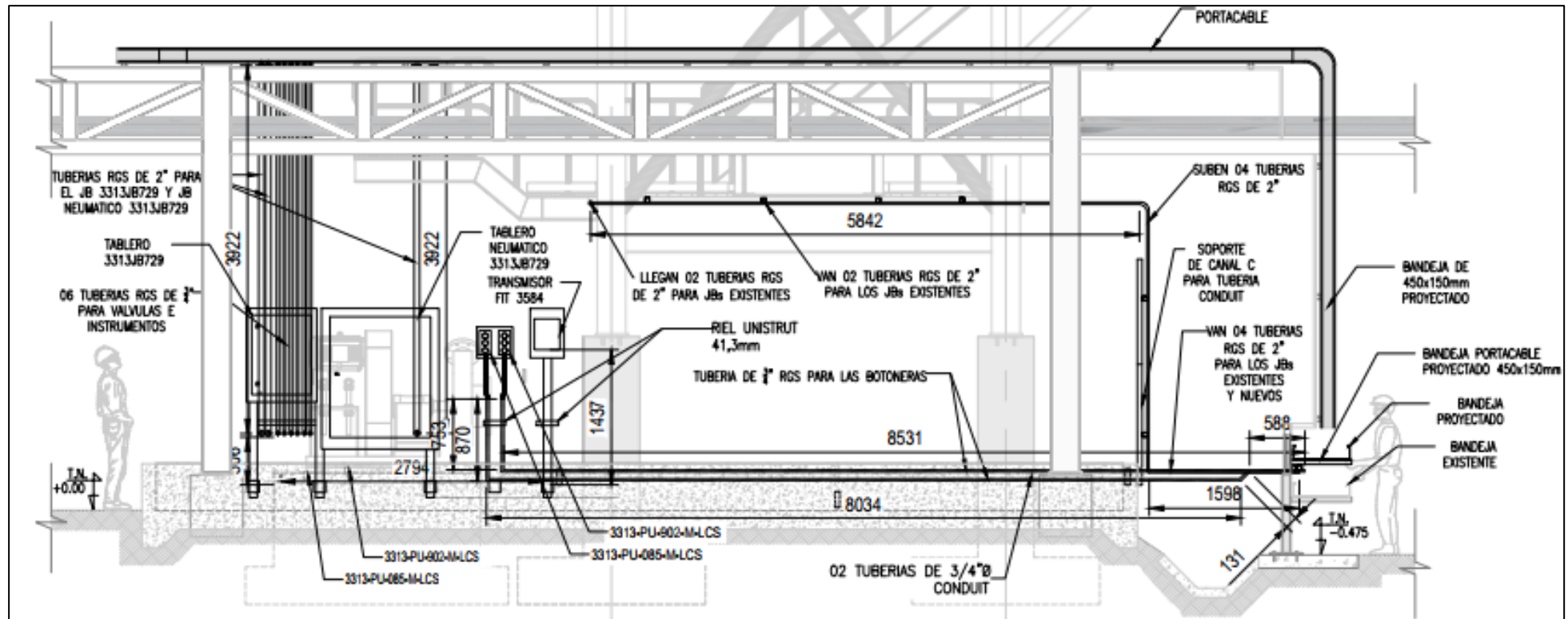
En la Figura 17 se muestra el tendido o montaje de los cables de instrumentación para la alimentación de señal y control de los equipos como flujómetros, sensores de nivel, sensores de presión, tableros JBs y tableros neumáticos; en esta imagen también se muestra el montaje de tuberías Conduit que ayudan a proteger los cables de instrumentación durante su recorrido. En la Figura 18 se muestra la ubicación de todos los equipos de instrumentación que se utilizan en la Celda Jameson, los cuales ayudarán para el monitoreo de parámetros requeridos en el proceso de flotación.

En las Figuras 19, 20, 21 y 22 se muestra por medio de diagrama las terminaciones de los JBs 01 y 02, los cuales ayudarán a la comunicación directa con el RIO existente y a su vez hacia el PLC que comandará los lazos de control requeridos para el funcionamiento de los equipos de instrumentación.

En las Figuras 23 y 24 se evidencian los diagramas PI&D de ubicación de los instrumentos utilizados en el circuito de la celda Jameson y la línea de concentrado.

