

# Universidad Nacional de Ingeniería

## Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

### **Diseño del sistema de automatización para un proceso de recuperación de oro de una planta minera del Perú**

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero mecatrónico

Elaborado por

Anthony Luiggi Inostroza Campos

 [0009-0006-9442-1827](https://orcid.org/0009-0006-9442-1827)

Asesor

Dr. Raúl Ricardo Rodríguez Bustinza

 [0000-0002-6411-7123](https://orcid.org/0000-0002-6411-7123)

LIMA – PERÚ

2024

---

Citar/How to cite	Inostroza Campos [1]
Referencia/Reference	[1] A. Inostroza Campos, " <i>Diseño del sistema de automatización de un proceso de recuperación de oro de una planta minera del Perú</i> " [Trabajo de Suficiencia Profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---

---

Citar/How to cite	( Inostroza, 2024)
Referencia/Reference	Inostroza, A. (2024). <i>Diseño del sistema de automatización de un proceso de recuperación de oro de una planta minera del Perú</i> . [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

## RESUMEN

En este estudio se realizó una investigación cuantitativa experimental para diseñar un sistema de automatización para la recuperación de minerales. La investigación involucró la identificación y análisis de variables de proceso, y la descripción de procedimientos de trabajo para desarrollar el diseño de las estrategias de control para cada etapa del proceso de recuperación. Estas etapas se clasifican en sub-áreas conocidas como WBS: 3140 (Recepción del mineral crudo), 3145 (Lavado de mineral), 4110 (Clasificación de partículas) y 4125 (Espesamiento de molienda). También se especificaron los equipos de instrumentación y automatización para la planta.

El estudio utilizó información de proveedores de sistemas de control e instrumentación, validada a través de revisiones por parte del cliente y del instalador del sistema. La investigación tiene un alcance correlacional, examinando la relación entre la variable independiente (el sistema de automatización) y las variables dependientes (protección del personal y equipos, y visualización de variables).

Se analizó la distribución de equipos mecánicos, sistemas de tuberías, sistemas eléctricos y requisitos de proceso para una operación óptima de la planta. Se emplearon los estándares de la Sociedad Internacional de Automatización (ISA) para el diseño final del sistema. El análisis de la operación del proceso bajo las condiciones actuales demuestra los beneficios de implementar un sistema de control para la recuperación de minerales en la unidad minera.

**Palabras clave:** sistema de automatización, procesos, lazos de control, estrategias de control.

## ABSTRACT

In this study, a quantitative experimental investigation was conducted to design an automation system for mineral recovery. The research involved identifying and analyzing process variables and describing work procedures to develop the design of control strategies for each stage of the recovery process. These stages are classified into sub-areas known as WBS: 3140 (Raw mineral reception), 3145 (Mineral washing), 4110 (Particle classification), and 4125 (Grinding thickening). The instrumentation and automation equipment for the plant were also specified.

The study utilized information from control and instrumentation system suppliers, validated through reviews by the client and the system installer. The research has a correlational scope, examining the relationship between the independent variable (the automation system) and the dependent variables (protection of personnel and equipment, and visualization of variables).

The distribution of mechanical equipment, piping systems, electrical systems, and process requirements for optimal plant operation were analyzed. The standards of the International Society of Automation (ISA) were employed for the final system design. The analysis of process operation under current conditions demonstrates the benefits of implementing a control system for mineral recovery in the mining unit.

**Keywords:** automation system, processes, control loops, control strategies.

# INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de suficiencia profesional se centra en el diseño del sistema de automatización de una planta que pretende recuperar oro y consta de cuatro capítulos que se describen a continuación:

En el **capítulo I**, denominado Generalidades, se presenta el alcance del trabajo de investigación en el contexto de la operación minera para la extracción de oro. La problemática principal cuestiona cuales sería los procedimientos que se deberían incluir para diseñar un sistema de control en la nueva planta de recuperación de mineral, mientras que la problemática secundaria solicita la documentación técnica para realizar las estrategias de control que se usarán. Dentro de este trabajo se incluyeron tres antecedentes nacionales y uno internacional que sirvieron como referencia para el planteamiento de los objetivos que se tendrá en cuenta para el desarrollo de la solución. Se formulan las hipótesis de la investigación donde se requiere corroborar lo planteado mediante los resultados finales que se detallan más adelante.

Se describen las características epistemológicas de la investigación desarrollada, precisando ser del tipo cuantitativa donde desde un punto objetivo busca conseguir el punto de operación deseado. Desde el punto de razonamiento es deductivo se busca relacionar la teoría con la práctica. La unidad de análisis donde se desarrolla la investigación es la nueva planta de procesos que muestra las variables, equipos y secuencias que se deben cumplir para luego plantear una solución del nivel de automatización al que se quiere llegar. Asimismo, la matriz de consistencia se presenta como un resumen de las variables independientes y dependientes influyen en la selección apropiada del sistema de control.

En el **capítulo II**, denominado Marco Teórico y Conceptual, se presenta la descripción de los estándares empleados según la ISA, los criterios que se deben seguir para un sistema de automatización y los equipos de control utilizados en plantas de

procesos. También se desarrolla el marco conceptual, donde se describen las definiciones de términos empleados en la descripción teórica y utilizados en el trabajo de investigación.

En el **capítulo III** se desarrolla el trabajo de investigación, recolectando información del proceso que se requiere controlar para plantear el modo de operación de los equipos mayores que se encuentran localizados en el área 3140, 3145, 4110 y 4125. Esta información sirve como punto de partida para realizar los enlaces lógicos dentro de cada diagrama P&ID y añadir la simbología adecuada según la ISA. Se detallan los típicos de arranque de equipos (comandos y estados), y en la secuencia de operación se consideran los casos críticos de operación tales como paradas de emergencia o detener el proceso de manera general.

Dentro del **capítulo IV** se analizan los resultados del diseño del sistema del control tales como los diagramas y documentación técnica realizada para lograr tener un diseño de alto nivel corroborándolo con las propuestas de vendedores locales de equipos de automatización e instrumentación, así como un resumen de la propuesta económica necesaria para invertir en esta propuesta de diseño.

Finalmente se desarrolla las conclusiones del trabajo, las cuales muestran el logro del objetivo de diseñar un sistema de automatización acorde a las normativas nacionales e internacionales, también se plantean recomendaciones para ampliar la investigación. Además, se incluyen las referencias bibliográficas por parte de investigadores en el campo de la automatización de procesos y anexos.

# ÍNDICE

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	v
CAPÍTULO I.....	1
Generalidades.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.2 Identificación y Descripción del problema de estudio.....	2
1.3 Formulación del Problema.....	4
1.3.1 Problema General.....	4
1.3.2 Problema Específico.....	4
1.4 Justificación e Importancia.....	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivo específico.....	5
1.6 Hipótesis.....	5
1.6.1 Hipótesis General.....	5
1.6.2 Hipótesis Específica.....	5
1.7 Variables y Operacionalización.....	5
1.7.1 Operacionalización de Variables.....	5
1.8 Metodología de la Investigación.....	6
1.8.1 Unidad de Análisis.....	6
1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de la investigación.....	6
1.8.3 Diseño de la investigación.....	7
1.8.4 Fuente de información.....	7
1.8.5 Población y muestra.....	7
1.8.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	8

1.8.7	Análisis y procesamiento de datos.....	8
CAPÍTULO II	.....	9
Marco Teórico y Conceptual	.....	9
2.1	Bases Teóricas .....	9
2.1.1	Proceso de recuperación de oro.....	9
2.1.2	Estándar ANSI/ISA-S5.1 -2022.....	13
2.1.3	Instrumentación del proceso.....	17
2.1.4	Automatización.....	22
2.1.5	Estrategias de control.....	26
2.1.6	Documentación Técnica.....	30
2.2	Marco conceptual.....	31
CAPÍTULO III	.....	41
Desarrollo del trabajo de investigación	.....	41
3.1	Condiciones de diseño.....	41
3.2	Planos P&ID (Diagrama de Tuberías e Instrumentación).....	43
3.2.1	Criterios generales .....	43
3.2.2	Simbología .....	43
3.2.3	Típicos de arranque de motores .....	44
3.2.4	Típicos de válvulas de control.....	46
3.2.5	Creación de planos P&ID en P3D.....	48
3.3	Arquitectura de control .....	49
3.3.1	Nivel de campo.....	50
3.3.2	<b>Nivel de control</b> .....	60
3.4	Procedimientos de operación .....	61
3.4.1	Modos de Operación .....	62
3.5	Estrategias de control - Recepción de mineral (WBS 3140) .....	63
3.5.1	Descripción general.....	63
3.5.2	Instrumentación del proceso.....	64

3.5.3	Alarmas.....	65
3.5.4	Enclavamientos y permisos.....	66
3.5.5	Lazos de control.....	68
3.5.6	Secuencia de arranque.....	68
3.5.7	Secuencia de parada.....	68
3.6	Estrategias de control - Procesamiento de mineral (WBS 3145).....	70
3.6.1	Descripción general.....	70
3.6.2	Instrumentación del proceso.....	71
3.6.3	Alarmas.....	76
3.6.4	Enclavamientos y permisos.....	77
3.6.5	Lazos de control.....	79
3.6.6	Secuencia de arranque.....	80
3.6.7	Secuencia de parada.....	82
3.7	Estrategias de control – Molienda (WBS 4110).....	84
3.7.1	Descripción general.....	84
3.7.2	Instrumentación del proceso.....	85
3.7.3	Alarmas.....	90
3.7.4	Enclavamientos y permisos.....	91
3.7.5	Lazos de control.....	94
3.7.6	Secuencia de arranque.....	95
3.7.7	Secuencia de parada.....	97
3.8	Estrategias de control en espesamiento de molienda (WBS 4125).....	99
3.8.1	Descripción general.....	99
3.8.2	Instrumentación del proceso.....	101
3.8.3	Alarmas del sistema.....	106
3.8.4	Enclavamientos y permisos.....	107
3.8.5	Lazos de control.....	109
3.8.6	Secuencia de arranque.....	110

3.8.7	Secuencia de parada.....	112
CAPÍTULO IV.....		114
Resultados, Constatación de Hipótesis y Discusión.....		114
4.1	Resultados.....	114
4.1.1	Planos P&ID.....	114
4.1.2	Operación y funcionamiento de los equipos.....	115
4.2	Constatación de hipótesis.....	116
4.3	Discusión de resultados.....	116
CONCLUSIONES.....		119
RECOMENDACIONES.....		120
REFERENCIAS.....		121
<b>ANEXOS.....</b>		<b>122</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Diagrama de flujo de Proceso .....	3
Figura 2-1 Esquema de recepción del mineral – 3140 .....	10
Figura 2-2 Esquema del proceso de Lavado de mineral –3145 .....	11
Figura 2-3 Esquema del proceso de Clasificación - 4110 .....	12
Figura 2-4 Esquema del proceso de Espesamiento de Relaves - 4125 .....	13
Figura 2-5 Identificación de un instrumento .....	14
Figura 2-6 Identificación de variables de instrumentación .....	15
Figura 2-7 Sistema DCS acorde al ISA.....	16
Figura 2-8 Accesibilidad de un sistema Tomado de [7].....	17
Figura 2-9 Sistema de Instrumentación Tomado de [7].....	18
Figura 2-10 Pirámide de automatización Tomado de [9].....	24
Figura 2-11 Modelo OSI Tomado de [9].....	26
Figura 2-12 Sistema de Instrumentación Tomado de [7].....	29
Figura 2-13 Control Cascada en un sistema de bombeo .....	30
Figura 2-14 Desarrollo del sistema de instrumentación y control .....	31
Figura 2-15 Alimentador de placas .....	33
Figura 2-16 Faja Transportadora .....	34
Figura 2-17 Scrubber (Molino Semiautógeno) .....	35
Figura 2-18 Molino de Bolas.....	36
Figura 2-19 Bomba centrífuga .....	37
Figura 2-20 Espesador .....	38
Figura 2-21 Representación de arranque de motor desde un CCM .....	39
Figura 3-1 Flujo del proceso del Área 01 .....	42
Figura 3-2 Codificación de planos .....	43
Figura 3-3 Arranque directo de baja tensión .....	45
Figura 3-4 Arranque directo de media tensión .....	45

Figura 3-5 Arranque directo por variador de frecuencia o arranque suave.....	46
Figura 3-6 Arranque directo por variador de frecuencia de media tensión.....	46
Figura 3-7 Comandos para válvula de simple efecto .....	47
Figura 3-8 Comandos para válvula de doble efecto.....	48
Figura 3-9 Comandos para válvula modulante .....	48
Figura 3-10 Creación de planos en P&ID Plant 3D .....	49
Figura 3-11 Montaje de instrumento de nivel.....	50
Figura 3-12 Montaje de instrumento de flujómetro electromagnético .....	51
Figura 3-13 Montaje de instrumento de flujómetro sonar .....	52
Figura 3-14 Montaje de instrumento de interruptor de flujo térmico.....	52
Figura 3-15 Montaje de instrumento de densidad nuclear.....	53
Figura 3-16 Montaje de manómetros.....	54
Figura 3-17 Montaje de transmisores de presión.....	54
Figura 3-18 Montaje de válvulas de control modulantes .....	55
Figura 3-19 Montaje de válvulas de corte ON/OFF.....	56
Figura 3-20 Tableros de paquete mecánico con HMI.....	59
Figura 3-21 Tableros electroneumáticos en área 4110 & 4125.....	60
Figura 3-22 Layout del gabinete de control.....	61
Figura 3-23 Distribución de equipos en área 3140.....	63
Figura 3-24 Distribución de equipos en área 3145.....	70
Figura 3-25 Distribución de equipos en área 4125-1 .....	85
Figura 3-26 Distribución de equipos en área 4125-2.....	100
Figura 4-1 Data manager de los planos P&ID.....	114
Figura 4-2 Hoja Excel de un equipo mecánico Agitador plano P&ID.....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Relación de variables .....	5
Tabla 1-2 Relación de población vs muestras .....	8
Tabla 2-1 Equipos mecánicos en el Área 01.....	9
Tabla 3-1 Gabinete remoto I/O 3140-RIO-001.....	56
Tabla 3-2 Gabinete remoto I/O 3145-RIO-001.....	57
Tabla 3-3 Gabinete remoto I/O 4110-RIO-001.....	57
Tabla 3-4 Gabinete remoto I/O 4125-RIO-001.....	58
Tabla 3-5 Instrumentación - 3140.....	64
Tabla 3-6 Set Point y alarmas de instrumentos - 3140.....	66
Tabla 3-7 Enclavamientos y permisivos del proceso 3140-1.....	66
Tabla 3-8 Enclavamientos y permisivos del proceso 3140-2.....	66
Tabla 3-9 Lazo de control - 3140.....	68
Tabla 3-10 Instrumentación - 3145.....	71
Tabla 3-11 Set Point y alarmas de instrumentos - 3145.....	76
Tabla 3-12 Enclavamientos y permisivos del proceso 3145-1.....	77
Tabla 3-13 Enclavamientos y permisivos del proceso 3145-2.....	79
Tabla 3-14 Lazo de control - 4110.....	80
Tabla 3-15 Instrumentación de área 4110.....	85
Tabla 3-16 Set point y alarmas de instrumentos - 4110.....	91
Tabla 3-17 Enclavamientos y permisivos del proceso 4110-1.....	91
Tabla 3-18 Enclavamientos y permisivos del proceso 4110-2.....	92
Tabla 3-19 Enclavamientos y permisivos del proceso 4110-3.....	93
Tabla 3-20 Lazo de control - 4110.....	94
Tabla 3-21 Instrumentación - 4125.....	101
Tabla 3-22 Setpoints y alarmas del Espesador 4125.....	106
Tabla 3-23 Enclavamientos y permisivos del espesador.....	107

Tabla 3-24 Enclavamientos y permisivos del sistema de bombeo .....	108
Tabla 3-25 Enclavamientos y permisivos de la planta de floculante .....	109
Tabla 3-26 Lazo de control - 4125 .....	110

# CAPÍTULO I

## Generalidades

### 1.1 Antecedentes Investigativos

Acorde al trabajo de [1], se realizó un diseño del sistema de control y supervisión para la operación de una planta de relleno en pasta de relaves, donde se analiza las principales variables que gobiernan al proceso, con el fin de evaluar los requerimientos del sistema de control tal como es la selección de la instrumentación de campo (sensores y controladores), estrategia de control, etc. En la propuesta, se visualiza el costo total del sistema de control, incluyendo actividades de comisionamiento y puesta en marcha de la planta.

En el trabajo de [5], se propone un sistema de automatización industrial para solucionar los problemas que trae consigo el manejo de mezclas de aceite RBD (RBD, proceso de refinado, blanqueado y desodorizado) en tanques de refinería. A partir de la determinación de variables que gobiernan al sistema, se seleccionan los sensores y elementos finales de control. También realiza el dimensionamiento del consumo eléctrico que requieren los equipos de control y desarrolla los documentos técnicos tales como arquitectura de control, diagramas de conexionado, arreglos de gabinetes, entre otros. De forma que tengan un presupuesto final de la implementación del sistema de control de esta planta.

Del proyecto [4], se muestra el diseño del sistema de automatización para una planta de filtrado de relaves de la compañía minera Consorcio Minero Horizonte, teniendo en consideración a las disciplinas que participan dentro del desarrollo del proyecto tales como son electricidad e instrumentación (engloba automatización y control), así como los entregables que se realizan para que el diseño tenga confiabilidad y robustez. Se exponen los criterios de selección para la instrumentación de campo instalada en la planta, así como las estrategias de control que gobiernan a los equipos mayores (mecánicos) tales como

bombas, etc. Al final se hace un análisis del costo y presupuesto total del sistema de control.

En [3], se propone el diseño de un sistema de instrumentación de campo para una planta que obtiene Óxido de Grafeno Magnético con injertos de aminoácido y se enfoca en el criterio de selección de los instrumentos, los equipos que componen la planta y los sistemas de seguridad que se deben tener en cuenta para su correcto funcionamiento. Un objetivo fundamental en su propuesta de trabajo es del requerimiento de materiales para la procura con un postor que cumpla con los criterios y especificaciones planteados en el diseño.

De [2], se detalla el diseño y desarrollo del sistema de control de un espesador de alto torque para concentrado de cobre en la minera Toromocho, donde se describen las características mecánicas de cada equipo que compone al sistema tales como bombas, tanques, etc. Los instrumentos de monitoreo que se emplean para el sistema de automatización y el controlador que gobierna al equipo también son descritos en este trabajo.

## 1.2 Identificación y Descripción del problema de estudio

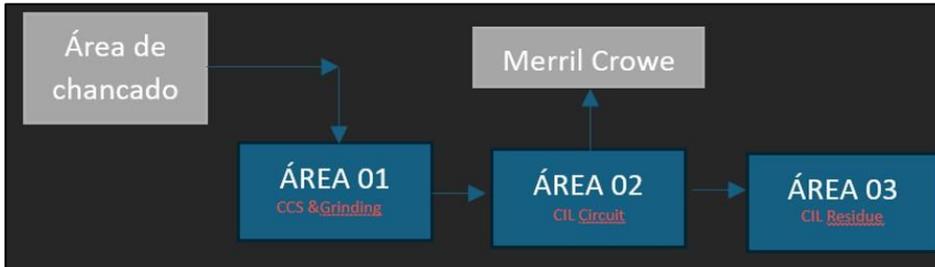
Actualmente la mina extrae y realiza sus operaciones a tajo abierto mediante los procesos de pilas de lixiviación, Merrill Crowe y la recuperación de carbono en columnas (CIC), mientras continúan las operaciones de lixiviación se encuentra inactiva. Desde que inició la producción en marzo de 2005 hasta finales de 2020 se han recuperado gran cantidad de mineral (oro y plata), especialmente oro.

Por la razón expuesta al inicio, la compañía minera requiere la implementación de una nueva planta para el incremento de producción de lingotes dore, para ello se ha llevado a cabo el diseño de un nuevo proceso de extracción que permitirá realizar esta operación con parámetros establecidos por especialistas en metalurgia y minería.

En la Figura 0-1, podemos ver de forma gráfica el flujo del proceso para la nueva planta que recepciona el mineral del área de chancado existente para su recuperación en la también planta existente de Merrill Crowe.

Figura 0-1

Diagrama de flujo de Proceso



(Elaboración Propia)

Dentro del proceso se presentan sistemas de bombeo (transporte de fluidos a alta presión), manipulación de equipos eléctricos en media y baja tensión, entre otros. Los riesgos de la operación manual incrementan la probabilidad de que algún accidente se produzca y manifieste en daño a los operadores (lesiones, muerte, etc.) y/o dejando inoperativos a los equipos de proceso. Los tiempos de operación de cada equipo también es crucial para tener un proceso eficiente y obtener productos con alto grado de calidad.

En este proyecto también se emplearon equipos mecánicos en desuso de una mina en cierre, los cuales han sido acondicionados para operar en este nuevo proceso, tales como el molino de bolas y el equipo scrubber (el cual consiste en un molino semiautógeno, utilizado únicamente para desprender el mineral carbonáceo), ambos están ubicados en el Área 01. Estos equipos no contaban con una lógica de control, la cual generalmente viene suministrado por el vendedor del equipo mecánico, pero en este caso no contaba con el servicio de automatización y se deben plantear alternativas para el funcionamiento eficiente de ambos equipos, así como es necesario establecer los parámetros de control.

### 1.3 Formulación del Problema

#### 1.3.1 Problema General

¿Qué procedimientos se deben seguir para diseñar el sistema de automatización de un proceso de recuperación de oro de una planta minera del Perú?

#### 1.3.2 Problema Específico

¿Qué documentos y planos técnicos serían necesarios para el desarrollo de la estrategia de control del proceso?

### 1.4 Justificación e Importancia

La necesidad de contar con un sistema de automatización para la nueva planta es tener una mejor eficiencia en las operaciones del proceso, la cual mejora ampliamente el seguimiento del proceso de recuperación, como es disminuir el tiempo de operación y aumentar la tasa de producción. Un manejo automático del monitoreo y control en tiempo real del proceso ayuda en la detección y corrección de problemas de manera inmediata.

También es necesario diseñar un sistema de automatización para reducir los riesgos que se puedan presentar debido a la operación manual en campo, con el fin de evitar que se exponga a condiciones peligrosas de algún proceso crítico, como se irá describiendo en el transcurso del desarrollo de documento.

La importancia de contar con sistemas automáticos es manejar de una manera óptima los recursos disponibles, tales como reactivos y energía (eléctrica, esfuerzo humano, etc), reduciendo los costos de operación (OPEX). En general mejora la eficiencia del proceso a un nivel mucho más alto de lo que puede rendir.

### 1.5 Objetivos

#### 1.5.1 Objetivo general

Diseñar el sistema de automatización acorde a los estándares de la Sociedad Internacional de Automatización (ISA).

### 1.5.2 Objetivo específico

Generar la estrategia de control acorde a los lazos de control, enclavamientos y permisivos que permitan operar la planta de manera óptima.

## 1.6 Hipótesis

### 1.6.1 Hipótesis General

El sistema de automatización está basado adecuadamente sobre los criterios de diseño y las especificaciones técnicas de los estándares de la Sociedad Internacional de Automatización (ISA) para el desarrollo de documentación técnica (diagramas y conceptos legibles para los operadores del proceso).

### 1.6.2 Hipótesis Específica

La estrategia de control desarrollada contempla las condiciones necesarias para realizar la automatización del proceso empleando diagramas lógicos, secuencias e identificación de las variables de control (PV, SP, CV).

## 1.7 Variables y Operacionalización

Variable independiente (VI): Nivel de automatización

Variable dependiente (VD): Protección de personal y visualización de variables.