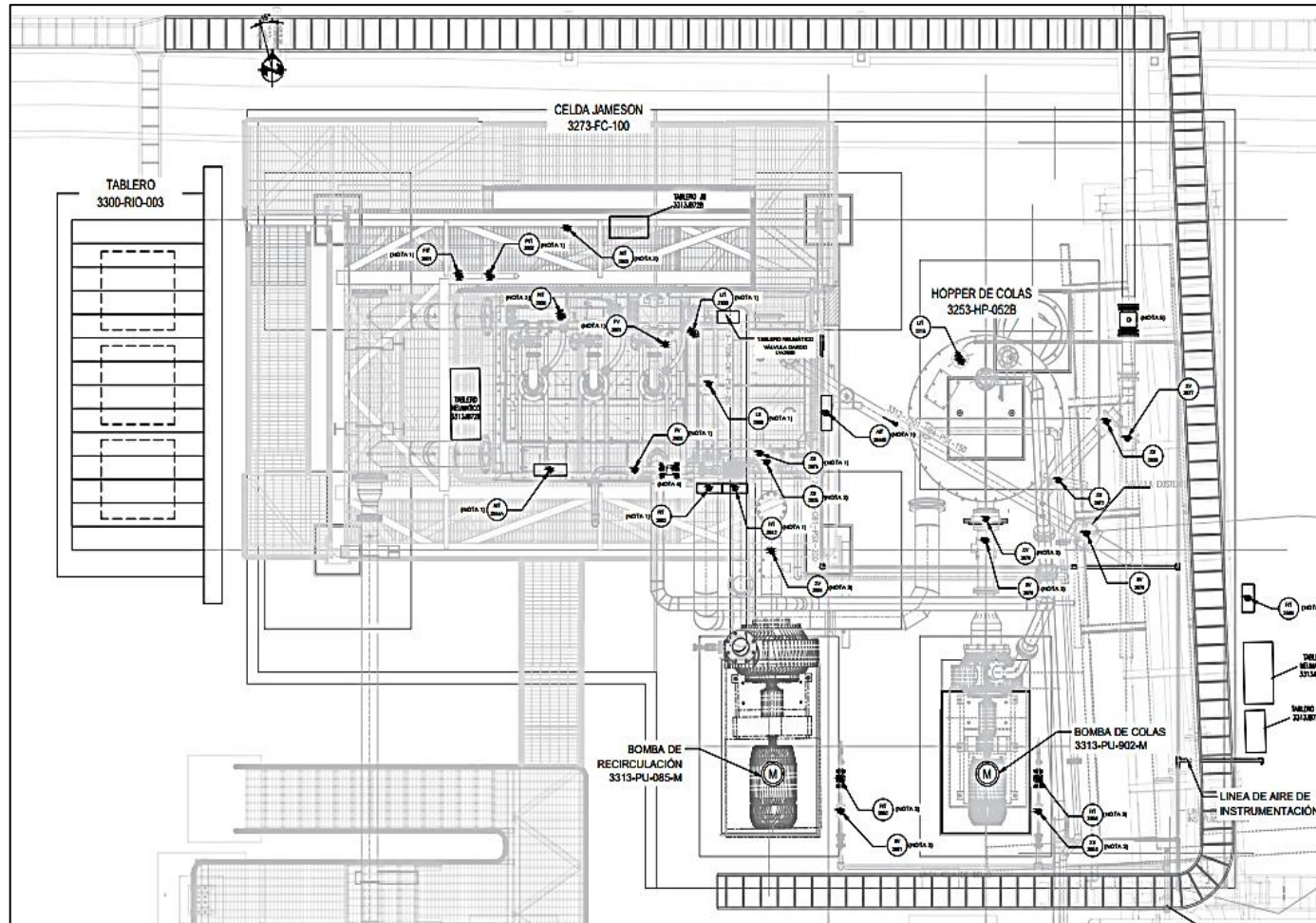
Figura 17

Tendido de cable de Instrumentación



Nota. Elaboración propia

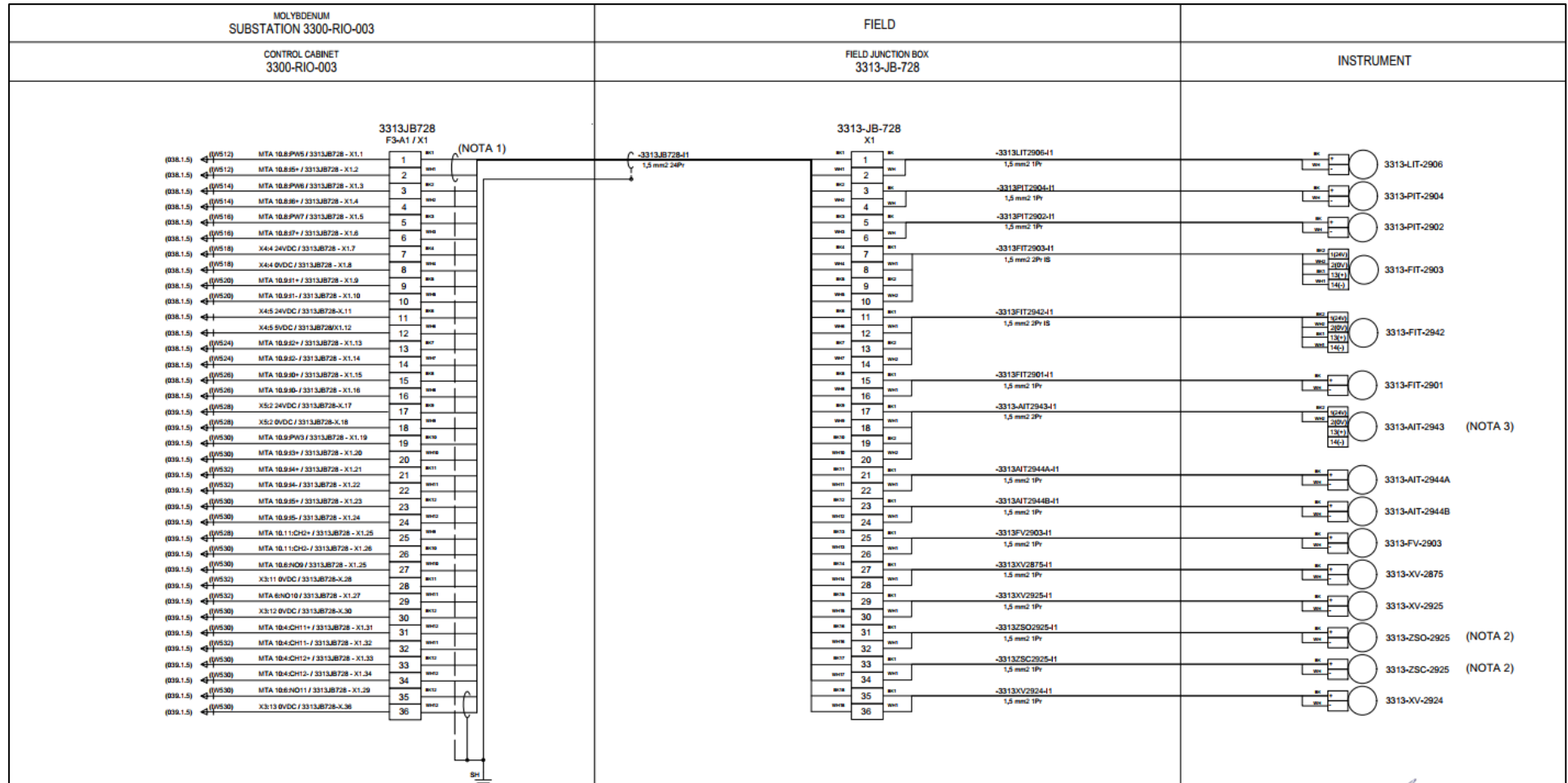
Figura 18
Diagrama de ubicación de instrumentos



Nota. Elaboración propia

Figura 19

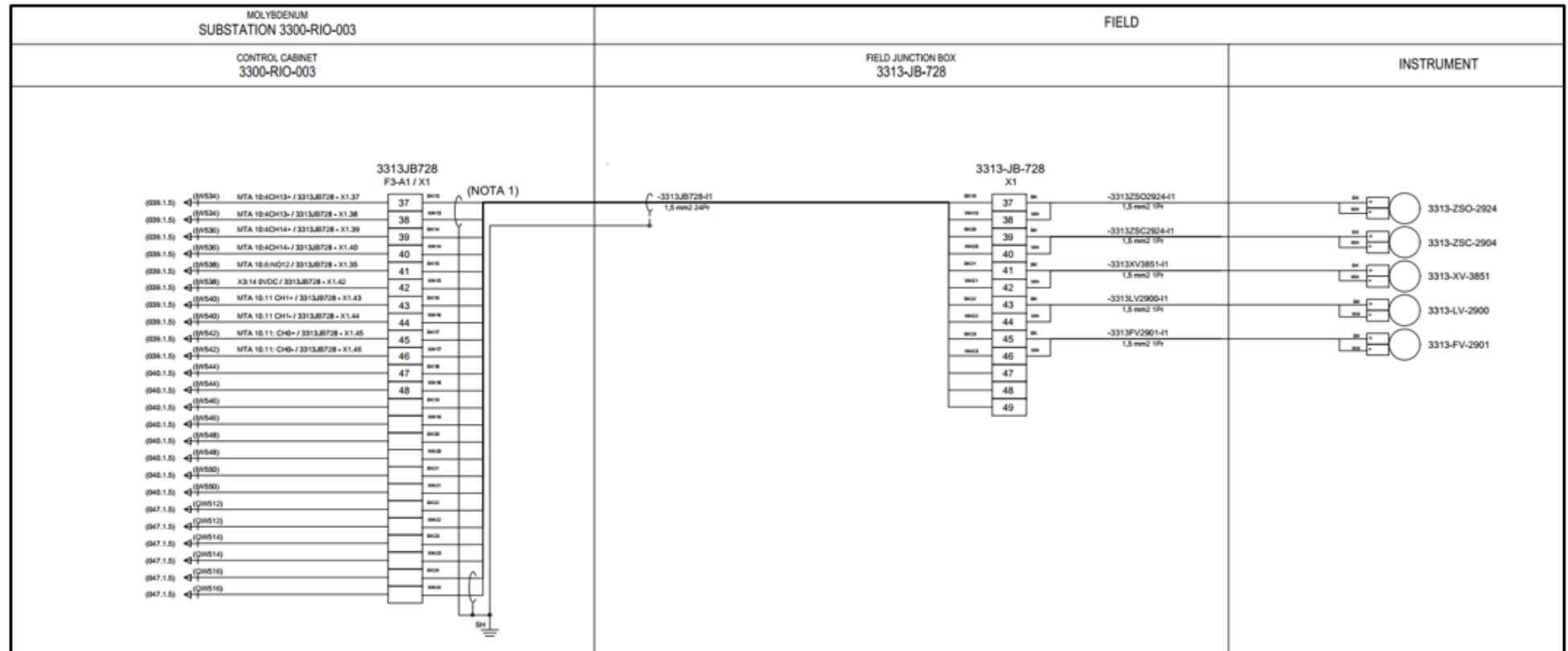
Diagrama de terminaciones tablero JB-01 (1 de 2)



Nota. Elaboración propia

Figura 20

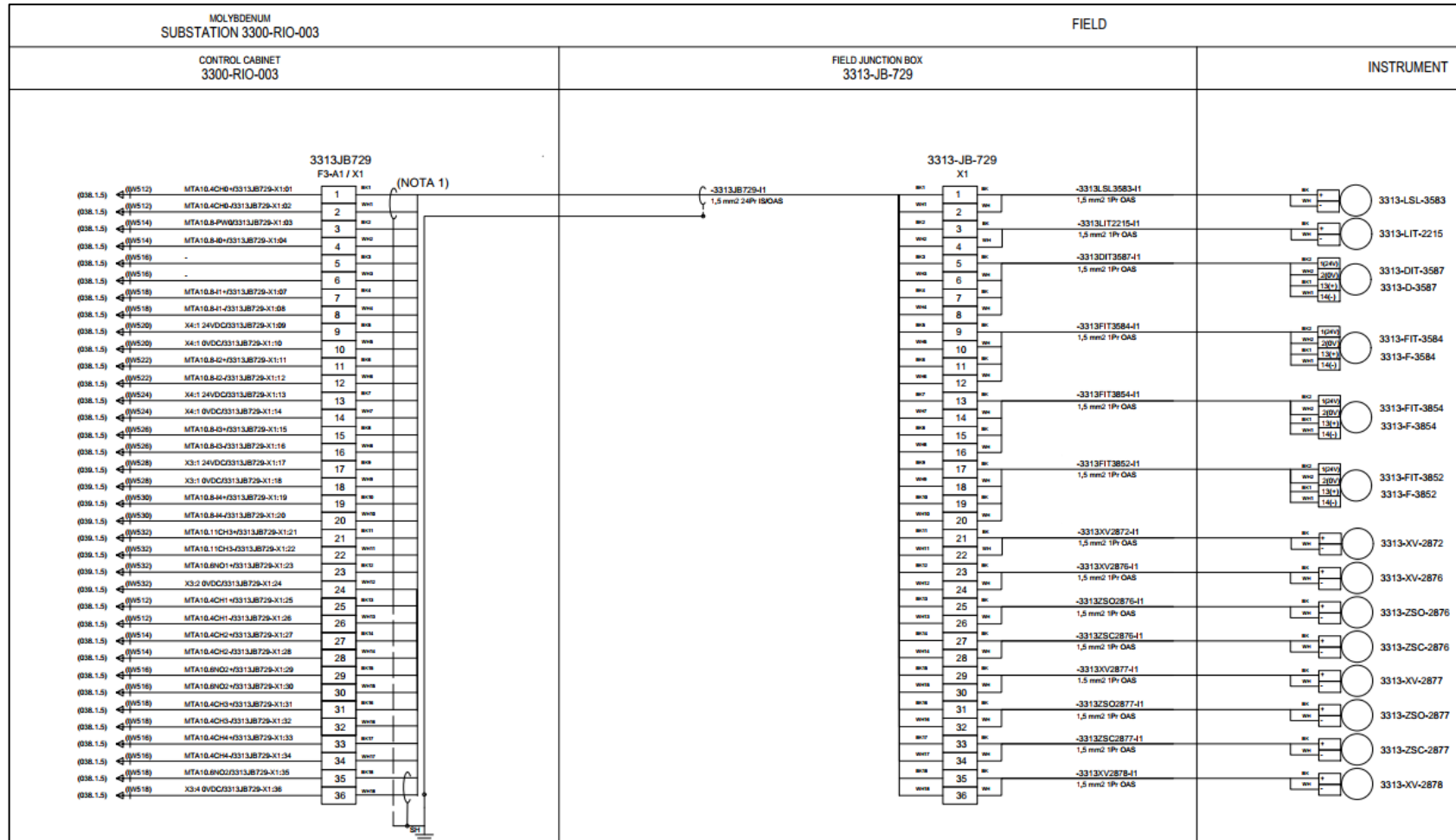
Diagrama de terminaciones tablero JB-01 (2 de 2)



Nota. Elaboración propia

Figura 21

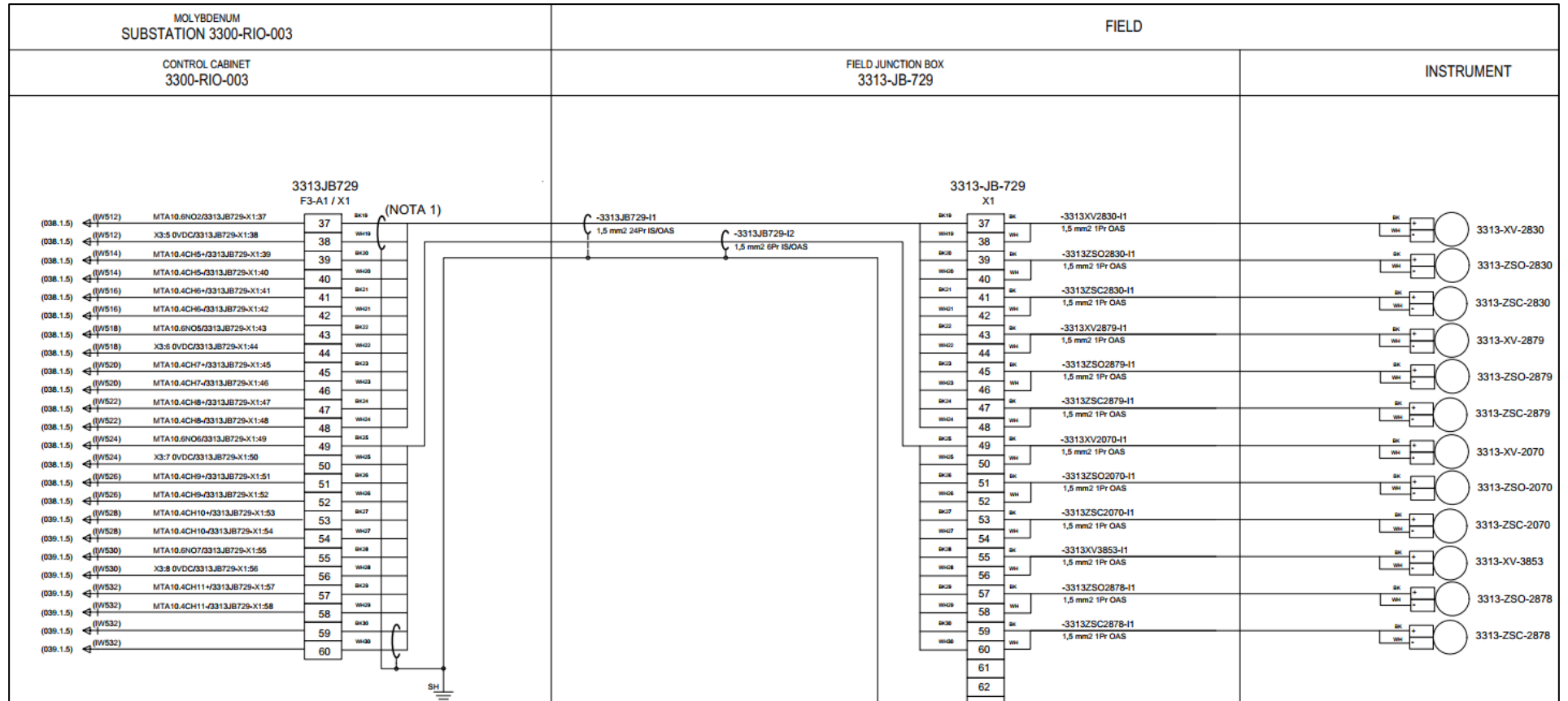
Diagrama de terminaciones tablero JB-02 (1 de 2)



Nota. Elaboración propia

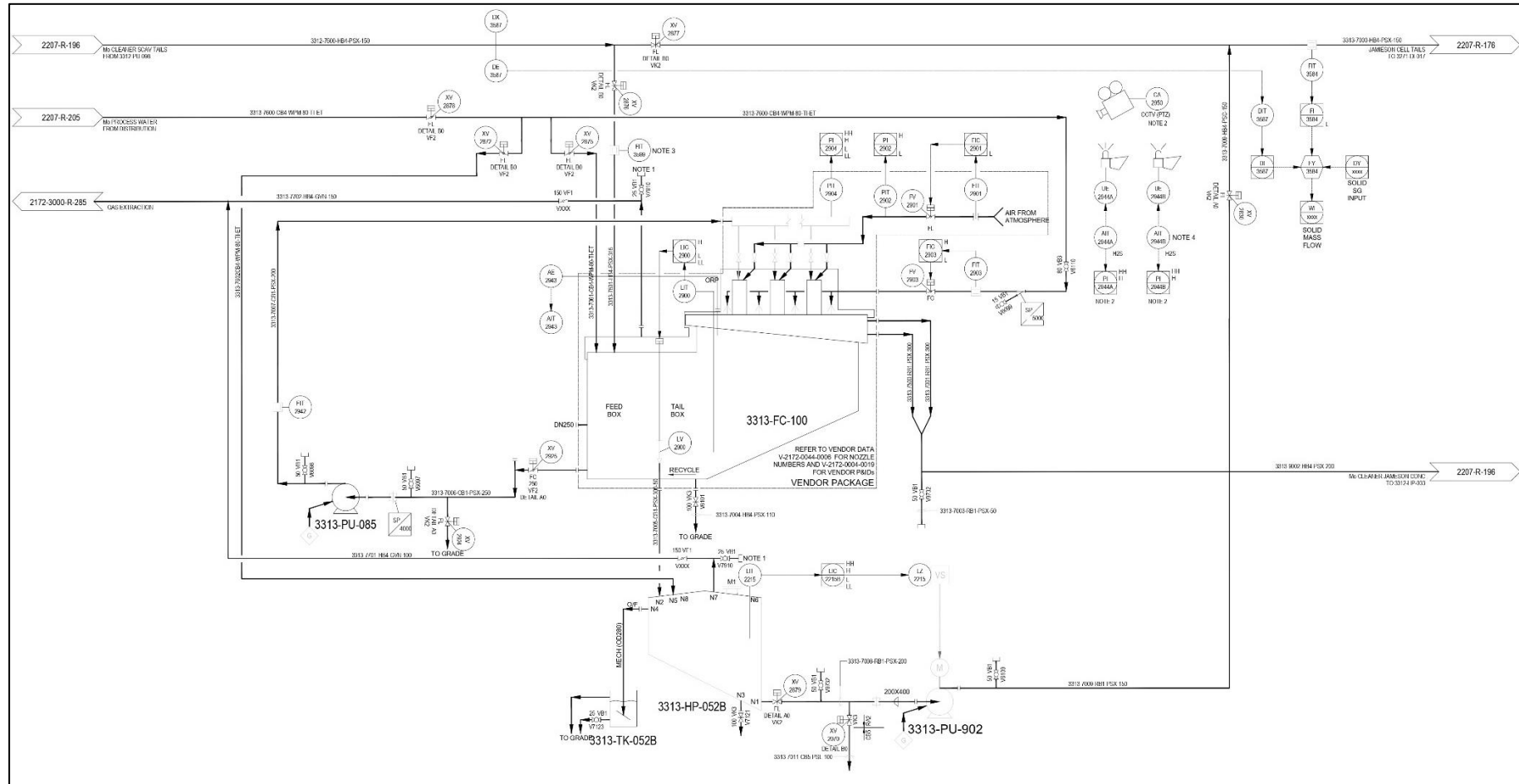
Figura 22

Diagrama de terminaciones tablero JB-02 (2 de 2)