### 1.7.1 Operacionalización de Variables

Tabla 1-1

Relación de variables

Variables	Definición Conceptual	Operacionalización		Escala
		Dimensiones	Indicadores	
VI: Nivel de Automatización	Representa el nivel de tecnología que alcanzará la planta de procesos.	Instrumentación de campo. Automatización de elementos finales de control (motores, válvulas, etc)	- Variables de proceso que se desea medir o controlar. - Desarrollo de estrategia de control del proceso.	Ordinal (Medio, Alto)
VD: Protección de personal y equipos	Procedimientos de operación de los equipos.	Permisivos, enclavamientos, alarmas.	Reducción de incidentes graves y operación segura del proceso.	Ordinal (Alto, Bajo)

Variables	Definición Conceptual	Operacionalización		Escala
		Dimensiones	Indicadores	
<b>VD:</b> Visualización de variables y rendimiento	Monitoreo y operación remota.	Lazos de control	Identificación de requerimiento de operación proceso para mejorar rendimiento (% , consumo, etc)	Ordinal  (Bueno, Malo)

(Elaboración propia)

## 1.8 Metodología de la Investigación

### 1.8.1 Unidad de Análisis

La presente investigación tendrá como unidad de análisis la nueva planta de procesos de recuperación de oro (Área 01), la cual se encuentra en una compañía minera del departamento de La Libertad. Este complejo minero polimetálico produce concentrados de oro y plata, los cuales son refinados dentro de su misma planta para su respectiva comercialización.

### 1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de la investigación

La siguiente investigación con respecto al tema descrito es del tipo cuantitativa porque se han identificado 4 factores epistemológicos que corresponden a la propia característica de la investigación.

- Partiendo de la percepción de la realidad es objetiva, ya que busca la cuantificación y medición de datos e indicadores numéricos tales como las variables de proceso y el control que se requiere para conseguir el punto de operación deseado.
- Partiendo del razonamiento es del tipo deductivo porque para contrastar la hipótesis presentada se analizarán las variables y factores en función a la teoría relacionada al tema de la investigación.
- Desde el punto de vista del fin de la investigación, se busca corroborar la hipótesis en base a la operación del sistema conforme a la Filosofía de control.
- Desde el punto de vista de la causalidad, el efecto en la variable dependiente presenta como antecedente directo las condiciones de la variable independiente como resultado de la elaboración de la investigación.

### 1.8.3 Diseño de la investigación

La investigación descrita es del tipo correlacional, porque se identifican y cuantifican las variables del sistema de automatización y determinan su incidencia en la operación de la planta.

### 1.8.4 Fuente de información

A partir de los documentos de las disciplinas que participaron en el desarrollo del proyecto de Ingeniería de detalle para la nueva planta tales como Procesos (planos PFD, balance de masas, Filosofía de Operación), Electricidad (Alimentación eléctrica, sistema de potencia, etc.), Mecánica y Piping (fluidos, equipos), Estándares de la mina (Sistema de control existente, criterios de instalación y operación) se recolectaron los datos necesarios para realizar el diseño del sistema de Automatización con respecto a la descripción y funcionamiento de la nueva planta, variables que se requerían controlar, identificación de los equipos mayores del proyecto, niveles de riesgo, operación manual y automática, información de proveedores de sistemas de automatización y control, entre otros.

### 1.8.5 Población y muestra

Se estudió el sistema de control (población) de la nueva planta mediante las normativas que brinda la Sociedad Internacional de Automatización (ISA), el cual nos permitió diferenciar varios elementos que lo componen. Tales como medios de comunicación, controladores, lógica y secuencia de control, instrumentos y elementos finales de control para su disposición final y establecer los criterios necesarios que serán usados para el dimensionamiento del sistema.

Se armó una lista de documentos del sistema de Control y las consecuencias dentro del sistema propuesto.

Tabla 1-2

Relación de población vs muestras

Documento Automatización	Muestra analizada
Arquitectura de control	Layout de planta (Distribución) Concentración de señales Accesibilidad
Diagramas de lazo P&ID	Comisionamiento de planta Cableado del sistema Identificación de lazos de control Estrategia de control

(Elaboración propia)

### 1.8.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El método empleado para la recolección de datos fue cuantitativo pues se basó en la búsqueda de datos mediante observación a partir de documentos técnicos, planos e información de proveedores de sistemas de control e instrumentación.

### 1.8.7 Análisis y procesamiento de datos

Para el procesamiento de la información, se usarán documentación técnica aprobada por la Sociedad Internacional de Instrumentación (ISA), con el fin de listar los requerimientos necesarios para uniformizar la automatización de la planta. Se realizará un comparativo del sistema de control implementado en otras plantas similares de procesos, para definir los criterios y parámetros que debe tener el sistema de automatización, con el fin de que opere correctamente.

Una vez definido las variables de proceso a controlar, se realizará el diseño basado en la jerarquía de automatización para elementos de campo, sistema de supervisión y modelos de control.

El análisis de resultados presentará las características del diseño del sistema de automatización respecto al control de las variables, para así presentar las conclusiones de la investigación alineadas a los objetivos presentados.

## CAPÍTULO II

### Marco Teórico y Conceptual

#### 2.1 Bases Teóricas

##### 2.1.1 Proceso de recuperación de oro

El proceso abarca desde la recuperación del mineral triturado de la pila de almacenamiento de mineral existente, por el proceso de lavado para liberar el material carbonoso de la roca, luego al cribado primario para eliminar la fracción carbonosa fina y una segunda molienda secundaria mediante un molino de bolas para continuar con la reducción de las partículas. El lodo que resulta de la clasificación de la zaranda primaria o molino de bolas se distribuye hacia un cajón de bombas que alimenta a un nido de hidrociclones para su posterior espesamiento del proceso en la etapa 01. Estos procesos preparan el mineral para los procesos de lixiviación en tanques de CIL (este proceso no es parte del alcance del presente trabajo de investigación), donde se extrae la mayor parte del oro y la plata del mineral.

Tabla 2-1

Equipos mecánicos en el Área 01

SUBSISTEMA	EQUIPO MAYOR
<b>Recepción de mineral</b>	Contenedor de mineral chancado
	Alimentador de placas
	Fajas transportadoras
<b>Lavado</b>	Scrubber y equipos auxiliares
	Zaranda de descarga de Scrubber
	Fajas transportadoras
	Scrubber y equipos auxiliares
<b>Molienda</b>	Molino de Bolas y equipos auxiliares
	Bombas centrífugas de alimentación de ciclones
	Nido de Hidrociclones
	Zarando de O/F de hidrociclón
<b>Espesamiento</b>	Espesador de molienda
	Bomba de U/F

SUBSISTEMA	EQUIPO MAYOR
	Floculante
	Tanque de agua O/F
	Bomba de O/F

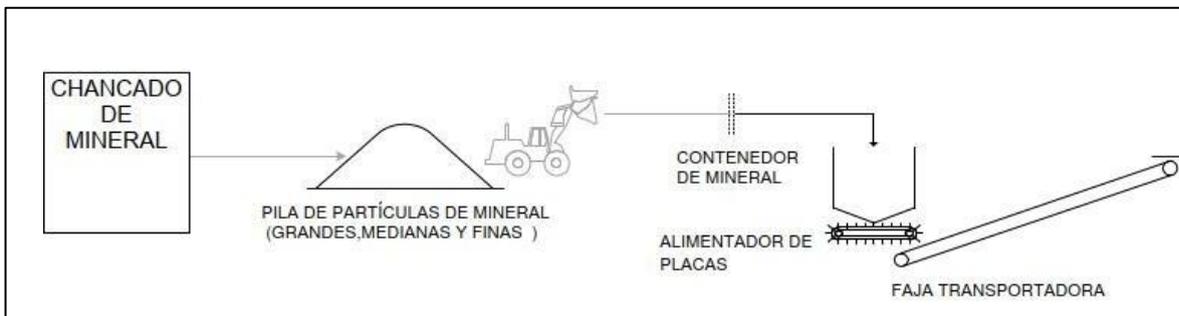
(Elaboración propia)

### 2.1.1.1 Recuperación de mineral (3140)

Dentro del proceso de la Etapa 01, la cual es denominada Área 3140 (Recepción de mineral crudo), es donde se recibe el mineral en bruto chancado que contiene partículas (gruesas, medianas y finas) que son depositadas en un contenedor mediante un cargador frontal. Un alimentador de placas o apron feeder de mineral triturado retira el mineral del contenedor a una velocidad controlada (mediante un variador de frecuencia que gobierna al motor) y lo entrega a una faja transportadora, a una velocidad controlada, que lo envía hacia el lavador de mineral o Sistema Scrubber de mineral.

Figura 2-1

Esquema de recepción del mineral – 3140



(Elaboración propia)

### 2.1.1.2 Lavado de mineral (3145)

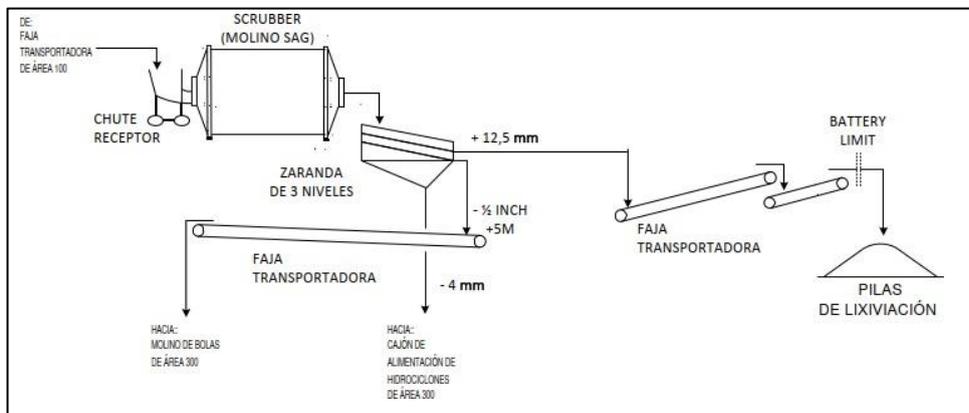
Dentro del proceso de la Etapa 01 la cual es denominada Área 3145 (Lavado), comienza con la alimentación al Scrubber o Lavador de mineral, proveniente de la faja transportadora del Área 3140, donde las partículas de mineral carbonoso friable se liberan y se reducen en un tamaño suficiente promedio a 76 mm, para proseguir por el circuito de molienda y clasificación de partículas.

La descarga del lavador fluye hacia una zaranda vibratoria de tres niveles (clasificación primaria). La criba superior hace cortes inferiores a 12,5 mm (1/2 pulgada) y la inferior, de 4 mm.

La fracción que es mayor a 12,5 mm se transporta a una pila de almacenamiento para la lixiviación del proceso tradicional. La fracción que está entre 4 mm a 12,5 mm se transporta hacia el molino de bolas para continuar con la reducción del tamaño de la partícula a un valor promedio de 4 mm. La fracción de tamaño inferior a 4 mm de la criba de 3 niveles fluye directo hacia el cajón de bombas de alimentación de ciclones.

Figura 2-2

Esquema del proceso de Lavado de mineral –3145



(Elaboración propia)

### 2.1.1.3 Clasificación de partículas (4110)

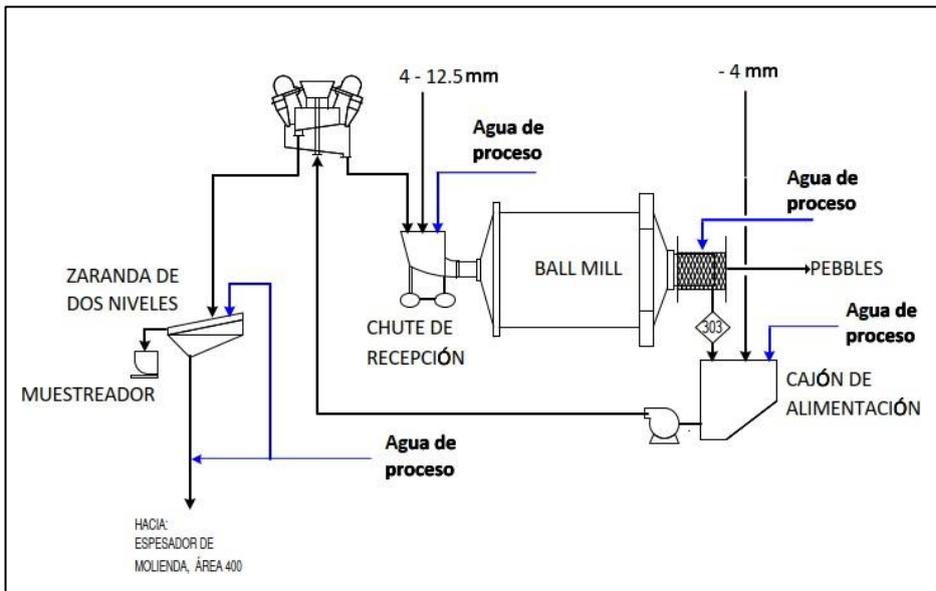
Dentro del proceso de la Etapa 01 se le denomina Área 4110 (Clasificación), donde el producto tamizado de tamaño mediano, el cual varía entre 12 a 4 mm, se agrega al molino de bolas junto con agua de proceso. Este equipo muele la fracción de tamaño medio mediante molienda por desgaste. El lodo que desborda la descarga del molino de bolas fluye hacia el cajón de bombas de alimentación al nido de hidrociclones en conjunto con las partículas de tamaño inferior de la zaranda del lavador, de tamaño de 4 mm. Los hidrociclones separan el flujo de alimentación en dos, una que contiene la mayoría de las partículas más finas y otra corriente que contiene la mayoría de las partículas más gruesas, con un tamaño de separación del 80 por ciento que reduce su tamaño a 0,78 mm. Las

partículas más gruesas retornan al molino de bolas para una reducción de tamaño adicional y vuelva a entrar al ciclo de clasificación.

Las partículas más finas fluyen a través de una zaranda hacia el espesador de molienda ubicada en el área 4125.

Figura 2-3

Esquema del proceso de Clasificación - 4110



(Elaboración propia)

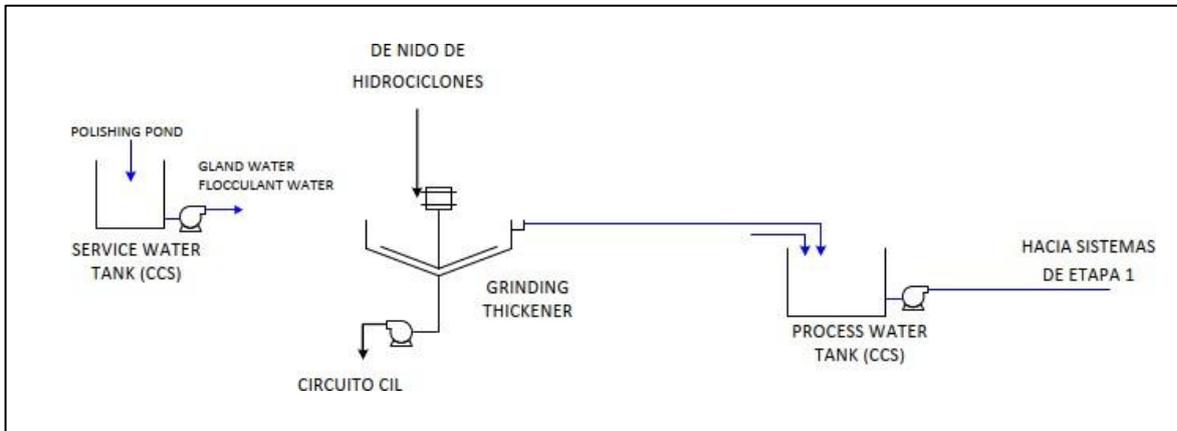
#### 2.1.1.4 Espesamiento (4125)

Dentro del proceso de la Etapa 01 se le denomina Área 4125 (Espesamiento y tanques de agua), donde el flujo de los hidrociclones O/F ingresa al tanque de alimentación del espesador. El lodo fluye hacia el cono central de este equipo, así mismo se ingresa una dosificación de floculante para aumentar la velocidad de sedimentación del lodo cuando ingresa al espesador. Los sólidos floculados se separan del líquido y se compactan depositándose en el fondo del cono del espesador, por principio de gravedad. La densidad del lodo aumenta a una cierta cantidad de porcentaje de sólidos para ser transportado hacia el circuito CIL (el cual se encuentra fuera del alcance de este trabajo). El desbordamiento de agua clarificada o también denominado O/F se receptiona en un

tanque donde se bombea hacia los tanques de agua de procesos y otra parte se usa para la dilución del floculante del sistema de espesamiento.

Figura 2-4

Esquema del proceso de Espesamiento de Relaves - 4125



(Elaboración propia)

### 2.1.2 Estándar ANSI/ISA-S5.1 -2022

Este estándar es una herramienta indispensable que permite diseñar sistemas de instrumentación para diagramas P&ID que están involucrados con diversos procesos tales como minería, saneamiento, oil & gas, etc. La última edición actualizada es la emitida en el año 2022, la cual toma conceptos y diseños de otros estándares tales como ISO, PIP, ASME, ASTM, entre otros que se irán mostrando en el transcurso del desarrollo del informe, y las cuales son mostradas en el ANEXO B del presente trabajo. Las unidades de medida para la ISA están acorde al Sistema Internacional de unidades (SI).

Los alcances que podemos encontrar dentro del estándar son los siguientes:

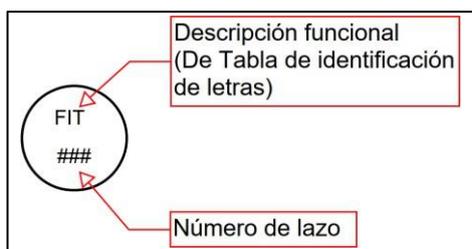
- Se intenta agrupar varios procedimientos para identificar y representar gráficamente medidores (instrumentos), equipos de control y sistemas.
- Construir diagramas esquemáticos de instrumentación empleados para el monitoreo y lazos de control a partir de la simbología gráfica.
- Representar diagramas lógicos binarios y circuitos eléctricos de lógica LADDER.
- Detallar la Instalación, operación e instrucciones de mantenimiento en planos y registros.

- Describir e identificar sistemas discretos y sus funciones, display compartido y funciones de control.
- Identificar un método de etiquetado (tagging) acorde a las funciones que realiza el instrumento, así como el lugar donde está localizado (WBS) O equipo al cual esta enlazado.

### 2.1.2.1 Identificación de instrumentos y equipos

El tag que se emplea para especificar el funcionamiento de un equipo en un sistema de instrumentación y control. Como menciona [7] en su descripción de la distribución de los acrónimos se compone de 2 capas (derecha e izquierda). La primera capa se puede componer de 2 letras, no necesariamente juntas meritoriamente sino dependiendo del equipo identificado, donde la primera letra muestra el parámetro del proceso que se encuentra bajo control o monitoreo y la segunda letra es un modificador de la primera letra que representa una variación de la primera variable, opcional. Mientras que la segunda se puede componer de 3 letras, no necesariamente juntas meritoriamente sino dependiendo del equipo identificado, donde la primera letra muestra el equipo que realiza la medición o transmisión de la señal del elemento, la segunda letra es un modificador opcional que se usa para representar las alarmas de seguridad que se deben considerar en un equipo, más usados en instrumentos tipo interruptores para variables de flujo, nivel, presión, entre otros. Debajo de la descripción del instrumento (letras) se añade el número del lazo que permitirá identificar a la instrumentación localizada en el diagrama P&ID.

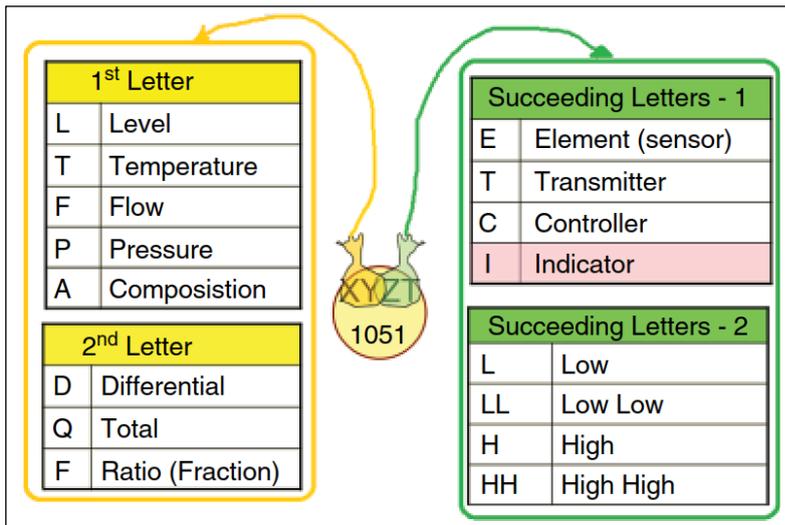
Figura 2-5  
Identificación de un instrumento



(Elaboración propia)

Las tablas de la **Figura 2-6** muestran la manera de incluir los acrónimos de las variables que se emplean para la descripción funcional de cada equipo, es importante recalcar que se debe cumplir con este estándar en el diseño que se realiza para lograr identificar los lazos de control entre los diagramas P&ID de un proceso.

Figura 2-6  
 Identificación de variables de instrumentación  
 Tomado de [7]



### 2.1.2.2 Símbolos gráficos de instrumentación (señales)

Se basa en el estándar de la ISA S5.3, la cual nos detalla el tipo del dispositivo de control de proceso (PLC, instrumento, visualizador o display, alarma o indicador, etc) que se encuentra en algún lugar en específico (campo, sala eléctrica, sala de control, representación de alarma en SCADA o DCS, etc) con el fin de identificar la comunicación y determinar si es accesible al operador (operario en campo o mantenimiento, operario en sala de control, etc). Usualmente se representan en los planos P&ID, diagramas de lazo, planos lógicos, entre otros diagramas, con el fin de hacer más entendible la descripción del proceso y tener una interpretación más amplia de la Estrategia de control.

Figura 2-7  
 Sistema DCS acorde al ISA  
 Tomado de [7]

Non-technical definition	Unenclosed location	Enclosed locations			
	In field	In control room		In field cabinet	
		In accessible location	In inaccessible location	In accessible location	In inaccessible location
Whatever has no brain	 Common				
Brain in DCS and whatever can be "seen" in DCS monitors		 Common		 Common	
Brain in PLC		 Common		 Common	 Common

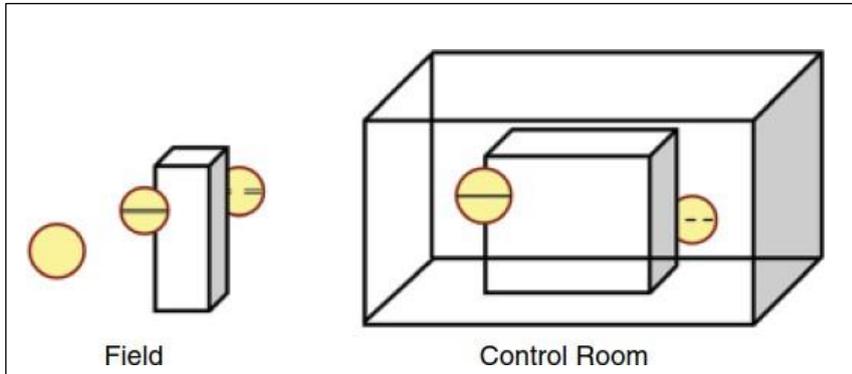
De la tabla de la Figura 2-7, se deben diferenciar los términos definidos para cada símbolo mostrado, con el fin de emplearlos en los diseños de sistemas de Automatización, definidos acorde a la ISA, donde la primera fila muestra los equipos que no tienen algún controlador o cerebro que permita gobernar a otro elemento. Se identifican las siguientes variables:

- Interfaz compartida: Se refiere a una forma de interfaz que permite visualizar señales, datos, etc., en tiempo real. Un sistema BPCS puede mostrar múltiples variables de un proceso. Cuando está localizado en campo, hace referencia a una variable mostrada en un HMI, o en caso este en sala de control para un servidor de operaciones DCS.
- Accesible: Es una propiedad del sistema que está disponible e interactúa con el operador de campo o sala de control, tal como se muestra en la Figura 2-8.

Figura 2-8

Accesibilidad de un sistema

Tomado de [7]



### 2.1.3 Instrumentación del proceso

#### 2.1.3.1 Características generales

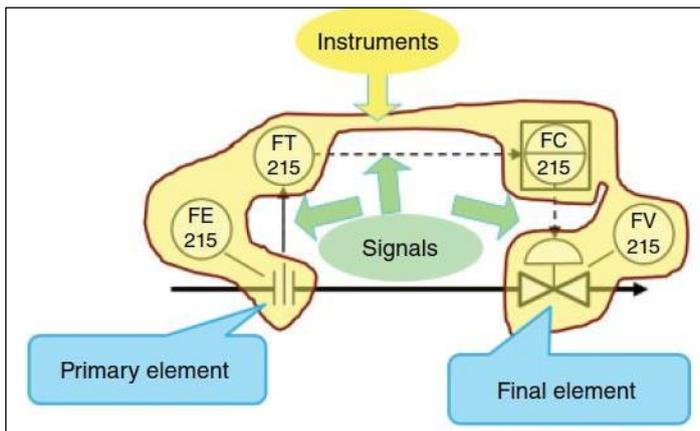
Los instrumentos que se instalan usualmente en las plantas industriales deben ser provistos con todos los accesorios necesarios para considerarlos completos y aptos para funcionar, y así poder ejecutar su respectivo montaje de manera eficiente. Así mismo su encerramiento (protección) debe ser industrial NEMA 4X, lo cual les permite soportar las condiciones climáticas e industriales tales como son: temperatura, variaciones de frecuencia en la red eléctrica, vibraciones mecánicas, entre otros.

Cada instrumento que se suministra en una planta de procesos debe contar con una placa de acero inoxidable para su identificación en campo, se les graba el tag de cada instrumento en bajo relieve fijado con un cordón del mismo material de la placa. El tag designado en la placa de acero inoxidable está indicado en la hoja de datos de cada instrumento, se debe tomar como referencia el procedimiento que sigue el estándar ISA, así como el de la unidad minera para designar el área (ubicación física de la planta).

Los instrumentos deberán ser diseñados, fabricados y probados para cumplir con las funciones y rangos de operación y calibración que se indican en sus respectivas Hojas de Datos, también deben ser fácilmente accesibles para su inspección (avanzada DD Hart), mantenimiento, reparación y cambio.

Los elementos finales de control (actuadores de válvulas y motores de los equipos mecánicos) deben cumplir con las mismas condiciones de protección, funcionamiento y etiquetado para su identificación en campo.

Figura 2-9  
Sistema de Instrumentación  
Tomado de [7]



### 2.1.3.2 Elementos primarios

Se basan en sensores que obtienen su medición mediante el contacto que tienen con el proceso, llámese proceso al equipo, fluido, ambiente que requieren medir y la variable se interpreta mediante los transductores (convierten la señal física medida en una señal eléctrica) para que finalmente los transmisores se encarguen de codificar la lectura a una señal escalable (0 - 5 V, 4 - 20 mA) pueda ser enviada a un módulo de lectura analógico para su interpretación en el controlador. Se tienen múltiples aplicaciones en el ámbito industrial donde el sensor se puede emplear como medidor continuo (lectura analógica) o discreto (punto específico de medición o interruptor de seguridad)

La importancia de estos instrumentos en el ámbito industrial es fundamental para la protección de equipos y personas, así como mantener el control y monitoreo de las variables de temperatura, presión, flujo de fluidos de procesos en puntos operativos estables, estado de funcionamiento de las máquinas, entre otros. La instrumentación contemplada y descrita en este proyecto se basa en los siguientes elementos primarios de medición

- **Instrumentos de medición de temperatura:** El principio de medición de temperatura se basa en obtener el grado de agitación molecular que tiene un sistema. Dentro de los métodos de medición se tienen:

Los instrumentos del tipo RTD suelen estar hechos de materiales platino, níquel o cobre. Donde las señales de estos instrumentos se transportan mediante triadas y su valor es analógico de 4 -20 mA. Su principio de funcionamiento se basa en la variación de la resistencia con respecto a la temperatura, y la relación de estas dos variables se puede visualizar mediante curvas de calibración.

Los instrumentos del tipo termopar se basan en el principio de funcionamiento mediante la unión de dos metales diferente. Donde las señales de estos instrumentos se generan en milivoltios. Según el tipo de material se clasifica en J, K y T.

- **Instrumentos de medición de presión:** El principio de medición de presión se basa en la relación que tiene la distribución de carga que actúa de manera perpendicular sobre un área en específico. Dentro de los métodos de medición se tienen:

El manómetro de tubo Bourdon el cual consiste en un tubo elástico que se deforma bajo la presión. Esta variación en el tubo se convierte en un movimiento mecánico que se muestra en una escala. Usualmente se emplean en sistemas hidráulicos y neumáticos.

Un transductor de presión utiliza materiales piezoeléctricos o resistivos y se basa en la variación de sus propiedades eléctricas cuando se someten a presión, las cuales varían de manera proporcional. Se emplean para monitorear y controlar procesos de múltiple índole.

Un sensor diferencial de presión se basa en la medición de dos puntos distintos donde se utilizan membranas o diafragmas que se deforman bajo la presión que se aplica en ambos puntos del sistema. También son empleados para medir flujo mediante dispositivos de disco orificio, tubos Venturi y Pitot donde según

las ecuaciones de Bernoulli se puede obtener la velocidad del fluido. También en sistemas de filtros donde se detecta la obstrucción de estos.

- **Instrumentos de medición de nivel:** El principio de medición de nivel se basa en la aplicación de múltiples tecnologías donde usualmente se basa en la emisión de ondas mecánicas o electromagnéticas que viajan a través de un medio y llegan a una superficie. Es el microprocesador encargado de hacer los cálculos para obtener la distancia según el método empleado, descritos a continuación:

La medición del tipo radar se da mediante la emisión de ondas de alta frecuencia (generalmente en el rango de GHz) desde un sensor ubicado en la parte superior de un tanque o recipiente. Las ondas, que viajan a través de un medio, rebotan en la superficie de un componente líquido o sólido, donde depende mucho de la constante dieléctrica. El medio donde se transporta puede ser el aire o una sonda (llamados radar de onda guiada). Estos instrumentos son empleados en fluidos tales como agua, pulpa, entre otros. También son usados en tolvas de minerales que generan gran cantidad de polvo.

- **Instrumentos de medición de flujo:** El principio de medición de flujo se basa en determinar la cantidad de fluido de 1 fase (líquido) o 2 fases (líquido y sólido) que se transporta a través de un sistema (tuberías) dentro de un periodo de tiempo. Se emplean para manejar de manera eficiente los fluidos, prevenir condiciones de sobrepresión o fugas, así como garantizar la calidad de un producto por medio de recetas. Se emplean diversos métodos para realizar la medición de esta variable tales como:

Medición por ondas electromagnéticas.

Medición por ondas mecánicas o el sonido.

- **Instrumentos de medición de densidad:** El principio de medición empleado en tuberías de pulpas de minerales se basa en la medición por medio de radiación ionizante gamma, a través de una fuente de Cesio-137. Este método mide la correlación entre la cantidad de radiación absorbida por el fluido. La radiación

gamma emitida atraviesa el material, y se reduce en función a la cantidad de radiación que llega al detector. Al ser un componente radiactivo se requieren medidas de seguridad para su manipulación tales como protección radiológica y certificados que aprueben el uso de estos instrumentos.

### 2.1.3.3 Elementos finales de control

Son dispositivos que transforman una señal de control (discreta, set point, etc) en una acción física que afecta directamente el proceso. Estos equipos son cruciales para mantener el control y la estabilidad de los procesos industriales. A continuación, se detallan algunos de los elementos finales de control más comunes.

- **Válvulas:** Dispositivo mecánico que permite regular el flujo de líquidos (pulpas, agua, etc) o gases en un sistema de tuberías. El cuerpo de la válvula está diseñado para soportar la presión del fluido que se transporta. Se compone de asiento, vástago, obturador y actuador (neumático, hidráulico y motorizado). Para un diseñador de sistemas automáticos lo más importante en la selección de actuadores es el tipo de fluido, tiempo de operación y puntos de operación.

**Válvulas de corte ON/OFF:** Son ideales para aplicaciones donde se requiere un control simple y directo, como en sistemas de emergencia, aislamiento de equipos y control de flujo básico. Se basan en el principio de tener solamente dos estados para el obturador: abierto o cerrado en su totalidad, sin permitir posiciones intermedias. Su simplicidad, fiabilidad y bajo costo las hacen muy útiles en diversas industrias. Ejemplos comunes incluyen válvulas de bola, cuchilla, mariposa con actuadores de simple y doble efecto.

**Válvulas de control proporcional:** Se basan en el principio de ajustar al obturador de la válvula en cualquier posición, usualmente en rangos proporcionales a la señal de 4-20 mA Hart, lo que permite un control preciso del flujo. Se utilizan en procesos donde se necesita un control exacto de una variable de proceso con respecto a un control en específico. Ofrecen precisión

en el control y capacidad de ajuste continuo (retroalimentación), como ejemplos se tienen válvulas de globo, mariposa o bola con actuadores con posicionadores que permiten retroalimentar la señal análoga del proceso.

- **Variadores de frecuencia:** Son dispositivos electrónicos que controlan la velocidad y el par de motores eléctricos ajustando la frecuencia y el voltaje de la alimentación eléctrica. Son utilizados en sistemas de bombeo, ventiladores, compresores y cualquier aplicación donde se necesite variar la velocidad del motor para optimizar el rendimiento y la eficiencia energética. Estos equipos proporcionan ahorro de energía y reducción del desgaste mecánico.

#### 2.1.4 Automatización

Esta disciplina de diseño nace de la necesidad de tener sistemas que permitan a los equipos funcionar de manera eficaz y se puedan manipular de una forma más segura para el operador sea remota o manual. En procesos de minería se deben tener en cuenta los siguientes aspectos tales: control de procesos, instrumentación (sensores y elementos finales de control), seguridad, eficiencia, visualización de datos para facilitar la toma de decisiones, así como la integración de sistemas y generar una gestión centralizada y coordinada de todas las operaciones del sistema. Todos estos conceptos se agrupan de manera escalonada mediante una pirámide de automatización para diferenciar las funciones de cada componente y se clasifica en los siguientes niveles:

- **Nivel de campo:** Se relaciona con la parte física de la planta donde se presentan los instrumentos de medición, elementos finales de control, unidades remotas IO, etc. Se detalla en el inciso de **Instrumentación del proceso**
- **Nivel de control:** Se relaciona con las acciones que se toman sobre las variables de proceso y se puede componer de los siguientes sistemas:
  - **PLC:** Es un equipo que controla procesos específicos mediante lógica programada y sigue la normativa IEC-61131 que define cinco lenguajes de

programación: Ladder diagram (LD), Instruction List (IL), Function block diagram (FBD), Structured Text (ST) y Sequential Function Chart (SFC).

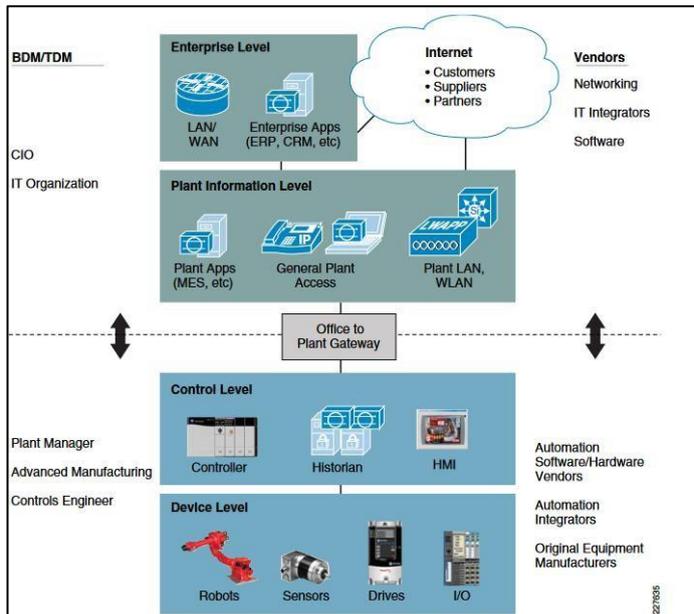
- **DCS:** Se basa en una integración de múltiples controladores que gestiona y controla procesos complejos distribuidos en varias áreas. Se distinguen en la composición de una red primaria y secundaria para transmitir la información a los servidores del proceso.
- **SCADA:** Supervisa y controla procesos a nivel macro, proporcionando una visión general del sistema a través de unidades remotas.
- **HMI:** Permite la interacción entre el operador y el sistema de control.
- **Nivel de información:** Se relaciona con el manejo de la data que se ejecuta mediante MES (Sistemas de ejecución para manufacturas) y compone justamente de estas aplicaciones que permiten tener el producto final.
- **Nivel de administración:** Se relaciona con el manejo de las operaciones del proceso y se compone de la logística del proceso o manejo de los recursos ERP (Planificación de recursos empresariales)

Los niveles anteriormente descritos se basan en la norma de la ISA 95, denominada ANSI/ISA-95 Enterprise-Control System Integration, la cual permite integrar la información de cada nivel de manera segura y conjunta para la manipulación del proceso. Desarrollado en el año 1990 con el fin de afrontar los problemas que surgían en el desarrollo de sistemas automáticos. Actualmente, los beneficios que brindan al implementar este estándar son facilitar la comunicación y coordinación entre cada uno de los niveles de la organización. Esto es fundamental cuando se desarrolla una arquitectura de control de un sistema.

Figura 2-10

Pirámide de automatización

Tomado de [9]



2.1.4.1 Comunicación industrial

El concepto de comunicación se basa en la interacción entre 2 elementos (emisor y receptor). Donde el emisor hace llegar un mensaje al receptor, el cual se transporta mediante un medio o canal.

Para el caso de un sistema de control se basa en el intercambio de señales mediante protocolos de comunicación que permitan a los distintos controladores de una planta comunicarse y compartir información. El proceso de intercambio de datos se da mediante puntos esclavos/ maestros mediante métodos de comunicación tales como broadcast, multicast o unicast, según se requiera en el diseño.

La comunicación broadcast se da cuando se envía un mensaje a todos los dispositivos involucrados en un sistema de red. En un intercambio multicast, el mensaje se envía a un grupo determinado del sistema red. Mientras que para el intercambio unicast se envía el mensaje a un solo componente del sistema.

Algunos aspectos que debe tener un sistema de comunicación son:

- Fiabilidad y Robustez: Se debe considerar que el sistema contemple estas características para que sea robusto ante alguna falla.

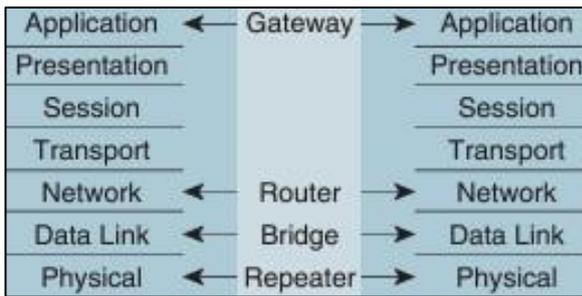
- Tiempo real y sincronización: La transmisión debe ser de manera inmediata, sin retraso o latencia, para cumplir con las acciones deseadas.
- Seguridad: se debe tener en cuenta el cifrado de los datos para que no se presenten los accesos no autorizados.
- Compatibilidad y escalabilidad: se debe tener equipos que se puedan comunicar, a pesar de ser de distintos fabricantes, así como expandibles en caso se requiera aumentar la capacidad del sistema.

Para un sistema de comunicación, el Modelo OSI permite estandarizar y comprender las funciones que tendrá un sistema de red de comunicación entre dispositivos. Se compone de 7 capas, las cuales se detalla a continuación:

- Capa física: Es la encargada de transmitir los bits mediante un medio físico (cables, conectores, etc). Así como la gestión de transmisión y recepción de las señales eléctricas, ópticas o radio. En esta capa se establece la topología de red (anillo, lineal, bus, estrella) y la sincronización que deben tener los bits.
- Capa de enlace de datos: Es la encargada de brindar fiabilidad en la transferencia de datos entre los nodos que se da por medio de la capa física. Aquí se presenta el encapsulamiento de tramas, control de acceso al medio (MAC), protocolos de red que definen el control de flujo de información.
- Capa de red: Es la encargada de gestionar la ruta de los datos y de entregar los paquetes entre redes. Aquí se presentan los protocolos IP y routers.
- Capa transporte: Es la encargada de proporcionar fiabilidad en la transferencia por medio de la gestión del control de flujo de extremo a extremo (detección de errores y congestión). Se encuentra en los protocolos TCP/ UDP.
- Capa de sesión: Es la encargada de la gestión y control de las sesiones entre aplicaciones. Se puede encontrar en los protocolos NetBIOS o RPC.
- Capa de presentación: Es la encargada de interpretar y comprender los datos que se transfieren. Algunos formatos que se tienen son: jpg, text, entre otros.

- Capa de aplicación: Es la encargada de proporcionar interfaces para las aplicaciones. Se tienen servicios de red tales como transferencias de archivos y los protocolos que emplean son HTTP, SMTP y DNS.

Figura 2-11  
Modelo OSI  
Tomado de [9]



### 2.1.5 Estrategias de control

Para que la planta funcione adecuadamente acorde a lo que fue diseñada, ciertas variables dentro del proceso deben ser cuidadosamente controladas por el operador. Estas variables incluyen parámetros de proceso tales como presión, caudal, nivel y densidad, por nombrar algunos. Cuando corresponda en el desarrollo de la solución de la implementación del sistema control, se mostrarán las tablas de los rangos de operación para cada una de las variables de del proceso estudiado.

Una descripción de cómo el operador debe controlar las variables tanto en el modo manual y las condiciones automáticas que se encuentran en la sección de lazos de control en el desarrollo del trabajo.

Las variables de proceso que se van a controlar automáticamente constan de una descripción, un diagrama de bloques y un diagrama de lazo, con el fin de:

- Controlar o monitorear una variable de proceso.
- Emplear un método para controlar la variable automáticamente.
- El método utilizado por el operador para controlar la variable manualmente.

Tanto la capacidad productiva como la recuperación metalúrgica de la planta dependen en gran medida de la precisión con la que el operador controlará esas variables.

Se desarrollan la identificación de las variables de proceso por medio de tablas de alarmas y condiciones de operación.

La tabla de variables de proceso proporcionada incluye información sobre cómo controlar cada variable de proceso y describe el impacto en el proceso si la variable no se controla dentro de su rango objetivo.

A menudo es difícil, incluso observando las mediciones de las variables de proceso, para un operador de planta reconocer los cambios sutiles en una variable de proceso y cómo esos cambios afectan a otras variables. Para proporcionar información útil adicional, las tendencias en tiempo real se programan en el sistema de control y el operador podrá verlas gráficamente.

Los gráficos de tendencias muestran los valores de las variables de proceso durante un período seleccionable. El gráfico de líneas de tendencia permite al operador ver no solo aumentos o disminuciones sutiles en los valores de las variables del proceso, sino también cualquier condición alterada en el proceso. Se muestran varias variables del proceso en un gráfico de líneas de tendencia, lo que permite al operador estudiar su interacción a lo largo del tiempo. A partir de esta información, el operador ajusta los puntos de las variables del proceso para maximizar la productividad y la eficiencia de la planta. Se detallan lo que son los puntos de operación, permisivos, enclavamientos de seguridad y proceso, fallas, entre otras condiciones que permitan controlar la planta.

- **Permisivos:** Es una condición de alguna señal de un elemento primario o elemento final de control que se relaciona con un equipo mayor y debe permanecer en un estado normal antes de que se inicie su arranque. Se representa como lógica tipo OR, ya que en caso alguna condición de alarma e active, no permite el arranque.
- **Enclavamientos:** Representa la condición de apagado o encendido automático de un equipo basado en la integración de la lógica condicional entre alguna señal de un elemento primario y/o elemento final de control. Usualmente se representan en

condición lógica del tipo AND cuando es para arranque y OR cuando se debe detener el arranque del equipo.

- **Enclavamientos de seguridad:** Son protecciones cableadas de instrumentos o botoneras de un equipo mayor que permiten detener al equipo en caso de una parada de emergencia.

#### 2.1.5.1 Control PID

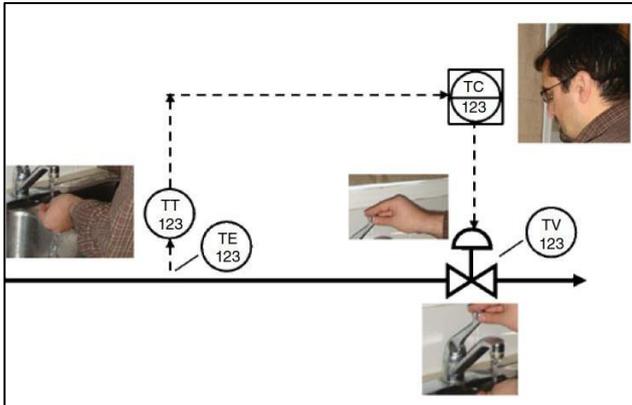
Es un método de control que manipula 3 parámetros principales P: Proporcional, D: Derivativo e I: Integral., según el requerimiento del proceso y su tiempo de respuesta. En la industria se encuentran tres términos que se relacionan entre sí:

- SP (setpoint): Es el punto objetivo que se desea alcanzar de una variable de proceso.
- PV (process value): Parámetro (presión, flujo, etc) que reacciona debido al cambio de la variable de control.
- CV (control value): Parámetro que hace variar el comportamiento del equipo a controlar, por ejemplo, cuando un variador de frecuencia opera una bomba, el factor que hace varía es la frecuencia del sistema (Hz).

La siguiente ecuación 1 muestra el algoritmo de control PID:

$$U(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t') dt' + K_d \frac{d_e(t)}{dt}$$

Figura 2-12  
Sistema de Instrumentación  
Tomado de [7]



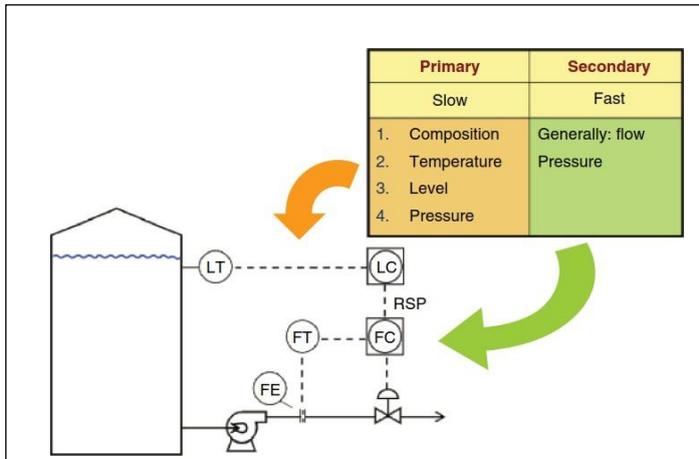
Esta ecuación 1, aplica para los lazos cerrados simples donde se requiere la realimentación del error ( $SP - CV$ ) y se ajusta con respecto a la señal de salida. Es un método empleado en muchos procesos del ámbito industrial.

Para otros escenarios donde se ven involucrados donde el valor de una variable de control influye en otros controladores, tal como se muestra en el control en cascada: Es un método de control que toma las mismas definiciones de un sistema PID, solo que la salida del setpoint de un controlador (rutina de lazo) fija el setpoint de otro controlador. Por ejemplo, en la alimentación de hidrociclones se requiere la alimentación del flujo a una cierta densidad, este valor de densidad fija un valor de presión (PIC) dentro del hidrociclón para que opere de manera óptima.

Figura 2-13

Control Cascada en un sistema de bombeo

Tomado de [7].