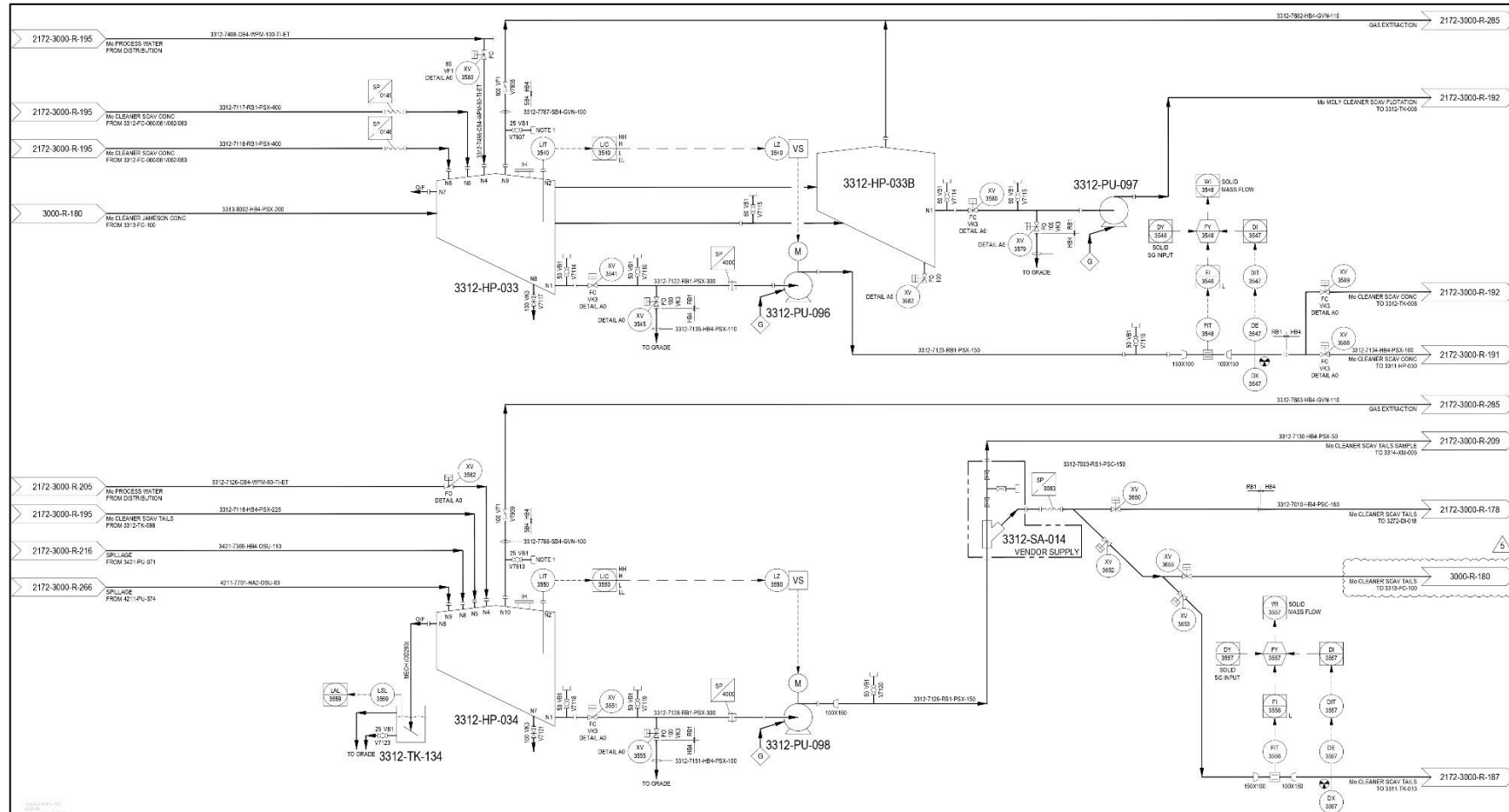
Nota. Elaboración propia

Figura 23
Diagrama PI&D de instrumentos Celda Jameson



Nota. Elaboración propia

Figura 24
Diagrama PI&D de instrumentos Línea de concentrado de molibdeno



Nota. Elaboración propia

Como actividades complementarias a las detalladas en el presente estudio, se realizó el montaje mecánico, dentro del cual se realizó la instalación física de la celda Jameson y sus equipos auxiliares (bombas, tuberías, válvulas y accesorios). Adicionalmente, se realizaron las fundaciones a base de concreto armado para las estructuras de la Celda Jameson considerando un área total donde de 13,50 x 8,90 mt. Para las estructuras de soporte de la celda Jameson se dispuso de 04 fundaciones con pedestales, 02 losas de concreto para las bombas de descarga y bomba recirculante, bases de concreto para los tableros y finalmente 01 losa para el hopper de descarga.

Como resultado, se integró totalmente la celda Jameson y su sistema de control al proceso de flotación de molibdeno, realizando un montaje de acuerdo con los estándares técnicos de planta y asegurando el funcionamiento de las mejoras implementadas.

4.2.6 Resultados de las pruebas y puesta en marcha

En esta etapa, se puso en práctica un protocolo progresivo para realizar la verificación de la instalación adecuada de los equipos, la confiabilidad de los sistemas implementados y la estabilidad del proceso de flotación en condiciones de prueba y en condiciones reales de operación.

La primera etapa constó de pruebas en vacío durante un período de 36 horas, cuya finalidad era confirmar instalaciones eléctricas y adecuado direccionamiento de las señales de. Se verificó además la comunicación entre el PLC central y el sistema DCS, asegurando que las variables se encontraran correctamente registradas y disponibles para monitoreo en tiempo real. Dentro de los aspectos evaluados de forma favorable, se registraron los siguientes:

- Energización de equipos, prueba de motores y arrancadores sin carga.

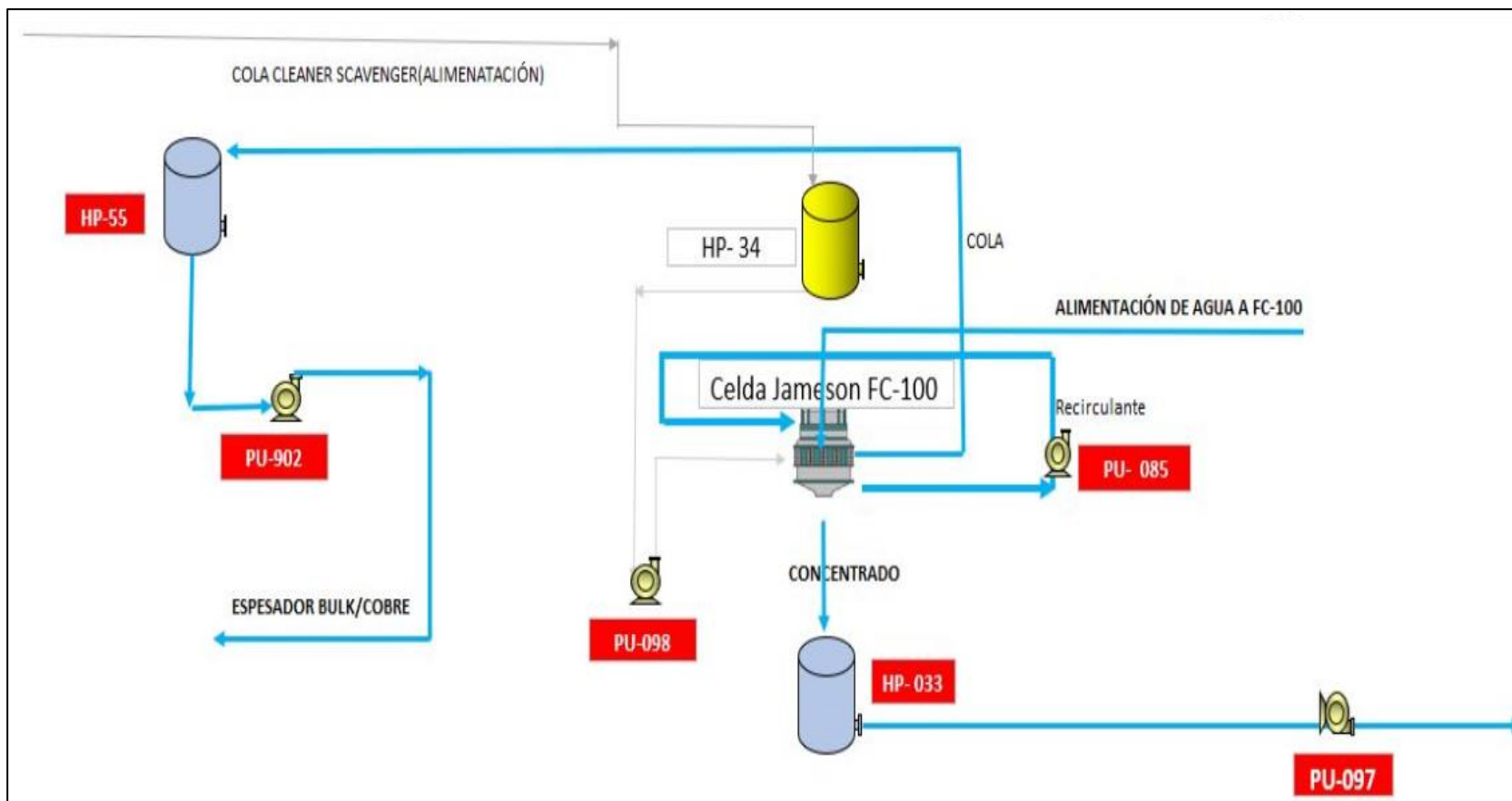
- Transmisores de flujo, presión, temperatura, vibración, etc.
- Arranque de motores
- Integración a DCS
- Pruebas de lazo al DCS de válvulas y pruebas de control apertura, cierre y modos de falla.
- Verificación de sensores
- Verificación de apertura y cierre de válvulas