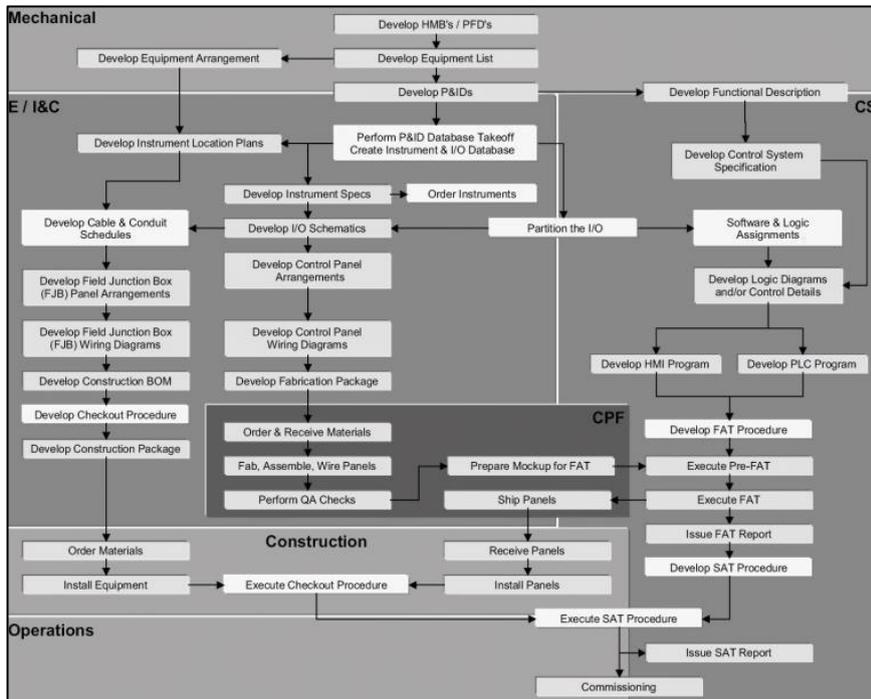


### 2.1.6 Documentación Técnica

Se detallan los documentos necesarios que según la figura xx que emplea [8] para desarrollar un sistema de instrumentación y control eficiente se inicia con el desarrollo de los planos P&ID por parte de la disciplina mecánica y tuberías. A partir del desarrollo estos diagramas se realiza una base de datos que albergue toda la instrumentación y sus señales correspondiente.

Donde se pueda iniciar con la distribución de las señales para asignar el tipo de control que se empleará. Luego de este paso, se empieza con el desarrollo de los diagramas lógicos y detalles del control del proceso (alarmas, estrategias y secuencias de operación), dando inicio al desarrollo del programa PLC y HMI (Filosofía de control), en esta etapa se realiza las pruebas FAT, para testear defectos en los controladores seleccionados mediante simulaciones por parte del proveedor. El arreglo de gabinetes de control (I/O, PLC), esquemático de motores y distribución de terminales de señales que le permitirá al cliente realizarla compra de estos equipos para realizar las pruebas SAT.

Figura 2-14  
 Desarrollo del sistema de instrumentación y control  
 Tomado de [8].



## 2.2 Marco conceptual

**Estándares:** Acorde a la RAE, sirve como referencia para realizar un diseño que se emplea para tener buenas prácticas de ingeniería (GEP, por sus siglas en inglés Good Engineering Practices). Revisar el **Anexo 2** para encontrar los estándares mecánicos, eléctricos, control y comunicaciones a nivel internacional y nacional empleados en este informe.

**PMBok:** Una guía que establece referencias y estándares para tener un mejor panorama de lo que conforma la gestión de un proyecto.

**Proyecto:** Conforme al PMBok [x1] es un esfuerzo emprendido para suplir una necesidad o resolver algún problema en un tiempo determinado (temporal), empleando los recursos necesarios para su ejecución

**Criterio de diseño:** Son requisitos y condiciones que se establecen para cumplir con las variables de operación de un equipo y rinda de manera óptima en un determinado lugar.

**Especificación técnica:** Es un documento donde se definen las normas, exigencias y procedimientos que se emplean o ejecutan para la entrega o suministro de un componente o equipo.

**Instrumentación primaria:** se basa en los instrumentos de medición, monitoreo o dispositivos de control y de cálculo, así como sus funciones características de los equipos y programas, por ejemplo: sensores, transmisores, controladores, válvulas de control.

**Instrumentación secundaria:** se basa en los instrumentos de medición, monitoreo o dispositivos de control, así como sus funciones inherentes de los equipos, por ejemplo: visores locales de campo (nivel, temperatura, presión).

**Instrumentación auxiliar:** Se compone de sensores que permiten a los equipos primarios y secundarios funcionar de manera efectiva, por ejemplo: purgadores, accesorios para líneas de aire, sistemas de manejo de muestras.

**Sistema básico de control de procesos (BPCS):** Acorde a [7] consiste en un proceso del sistema de control e instrumentación proyectado con el fin de controlar y monitorear las operaciones normales de producción de una planta que se basa en los lazos de control mediante controladores (DCS, PLC) y toma como diseño base los talleres HAZOP, matriz de causa/ efecto, entre otros. Está diseñado para mantener el proceso en una zona segura de operación.

**Diagrama unifilar:** Es un esquema que representa los equipos eléctricos que integran el sistema y se deben proporcionar todas las clasificaciones mandatorias que establezcan voltaje, frecuencia, impedancia, entre otras características, acorde a la norma de la NFPA 70.

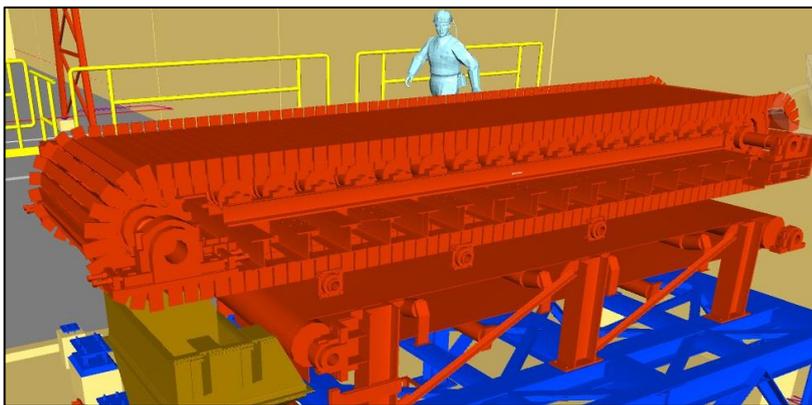
**Proceso:** En términos industriales hace referencia a un conjunto de operaciones químicas y físicas (mecánicas y eléctricas) para un compuesto o conjunto de compuestos con el fin de manipularlo, transformarlo, etc, según se requiera en su diseño inicial.

**Equipos mecánicos:** Es aquel mecanismo que transporta, procesa (tritura, separa, etc) un material y cada uno desarrollo un papel fundamental en la etapa que participa, contribuyendo en la eficiencia general del proceso.

**Alimentador de placas:** Es un transportador de sólidos corto y de movimiento lento. Este equipo se compone de bandejas (o también llamadas placas o vuelos) hechas de acero al manganeso unidas para formar una alfombra flexible, algo así como las orugas de una excavadora. Son equipos de alta dureza empleado en múltiples aplicaciones industriales, de modo que se manipulen capacidades pequeñas y grandes, de 10 a 6.000 t/h (toneladas por hora) y pueden soportar cargas de impacto extremas.

Figura 2-15

Alimentador de placas



(Elaboración propia)

**Faja transportadora:** Este equipo es uno de los más utilizados para transportar material relativamente seco. Los diseños y configuraciones de las fajas transportadoras pueden variar significativamente.

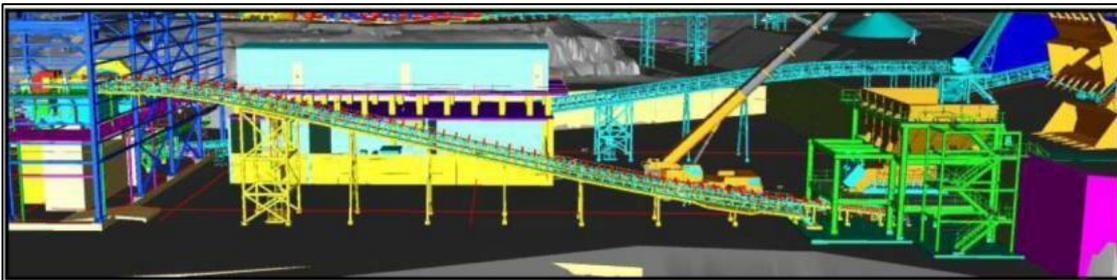
La faja está hecha de capas de tela y caucho unidas entre sí. Tanto la capa superior como inferior son de goma. La capa superior suele ser más gruesa para resistir los daños causados por rocas.

Se opera mediante grandes poleas cilíndricas en cada extremo, junto con otras poleas que se utilizan para cambiar la dirección del movimiento. Las poleas a menudo están revestidas, cubiertas de goma para mejorar el contacto con la correa, lo que mejora la

tracción en las poleas motrices y reduce el deslizamiento, en consecuencia, el desgaste en otras poleas.

Para fajas pequeñas y medianas se consideran poleas de cola coronadas y tienen un diámetro mayor en el centro que en los extremos. Esto ayuda a mantener el seguimiento de la correa en el centro. En cambio, las correas de alta tensión normalmente no tienen poleas coronadas.

Figura 2-16  
Faja Transportadora)



(Elaboración propia)

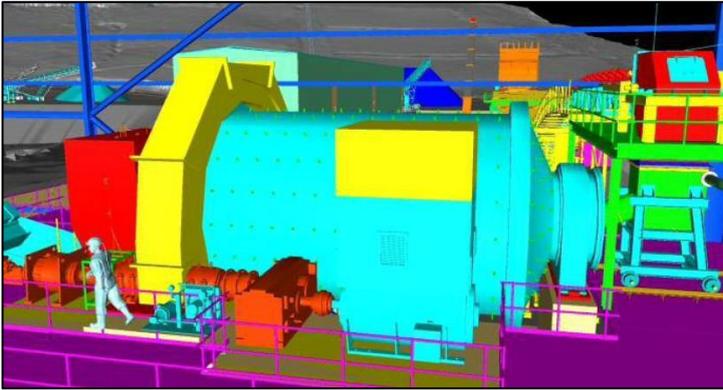
**Molino semiautógeno:** Este equipo consiste en un cilindro giratorio o tambor de acero con extremos cónicos y está sostenido en cada extremo por muñones que giran sobre cojinetes. Los muñones están revestidos de goma y se encuentran atornillados al interior de la carcasa.

La alimentación de mineral ingresa a través de un chute. Donde el mineral y el agua (en forma de lodo) es la carga que se procesa e incrementa el volumen hasta que se desborda a través del muñón de descarga.

A medida que gira el tambor, una combinación de fuerza centrífuga y fricción mantiene la carga de lodo contra el lado ascendente de la carcasa. Eventualmente, la carga cae por la cara de la parte ascendente. Los revestimientos están diseñados para evitar el deslizamiento y hacer avanzar el lodo hacia adelante. Las partículas de mineral se rompen al cortarse entre sí y el mineral más blando se desgasta.

Figura 2-17

Scrubber (Molino Semiautógeno)



(Elaboración propia)

**Molino de bola:** El molino de bolas consiste en un cilindro giratorio de acero con extremos cónicos, el cual sostenido en cada extremo por muñones que giran sobre cojinetes. Los revestimientos metálicos están atornillados al interior de la carcasa y las cabezas. Los muñones están forrados de goma.

El alimento ingresa al molino a través del chute de alimentación. Las bolas de molienda de acero llenan al equipo hasta un promedio menor a la mitad de su volumen total. El lodo del mineral llena los huecos entre las bolas.

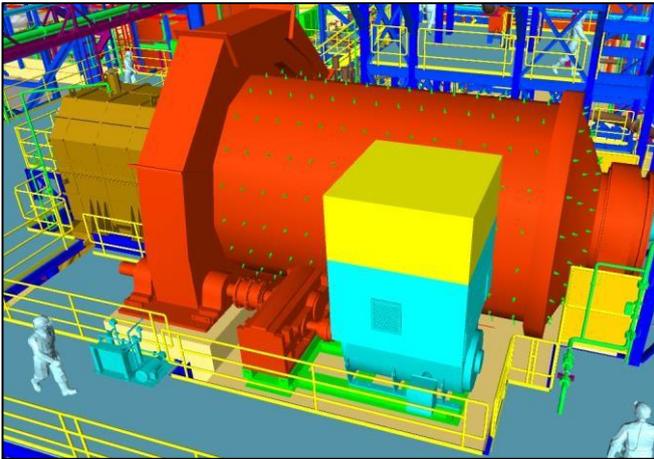
Mientras el molino se mantiene girando, una combinación de fuerza centrífuga y fricción mantiene la carga del lodo y las bolas de acero contra el lado ascendente del molino. Eventualmente, la carga cae por la cara de la parte ascendente. Los revestimientos de los molinos de bolas están diseñados para evitar el deslizamiento y el rodaje de las bolas por la superficie ascendente de la carcasa. (Esto es diferente a los elevadores de molinos SAG de sección cuadrada, que tienden a subir y bajar la carga). Las partículas de mineral se rompen al ser cortadas entre las bolas o simplemente se frotan (desgastan).

Se agregan nuevas bolas de molienda al molino para reemplazar las bolas desgastadas. El resultado es una gradación de los tamaños de las bolas. El lodo sale del molino de una criba de trómel unida al extremo del muñón de descarga. La criba del trómel es cilíndrica y gira con el molino. La pantalla consiste en un marco abierto que tiene paneles

de pantalla perforados sujetos en su superficie interior. Todo el lodo pasa a través de esta pantalla. Ocasionalmente, las bolas de molienda desgastadas son rechazadas por el molino y deben ser cambiadas. Las mallas del trómel ralentizan el lodo a medida que se mueve por la criba y permiten que se drene a través de las ranuras. El material de gran tamaño que llega al final de la pantalla cae en un chute que se descarga en un cajón de molienda.

Figura 2-18

Molino de Bolas



(Elaboración propia)

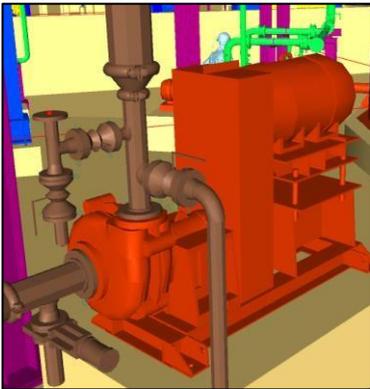
**Bomba:** Es un equipo mecánico que está diseñado para mover fluidos de una fase (agua u diluciones) o de varias fases (pulpas) de un punto inicial a otro específico, donde debe superar la fuerza de gravedad y otras resistencias (tuberías, accesorios, etc). Las bombas de fluidos son fundamentales en operaciones mineras y se compone de estas tres características principales: entrada y salida de un fluido por medio de boquillas, el movimiento del fluido se da mediante un impulsor (pistón, diafragma, entre otros). La fuerza motriz generalmente es entregada por un motor eléctrico AC (monofásico, trifásico), unidad hidráulica (HPU).

Los siguientes tipos de bombas de fluidos:

- Tipo centrífuga: Emplea un impulsor para desplazar el fluido. Se adecuan para transportar fluidos de manera continua.

- Tipo diafragma: Emplea un diafragma para generar presión y mover líquidos. Adecuadas para aplicaciones que requieren alta presión.
- Tipo peristáltica: Utilizan un tubo flexible que se comprime para transportar el flujo. Adecuadas para transporte suave y constante.
- Tipo pistón: Utilizan pistones que se mueven hacia adelante y hacia atrás para generar un flujo de líquido a alta presión.

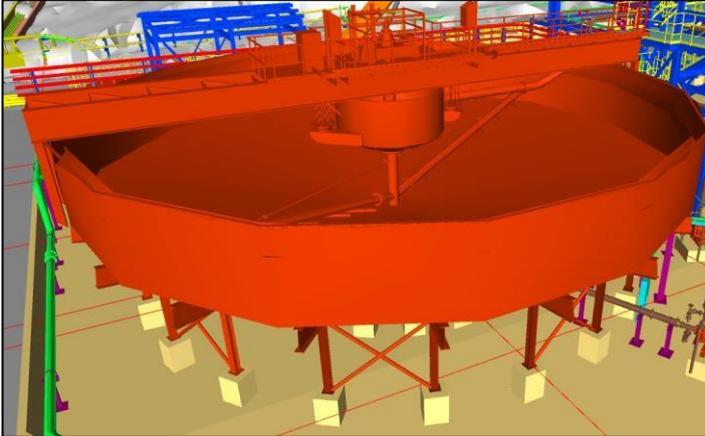
Figura 2-19  
Bomba centrífuga



(Elaboración propia)

**Espesador:** Este equipo es empleado en procesos de minería para la separación de sólidos que se encuentran suspendidos en un líquido por medio de una rastra de alto torque, también se añade floculante diluido al depósito de relaves para acelerar el proceso de sedimentación. El producto obtenido es un concentrado altamente denso y que se deposita en el cono U/F. El líquido recuperado O/F (overflow) que se concentra en la parte superior del equipo fluye por gravedad hacia otro depósito para su distribución dentro de la planta. Teniendo un impacto positivo en el manejo del recurso hídrico dentro de la planta.

Figura 2-20  
Espesador



(Elaboración propia)

**Piping:** Es una definición mecánica, por su nombre en inglés de Tuberías, hace referencia a todo lo relacionado sobre los sistemas de transporte de fluidos mediante tuberías de procesos y se rigen bajo la norma ASME. Los componentes son: válvulas, bombas, tubos y fittings o accesorios.

**Equipos eléctricos:** La alimentación eléctrica empleada para la operación de la planta permite brindar energía a las máquinas para que funcionen, en este caso los motores eléctricos de los equipos mecánicos. Así como también permiten el funcionamiento de los sistemas de control instrumentación y control.

**Motor eléctrico:** un motor eléctrico es una máquina que tiene como fin convertir la energía eléctrica en energía mecánica. Dentro de este proyecto se analizarán los motores de inducción, los cuales son los más usados de todos los tipos de motores pues logra combinar las ventajas de la utilización de energía eléctrica -bajo costo, facilidad de transporte, limpieza, simplicidad de comando - con su construcción simple y su gran versatilidad de adaptación a las cargas de los más diversos tipos y mejores rendimientos.

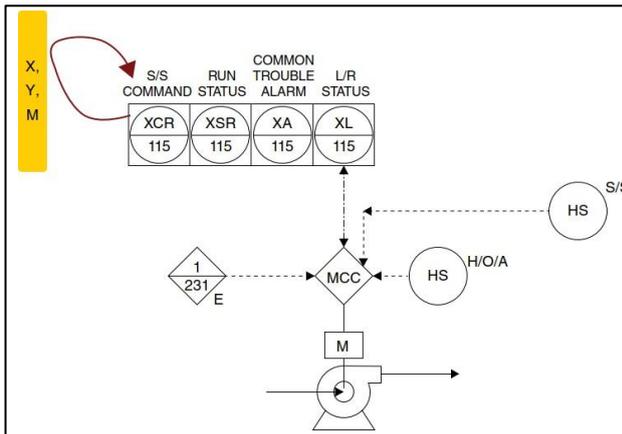
**Centro de control de motores:** Es un equipo que permite optimizar el espacio de los arrancadores colocándolos en un solo armario.

Algunos conceptos para tener en cuenta al momento de dimensionar estos equipos es realizar una memoria de cálculo de máxima y posteriormente realizar un bosquejo o diagrama unifilar para el diseño que necesitará el fabricante para su posterior fabricación.

Figura 2-21

Representación de arranque de motor desde un CCM

Tomado de [7]



**P&ID:** Es la representación detallada de un sistema de tuberías en forma de diagrama de flujo para procesos industriales, en la cual se muestran los equipos, instrumentación (sensores, elementos finales de control, entre otros) y lazos de control (se muestran conforme al nivel de ingeniería desarrollada) que se relacionan entre sí. La normativa que se emplea para desarrollar estos diagramas es la ISA S5.1, la cual nos muestra los alcances, simbología y definiciones que alberga.

**Protocolos:** Dentro del ámbito industrial se define como un estándar que permite intercambiar información mediante características que se relacionan con la velocidad, escalabilidad, fiabilidad y flexibilidad.

**Ethernet/IP:** Es un protocolo que se presenta tanto a nivel de campo, control, incluso entre servidores. Su interoperabilidad permite que dispositivos de distintos fabricantes puedan comunicarse. Al ser empleado en redes pequeñas y grandes lo hace escalable en la consideración de un diseño.

**Topología:** Se refiere a la conexión física o virtual que tienen los dispositivos de comunicación que se integran en una red.

**AutoCAD Plant 3D:** es una herramienta de la empresa de Autodesk y es usado para el diseño y modelado de plantas industriales (planos y maquetas 3D). Ahí se configura los parámetros iniciales del proyecto, como las unidades de medida, estándares (ISA, PIP, ISO) y plantillas de bloques para simbología. En la ventana de configuración de un proyecto para definir las propiedades del dibujo, rutas de archivos y detalles específicos del proyecto. En el diseño de P&ID se utiliza una paleta de herramientas para insertar equipos, tuberías, válvulas, accesorios e instrumentos. En el Project Setup se configura las propiedades y etiquetas de los objetos de un P&ID para asegurar que se refleje la información correcta.

Finalmente, en la generación de reportes, crea y personaliza reportes para presentar los datos del proyecto de manera clara y organizada. Si es necesario, exporta los datos a archivos Excel para análisis adicionales. Esta guía es de mucha para estructurar el proyecto de manera eficiente y precisa en AutoCAD Plant 3D.

## CAPÍTULO III

### Desarrollo del trabajo de investigación

#### 3.1 Condiciones de diseño

Tal como se pudo mostrar en la base teórica del presente trabajo, el proceso que se desea controlar presenta sistemas independientes que se deben tener en cuenta:

- Sistemas de bombeo de fluidos.
- Sistemas neumáticos para actuadores de válvulas ON/OFF y modulantes.
- Paquetes mecánicos vendor (espesador de alto torque, Scrubber, molino de bolas), los cuales cuentan con su propio sistema PLC que permite controlar al equipo. Los parámetros que se visualizan en las pantallas HMI se envían mediante comunicación Ethernet al sistema de control.

Normalmente el proceso de recuperación de mineral funcionará los siete días de la semana y las paradas son necesarias principalmente para el mantenimiento.

Los sistemas se operarán desde las consolas de la sala de control principal de la minera, donde se podrán realizar ajustes de los puntos de control de operación (SP) modificando a la variable controlada (CV) que podrá representarse mediante la lectura del instrumento, que se relaciona en el lazo de control, o variable de proceso (PV). También se utilizan para controlar equipos de manera remota (manual o automática) y monitorear las operaciones del proceso.

Además de los procedimientos de puesta en marcha especificados, partes de la planta pueden iniciarse después de que uno o más elementos del equipo hayan estado fuera de servicio para su mantenimiento. En este caso, se debe realizar la inspección preoperacional adecuada. Una vez finalizado este proceso, el circuito puede reiniciarse de acuerdo con el procedimiento de puesta en marcha adecuado, dependiendo de la naturaleza del mantenimiento realizado.



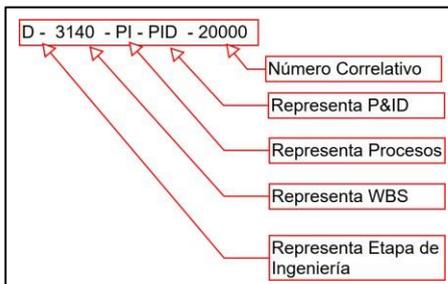
## 3.2 Planos P&ID (Diagrama de Tuberías e Instrumentación)

### 3.2.1 Criterios generales

Se requiere identificar en base a los diagramas de flujo del proceso, ubicación y distribución de los equipos mecánicos, arranques eléctricos de cada motor, accionamiento de los actuadores de las válvulas de control y protocolos empleados para comunicar a los instrumentos con el sistema de control. A partir de estos hallazgos se empleará el estándar S5.1 de la ISA para el desarrollo de planos P&ID y mostrar las alarmas de los instrumentos, enclavamientos de software y hardware, equipos mecánicos, tuberías de procesos y demás equipos o accesorios que son necesarios para la operación del proceso. Como bien se mostró en el desarrollo de la descripción del proceso, el área de trabajo se dividirá en 4 subáreas donde se muestran los equipos que se relacionan y la ubicación final de cada equipo del sistema de control acorde a la distribución de señales dentro de cada subárea para así poder diseñar la arquitectura de control del sistema.

La forma de codificación de cada plano P&ID se distribuyen de la siguiente manera:

Figura 3-2  
Codificación de planos



(Elaboración propia)

### 3.2.2 Simbología

Dentro de las líneas de procesos y equipos mecánicos se integran sensores o instrumentos los cuales se representan por medio de símbolos de instrumentación que siguen el estándar de la Sociedad Internacional de Automatización (ISA). Es primordial mostrar de manera explícita toda la información de la simbología que se empleará en el

proyecto para identificar los tipos de etiquetado (nombrar un equipo mecánico, eléctrico o instrumento), esto permitirá tener un orden de inicio a fin con fines de diseño, construcción, puesta en marcha y mantenimiento. Otro propósito es mostrar los accionamientos de los elementos finales de control para esto se hace uso de típicos (formas abreviadas de representar un bosquejo más complejo dentro de un solo bloque). Podemos usarlos para representar los arranques de los motores eléctricos y clasificarlos según la potencia, dispositivos de arranque (VFD, directo, SS, entre otros) y se detallan en **3.2.3**. Otra clasificación empleada se da para las válvulas que tienen actuadores neumáticos y son del tipo ON/ OFF (todo o nada), modulantes y se detallan en **3.2.4**.

### 3.2.3 Típicos de arranque de motores

#### 3.2.3.1 Arranque de motores

Este típico hace referencia a un arranque directo de baja tensión. Cuenta con los siguientes comandos de control, alarmas y sus respectivas descripciones:

Representación general para comando: **AREA-HS-LOOPNUMBER\_FUNCIÓN**

Representación general para indicador: **AREA-UI-LOOPNUMBER\_FUNCIÓN**

#### **FUNCIONES DE COMANDO:**

- M/A: Modo Manual o Automático
- ST/SP: Arrancar o parar
- L/R: Local o remoto

#### **INDICADORES:**

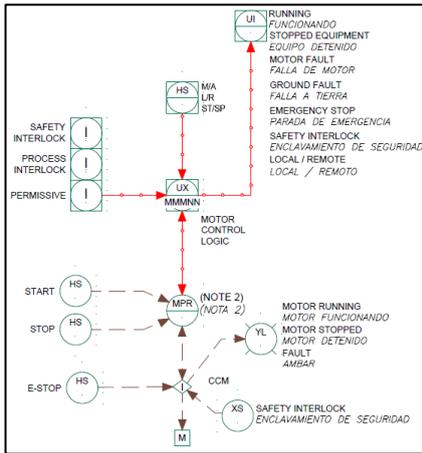
- RDY: Motor listo
- RUN: Motor funcionando
- FAIL: Falla de arrancador
- PBE: Parada de Emergencia
- VFD\_PBE: Parada de Emergencia
- TI: Indicador de heater
- IE: Nivel de voltaje

- VI: Indicador de vibración
- SIC: Indicador de velocidad
- SY: Referencia de velocidad

### 3.2.3.2 Arranque directo (M1)

Figura 3-3

Arranque directo de baja tensión

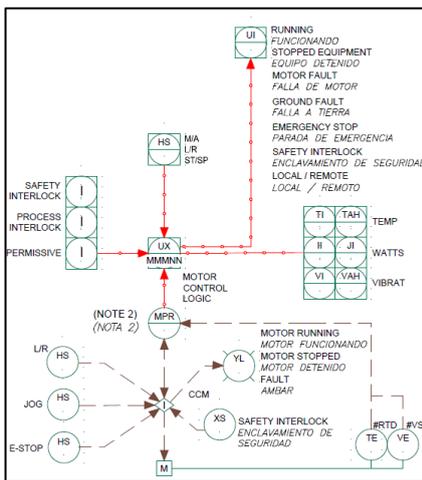


(Elaboración propia)

### 3.2.3.3 Arranque directo de media tensión (M2)

Figura 3-4

Arranque directo de media tensión

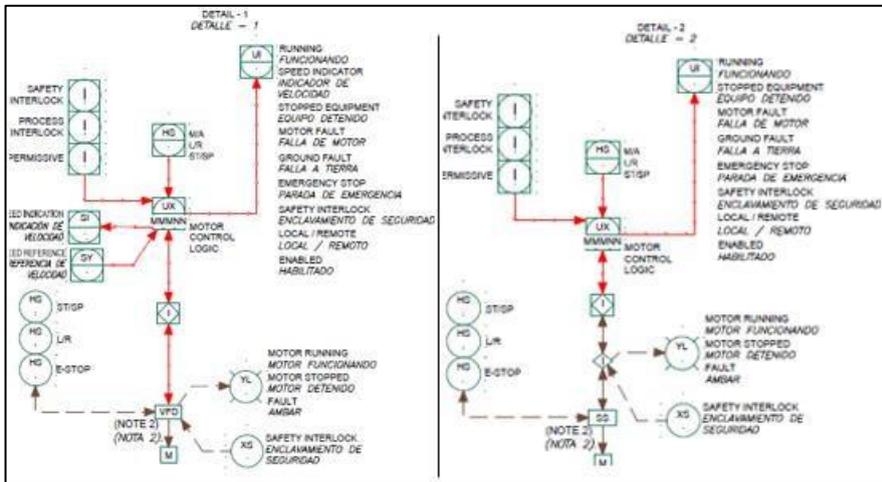


(Elaboración propia)

### 3.2.3.4 Arranque por variador o soft starter (M3)

Figura 3-5

Arranque directo por variador de frecuencia o arranque suave

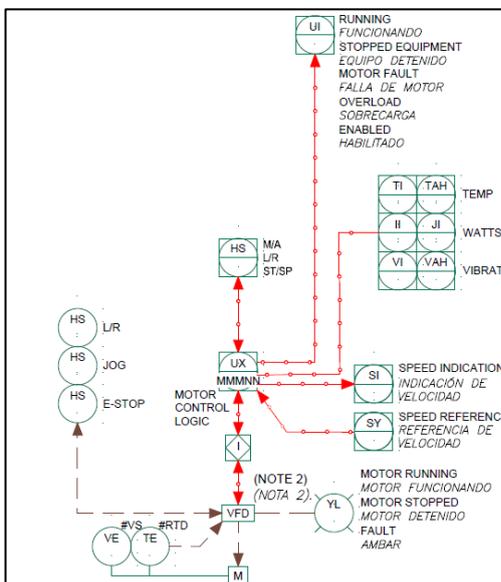


(Elaboración propia)

### 3.2.3.5 Arranque por variador de media tensión (M4)

Figura 3-6

Arranque directo por variador de frecuencia de media tensión



(Elaboración propia)

### 3.2.4 Típicos de válvulas de control

Las válvulas de ON/ OFF neumáticas o motorizadas no tendrán la facilidad para operación local y los únicos modos de funcionamiento para estos serán AUTO y MANUAL

seleccionados desde las estaciones de operación de la sala de control de la nueva planta de recuperación de mineral.

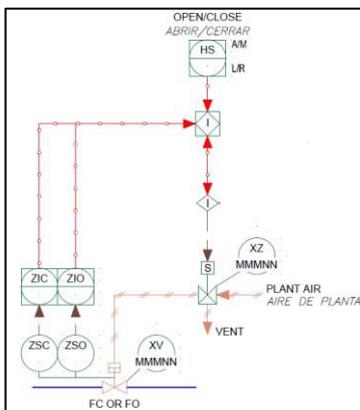
**A. Típico V1:** Corresponde a toda válvula de control ON/OFF neumática (simple efecto)

y cuenta con las siguientes señales de control con sus respectivos comandos:

- ÁREA-ZAC-LOOP: Válvula cerrada
- ÁREA-ZAO-LOOP: Válvula abierta
- ÁREA-XYO-LOOP: Abrir válvula desde DCS
- ÁREA-XYC-LOOP: Cerrar válvula desde DCS

Figura 3-7

Comandos para válvula de simple efecto



(Elaboración propia)

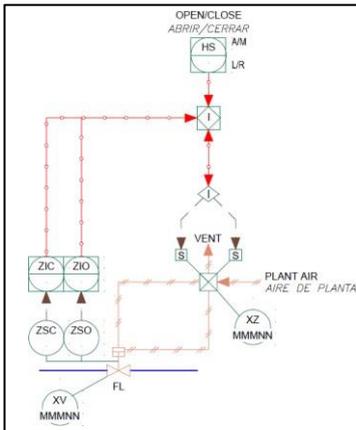
**B. Típico V2:** Corresponde a toda válvula de control ON/OFF neumática (doble efecto) y

cuenta con las siguientes señales de control con sus respectivos comandos:

- ÁREA-ZAC-LOOP: Válvula cerrada
- ÁREA-ZAO-LOOP: Válvula abierta
- ÁREA-XY-LOOP: Accionar válvula desde DCS

Figura 3-8

Comandos para válvula de doble efecto



(Elaboración propia)

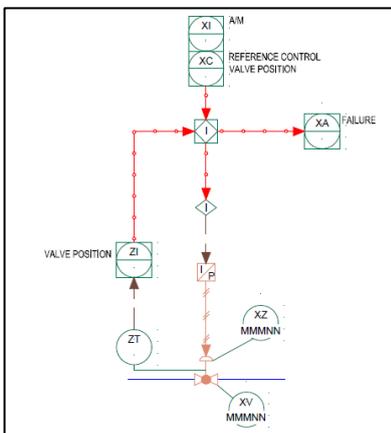
### C. Típico V5: Válvula de control modulante neumática

- ÁREA-ZI-LOOP: Indicador de posición de válvula
- ÁREA-XZ-LOOP: Control de posición de válvula

Figura 3-9

Comandos para válvula modulante

(Elaboración propia)



### 3.2.5 Creación de planos P&ID en P3D

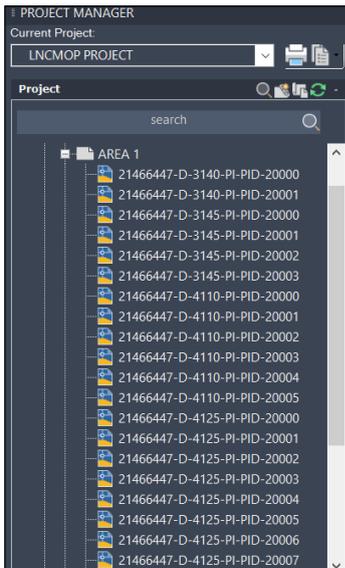
El total de diagramas P&ID se desarrollaron en 20 planos con sus respectivos números de área y son mostrados en el Anexo C. Todos los planos se crearon en el programa Autocad Plant 3D (P3D).

Se integraron los planos de detalles típicos de control para parametrizar y estandarizar los métodos de control de los elementos finales de control de válvulas

(actuador doble efecto, simple efecto y modulante) y motores (arranque directo, variadores de frecuencia de media y baja tensión, arrancadores suave o soft starter). Los planos de típicos no se integraron en la carpeta Área 1 del P3D por no tener un enlace con otros planos de proceso, solamente se utilizaron como plano de identificación para entendimiento.

Figura 3-10

Creación de planos en P&ID Plant 3D



(Elaboración propia)

### 3.2.5.1 Desarrollo y configuración de P&ID

La configuración del Project Setup del proyecto se realizó empleando la norma ISA en conjunto con la norma PIP (Process Industry Practices) donde se crearon los bloques, descripción de equipos y se listaron los instrumentos (elementos primarios y finales de control) para emplearlos en las descripciones de secuencia automática que se realizaron en este proyecto. Los resultados se muestran en el Capítulo 4.

### 3.3 Arquitectura de control

Los criterios empleados para la selección de los instrumentos y equipos se toman de la jerarquía que debe seguir un sistema de automatización según los niveles de campo, control y supervisión.

### 3.3.1 Nivel de campo

El nivel de campo está integrado por instrumentos digitales y analógicos, elementos finales de control tales como los motores, VFD, válvulas de control, etc.

Para las lecturas analógicas de los sensores que tengan transmisores de 2 (para medición de nivel, presión y densidad) y 4 hilos (flujo y analizadores) se conectarán mediante protocolo Hart 4-20 mA hacia los módulos de entradas analógicas (**1756-IF8I**).

Las señales digitales de los interruptores de detección de un punto de medición de una variable de proceso (tendrán contactos de una entrada con terminal simple, SPST) o interruptores de seguridad para la protección de equipos (tendrán contactos de una entrada con terminal doble, SPDT) se enviarán a módulos de entradas digitales de 120 Vac (**1756-IA16I**).

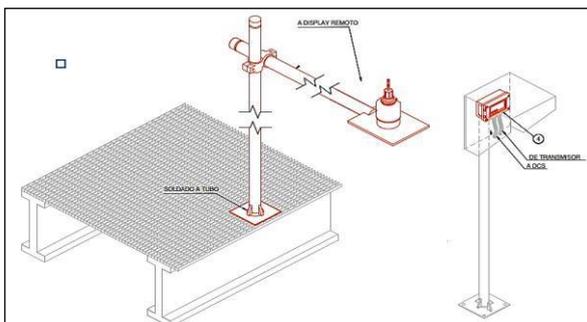
#### - **Medición de nivel**

##### 1. Tanques o cajones (pulpa y agua), tolvas de almacenamiento de mineral

- Se emplearán medidores de nivel del tipo radar por su alta resistencia a fluidos abrasivos y zonas polvorientas. Su señal de salida será de 4-20 mA por parte del transmisor ciego (LT) y se debe considerar usar un indicador local en campo (LI) para monitorear la variación de nivel de manera local.
- El modelo empleado es el **FMR120** de Endress & Hauser, y en el caso de los cajones se hará uso de un soporte que permita conectar la rosca del sensor de 1 ½" NPT.

Figura 3-11

Montaje de instrumento de nivel



(Elaboración propia)

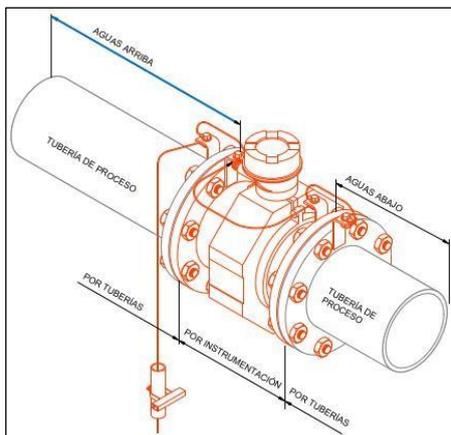
- **Medición y control en el transporte de fluidos:**

1. **Flujo:** Para los instrumentos de medición continua se debe considerar un transmisor/ indicador remoto (FIT) para la lectura local de la señal analógica.

- Para fluidos limpios (agua de procesos, servicios) se emplearán flujómetros electromagnéticos. Su conexión es del tipo brida y son invasivos a la tubería (producen pérdida de carga en el sistema de tuberías).
- El modelo empleado es PROMAG de la marca Endress + Hauser.
- El cable de alimentación de 120 VAC será de calibre 14 AWG y el cable de señal será de calibre 16 AWG (4 hilos).

Figura 3-12

Montaje de instrumento de flujómetro electromagnético

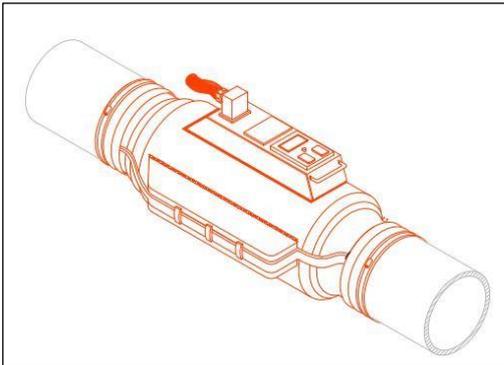


(Elaboración propia)

- Para fluidos abrasivos (pulpas de minerales) se debe considerar el uso de flujómetros sonares por su alta resistencia a la abrasión y al ruido. Estos instrumentos van abrazados a la tubería y son sensores de instalación no invasiva.
- El modelo empleado será el Sonartrac, el cual es una marca que patentó el método de medición de este instrumento.

Figura 3-13

Montaje de instrumento de flujómetro sonar



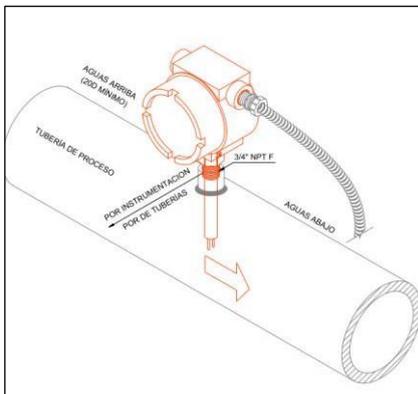
(Elaboración propia)

- Para la detección de un punto de operación de flujo se utilizará interruptores de flujo del tipo térmico que sirven para detectar algún fallo en las líneas de agua de sello.

La conexión del sensor es del tipo roscado 3/4" NPT macho.

Figura 3-14

Montaje de instrumento de interruptor de flujo térmico



(Elaboración propia)

2. **Densidad:** Para las pulpas de mineral se debe considerar el uso de densímetros nucleares por tener alta disponibilidad de lectura y el requerimiento de calibración es menor. Son sensores de instalación no invasivo, esto reduce los requerimientos de mantenimiento. Soportan altas presiones y también la abrasión de las pulpas.

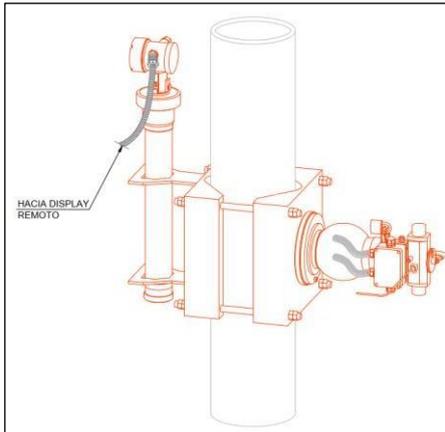
Se debe considerar el uso de un obturador de posición para detectar la apertura de la fuente radiactiva. Este instrumento cuenta con alimentación eléctrica de 120 VAC, será de contacto seco y se realizará el cableado hacia el sistema de control. Por esta razón

se debe verificar que no haya corriente eléctrica cuando el contacto se encuentre abierto.

El uso de un actuador neumático es indispensable para realizar el cierre seguro de la fuente radiactiva y se deben considerar controlarla de manera remota/ manual.

Figura 3-15

Montaje de instrumento de densidad nuclear



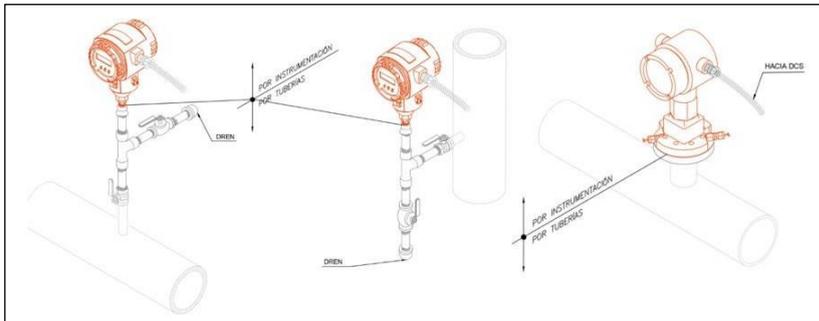
(Elaboración propia)

3. **Presión:** Se considera emplear transmisores de presión y manómetros en los sistemas de tuberías. Los transmisores de presión tienen un sensor del tipo cerámico o piezoresistivos de la serie Cerabar PMC21. Mientras que el manómetro emplea una extensión que permite girar la aguja e indicar el valor local de la presión en campo, se tienen los WIKA. En el caso que sean suministrados con los equipos de vendedores mecánicos, se deberá instalar de acuerdo con planos que el fabricante brinde de manera detallada.

Corresponderá al montajista orientar la posición de lectura al punto de mayor visibilidad para el operador e inspeccionar la correcta instalación en la tubería. Los manómetros y transmisores de presión que estén instalados en líneas de agua se montarán con válvulas de bloqueo y purga entre la toma de medición y el instrumento de forma tal que garantice su retiro sin interrupción del proceso. Estos instrumentos son de conexión roscada de 1/2" NPT-M.

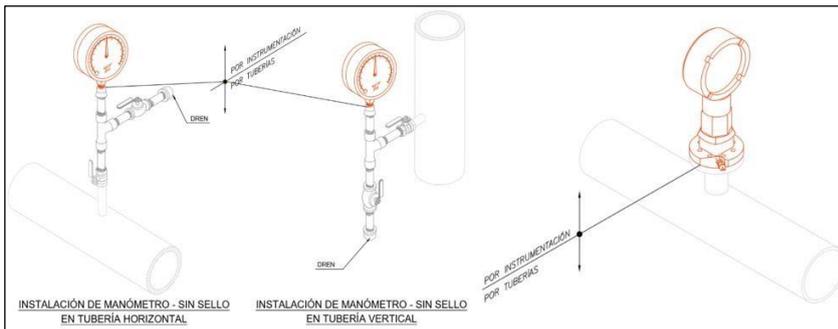
Para los manómetros y transmisores de presión instalados en líneas de pulpa de mineral deberá considerar el uso de un sello de diafragma y un flushing ring para lavado del instrumento. Estos instrumentos son de conexión bridada de 2" clase 150.

Figura 3-16  
Montaje de manómetros



(Elaboración propia)

Figura 3-17  
Montaje de transmisores de presión



(Elaboración propia)

4. **Válvulas de control:** Las válvulas de control son instaladas por la especialidad de tuberías, sin embargo, el retiro del almacén para su calibración y preparación del montaje en la línea se ejecuta por la especialidad de instrumentación. Se debe considerar las siguientes acciones generales tanto para válvulas de control ON/OFF (neumáticas y motorizadas) o modulantes:

Es fundamental asegurarse de contar con todos los componentes necesarios antes de iniciar el montaje. Esto incluye el actuador de la válvula, pernos, tuercas y juntas.

Además, es imprescindible disponer de las herramientas adecuadas para la instalación, tales como llaves, destornilladores y lubricantes.

Se debe colocar el actuador en la posición correcta sobre la válvula. Se debe asegurar que el eje del actuador esté alineado con el vástago de la válvula. Por último, se debe realizar una inspección final para realizar las operaciones correspondientes.

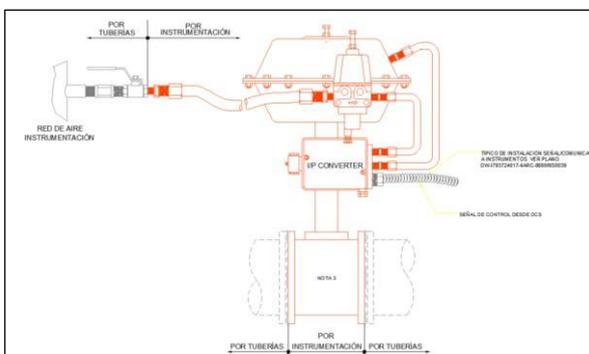
Acorde a la normativa API 598 se debe realizar pruebas hidrostáticas para asegurar y verificar que no haya fugas (esto se hace aplicando una presión mayor a la presión de operación).

Por la parte funcional se debe verificar que la válvula cierre y abra correctamente. Esto incluye verificar los límites de carrera y se debe coordinar entre el operador de campo y sala.

- Válvula de control modulante: Se genera una señal de 4 a 20 mA para ajustar la salida del posicionador eléctrico a la señal eléctrica que corresponda para la posición de la válvula (0-100%). La válvula contará con feedback de posición, la cual deberá también ser conectada a una entrada analógica al gabinete RIO. Se verifica que la curva de respuesta e histéresis en puntos intermedios de 25%, 50% y 75% en su curso de abertura y de cierre. Conseguidos estos resultados satisfactorios, se sella con tela adhesiva el posicionador y se colocará el membrete de "CALIBRADO".