A continuación, se llevaron a cabo las pruebas con agua de todo el circuito durante un plazo de 4 horas, según el esquema detallado en la Figura 25. Por otro lado, la Figura 26 muestra el diagrama P&ID del nuevo sistema implementado en el DCS para el control de las variables a monitorear por parte de los operadores de planta de molibdeno durante las pruebas con agua. Estas pruebas tuvieron como objetivo validar el comportamiento hidráulico de la celda Jameson y de sus equipos auxiliares, verificando que no hubiera existencia de fugas y que los lazos se comportaran de acuerdo con lo esperado. En esta fase se verificó el funcionamiento adecuado de los siguientes aspectos:

- Pruebas de sistemas completos: bombas, válvulas, celda Jameson.
- Etapa Circuito 1 desde bomba de alimentación existente hacia la celda Jameson, y desde la celda Jameson hacia el hopper existente.
- Monitoreo de vibración y variaciones de temperatura de los componentes de arranque.
- Prueba de confirmación de volúmenes de flujo y presiones de las bombas.
- Verificación de operación de los instrumentos como: sensores, flujómetros.

Figura 25

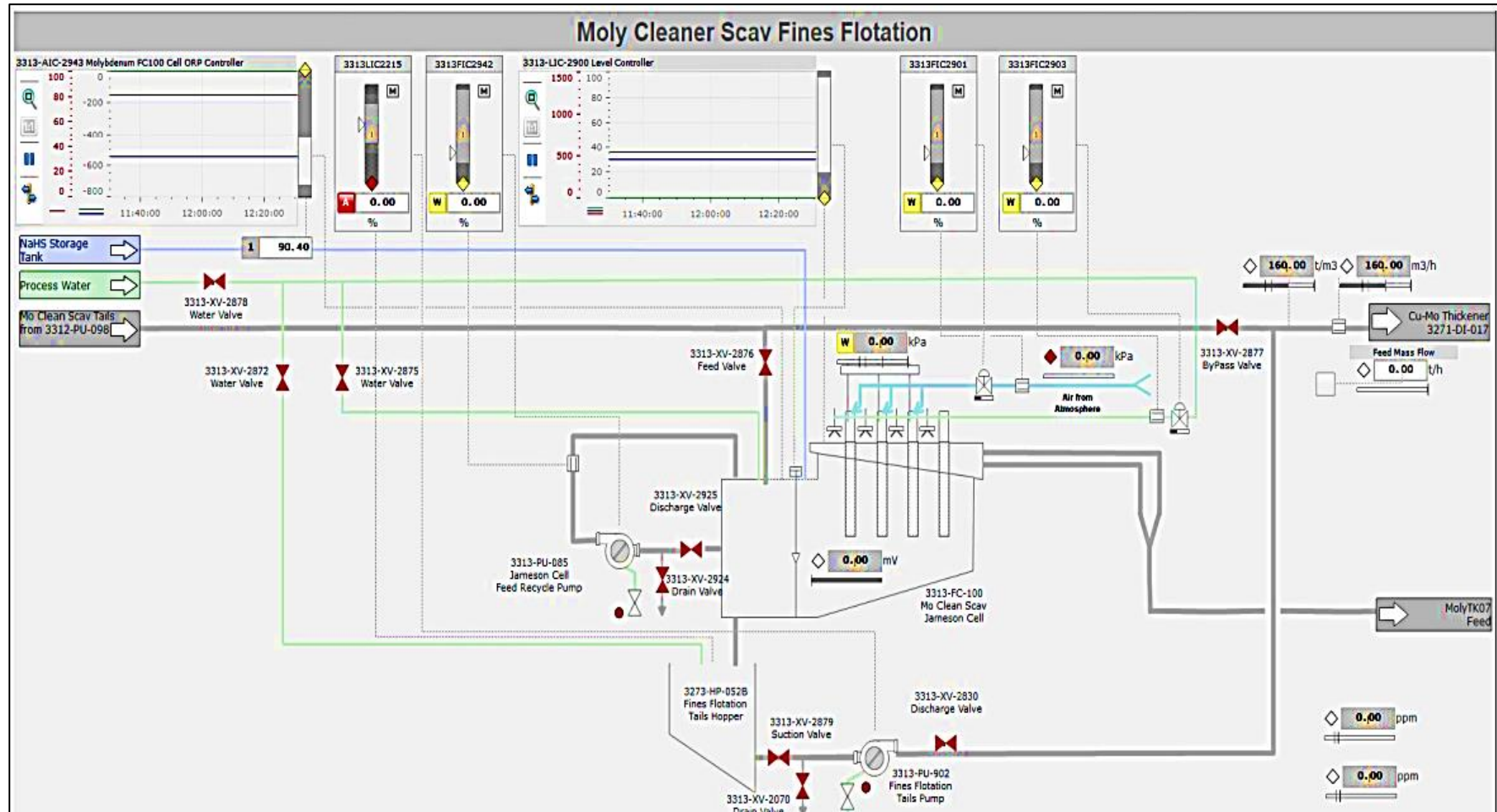
Diagrama de pruebas con agua



Nota. Elaboración propia

Figura 26

Pantalla de operación secuencia de arranque - Pruebas con agua



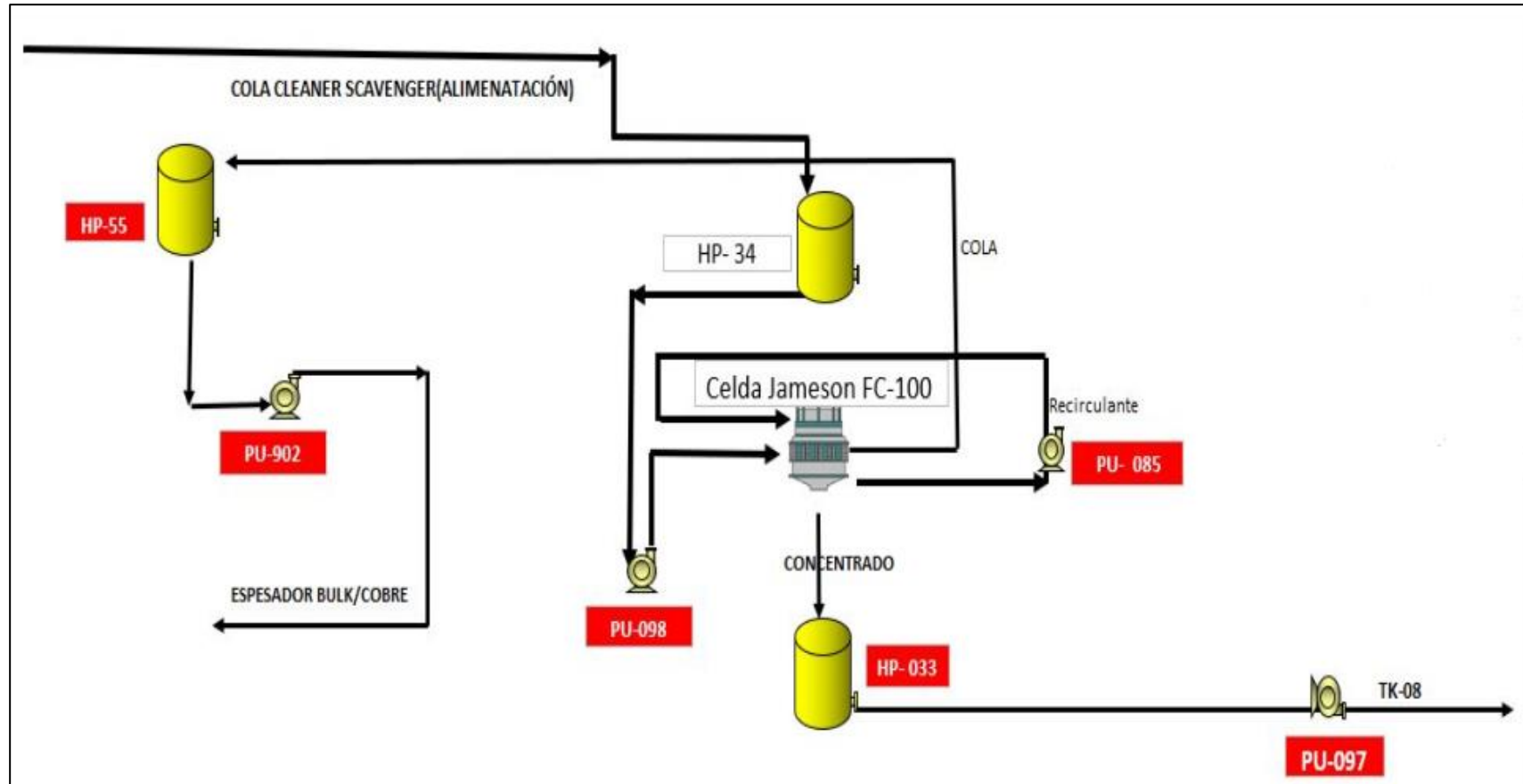
Nota. Elaboración propia

Para finalizar, se realizaron las pruebas con carga por un lapso de 20 horas en el circuito modificado, incorporando pulpa con contenido de molibdeno desde el proceso, según se detalla en la Figura 27. Estas pruebas se realizaron con ayuda del operador de planta desde la sala de control de planta molibdeno en modo manual, es decir abriendo y cerrando las válvulas indicadas desde los comandos de la sala de control en coordinación con personal que se encontraba verificando las condiciones y el cumplimiento en campo. Mientras tanto, en las pantallas de la sala de control se verificaba que los datos de sensores de presión y caudal, así como flujómetros, tengan la misma lectura que en campo. Por otro lado, la Figura 28 muestra el diagrama P&ID del nuevo sistema implementado en el DCS para el control de las variables a monitorear por parte de los operadores de planta de molibdeno durante las pruebas con carga, considerando los ajustes necesarios para tomar el diagrama como referencial y establecido para los usos del sistema e incorporarlos directamente al sistema general de planta. Esta etapa sirvió para evaluar el desempeño del sistema en conjunto, validando los siguientes aspectos:

- Registros de vibración, temperatura, corriente presión
- Modulación y sintonización de válvulas de apertura y cierre.