Figura 3-18

Montaje de válvulas de control modulantes



(Elaboración propia)



BASEPLATE 1	BASEPLATE 2	BASEPLATE 3	BASEPLATE 4	BASEPLATE 5	BASEPLATE 6	BASEPLATE 7	BASEPLATE 8
3140-HSS-00005A	3140-HSS-00101B	3140-XS-00101	3140-YAYL-00005	3140-WIT-00102	SPARE	SPARE	
3140-HSS-00005B	3140-HSS-00101C	SPARE	3140-YAYL-00101	SPARE	SPARE		
3140-ZS-00005A	3140-HSS-00101D	3140-ZS-00102	SPARE	SPARE	SPARE		
3140-ZS-00005B	3140-HSS-00101E	3140-MS-00101-A	SPARE	SPARE	SPARE		
3140-ZS-00005C	3140-HSS-00101F	3140-MS-00101-B	SPARE	SPARE	SPARE		
3140-ZS-00005D	3140-ZS-00101A	3140-LSH-00101	SPARE				
SPARE	SPARE	SPARE	SPARE				
SPARE	SPARE	SPARE	SPARE				
SPARE	SPARE	SPARE	SPARE				
SPARE	SPARE	SPARE	SPARE				
SPARE	SPARE	SPARE	SPARE				
SPARE	SPARE	SPARE	SPARE				
SPARE	SPARE	SPARE	SPARE				

- **3145-RIO-001:** Gabinete remoto I/O para las señales de campo.

Tabla 3-2

Gabinete remoto I/O 3145-RIO-001

BASEPLATE 1	BASEPLATE 2	BASEPLATE 3	BASEPLATE 4	BASEPLATE 5	BASEPLATE 6	BASEPLATE 7	BASEPLATE 8
DI	DI	DI	DO	AI	AI	AO	
3145-SSL-00101	3145-ZS-00101C	3145-ZS-00103A	3145-ZS-00105A	3145-FSL-202	3145-YAYL-00101	3145-WIT-00102	
3145-HSS-00101A	3145-ZS-00101D	3145-ZS-00103B	3145-ZS-00105B	3145-LSH-203	3145-YAYL-00103	3145-SIT-00102	
3145-HSS-00101B	3145-XS-00101	3145-ZS-00103C	3145-ZS-00105C	3145-LSH-204	3145-YAYL-00105	3145-NE-00103	
3145-HSS-00101C	SPARE	3145-ZS-00103D	3145-ZS-00105D	3145-LSL-205	SPARE	3145-LIT-00103	
3145-HSS-00101D	3145-ZS-00102	3145-XS-00103	3145-XS-00105	3145-LSH-205	SPARE	3145-WIT-00106	
3145-HSS-00101E	3145-LSH-00101	SPARE	SPARE	3145-FSH-00006	SPARE	3145-SIT-00106	
3145-HSS-00101F	3145-SSL-00103	3145-SSL-00105	3145-LSH-00105	SPARE	SPARE	SPARE	
3145-ZS-00101A	3145-HSS-00103A	3145-HSS-00105	SPARE	SPARE	SPARE	SPARE	
3145-ZS-00101B	3145-HSS-00103B	SPARE	SPARE				
SPARE	SPARE	SPARE	SPARE				
SPARE	SPARE	SPARE					
SPARE	SPARE	SPARE					
SPARE	SPARE	SPARE					
SPARE	SPARE	SPARE					
SPARE	SPARE	SPARE					

(Elaboración propia)

- **4110-RIO-001:** Gabinete remoto I/O para las señales de campo.

Tabla 3-3

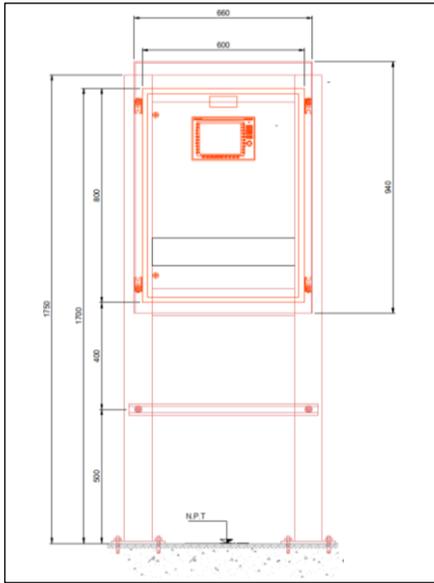
Gabinete remoto I/O 4110-RIO-001

BASEPLATE 1	BASEPLATE 2	BASEPLATE 3	BASEPLATE 4
AI	AI	AI	AO
4110-FIT-00101	SPARE	4110-FZ-00101	SPARE
4110-ZIT-00101	4110-PIT-00201	4110-FZ-00001	SPARE
4110-LIT-00102	4110-DIT-00201	SPARE	SPARE
4110-PIT-00406	4110-FIT-00201	SPARE	SPARE
4110-PIT-00407	4110-PIT-00301	SPARE	SPARE
4110-FIT-00001	SPARE	SPARE	SPARE
4110-ZIT-00001	SPARE		SPARE
SPARE	SPARE		SPARE
SPARE	SPARE		SPARE
SPARE	SPARE		SPARE



Figura 3-20

Tableros de paquete mecánico con HMI



(Elaboración propia)

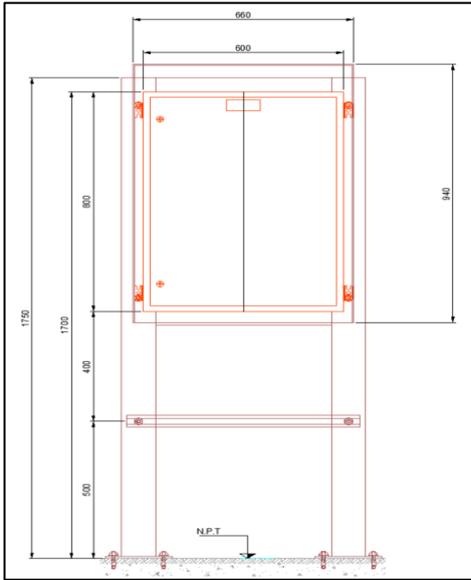
## 7. Tableros electroneumáticos

Estos equipos se encuentran ubicados lo más cerca posible de cada válvula de control ON/FF neumática. Estos gabinetes se comunican mediante Ethernet/IP haciendo un anillo DLR hacia al gabinete RIO respectivo ubicado en campo. El comando de apertura/ cierre será por un manifold de válvulas y también se integrarán las señales de los interruptores de posición de cada válvula de control ON/OFF. Se distribuyen en la planta de proceso de la siguiente manera:

- Cajón de bombeo de hidrociclones: 4110-JPB101, 4110-JPB102.
- Nido de hidrociclones: 4110-JPB003.
- Espesamiento de molienda: 4125-JPB001, 4125-JPB002, 4125-JPB003.

Figura 3-21

Tableros electroneumáticos en área 4110 & 4125



(Elaboración propia)

### 3.3.2 Nivel de control

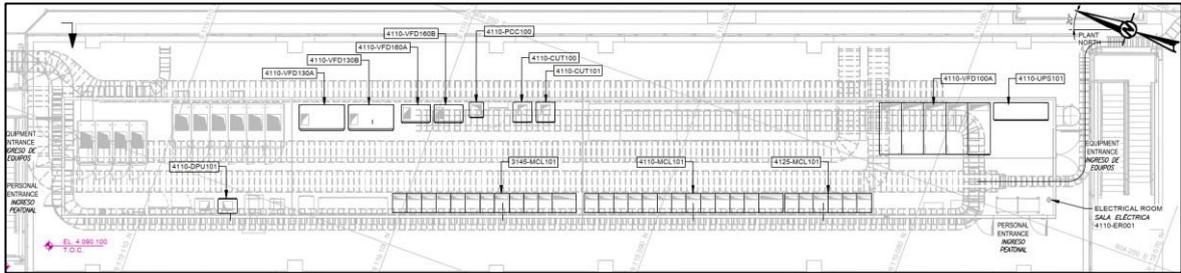
El sistema de control se basa en el modelo de controlador programable de automatización (PAC) para el sistema PLC Control Logix de la marca Allen Bradley. El modelo del CPU será L85-E y a continuación se describe jerárquicamente la distribución de los equipos según la pirámide de automatización (campo, control y supervisión).

El nivel de control se compone de un gabinete DCS principal, **4110-PCC001**, ubicado dentro de la sala eléctrica **4110-ER001** e integra los componentes de automatización de campo y sala eléctrica, por medio de redes de comunicación a través de cables de fibra óptica monomodo y/o cobre, según se requiera, utilizando el protocolo Ethernet/IP.

La red de control se extenderá desde los 03 centros de control de motores (MCC de baja tensión) 3145-MCL001, 4110-MCL001 y 4125-MCL001, así como los variadores de frecuencia de media tensión de las bombas de cajones de hidrociclones 4110-VFD130A@B, y por último el variador para el molino de bolas y molino semiautógeno 4110-VFD100A. Todos los controles de los motores se implementarán a través de la red Ethernet/IP.

Figura 3-22

Layout del gabinete de control



(Elaboración propia)

### 3.4 Procedimientos de operación

Como parte del software de un sistema PAC (controlador automático de procesos), se proporcionará una secuencia automática configurable para el control y la gestión de las operaciones automáticas que impliquen la puesta en marcha, parada y la supervisión de grupos de equipos relacionados de forma secuencial y ordenada.

El programa que se desarrollará para el sistema incluirá rutinas inteligentes avanzadas de revisión de errores y manejo de rutinas con las siguientes funciones:

- Mientras se ejecuta la secuencia, debe monitorear continuamente los parámetros clave relacionados con el proceso, el equipo y las válvulas controladas por la secuencia como la falla de un equipo y/o la falla de una válvula.
- Ejecute subrutinas de manejo de errores para detección de errores, con el fin de apagar de manera segura el equipo operativo en un orden predefinido o mantener el progreso de la secuencia de inicio.
- Permitir múltiples rutinas de manejo de errores, que se seleccionarán en función de la naturaleza de la alarma de secuencia o falla del equipo.
- Proporcionar una interfaz de usuario para indicar el estado y el progreso de la secuencia, permitir a los operadores iniciar el inicio y el apagado de la secuencia.
- Proporcionar una interfaz de usuario para permitir el paso manual de la secuencia.
- Se debe proporcionar medios para bloquear el control manual con acceso de supervisión.

### 3.4.1 Modos de Operación

Todos los motores tienen paneles de control local de accionamiento en un lugar con la máxima visibilidad de la unidad en cuestión, lo más cercano posible al equipo. El panel de control local se compone de pulsadores **START/ STOP** y un selector **LOCAL/REMOTO**.

El modo local tendrá la posibilidad de seleccionar al equipo en modo manual con fines de mantenimiento o en parada de planta, mientras que cuando se tenga seleccionado el modo remoto se tendrá la posibilidad de operar al equipo de manera Automática/Manual y se realiza en la estación de trabajo de la sala de control.

#### - **Modo Local/ manual**

El propósito del control local es poner en marcha el equipo durante la operación de servicio/mantenimiento o para la eliminación de obstrucciones en algún circuito del proceso. Cuando se encuentre seleccionado en este punto de operación se anularán los enclavamientos y permisivos del proceso. El circuito cableado de seguridad y los enclavamientos de seguridad, para la ordenes de parada de emergencia, por razones de seguridad, también deberá permanecer habilitado.

protección de los equipos, deberá permanecer habilitado. Del mismo modo, las. Esto sólo se cumple, mientras esté activado el botón START, así como todos los enclavamientos y condiciones de trabajo estén forzados para que la unidad continuara funcionando. Para el caso del botón STOP de control local se utiliza para detener al equipo y desactiva al botón START, apagando al equipo inmediatamente.

#### - **Modo Remoto/ Manual**

La operación manual permite arrancar y detener al equipo desde la sala de control. En este caso, todos los enclavamientos y permisivos del proceso están habilitados, así como los enclavamientos de seguridad (cableados) y paradas de emergencia. El cambio

del modo de control remoto/manual a modo de control remoto/automático, en la pantalla del operador detendrá al motor en operación.

- **Modo Remoto/ Automático**

La operación automática le otorga el control al sistema DCS, y su selección se da desde la pantalla de operación en la sala de control.

Se debe tener en cuenta que la operación de los equipos se debe dar en arranque en grupo: Los equipos seleccionados se inician uno por uno en orden aguas abajo al equipo que antecede. Antes del inicio del grupo, se debe seleccionar el procedimiento de operación y el operador debe verificar que todos los equipos se puedan iniciar de manera segura. De manera similar, los equipos se detienen uno por uno después de que el equipo aguas arriba se encuentre vacío.

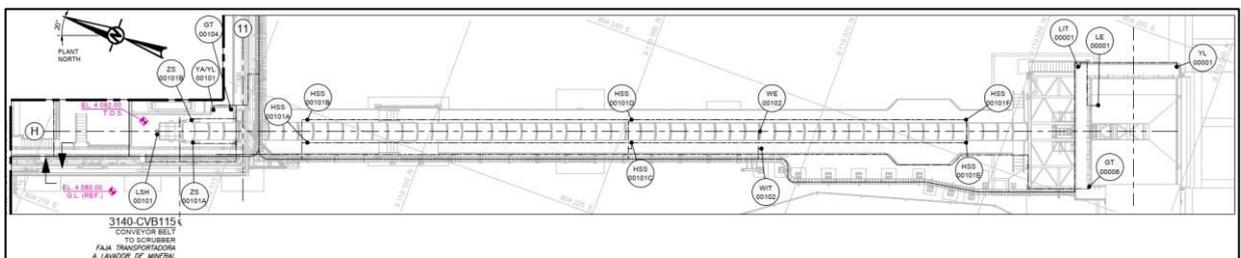
3.5 Estrategias de control - Recepción de mineral (WBS 3140)

3.5.1 Descripción general

El mineral chancado es enviado al contenedor de receptor de mineral **3140-BIN105** a una tasa de 521 toneladas métricas por día para mantener 145 toneladas vivas de mineral por 17 minutos según la tasa de flujo de diseño del alimentador de placas. Las señales de las luces de tráfico son controladas por el nivel del contenedor que es medido con un instrumento de nivel tipo radar **3140-LE/LIT-0001**. La luz verde indica que se puede proseguir con el carguío de mineral al contenedor, mientras que la luz roja indica que ya no se continuar con el proceso de carguío.

Figura 3-23

Distribución de equipos en área 3140



(Elaboración propia)

### 3.5.2 Instrumentación del proceso

La distribución de instrumentos en la zona de recepción de mineral se presenta de la siguiente manera:

- Instrumentos en la tolva de mineral y alimentador de placas
- Instrumentos de la faja transportadora #1 & #2

Tabla 3-5  
Instrumentación - 3140

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
1	3140-LE-00001	SENSOR DE NIVEL POR RADAR	MEDICIÓN DEL NIVEL DE MINERAL EN EL CONTENEDOR	3140-BIN105
2	3140-LIT-00001	TRANSMISOR DE NIVEL POR RADAR	MONITOREO DEL NIVEL DE MINERAL EN EL DEPÓSITO	3140-BIN105
3	3140-YL-00001	SEMÁFORO	INDICADOR DE NIVEL ALTO Y BAJO EN LA TOLVA	3140-BIN105
4	3140-SSL-00003	INTERRUPTOR DE VELOCIDAD	DETECCIÓN DE BAJA VELOCIDAD EN EL ALIMENTADOR DE PLATAFORMA	3140-BIN105
5	3140-TE/TT-00003	SENSOR / TRANSMISOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN LA POLEA DEL CABEZAL DEL ALIMENTADOR DE PLATAFORMA	3140-BIN105
6	3140-TE/TT-00004	SENSOR / TRANSMISOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN LA POLEA DE COLA DEL ALIMENTADOR DE PLATAFORMA	3140-BIN105
7	3140-YA/YL-00003	LUZ ESTROBOSCÓPICA Y BOCINA	ALARMA LUMINOSA Y SONORA PARA EL ALIMENTADOR DE DELANTALES	3140-BIN105
8	3140-LSH-00003	INTERRUPTOR DE NIVEL DE INCLINACIÓN	ALTO NIVEL EN LA RAMPA DE ALIMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA	3140-CHU106
9	3140-SSL-00005	INTERRUPTOR DE VELOCIDAD	DETECCIÓN DE BAJA VELOCIDAD EN LA FAJA DE REGATE DEL ALIMENTADOR DE DELANTAL	3140-CVB110
10	3140-ZS-00005A	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA DE LA CABEZA DE LA CORREA DEL ALIMENTADOR DE DELANTAL	3140-CVB110
11	3140-ZS-00005B	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA DE LA CABEZA DE LA CORREA DEL ALIMENTADOR DE DELANTAL	3140-CVB110
12	3140-ZS-00005C	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN EL ALIMENTADOR DE PLATAFORMA POLEA DE COLA DE LA CORREA DE GOTEO	3140-CVB110
13	3140-ZS-00005D	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN EL ALIMENTADOR DE PLATAFORMA POLEA DE COLA DE LA CORREA DE GOTEO	3140-CVB110
14	3140-HSS-00005A	PULL CORD	TOPE DE EMERGENCIA DE LA CORREA DE GOTEO DEL ALIMENTADOR DE DELANTAL	3140-CVB110
15	3140-HSS-00005B	PULL CORD	TOPE DE EMERGENCIA DE LA CORREA DE GOTEO DEL ALIMENTADOR DE DELANTAL	3140-CVB110

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
16	3140-YA/YL-00005	LUZ ESTROBOSCÓPICA Y BOCINA	BALIZA Y SIRENA PARA LA FAJA DE REGATE DEL ALIMENTADOR DE DELANTAL	3140-CVB110
17	3140-LSH-00005	INTERRUPTOR DE NIVEL DE INCLINACIÓN	ALTO NIVEL EN CHUTE DEL ALIMENTADOR DE DELANTAL	3140-CHU107
18	3140-SSL-00101	INTERRUPTOR DE VELOCIDAD	DETECCIÓN DE BAJA VELOCIDAD EN FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
19	3140-XS-00101	INTERRUPTOR RIP	DETECCIÓN DE ROTURA DE FAJA EN FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
20	3140-ZS-00101A	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA PRINCIPAL DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
21	3140-ZS-00101B	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA PRINCIPAL DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
22	3140-ZS-00101C	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA DE COLA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
23	3140-ZS-00101D	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA DE COLA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
24	3140-HSS-00101A	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
25	3140-HSS-00101B	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
26	3140-HSS-00101C	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
27	3140-HSS-00101D	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
28	3140-HSS-00101E	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
29	3140-HSS-00101F	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
30	3140-YA/YL-00101	LUZ ESTROBOSCÓPICA Y BOCINA	ALARMA LUMINOSA Y SONORA PARA FAJA TRANSPORTADORA	3140-CVB115
31	3140-WE-00102	SENSOR DE PESO	MEDICIÓN DE LA RELACIÓN TONELAJE/AGUA DE LA FAJA TRANSPORTADORA A LA BÁSCULA DEL SCRUBBER	3140-SCA120
32	3140-WIT-00102	TRANSMISOR DE PESO	CONTROL DE LA RELACIÓN TONELAJE/AGUA DE LA FAJA TRANSPORTADORA A LA BÁSCULA DEL SCRUBBER	3140-SCA120
33	3140-SE-00102	SENSOR DE VELOCIDAD	MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA FAJA TRANSPORTADORA A LA BÁSCULA DE LA FREGADORA	3140-SCA120
34	3140-LSH-00101	INTERRUPTOR DE NIVEL DE INCLINACIÓN	ALTO NIVEL EN CHUTE DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3140-CHU120

(Elaboración propia)

### 3.5.3 Alarmas

Las alarmas definidas para el sistema de control del subproceso de recepción de mineral (transporte de mineral) corresponden básicamente al mal funcionamiento de

límites de proceso excedidos. Estas provocan detenciones de forma individual o secuencial en la planta.

Tabla 3-6

Set Point y alarmas de instrumentos - 3140

TAG	UND.	SET POINT	ALARMS			
			LL	L	H	HH
3140-LIT-00001	%	-	0.10	0.20	0.8	0.9
3140-LSH-00003	%	-	-	-	0.8	-
3140-LSH-00005	%	-	-	-	0.8	-
3140-LSH-00101	%	-	-	-	0.8	-

(Elaboración propia)

### 3.5.4 Enclavamientos y permisos

#### - Almacenamiento de mineral

- 1 Semáforo de depósito de mineral triturado
- 2 Activación de baliza 3140-YA/YL-0003

Tabla 3-7

Enclavamientos y permisos del proceso 3140 - 1

Condición	Descripción	Permisivo	Enclavamiento
1	La luz roja de no volcar se activa si el nivel del bolsillo de descarga es alto (LAH-00001).	-	X
2	La luz verde de volcar se activa si el nivel es bajo (LAL-00001).	-	X
	El dispositivo de advertencia de arranque (alarma audible y luz intermitente) se activa durante 15 segundos antes del inicio de cualquier equipo en movimiento.	-	X

(Elaboración propia)

#### - Sistema de transporte de mineral

- 1 Alimentador de placas para mineral triturado 3140-FEE105
- 2 Faja transportadora colectora de alimentador
- 3 Faja transportadora hacia sistema Scrubber

Tabla 3-8

Enclavamientos y permisos del proceso 3140 - 2

Condición	Descripción	Permisivo	Enclavamiento
1	El alimentador de placas no puede arrancar o funcionar si el nivel en el depósito es muy bajo (LALL-00001).	X	X
	El alimentador de placas no puede arrancar o funcionar si el nivel del chute de descarga del alimentador de placas es alto (LAH-00003).	X	X

Condición	Descripción	Permisivo	Enclavamiento
	El alimentador de placas no puede arrancar o funcionar a menos que la faja transportadora al depurador (3140-CVB115) esté funcionando.	X	X
	El alimentador de placas no puede funcionar si el interruptor de baja velocidad se activa después de un retraso de tiempo en el arranque (SAL-00003).	-	X
	El alimentador de placas no puede arrancar si se detecta una alta temperatura en el cojinete del eje de cola (TAH-0004).	X	-
	El alimentador de placas no puede arrancar o funcionar si se detecta una temperatura muy alta en el cojinete del eje de cola (TAHH-0004).	X	X
	El alimentador de placas no puede arrancar si se detecta una alta temperatura en el cojinete del eje de transmisión (TAH-0003).	X	-
	El alimentador de placas no puede arrancar o funcionar si se detecta una temperatura muy alta en el cojinete del eje de transmisión (TAHH-0003).	X	X
2	La faja transportadora no puede arrancar o funcionar si el nivel del chute de descarga es alto (LAH-00005).	X	X
	La faja transportadora arranca cuando el alimentador de placas arranca y se detiene cuando el alimentador de placas se detiene (3140-FEE105).	-	X
	La faja transportadora no puede funcionar si el interruptor de baja velocidad se activa después de un retraso de tiempo en el arranque (SAL-00005).	-	X
	La faja transportadora no puede arrancar o funcionar si se activa un interruptor de desalineación (ZA-00005A-D).	X	X
	La faja transportadora no puede arrancar o funcionar si se activa un interruptor de cuerda de seguridad (HSS-00005A-B) y no se ha reiniciado.	X	X
3	La faja transportadora no puede arrancar o funcionar si se activa un interruptor de cuerda de seguridad (HSS-00101A-F) y no se ha reiniciado.	X	X
	La faja transportadora no puede arrancar o funcionar si se ha activado un interruptor de desalineación de la faja y no se ha reiniciado (ZA-00101A-D).	X	X
	La faja transportadora no puede arrancar o funcionar si se ha detectado una rotura de la faja (XA-00101A-B).	X	X
	La faja transportadora no puede funcionar si el interruptor de baja velocidad se activa después de un retraso de tiempo en el arranque (SAL-00101).	-	X
	La faja transportadora no puede arrancar o funcionar si se ha detectado metal en la faja (MA-00101) y no se ha reiniciado.	X	X
	La faja transportadora no puede arrancar o funcionar si el nivel del chute de descarga es alto (LAH-00101).	X	X
	La faja transportadora no puede arrancar o funcionar si se ha activado el interruptor de límite de gravedad y no se ha reiniciado (ZA-00102).	X	X
	La faja transportadora no puede arrancar o funcionar a menos que el depurador esté funcionando (3145-MIL120).	X	X

(Elaboración propia)

### 3.5.5 Lazos de control

- **Control de alimentación de mineral a Scrubber:** El propósito del este lazo de control es fijar la tasa de mineral chancado que ingresa al Scrubber con respecto a la velocidad del alimentador de placas.