- Revisión de la densidad y contraste con muestras.
- Verificación visual del rendimiento de equipos con las condiciones estables de la planta de molibdeno.
- Optimización de los parámetros de ajustes de lazos de control.
- Corrección de fallas de los equipos o circuitos, instrumentos etc.

Figura 27

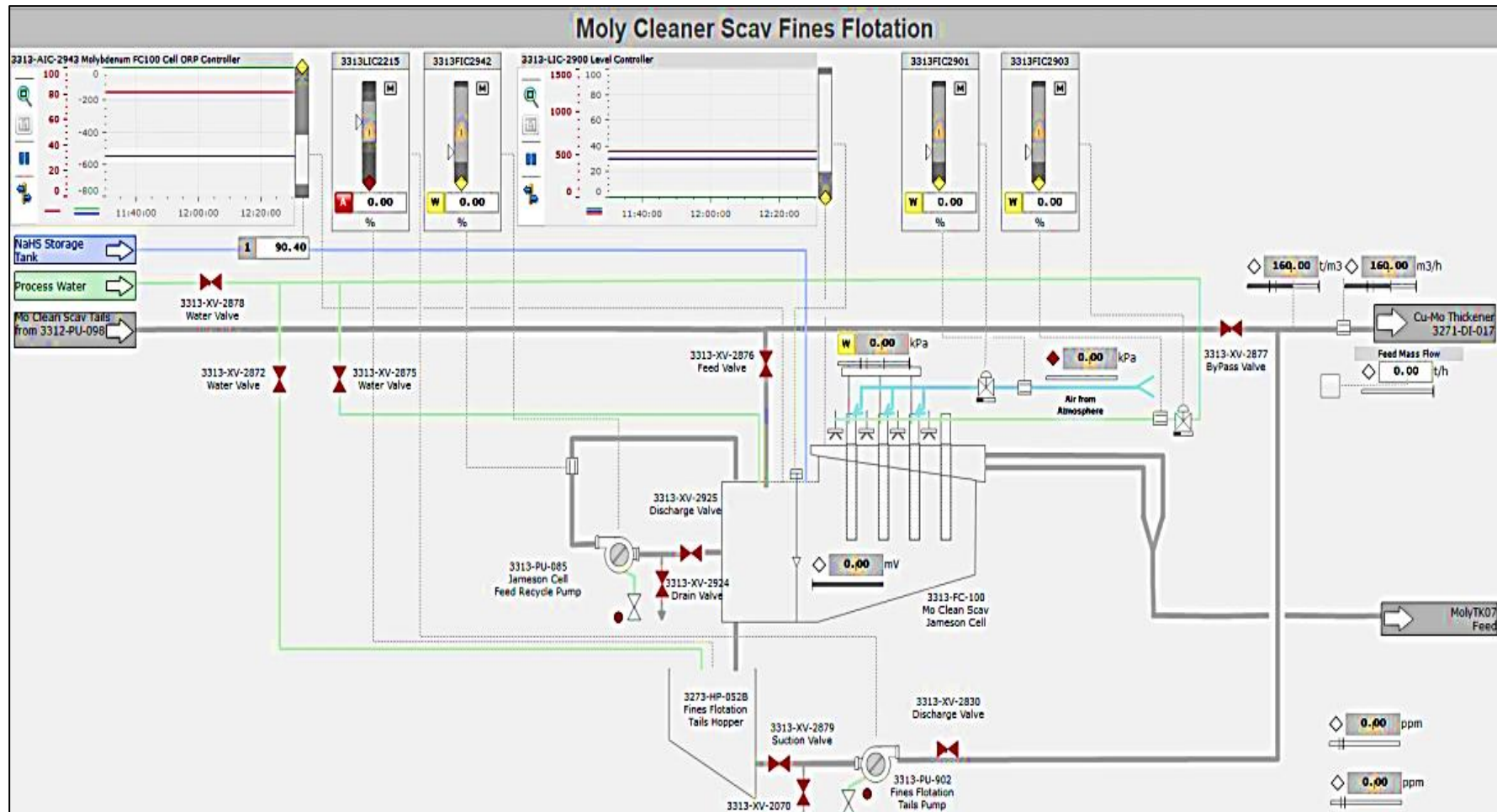
Diagrama de pruebas con carga



Nota. Elaboración propia

Figura 28

Pantalla de operación secuencia de arranque - Pruebas con carga



Nota. Elaboración propia

Concluidas las tres etapas de pruebas, se puso en marcha el equipo en una performance de verificación, dentro de la cual se determinó que el sistema quedó oficialmente operativo, validando la integración de la celda Jameson al proceso de recuperación de molibdeno en su puesta en marcha, verificando el funcionamiento de las instalaciones eléctricas y de control previamente diseñadas, obteniendo una recuperación de molibdeno de 66.75% a 75%.

4.3 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos con el diseño del sistema eléctrico y de control, así como la posterior implementación confirmaron la validez del diseño y la puesta en marcha del nuevo sistema. La secuencia de pruebas realizada determinó que tanto la implementación eléctrica como la del sistema de control fueron adecuadas y se desempeñaron de acuerdo con lo esperado para los parámetros de diseño, sin presentar fallas, sobrecargas ni otros eventos indeseados que pudieran afectar el sistema implementados.

Con respecto a la situación inicial en la cual no se contaba con la celda Jameson, se pudo validar que su integración no constituyó limitaciones para el sistema existente dado que se consideró las modificaciones correspondientes al sistema eléctrico para garantizar el adecuado suministro de energía, evitando sobrecargas o paradas intempestivas. Por su parte, el acondicionamiento del sistema de control permite monitorear las condiciones requeridas a través del DCS existente. De esta manera, se pudo verificar que los resultados obtenidos coinciden con lo establecido en la literatura técnica, que señala que un correcto dimensionamiento de equipos eléctricos garantiza la adecuada operatividad de procesos industriales de alta demanda.

Para concluir, las pruebas con carga permitieron validar que la celda Jameson no fue integrada de forma adecuada al circuito de flotación, cumpliendo el objetivo inicial

de mejorar la eficiencia del proceso en comparación con el circuito existente con el que se contaba. Este hallazgo concuerda con investigaciones previas que destacan la viabilidad de la instalación de una celda Jameson en la recuperación de molibdeno.