Tabla 3-9

Lazo de control - 3140

LAZO DE CONTROL	COMPONENTE	FUNCIÓN	CV	SP	PV
<b>Alimentación a Scrubber</b>	Modo de control por razón	El flujo de alimentación de mineral varía basado en el punto de ajuste de proporción ingresado por el operador.	SIC-00102	Punto de control de WIC-00102	WE/WIT-00102

(Elaboración propia)

### 3.5.6 Secuencia de arranque

#### 1. Arranque inicial

- Se debe asegurar de que el Scrubber (3145MIL120) esté funcionando y luego de un periodo de tiempo se debe iniciar la faja transportadora (3140-CVB115).
- Se debe asegurar que el sistema de semáforos esté operativo.
- Se debe colocar al controlador (WIC-00102) del alimentador de placas (3140-FEE105) en modo Manual para ajustar la salida al 50 por ciento. Si hay mineral disponible para iniciar las operaciones de depuración y hay suficiente mineral en el contenedor de mineral triturado, se puede iniciar el alimentador de placas (3140-FEE105).
- Después de iniciar el alimentador, se debe colocar el lazo de control en modo Automático e ingresar el punto de ajuste de tonelaje de alimentación requerida.

### 3.5.7 Secuencia de parada

#### 1. Parada total del proceso

- Notificar al operador de la cargadora que el depurador se está apagando y que no se puede verter más mineral en el contenedor de mineral triturado.
- Cambiar las luces de descarga a rojo (posición No Descargar).

- Si se va a realizar trabajo de mantenimiento en el alimentador de placas o la planta se va a apagar por un tiempo prolongado, vaciar el contenedor de mineral triturado y el alimentador (3140-FEE105).
- Permitir que el contenedor de mineral triturado se vacíe hasta que el interruptor de nivel bajo que apague al alimentador de placas por enclavamiento.
- En la estación de botones local, el selector manual del alimentador de placas debe encontrarse en modo Manual.
- Devolver el selector manual/ remoto al modo Remoto.
- Apagar el alimentador de placas.
- Mover el imán a la posición de descarga y liberar cualquier metal en el contenedor.
- Cuando todo el mineral triturado haya sido transportado al Scrubber (3145-MIL120), apagar la faja transportadora (3140-CVB115).

## **2. Parada de emergencia**

- Determinar la causa de la parada de emergencia y apagar cualquier otro equipo según sea necesario para aislar la situación de emergencia.
- Se debe asegurar de que todo el personal esté contabilizado antes de reiniciar el circuito de recuperación de mineral. En caso de que se haya tirado del cable de emergencia de la faja transportadora, asegurarse de que todo el personal esté alejado de la cinta antes de arrancarla.
- Determinar si algún equipo ha sido dañado como resultado de la emergencia y, si es necesario, iniciar mantenimiento y reparaciones.

## **3. Parada luego de un corte de energía**

- Alertar por radio para que se cerque el área de descarga.
- Si es posible, determinar la causa de la falla de energía y el tiempo estimado para la reanudación del servicio eléctrico.
- Verificar el equipo por cualquier daño que pueda haber ocurrido debido a la falla de energía.

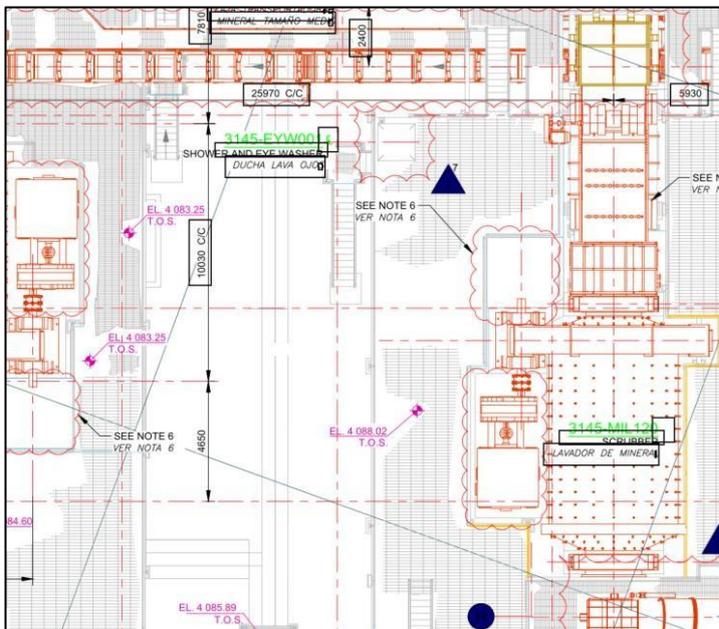
### 3.6 Estrategias de control - Procesamiento de mineral (WBS 3145)

#### 3.6.1 Descripción general

El mineral chancado que es alimentado del área 3140 se recibe en el molino SAG **3145-MIL125**, compuesto por subsistemas para su funcionamiento tales como un paquete de lubricación (tanque **3145-MIL125**, bombas de alta y baja presión **3145-MIL125**), caja reductora **3145-RED125** y mecanismo de freno **3145-MIL125**. La instrumentación que contiene cada subsistema se describe en. Se añade agua al sistema a una tasa que se relaciona con el peso total que ingresa al equipo. En la descarga del molino SAG, se encuentra una zaranda **3145-SR125** que permite clasificar el mineral hacia 3 puntos, el mineral de menor tamaño es enviado directo al cajón de alimentación de hidrociclones **4110-MIL125**, el mineral de tamaño medio se transporta por medio de la faja transportadora **3145-CVB125** hacia el molino de bolas **3145-CVB125**, y finalmente el mineral de tamaño más grande se retorna a una pila de lixiviación por medio de la faja **3145-CVB125**

Figura 3-24

Distribución de equipos en área 3145



(Elaboración propia)

### 3.6.2 Instrumentación del proceso

La distribución de instrumentos en la zona de lavado de mineral se presenta de la siguiente manera:

- Instrumentos del proceso
- Instrumentos del Molino SAG
- Instrumentos de la faja transportadora #1
- Instrumentos de la faja transportadora #2

Tabla 3-10  
Instrumentación - 3145

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
1	3145-FE-00001	FLUJÓMETRO ELECTROMAGNÉTICO	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA DE PROCESO AL SCRUBBER 3145-MIL120	4110-PW-8"-C512B-407
2	3145-FIT-00001	TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	CONTROL DEL CAUDAL EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA DE PROCESO AL SCRUBBER 3145-MIL120	3145-FE-00001
3	3145-FV-00001	VÁLVULA MODULANTE NEUMÁTICA	CONTROL DE FLUJO DE AGUA PARA SCRUBBER	4110-PW-8"-C512B-407
4	3145-TE-00002A	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL COJINETE PRINCIPAL DEL SCRUBBER	3145-MIL120
5	3145-TE-00002B	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL COJINETE PRINCIPAL DEL SCRUBBER	3145-MIL120
6	3145-TE-00003A	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL COJINETE PRINCIPAL DEL SCRUBBER	3145-MIL120
7	3145-TE-00003B	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL COJINETE PRINCIPAL DEL SCRUBBER	3145-MIL120
8	3145-TE-00004	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL COJINETE DEL PIÑÓN DEL SCRUBBER	3145-MIL120
9	3145-TE-00005	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL COJINETE DEL PIÑÓN DEL SCRUBBER	3145-MIL120
10	3145-FSH-00006	INTERRUPTOR DE FLUJO	USO DE LA ALARMA DE DUCHA O LAVAJOS	3145-EYW001
11	3145-SSL-00101	INTERRUPTOR DE VELOCIDAD	DETECCIÓN DE BAJA VELOCIDAD EN FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120
12	3145-XS-00101	INTERRUPTOR RIP	DETECCIÓN DE ROTURA DE FAJA EN FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120
13	3145-ZS-00101A	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA PRINCIPAL DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
14	3145-ZS-00101B	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA PRINCIPAL DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120
15	3145-ZS-00101C	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA DE COLA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120
16	3145-ZS-00101D	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA DE COLA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120
17	3145-ZS-00102	INTERRUPTOR DE RECOGIDA	INTERRUPTOR DE POSICIÓN DE RECOGIDA	3145-CVB120
18	3145-HSS-00101A	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120
19	3145-HSS-00101B	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120
20	3145-HSS-00101C	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120
21	3145-HSS-00101D	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120
22	3145-HSS-00101E	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120
23	3145-HSS-00101F	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120
24	3145-YA/YL-00101	LUZ ESTROBOSCÓPICA Y BOCINA	ALARMA LUMINOSA Y SONORA PARA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB120
25	3145-WE-00102	SENSOR DE PESO	MEDICIÓN DE LA RELACIÓN TONELAJE/AGUA DE UNA BÁSCULA DE FAJA TRANSPORTADORA DE MINERALES DE GRAN TAMAÑO	3145-SCA120
26	3145-WIT-00102	TRANSMISOR DE PESO	MONITOREO DE LA RELACIÓN TONELAJE / AGUA DE INCRUSTACIONES DE FAJA TRANSPORTADORA DE MINERALES DE GRAN TAMAÑO	3145-SCA120
27	3145-SE-00102	SENSOR DE VELOCIDAD	MEDICIÓN DE VELOCIDAD PARA BÁSCULAS DE FAJA TRANSPORTADORA DE MINERALES DE GRAN TAMAÑO	3145-SCA120
28	3145-LSH-00101	INTERRUPTOR DE NIVEL DE INCLINACIÓN	ALTO NIVEL EN LA TOLVA DE LA FAJA TRANSPORTADORA DE MINERALES DE GRAN TAMAÑO	3145-CHU150
29	3145-SSL-00103	INTERRUPTOR DE VELOCIDAD	DETECCIÓN DE BAJA VELOCIDAD EN APILADOR	3145-CVB125
30	3145-XS-00103	INTERRUPTOR RIP	DETECCIÓN DE ROTURA DE CORREA EN APILADOR	3145-CVB125
31	3145-ZS-00103A	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA DEL CABEZAL DEL APILADOR	3145-CVB125
32	3145-ZS-00103B	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA DEL CABEZAL DEL APILADOR	3145-CVB125
33	3145-ZS-00103C	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA DE COLA DEL APILADOR	3145-CVB125
34	3145-ZS-00103D	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA DE COLA DEL APILADOR	3145-CVB125

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
35	3145-HSS-00103A	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DEL APILADOR	3145-CVB125
36	3145-HSS-00103B	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DEL APILADOR	3145-CVB125
37	3145-YA/YL-00103	LUZ ESTROBOSCÓPICA Y BOCINA	ALARMA LUMINOSA Y SONORA PARA EL APILADOR	3145-CVB125
38	3145-LE-00103	SENSOR DE NIVEL POR RADAR	MEDICIÓN DE NIVEL EN LA DESCARGA DEL APILADOR	3145-CVB125
39	3145-LIT-00103	TRANSMISOR DE NIVEL POR RADAR	CONTROL DE NIVEL EN LA DESCARGA DEL APILADOR	3145-CVB125
40	3145-NE-00103	SENSOR DE VELOCIDAD DEL VIENTO	MONITOREO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN LA POLEA DE LA CABEZA DEL APILADOR	3145-CVB125
41	3145-SSL-00105	INTERRUPTOR DE VELOCIDAD	DETECCIÓN DE BAJA VELOCIDAD EN FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB130
42	3145-XS-00105	INTERRUPTOR RIP	DETECCIÓN DE ROTURA DE FAJA EN FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB130
43	3145-ZS-00105A	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA PRINCIPAL DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB130
44	3145-ZS-00105B	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA PRINCIPAL DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB130
45	3145-ZS-00105C	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA DE COLA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB130
46	3145-ZS-00105D	INTERRUPTOR DE DESALINEACIÓN	DETECCIÓN DE DESALINEACIÓN DE LA CORREA EN LA POLEA DE COLA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB130
47	3145-HSS-00105	PULL CORD	PARADA DE EMERGENCIA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB130
48	3145-YA/YL-00105	LUZ ESTROBOSCÓPICA Y BOCINA	ALARMA DE FAJA TRANSPORTADORA	3145-CVB130
49	3145-WE-00106	SENSOR DE PESO	MEDICIÓN DE LA RELACIÓN TONELAJE/AGUA DE LA BÁSCULA DE FAJA TRANSPORTADORA DE MINERALES DE TAMAÑO MEDIANO	3145-SCA130
50	3145-WIT-00106	TRANSMISOR DE PESO	MONITOREO DE LA RELACIÓN TONELAJE / AGUA DE LA BÁSCULA DE FAJA TRANSPORTADORA DE MINERALES DE TAMAÑO MEDIANO	3145-SCA130
51	3145-SE-00106	SENSOR DE VELOCIDAD	MEDICIÓN DE VELOCIDAD PARA BÁSCULA DE FAJA TRANSPORTADORA DE MINERAL DE TAMAÑO MEDIANO	3145-SCA130
52	3145-LSH-00105	INTERRUPTOR DE NIVEL DE INCLINACIÓN	ALTO NIVEL EN LA TOLVA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	3145-CHU125
53	3145-FSL-00202	INTERRUPTOR DE FLUJO	DETECTOR DE BAJO CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE	3145-PPS-14"-J512U-201

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
			LA PANTALLA TOLVA DE TAMAÑO INFERIOR 3145-CHU130	
54	3145-LSH-00203	INTERRUPTOR DE NIVEL DE INCLINACIÓN	ALTO NIVEL EN LA TOLVA DE TAMAÑO MEDIANO DE LA CRIBA DE LA SCRUBBERA	3145-CHU135
55	3145-LSH-00204	INTERRUPTOR DE NIVEL DE INCLINACIÓN	ALTO NIVEL EN LA TOLVA DE GRAN TAMAÑO DE LA CRIBA DEL SCRUBBER	3145-CHU135
56	3145-LSHL-00205	INTERRUPTOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	NIVEL EN SUMIDERO	3145-PPS050
57	3145-PG-00205	MANÓMETRO CON DIAFRAGMA	PROTECCIÓN DE LA BOMBA DE SUMIDERO	3145-DPP-4"-C512U-271
58	3145-LG/TG-00300	MEDIDOR DE NIVEL DE LÍQUIDO CON TERMÓMETRO	CONTROL DE NIVEL Y TEMPERATURA EN EL DEPÓSITO DE ACEITE DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	3145-LUB120E
59	3145-LSL-00301	INTERRUPTOR DE NIVEL DE FLOTADOR	DETECCIÓN DE BAJO NIVEL EN EL DEPÓSITO DE ACEITE DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	3145-LUB120E
60	3145-TS-00302	INTERRUPTOR DE TEMPERATURA	DETECCIÓN DE BAJA TEMPERATURA EN EL DEPÓSITO DE ACEITE DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	3145-LUB120E
61	3145-TS-00303	INTERRUPTOR DE TEMPERATURA	DETECCIÓN DE BAJA TEMPERATURA EN EL DEPÓSITO DE ACEITE DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	3145-LUB120E
62	3145-PG-00304	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE BAJA PRESIÓN	3145-LUB120C/D
63	3145-PDS-00305	INTERRUPTOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN	DETECCIÓN DE FILTROS SUCIOS EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE BAJA PRESIÓN	3145-LUB120C/D
64	3145-PDS-00306	INTERRUPTOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN	DETECCIÓN DE FILTROS SUCIOS EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE BAJA PRESIÓN	3145-LUB120C/D
65	3145-TG-00307	INDICADOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE LA TEMPERATURA EN LA DESCARGA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	3145-LUB120F
66	3145-TS-00307	INTERRUPTOR DE TEMPERATURA	DETECCIÓN DE BAJA TEMPERATURA EN LA DESCARGA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	3145-LUB120A/B
67	3145-PG-00308	MANÓMETRO	CONTROL DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE SUCCIÓN DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	3145-LUB120A/B
68	3145-PS-00308	PRESOSTATO	DETECCIÓN DE BAJA PRESIÓN EN LA LÍNEA DE SUCCIÓN DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	3145-LUB120A/B
69	3145-PG-00309	MANÓMETRO	CONTROL DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	3145-LUB120A/B
70	3145-PDS-00310	INTERRUPTOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN	DETECCIÓN DE FILTROS SUCIOS EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	3145-LUB120A/B
71	3145-PG-00311	MANÓMETRO	CONTROL DE PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALTA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	3145-MIL120

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
72	3145-PS-00311	PRESOSTATO	BAJA PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALTA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	3145-MIL120
73	3145-FS-00311	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN EL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN, ENTRADA DE LUBRICANTE DE ALTA PRESIÓN	3145-MIL120
74	3145-PG-00312	MANÓMETRO	CONTROL DE PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALTA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	3145-MIL120
75	3145-PS-00312	PRESOSTATO	BAJA PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALTA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	3145-MIL120
76	3145-FS-00312	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN EL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN, ENTRADA DE LUBRICANTE DE ALTA PRESIÓN	3145-MIL120
77	3145-PG-00313	MANÓMETRO	CONTROL DE LA PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALTA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE DESCARGA	3145-MIL120
78	3145-PS-00313	PRESOSTATO	BAJA PRESIÓN EN LA DESCARGA COJINETE DE MUÑÓN ENTRADA DE ALTA PRESIÓN	3145-MIL120
79	3145-FS-00313	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN LA DESCARGA COJINETE DE MUÑÓN ENTRADA DE LUBRICANTE DE ALTA PRESIÓN	3145-MIL120
80	3145-PG-00314	MANÓMETRO	CONTROL DE LA PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALTA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE DESCARGA	3145-MIL120
81	3145-PS-00314	PRESOSTATO	BAJA PRESIÓN EN LA DESCARGA COJINETE DE MUÑÓN ENTRADA DE ALTA PRESIÓN	3145-MIL120
82	3145-FS-00314	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN LA DESCARGA COJINETE DE MUÑÓN ENTRADA DE LUBRICANTE DE ALTA PRESIÓN	3145-MIL120
83	3145-FG-00315	MEDIDOR DE FLUJO	CONTROL DE CAUDAL EN LA ENTRADA DE BAJA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	3145-MIL120
84	3145-FS-00315	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN LA ENTRADA DE BAJA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	3145-MIL120
85	3145-FG-00316	MEDIDOR DE FLUJO	CONTROL DE CAUDAL EN LA ENTRADA DE BAJA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE DESCARGA	3145-MIL120
86	3145-FS-00316	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN DESCARGA COJINETE DE MUÑÓN ENTRADA DE BAJA PRESIÓN	3145-MIL120
87	3145-TG-00317	INDICADOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN LA SALIDA DE LUBRICANTE DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	3145-LUB120E

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
88	3145-TG-00318	INDICADOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN LA SALIDA DE LUBRICANTE DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE DESCARGA	3145-LUB120E
89	3145-PG-00319	MANÓMETRO	CONTROL DE LA PRESIÓN EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 1 ENTRADA	3145-MIL120
90	3145-FS-00319	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 1 ENTRADA	3145-MIL120
91	3145-FG-00319	MEDIDOR DE FLUJO	CONTROL DE CAUDAL EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 1 ENTRADA	3145-MIL120
92	3145-PG-00320	MANÓMETRO	CONTROL DE LA PRESIÓN EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 2 ENTRADA	3145-MIL120
93	3145-FS-00320	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 2 ENTRADA	3145-MIL120
94	3145-FG-00320	MEDIDOR DE FLUJO	CONTROL DE CAUDAL EN LA ENTRADA DEL COJINETE DE PIÑÓN N° 2	3145-MIL120
95	3145-TG-00321	INDICADOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 1 SALIDA DE LUBRICANTE	3145-MIL120
96	3145-TS-00321	INTERRUPTOR DE TEMPERATURA	BAJA TEMPERATURA EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 1 SALIDA DE LUBRICANTE	3145-MIL120
97	3145-TG-00322	INDICADOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 2 SALIDA DE LUBRICANTE	3145-MIL120
98	3145-TS-00322	INTERRUPTOR DE TEMPERATURA	BAJA TEMPERATURA EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 2 SALIDA DE LUBRICANTE	3145-MIL120
99	3145-TG-00323	INDICADOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN LA ENTRADA DE AGUA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	3145-LUB120E

(Elaboración propia)

### 3.6.3 Alarmas

Las alarmas definidas para el sistema de control del subproceso de lavado de mineral corresponden básicamente al mal funcionamiento de límites de proceso excedidos.

Estas provocan detenciones de forma individual o secuencial en la planta.

Tabla 3-11

Set Point y alarmas de instrumentos - 3145

TAG	UND.	SET POINT	ALARMS			
			LL	L	H	HH
3145-FIT-00001	m3/h	-	0.10	0.20	0.8	0.9
3145-LSH-00003	%	-	-	-	0.8	-
3145-LSH-00005	%	-	-	-	0.8	-
3145-LSH-00101	%	-	-	-	0.8	-

(Elaboración propia)

### 3.6.4 Enclavamientos y permisivos

#### - Sistema del Molino SAG 3145-MIL101

- 1 Molino de bolas - Motor principal 4110-MIL125B
- 2 Válvula de control de flujo de agua de proceso FV-00001
- 3 Molino de bolas - Soplador de motor principal 4110-MIL125C
- 4 Agua de sello SV-00102A para bomba UF espesador de molienda
- 5 Válvula de recirculación XV-00106B

Tabla 3-12

Enclavamientos y permisivos del proceso 3145 -1

Condición	Descripción	Permisivo	Enclavamiento
1	El motor no puede arrancar o funcionar si alguna de las presiones de aceite de alta presión de los cojinetes de trunnion de alimentación o descarga es baja (PAL10005 o -10006).	X	X
	El motor no puede arrancar o funcionar si alguno de los flujos de aceite de alta presión de los cojinetes de trunnion de alimentación o descarga es bajo (FAL-10003 a -10006).	X	X
	El motor no puede arrancar o funcionar si alguna de las temperaturas de los cojinetes de trunnion de alimentación o descarga es alta (TAH-10004 o -10005).	X	X
	El motor no puede arrancar o funcionar si alguna de las temperaturas de los cojinetes de piñón es alta (TAH-10005 o -10006).	X	X
	El motor no puede arrancar o funcionar si alguno de los flujos de aceite de baja presión (inundación) de los cojinetes de trunnion de alimentación o descarga es bajo (FAL-10001 o -10002).	X	X
	El motor no puede arrancar o funcionar si alguno de los flujos de aceite de baja presión de los cojinetes de piñón es bajo (FAL-10007 o -10008).	X	X
	El motor no puede arrancar a menos que una de las bombas de lubricación de alta presión haya estado funcionando durante tres minutos; se detiene si la bomba se detiene (3145-LUB1203MP/3SB).	X	X
	El motor se detiene si hay una falla en el rociador de engranajes que no se corrige dentro de 30 minutos (3145-SPY120M). Una falla puede ser causada por: - Baja presión de aire. - Bajo nivel en el tambor de grasa. - Error de microinterruptor. - Manipulación de parámetros configurados.	-	X
	El scrubber no puede arrancar o funcionar a menos que la pantalla de descarga del scrubber esté funcionando (3145-SCR120).	X	X

Condición	Descripción	Permisivo	Enclavamiento
2	La bomba de baja presión de aceite lubricante no puede arrancar si el nivel del depósito es bajo (por debajo del 30%; LAL-10001).	X	-
	La bomba de baja presión de aceite lubricante no puede arrancar si la temperatura promedio del aceite del depósito es baja (TAL-10001 a 10003).	X	-
	La bomba de baja presión de aceite lubricante no puede arrancar o funcionar si la temperatura promedio del aceite del depósito es alta (TAH-10001 a -10003).	X	-
	La bomba de baja presión de aceite lubricante no puede funcionar si la presión de descarga de la bomba es alta (PAH-10002 o -10004).	-	X
3	La bomba de alta presión de aceite lubricante no puede arrancar si la presión de suministro de aceite de baja presión es baja (PAL-00308).	-	X
	La bomba de alta presión de aceite lubricante no puede arrancar a menos que una de las bombas de aceite lubricante de baja presión esté funcionando (3145-LUB120A/B).	-	X
4	El sistema de rociado de engranajes arranca cuando el motor del scrubber arranca y se detiene cuando el motor del scrubber se detiene.	-	X
5	La bomba de aceite lubricante del reductor de engranajes arranca cuando el motor del scrubber arranca y se detiene cuando el motor del scrubber se detiene (3145-MIL120B).	-	X
6	El ventilador del reductor del scrubber arranca cuando el motor principal arranca y se detiene cuando el motor principal se detiene (3145-MIL120B).	-	X

(Elaboración propia)

- **Sistema de fajas transportadoras**

-  Tolva de alimentación
-  Alimentación de agua fresca

Tabla 3-13

Enclavamientos y permisos del proceso 3145 -2

Condición	Descripción	Permisivo	Enclavamiento
1	El motor no puede arrancar o funcionar si alguna de las presiones de aceite de alta presión de los cojinetes de trunnion de alimentación o descarga es baja (PAL10005 o -10006).	X	X
	El motor no puede arrancar o funcionar si alguno de los flujos de aceite de alta presión de los cojinetes de trunnion de alimentación o descarga es bajo (FAL-10003 a -10006).	X	X
	El motor no puede arrancar o funcionar si alguna de las temperaturas de los cojinetes de trunnion de alimentación o descarga es alta (TAH-10004 o -10005).	X	X
	El motor no puede arrancar o funcionar si alguna de las temperaturas de los cojinetes de piñón es alta (TAH-10005 o -10006).	X	X
	El motor no puede arrancar o funcionar si alguno de los flujos de aceite de baja presión (inundación) de los cojinetes de trunnion de alimentación o descarga es bajo (FAL-10001 o -10002).	X	X
	El motor no puede arrancar o funcionar si alguno de los flujos de aceite de baja presión de los cojinetes de piñón es bajo (FAL-10007 o -10008).	X	X
	El motor no puede arrancar a menos que una de las bombas de lubricación de alta presión haya estado funcionando durante tres minutos; se detiene si la bomba se detiene (3145-LUB1203MP/3SB).	X	X

(Elaboración propia)

### 3.6.5 Lazos de control

- **Control de alimentación de agua a Scrubber:** El propósito del lazo de control de nivel de la caja de bombas de alimentación del ciclón es mantener condiciones de operación estables para los ciclones y evitar el desbordamiento de la caja de bombas. Esto se logra modulando automáticamente las velocidades de las bombas de alimentación del ciclón. Hay dos bombas de alimentación del ciclón (4110-PPP130A y -130B), una en operación y la otra en espera.