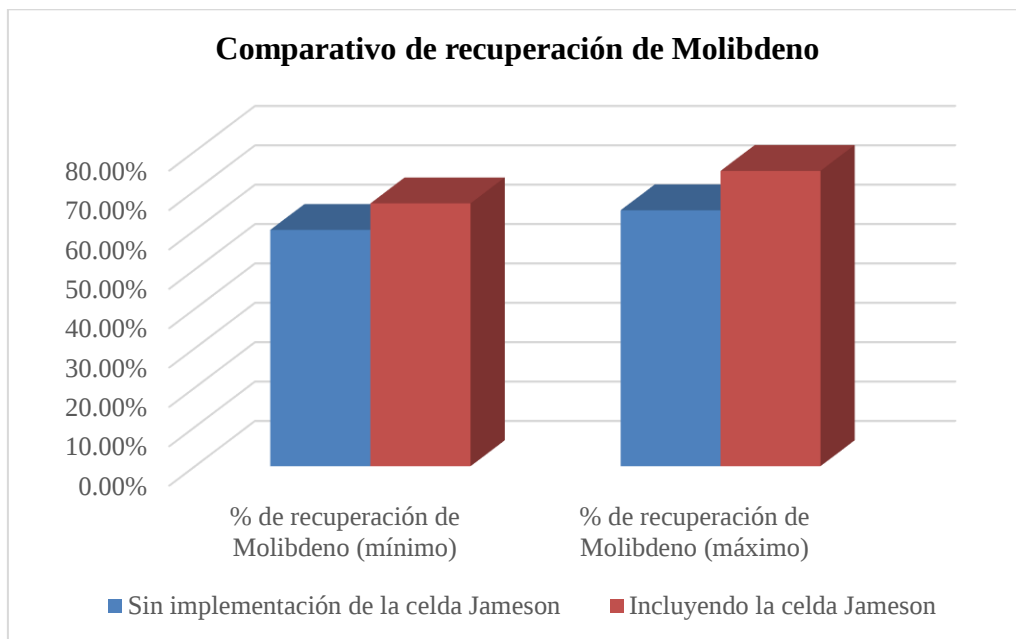
Conjuntamente, los resultados obtenidos demuestran que el diseño y posterior implementación permitió el logro de los objetivos establecidos para la presente investigación que son la determinación de los requerimientos eléctricos adecuados para el diseño del sistema eléctrico y de control, el diseño del sistema eléctrico de alimentación y distribución y el diseño del sistema de control y monitoreo.

A nivel productivo, se pudo constatar que, posterior a la implementación, la recuperación de molibdeno incrementó a un nivel entre 66.75% a 75%, en comparativa con el 60% y 65% que se lograba recuperar de manera previa a la implementación del nuevo sistema. Esta información se encuentra detallada en la Tabla 15, así como diagramado en la Figura 29.

Tabla 15
Comparativo de recuperación de Molibdeno

Condición del circuito	% de recuperación de Molibdeno (mínimo)	% de recuperación de Molibdeno (máximo)
Sin implementación de la celda Jameson	60.00%	65.00%
Incluyendo la celda Jameson	66.75%	75.00%

Nota. Elaboración propia

Figura 29*Diagrama de barras comparativo de recuperación de Molibdeno*

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se realizó el diseño e implementación del sistema de control y automatización para la integración adecuada de la celda Jameson al circuito de flotación de molibdeno, asegurando su correcta operatividad por medio de una infraestructura eléctrica apropiada y un sistema de control integrado al sistema DCS existente. El diseño desarrollado e implementado permitió la optimización del sistema y una mejora en el proceso de recuperación de molibdeno.

SEGUNDA: Los resultados del estudio confirman la primera hipótesis específica, ya que se determinaron los requerimientos eléctricos necesarios para garantizar el diseño de un sistema eléctrico y de control adecuado para la implementación de la celda Jameson y sus equipos asociados al sistema de recuperación de molibdeno existente. El cálculo de máxima demanda, la selección de alimentadores y equipos aseguraron la continuidad del suministro eléctrico para el circuito.

TERCERA: Los resultados del estudio confirman la segunda hipótesis específica, dado que el diseño del sistema eléctrico de alimentación y distribución se diseñó de acuerdo con normas técnicas y de seguridad vigente, garantizando de esta manera la correcta integración de la nueva infraestructura al sistema eléctrico de planta, lo que permitió estandarizar la implementación de acuerdo con los lineamientos establecidos.

CUARTA: Los resultados del estudio confirman la tercera hipótesis específica, ya que se implementó un sistema de control y automatización integrado al sistema DCS existente en planta, mediante módulos de entradas y salidas remotas (RIO). La integración redujo costos de hardware adicional, permitió el monitoreo en tiempo real de las variables, asegurando un control confiable y eficiente en el proceso de recuperación de molibdeno.



RECOMENDACIONES

PRIMERA: Para futuras investigaciones la implementación del sistema de control y automatización debe considerarse una integración adecuada de los componentes a utilizar con la finalidad de asegurar una correcta operatividad del sistema

SEGUNDA: Considerar la implementación un variador de 50 HP que ayude a la bomba de recirculación a mantener un caudal flexible en su alimentación a la celda Jameson, lo cual contribuiría a mejorar la flotación y consecuentemente obtener mejores resultados porcentuales en la recuperación de molibdeno.

TERCERA: Brindar capacitación constante al personal encargado de la operación del proceso en el control del sistema DCS y en la interpretación de variables de proceso, para lograr la optimización del uso de las mejoras implementadas.

CUARTA: Ejecutar de forma periódica evaluaciones al sistema eléctrico y de control del circuito de recuperación de molibdeno para realizar un seguimiento de la demanda real de energía del proceso, analizando su funcionamiento para plantear futuras expansiones en concordancia con los requerimientos de planta.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barriga, B. (2009). Métodos de diseño en ingeniería mecánica. Lima: PUCP. Budynas, R., & Nisbett, K. (2011). Shigley's Mechanical Engineering Design. New York: McGraw-Hill.
- Do, S.-S. (2003). Hydrodynamic characterization of a Denver laboratory flotation cell. Montreal: Department of Mining, Metals and Materials Engineering - McGill University.
- Espinoza Montes, C. A. (2014). Metodología de investigación tecnológica. Pensando en sistemas. Huancayo, Perú: Imagen Gráfica SAC.
- Figueroa Loli, M. A. (2005). Celda de flotación de nueva generación, prtotipo, pilotaje y evaluación. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Figueroa, A., Vega, V., Dionisio, E., Caballero, M., Villacorta, H., & Moreno, L. (2008). Construcción de un prototipo de celda de flotación a escala piloto. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, Vol. 11, N.º 22, 7-12.
- Hannula, J. (2016). Mixing mechanism in a pilot scale flotation cell. Outotec (Finland): University of Oulu Faculty of Technology.
- K. Gorian, B., P. Franzidis, J., & V. Manlapig, E. (2000). Fotation cell design: Appication of fundamental principles. Julius Kruttschnitt Mineral Research Center, 1502.
- Larenas Mahn, J. M. (2006). Caracterización de celdas de flotación de gran tamaño. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Manrique Rebaza, J. A. (2011). Diseño de un recipiente a presión con un sistema de agitación para el procesamiento de biodiesel de 3 m³ de capacidad. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.



- Mott, R. (2004). Diseño de elementos de máquinas. D.F. México: Prentice-Hall.
- Ramos Barraza, A. (2010). Modelación de planta de flotación Anglon American Chile - División El Soldado. Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Ricaurte Freire, L. E. (2016). Diseño y simulación de un Tanque Mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Tiitinen, J., Vaarno, J., & Gronstrand, S. (2003). Numerical modeling of an outokumpu flotation device. Third International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries, 167.
- Adolfo Moreno, Deimer Ballesteros y Germán Sánchez. 2012. "Un prototipo mecánico para la automatización del proceso de selección del mango tipo exportación. " Revista Ingeniería Universidad de Medellín.
- Antonio Miravete y Emilio Larrodé. 1996. Transportadores y Elevadores. Primera edición. Zaragoza, Servicio de Publicaciones, Centro Politécnico Superior Universidad de Zaragoza
- Armando Ortiz, Osvaldo Ruiz y Juan Ortiz. 2013. Modelado de procesos de manufactura. Primera edición. México, Ediciones UNAM.
- Aoqun Brush. 2017. Catálogo de cepillos industriales. Disponible en: <http://aoqunbrush.com/> - Aurelio Baldor. 2008. Geometría y Trigonometría. Primera edición. Cuba, Grupo Editorial Patria



ANEXOS



Anexo 01: Detalle de cálculo de máxima demanda

ÍTEM	TAG DE LA CARGA	DESCRIPCIÓN	DATOS NOMINALES						FACTOR DE CARGA	FACTOR DE DEMANDA	OPERACIÓN			POTENCIA INSTALADA (kW)	POTENCIA CONECTADA (kW)	POTENCIA MEDIA (kW)	CÁLCULO DE MÁXIMA DEMANDA
			POTENCIA	(HP, kW)	TENSIÓN (V)	CORRIENTE (A)	EFICIENCIA	FACTOR DE POTENCIA			CONTINUO	INTERMITENTE	STAND BY				kW
											1	0.5	0				
1.00		MÁXIMA DEMANDA															
1.01	CCM-01	BOMBA DE RECIRCULACION DE CELDA JAMESON	49,6	HP	460	63,9	93,5%	83%	1,00	0,54	X			39,5	39,5	26,9	21,51
1.02	CCM-02	BOMBA DE DESCARGA DE CELDA JAMESON	100	HP	460	119,1	94,5%	88%	1,00	0,54	X			78,9	78,9	53,7	42,95
														114,8	114,8	80,6	64,46
																	F. Simultaneidad (0.8) 51,57
																	TOTAL 51,57

Nota. Elaboración propia

LEGENDA:
 (M) - MACHINERY
 (P) - PUMP
 (T) - TANK
 (C) - CONCENTRATOR
 (S) - SAMPLER
 (F) - FLOTTATION
 (D) - DRYING
 (G) - GROUND
 (H) - HAND
 (I) - INLET
 (O) - OUTLET
 (V) - VALVE
 (W) - WATER
 (X) - EXHAUST
 (Y) - YIELD
 (Z) - ZONE

NOTAS:
 1. MACHINERY PROVIDED FOR MANUAL SAMPLING.
 2. SAMPLER PROVIDED FOR MANUAL SAMPLING.

2172-3000-F-001

2172-3000-F-002

2172-3000-F-003

2172-3000-F-004

2172-3000-F-005

2172-3000-F-006

2172-3000-F-007

2172-3000-F-008

2172-3000-F-009

2172-3000-F-010

2172-3000-F-011

2172-3000-F-012

2172-3000-F-013

2172-3000-F-014

2172-3000-F-015

2172-3000-F-016

2172-3000-F-017

2172-3000-F-018

2172-3000-F-019

2172-3000-F-020

2172-3000-F-021

2172-3000-F-022

2172-3000-F-023

2172-3000-F-024

2172-3000-F-025

2172-3000-F-026

2172-3000-F-027

2172-3000-F-028

2172-3000-F-029

2172-3000-F-030

2172-3000-F-031

2172-3000-F-032

2172-3000-F-033

2172-3000-F-034

2172-3000-F-035

2172-3000-F-036

2172-3000-F-037

2172-3000-F-038

2172-3000-F-039

2172-3000-F-040

2172-3000-F-041

2172-3000-F-042

2172-3000-F-043

2172-3000-F-044

2172-3000-F-045

2172-3000-F-046

2172-3000-F-047

2172-3000-F-048

2172-3000-F-049

2172-3000-F-050

2172-3000-F-051

2172-3000-F-052

2172-3000-F-053

2172-3000-F-054

2172-3000-F-055

2172-3000-F-056

2172-3000-F-057

2172-3000-F-058

2172-3000-F-059

2172-3000-F-060

2172-3000-F-061

2172-3000-F-062

2172-3000-F-063

2172-3000-F-064

2172-3000-F-065

2172-3000-F-066

2172-3000-F-067

2172-3000-F-068

2172-3000-F-069

2172-3000-F-070

2172-3000-F-071

2172-3000-F-072

2172-3000-F-073

2172-3000-F-074

2172-3000-F-075

2172-3000-F-076

2172-3000-F-077

2172-3000-F-078

2172-3000-F-079

2172-3000-F-080

2172-3000-F-081

2172-3000-F-082

2172-3000-F-083

2172-3000-F-084

2172-3000-F-085

2172-3000-F-086

2172-3000-F-087

2172-3000-F-088

2172-3000-F-089

2172-3000-F-090

2172-3000-F-091

2172-3000-F-092

2172-3000-F-093

2172-3000-F-094

2172-3000-F-095

2172-3000-F-096

2172-3000-F-097

2172-3000-F-098

2172-3000-F-099

2172-3000-F-100

2172-3000-F-101

2172-3000-F-102

2172-3000-F-103

2172-3000-F-104

2172-3000-F-105

2172-3000-F-106

2172-3000-F-107

2172-3000-F-108

2172-3000-F-109

2172-3000-F-110

2172-3000-F-111

2172-3000-F-112

2172-3000-F-113

2172-3000-F-114

2172-3000-F-115

2172-3000-F-116

2172-3000-F-117

2172-3000-F-118

2172-3000-F-119

2172-3000-F-120

2172-3000-F-121

2172-3000-F-122

2172-3000-F-123

2172-3000-F-124

2172-3000-F-125

2172-3000-F-126

2172-3000-F-127

2172-3000-F-128

2172-3000-F-129

2172-3000-F-130

2172-3000-F-131

2172-3000-F-132

2172-3000-F-133

2172-3000-F-134

2172-3000-F-135

2172-3000-F-136

2172-3000-F-137

2172-3000-F-138

2172-3000-F-139

2172-3000-F-140

2172-3000-F-141

2172-3000-F-142

2172-3000-F-143

2172-3000-F-144

2172-3000-F-145

2172-3000-F-146

2172-3000-F-147

2172-3000-F-148

2172-3000-F-149

2172-3000-F-150

2172-3000-F-151

2172-3000-F-152

2172-3000-F-153

2172-3000-F-154

2172-3000-F-155

2172-3000-F-156

2172-3000-F-157

2172-3000-F-158

2172-3000-F-159

<

INVESTIGACIÓN



Anexo 03: Códigos, regulaciones y estándares

Códigos

El diseño eléctrico y la construcción, en general, cumplieron con lo establecido en los siguientes códigos:

- RNE Reglamento Nacional de Edificaciones
- CNE Suministro Código Nacional de Electricidad – Suministro
(CNE)
- CNE Utilización Código Nacional de Electricidad – Utilización
(CNE)
- DGE / MEM Normas de la Dirección General de Electricidad
del Ministerio de Energía y Minas.

Regulaciones

Se utilizaron las últimas regulaciones eléctricas de las siguientes organizaciones:

- OSHA U. S. Occupational Safety & Health Administration
- MSHA U. S. Mine Safety and Health Administration

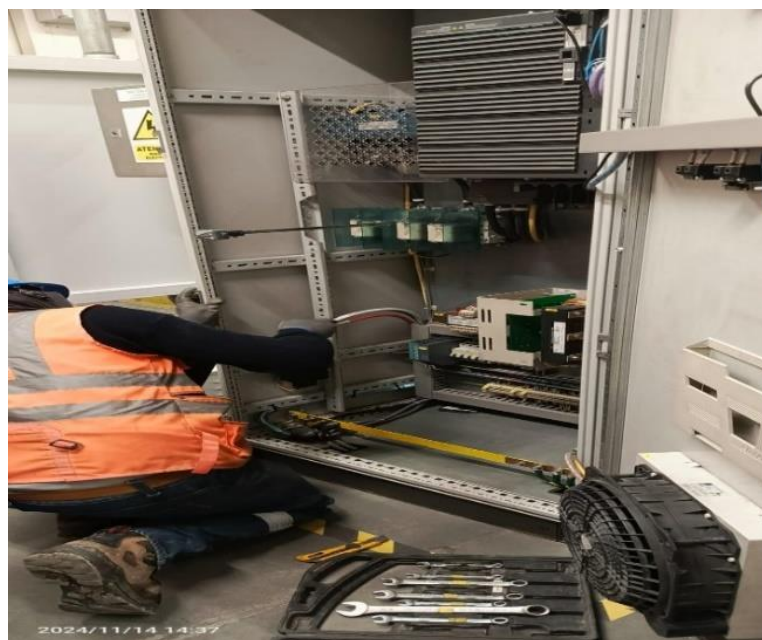
Estándares

Los equipos, materiales y componentes eléctricos, serán diseñados, construidos, clasificados, y probados de acuerdo con los requerimientos, recomendaciones y guías aplicables de las siguientes organizaciones:

- ANSI American National Standards Institute
- ASTM American Society for Testing and Materials
- IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers
- NEMA National Electrical Manufacturers Association
- NFPA National Fire Protection Association
- IEC International Electrotechnical Commission

Anexo 04: Panel fotográfico**Instalación de Conduit de $\frac{3}{4}$ " Ø para tendido de cable de control para botoneras**

Se instaló tubería conduit de $\frac{3}{4}$ " Ø para el tendido del cableado de control destinado a las botoneras, asegurando una canalización adecuada y protegida conforme a los planos de instalación.

**Reubicación y montaje de tablero variador desde sala SS-400 a sala SS-700:**

Se ejecutó la reubicación del tablero variador desde sala SS- 400, se trasladó y posterior montaje en sala SS-700. La instalación consideró el posicionamiento estructural, nivelación, y fijación del equipo, dejándolo operativo para su posterior conexonado.



Conexión de bombas:

Se realizaron los trabajos de conexión eléctrica de las bombas, incluyendo el tendido y terminación de cables de fuerza, control y puesta a tierra



Conexión de señales hacia tableros:

Se realizó el conexión de señales de instrumentación hacia los tableros de campo JB01 y JB02 incluyendo el tendido, canalización e identificación de cables. Las terminaciones se efectuaron en bornas internas según la codificación establecida en los planos de instrumentación.



Tendido de cable desde transmisores de flujo (flujómetros):

Se ejecutó el tendido de cables desde los transmisores de flujo instalados en campo hasta los tableros de control o cajas de paso (JBs). El cableado fue canalizado mediante bandejas y tubería Conduit.



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 15/12/2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: MADGER JOARY ANDIA LLERENA

Dirección: Urb. Viña del Mar D-1, Paucarpata - Arequipa

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 45965398

Teléfono: 935278889 email: madger1351@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

Asesor: Ing. ADWAR RANULFO SÁNCHEZ CARREÓN

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐

Título: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN PLANTAS MOLIBDENO, 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): celdas de flotación, sistema de control, automatización, celda Jameson, molibdeno.

¿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 E INGENIERÍA MECÁNICA – P18

Firma de Autor



huella digital

15 de DICIEMBRE del 2025

Fecha