Tabla 3-14

Lazo de control - 4110

LAZO DE CONTROL	COMPONENTE	FUNCIÓN	CV	SP	PV
<b>Alimentación de agua a molino</b>	Modo de control por razón	El flujo de agua de proceso varía basado en el tonelaje de mineral alimentado al molino según un punto de ajuste de proporción ingresado por el operador.	FY/FV-00105	Punto de control de WIC-00105	WIT-00105
	Modo Automático	El operador ingresa manualmente un punto ajustado para el flujo deseado del agua de proceso. El controlador ajusta la apertura de la válvula para que el flujo coincida con el punto ajustado.	FY/FV-00001	Por el operador	FE-00001 / FIT-00001

(Elaboración propia)

### 3.6.6 Secuencia de arranque

#### 1. Arranque inicial

- Realizar las inspecciones preoperacionales.
- Asegúrese de que el molino de bolas (4110-MIL125) esté funcionando.
- El sistema de lubricación del depurador se puso en marcha durante la inspección preoperacional. Esto da tiempo para que el aceite circule por el sistema.
- Asegúrese de que no haya alarmas en el sistema de lubricación de la fregadora.
- Posición de la faja transportadora – Apilador de minerales de gran tamaño (3145-CVB125) a la ubicación requerida para el inicio.
- Arranque de la faja transportadora – Apilador de minerales de gran tamaño (3145-CVB125), faja transportadora – mineral de gran tamaño (3145- CVB120) y faja transportadora – mineral de tamaño mediano (3145- CVB130).
- Los comandos de inicio del transportador hacen que suenen las bocinas de advertencia para advertir del inicio inminente del transportador. La advertencia

de pre-arranque continúa durante un tiempo preestablecido antes de que arranquen las fajas transportadoras.

- Inicie la zaranda de descarga del depurador (3145-SCR120).
- Se debe encender el molino semiautógeno Scrubber (3145-MIL120).
- Proceda con el inicio del circuito de Recuperación de mineral.

## 2. Arranque luego de una parada de emergencia

- Determinar la causa del apagado de emergencia y corregir la condición. Bajo una condición de apagado de emergencia, se requiere una evaluación completa de daños antes de intentar cualquier reinicio.
- Si las fajas transportadoras de mineral de tamaño grande (3145-CVB120), la faja transportadora apiladora de mineral (3145-CVB125), y la faja transportadora de mineral de tamaño medio (3145-CVB130) fueron apagadas, toma estas acciones:
  - Se debe asegurar de que el molino de bolas esté funcionando y que la pila de mineral sobredimensionado pueda recibir alimentación.
  - Iniciar la faja transportadora apiladora de mineral (3145-CVB125) y permite que la carga se despeje en la cinta.
  - Iniciar la faja transportadora mineral de tamaño grande (3145-CVB120) para permitir que la carga se despeje.
  - Inicia nuevamente la faja transportadora apiladora (3145-CVB125).
- Se debe asegurar de que las tolvas de descarga de la zaranda - Scrubber (3145-SCR120) de sobredimensionados y subdimensionados estén despejadas, luego iniciar la zaranda
- Verificar que la bomba de sumidero - Área del Scrubber (3145-PPP050) esté limpiando cualquier derrame del suelo y llevándolo a la pantalla.
- Verificar que los sistemas de lubricación del Scrubber estén funcionando.
- Iniciar el Scrubber (3145-MIL120).

- Establecer el punto de ajuste de la relación de flujo en el controlador de relación de flujo de agua de proceso (FIC-00001) y coloca el controlador en modo Automático.
- Procede con el inicio del circuito de Recuperación de Mineral.

### 3.6.7 Secuencia de parada

#### **1. Parada total del proceso**

- Discutir el plan de apagado con los operadores en otras áreas de la planta y mantenerlos informados durante todo el proceso.
- Veinte minutos antes de detener la alimentación de mineral, disminuir la densidad del scrubber al 50 por ciento de sólidos utilizando el controlador indicador de relación de flujo (FFIC-00001). Esta acción ayuda a limpiar las partículas finas de mineral del scrubber, dejando una carga más gruesa.
- Un minuto antes de detener la alimentación del Scrubber, poner el controlador indicador de relación de flujo de agua del scrubber (FIC-00001) en modo Manual y establecer la salida al valor que tenía cuando estaba en modo Automático.
- Hacer que el operador de recuperación de mineral apague el alimentador de placas y la cinta transportadora hacia el scrubber. La cinta transportadora hacia el scrubber descarga su carga restante de mineral fresco en la tolva de alimentación del scrubber.
- Detener el scrubber (3145-MIL120).
- Detener la zaranda de descarga del Scrubber (3145-SCR120) cuando ya no haya alimentación del scrubber hacia la pantalla.
- Detener la faja transportadora – Mineral Sobredimensionado (3145-CVB120) cuando la carga se despeje.
- Detener la faja transportadora – Apilador de Mineral Sobredimensionado (3145-CVB125) cuando la carga se despeje.

- Detener la faja Transportadora – Mineral de Tamaño Medio (3145-CVB130) cuando la carga se despeje.
- Colocar los controles de la Bomba de Sump – Área del Scrubber (3145-PPS050) en modo Manual y apagar la bomba.
- Detener las bombas de aceite de lubricación del scrubber.
- Apagar el agua de enfriamiento hacia los intercambiadores de calor de aceite de lubricación del scrubber. No apagar el agua de enfriamiento causa que el aceite se enfríe hasta un punto donde el inicio del molino se retrasa, y el agua continúa fluyendo a través del circuito de enfriamiento.
- Poner los calentadores del depósito de aceite de lubricación en modo Apagado para asegurar que no estén ciclando y calentando el aceite de lubricación. Apagar los calentadores de aceite de lubricación si el apagado va a durar varios días.

## 2. Parada de emergencia

- Se debe avisar al operador de la sala de control y al operador de campo sobre la emergencia.
- Luego se pasa a determinar si alguna persona ha resultado herida y, si es necesario, iniciar los procedimientos de primeros auxilios y rescate.
- Si la emergencia parece que va a durar más de unos pocos minutos, apagar la línea de scrubber de acuerdo con la Sección de Apagado Completo/En Espera.
- Detener la zaranda de descarga del Scrubber 3145-SCR-120. El scrubber aguas arriba se detendrá por enclavamiento.
- Apagar todos los flujos de agua controlados manualmente hacia el circuito de scrubber.
- Colocar el controlador de relación de flujo de agua de dilución del scrubber (FIC-00001) en modo Manual con una salida de cero. Cerrar las válvulas de aislamiento manuales.

- Detener la faja transportadora – Mineral Sobredimensionado (3145-CVB120) cuando la carga se despeje.
- Detener la faja transportadora – Apilador de Mineral Sobredimensionado (3145-CVB125) cuando la carga se despeje.
- Detener la faja transportadora – Mineral de Tamaño Medio (3145-CVB130) cuando la carga se despeje.
- Colocar los controles de la Bomba de Sump – Área del Scrubber (3145-PPS050) en modo Manual y apagar la bomba cuando los pisos estén limpios.
- Utilizar los procedimientos en la sección de apagado Completo/En Espera, para completar las tareas de apagado necesarias.

### 3.7 Estrategias de control – Molienda (WBS 4110)

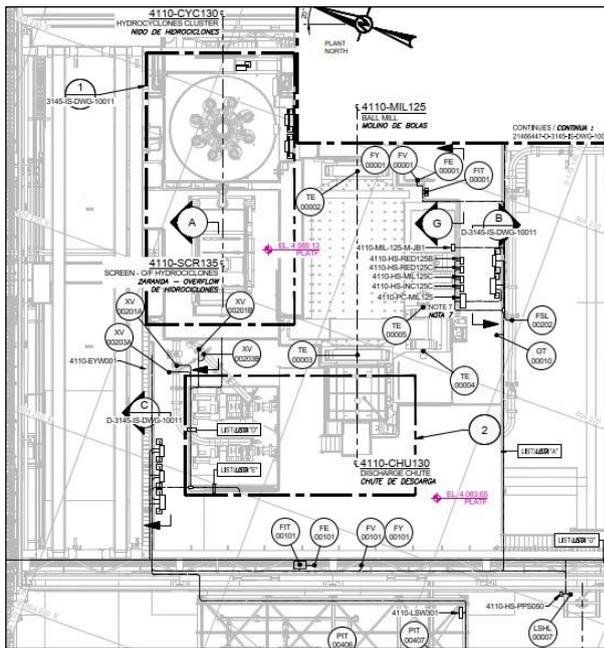
#### 3.7.1 Descripción general

El molino de bolas 4110-MIL100 se encarga de recibir el mineral de tamaño mediano clasificado donde se tritura y se convierte en una pulpa mineral. El molino de bolas cuenta con una unidad de lubricación que asegura el funcionamiento suave y eficiente de los cojinetes y otros componentes móviles, incluyendo sensores de temperatura y presión para mantener las condiciones óptimas de lubricación.

La pulpa obtenida del molino va hacia el cajón de bombas, donde se utiliza un medidor de nivel (4110-LIT-00101) para monitorear el nivel del cajón. Las bombas del cajón transportan la pulpa hacia el nido de hidrociclones, y el flujo de la pulpa es monitoreado por un flujómetro sonar (4110-FIT-00101) y un medidor de densidad nuclear (4110-DIT-00101). El nido de hidrociclones clasifica la pulpa según su tamaño y densidad. Un transmisor de presión (4110-PIT-00103) en el nido de hidrociclones permite regular la cantidad de ciclones operativos por medio de las válvulas neumáticas para optimizar el proceso de clasificación.

Figura 3-25

Distribución de equipos en área 4125 -1



(Elaboración propia)

### 3.7.2 Instrumentación del proceso

La distribución de instrumentos en la zona de molienda de mineral se presenta de la siguiente manera:

- Instrumentos del proceso
- Instrumentos del Molino de bolas

Tabla 3-15

Instrumentación de área 4110

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
1	4110-FE-00001	SENSOR DE CAUDAL MAGNÉTICO	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA AL MOLINO DE BOLAS 4110-MIL125	4110-PW-3"-C512B-409
2	4110-FIT-00001	TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	CONTROL DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA DE PROCESO AL MOLINO DE BOLAS 4110-MIL125	-
3	4110-FV-00001	VÁLVULA MODULANTE NEUMÁTICA	CONTROL DE FLUJO DE AGUA AL MOLINO DE BOLAS	4110-PW-3"-C512B-409
4	4110-TE-00002A	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN EL COJINETE PRINCIPAL DEL MOLINO DE BOLAS	4110-MIL125
5	4110-TE-00002B	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN EL COJINETE PRINCIPAL DEL MOLINO DE BOLAS	4110-MIL125

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
6	4110-TE-00003A	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN EL COJINETE PRINCIPAL DEL MOLINO DE BOLAS	4110-MIL125
7	4110-TE-00003B	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN EL COJINETE PRINCIPAL DEL MOLINO DE BOLAS	4110-MIL125
8	4110-TE-00004A	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN EL COJINETE PRINCIPAL DEL MOLINO DE BOLAS	4110-MIL125
9	4110-TE-00004B	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN EL COJINETE DEL PIÑÓN DEL MOLINO DE BOLAS	4110-MIL125
10	4110-TE-00005	SENSOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN EL COJINETE DEL PIÑÓN DEL MOLINO DE BOLAS	4110-MIL125
11	4110-LSHL-00007	INTERRUPTOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	NIVEL EN SUMIDERO	4110-PPS050
12	4110-PG-00007	MANÓMETRO CON DIAFRAGMA	PROTECCIÓN DE LA BOMBA DE SUMIDERO	4110-DPP-4"-C512U-272
13	4110-FE-00101	SENSOR DE CAUDAL MAGNÉTICO	CONTROL DE FLUJO DE AGUA A CICLONES CAJA DE BOMBAS DE ALIMENTACIÓN	4110-PW-6"-C512B-415
14	4110-FIT-00101	TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	CONTROL DE FLUJO DE AGUA A CICLONES CAJA DE BOMBAS DE ALIMENTACIÓN	-
15	4110-FV-00101	VÁLVULA MODULANTE NEUMÁTICA	CONTROL DE FLUJO DE AGUA A CICLONES CAJA DE BOMBAS DE ALIMENTACIÓN	4110-PW-6"-C512B-415
16	4110-LE-00102	SENSOR DE NIVEL POR RADAR	CONTROL DE NIVEL EN CICLONES CAJA DE BOMBAS DE ALIMENTACIÓN	4110-PBX130
17	4110-LIT-00102	TRANSMISOR DE NIVEL POR RADAR	CONTROL DE NIVEL EN CICLONES CAJA DE BOMBAS DE ALIMENTACIÓN	-
18	4110-XV-00103A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE CICLONES "A" LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	4110-PPS-18"-J512U-202
19	4110-XV-00104A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	BOMBA DE ALIMENTACIÓN CICLONES "A" LAVADO DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	4110-PW-3"-C512B-413
20	4110-XV-00105A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	BOMBA DE ALIMENTACIÓN CICLONES "A" DRENAJE DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	-
21	4110-XV-00103B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE CICLONES "B" LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	4110-PPS-18"-J512U-202
22	4110-XV-00104B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	BOMBA DE ALIMENTACIÓN DE CICLONES "B" LAVADO DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	4110-PW-3"-C512B-414
23	4110-XV-00105B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	BOMBA DE ALIMENTACIÓN CICLONES "B" DRENAJE DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	-
24	4110-PG-00201A	MANÓMETRO CON DIAFRAGMA	INDICACIÓN DE PRESIÓN EN CICLONES DESCARGA DE LA BOMBA DE ALIMENTACIÓN	4110-PPS-14"-J512U-203
25	4110-PG-00201B	MANÓMETRO CON DIAFRAGMA	INDICACIÓN DE PRESIÓN EN CICLONES DESCARGA DE LA BOMBA DE ALIMENTACIÓN	4110-PPS-14"-J512U-205
26	4110-PIT-00201	TRANSMISOR DE PRESIÓN CON DIAFRAGMA	CONTROL DE PRESIÓN EN CICLONES BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DE DESCARGA	4110-PPS-14"-J512U-203
27	4110-DX-00201	FUENTE NUCLEAR	CONTROL DE DENSIDAD EN CICLONES DE DESCARGA DE BOMBAS DE ALIMENTACIÓN	4110-PPS-14"-J512U-203

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
28	4110-DE-00201	SENSOR DE DENSIDAD NUCLEAR	CONTROL DE DENSIDAD EN CICLONES DE DESCARGA DE BOMBAS DE ALIMENTACIÓN	4110-PPS-14"-J512U-203
29	4110-DIT-00201	TRANSMISOR DE DENSIDAD NUCLEAR	CONTROL DE DENSIDAD EN CICLONES DE DESCARGA DE BOMBAS DE ALIMENTACIÓN	-
30	4110-FE-00201	SENSOR DE CAUDAL MAGNÉTICO	MONITORIZACIÓN DE CAUDAL EN CICLONES BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DE DESCARGA	4110-PPS-14"-J512U-203
31	4110-FIT-00201	TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	MONITORIZACIÓN DE CAUDAL EN CICLONES BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DE DESCARGA	-
32	4110-XV-00201A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA DE ALIMENTACIÓN CICLONES "A"	4110-PPS-14"-J512U-203
33	4110-XV-00203A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	CICLONES BOMBA DE ALIMENTACIÓN "A" LÍNEA DE DESCARGA DE LAVADO	4110-PW-3"-C512B-417
34	4110-XV-00201B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA DE ALIMENTACIÓN CICLONES "B"	4110-PPS-14"-J512U-205
35	4110-XV-00203B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	CICLONES BOMBA DE ALIMENTACIÓN "B" LAVADO DE LA LÍNEA DE DESCARGA	4110-PW-3"-C512B-418
36	4110-XV-00204	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	CICLONES BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DRENAJE DE LA LÍNEA DE DESCARGA	-
37	4110-PG-00301	MANÓMETRO	INDICACIÓN DE PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALIMENTACIÓN DE LOS CICLONES	4110-CYC130
38	4110-PIT-00301	TRANSMISOR DE PRESIÓN CON DIAFRAGMA	CONTROL DE PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALIMENTACIÓN DE LOS CICLONES	4110-CYC130
39	4110-PG-00306	MANÓMETRO	INDICACIÓN DE PRESIÓN EN EL LAVADO DE LA PANTALLA O/F	4110-PW-1 1/2"-C512B-426
40	4110-XV-00301A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ENTRADA DE ALIMENTACIÓN DE CICLONES	4110-CYC130
41	4110-XV-00301B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ENTRADA DE ALIMENTACIÓN DE CICLONES	4110-CYC130
42	4110-XV-00301C	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ENTRADA DE ALIMENTACIÓN DE CICLONES	4110-CYC130
43	4110-XV-00301D	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ENTRADA DE ALIMENTACIÓN DE CICLONES	4110-CYC130
44	4110-XV-00301E	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ENTRADA DE ALIMENTACIÓN DE CICLONES	4110-CYC130
45	4110-XV-00301F	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ENTRADA DE ALIMENTACIÓN DE CICLONES	4110-CYC130
46	4110-XV-00301G	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ENTRADA DE ALIMENTACIÓN DE CICLONES	4110-CYC130
47	4110-XV-00301H	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ENTRADA DE ALIMENTACIÓN DE CICLONES	4110-CYC130
48	4110-XV-00303	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ENTRADA DE ZARANDA O/F	4110-PPS-14"-J512U-206

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
49	4110-XV-00304	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	DERIVACIÓN DE ZARANDA O/F	4110-PPS-14"-J512U-208
50	4110-PG-00401	MANÓMETRO	INDICACIÓN DE PRESIÓN EN EL DEPÓSITO DE AIRE DE LA PLANTA	4110-REC020
51	4110-PIT-00406	TRANSMISOR DE PRESIÓN	MONITOREO DE PRESIÓN EN LA DESCARGA DEL TANQUE RECEPTOR DE AIRE DE LA PLANTA	4110-PA-1 1/2"-C512B-503
52	4110-PG-00402A	MANÓMETRO	INDICACIÓN DE PRESIÓN EN LA ENTRADA DEL FILTRO DE AIRE DEL INSTRUMENTO	4110-FIL025A
53	4110-PG-00402B	MANÓMETRO	INDICACIÓN DE PRESIÓN EN LA SALIDA DEL FILTRO DE AIRE DEL INSTRUMENTO	4110-FIL025A
54	4110-PG-00403A	MANÓMETRO	INDICACIÓN DE PRESIÓN EN LA ENTRADA DEL FILTRO DE AIRE DEL INSTRUMENTO	4110-FIL025B
55	4110-PG-00403B	MANÓMETRO	INDICACIÓN DE PRESIÓN EN LA SALIDA DEL FILTRO DE AIRE DEL INSTRUMENTO	4110-FIL025B
56	4110-PG-00405	MANÓMETRO	INDICACIÓN DE PRESIÓN EN EL DEPÓSITO DE AIRE DEL INSTRUMENTO	4110-REC025
57	4110-PIT-00407	TRANSMISOR DE PRESIÓN	MONITOREO DE PRESIÓN EN LA INSTRUMENTACIÓN DESCARGA DEL TANQUE RECEPTOR DE AIRE	4110-IA-6"-F510V-808
58	4110-SV-00401	VÁLVULA SOLENOIDE	DRENAJE DEL DEPÓSITO DE AIRE DE LA PLANTA	4110-REC020
59	4110-SV-00405	VÁLVULA SOLENOIDE	INSTRUMENTACIÓN DRENAJE DEL DEPÓSITO DE AIRE	4110-REC025
60	4110-LG/TG-00500	MEDIDOR DE NIVEL DE LÍQUIDO CON TERMÓMETRO	CONTROL DE NIVEL Y TEMPERATURA EN EL DEPÓSITO DE ACEITE DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	4110-LUB125E
61	4110-LSL-00501	INTERRUPTOR DE NIVEL DE FLOTADOR	DETECCIÓN DE BAJO NIVEL EN EL DEPÓSITO DE ACEITE DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	4110-LUB125E
62	4110-TS-00502	INTERRUPTOR DE TEMPERATURA	DETECCIÓN DE BAJA TEMPERATURA EN EL DEPÓSITO DE ACEITE DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	4110-LUB125E
63	4110-TS-00503	INTERRUPTOR DE TEMPERATURA	DETECCIÓN DE BAJA TEMPERATURA EN EL DEPÓSITO DE ACEITE DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	4110-LUB125E
64	4110-PG-00504	MANÓMETRO	CONTROL DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE BAJA PRESIÓN	4110-LUB125C/D
65	4110-PDS-00505	INTERRUPTOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN	DETECCIÓN DE FILTROS SUCIOS - LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE BAJA PRESIÓN	4110-LUB125C/D
66	4110-PDS-00506	INTERRUPTOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN	DETECCIÓN DE FILTROS SUCIOS - LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE BAJA PRESIÓN	4110-LUB125C/D
67	4110-TG-00507	INDICADOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE LA TEMPERATURA EN LA DESCARGA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	4110-LUB125F
68	4110-TS-00507	INTERRUPTOR DE TEMPERATURA	DETECCIÓN DE BAJA TEMPERATURA EN LA DESCARGA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	4110-LUB125A/B
69	4110-PG-00508	MANÓMETRO	CONTROL DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE SUCCIÓN DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	4110-LUB125A/B

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
70	4110-PS-00508	PRESOSTATO	DETECCIÓN DE BAJA PRESIÓN EN LA LÍNEA DE SUCCIÓN DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	4110-LUB125A/B
71	4110-PG-00509	MANÓMETRO	CONTROL DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	4110-LUB125A/B
72	4110-PDS-00510	INTERRUPTOR DIFERENCIAL DE PRESIÓN	DETECCIÓN DE FILTROS SUCIOS - LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	4110-LUB125A/B
73	4110-PG-00511	MANÓMETRO	CONTROL DE PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALTA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	4110-MIL125
74	4110-PS-00511	PRESOSTATO	BAJA PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALTA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	4110-MIL125
75	4110-FS-00511	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN EL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN, ENTRADA DE LUBRICANTE DE ALTA PRESIÓN	4110-MIL125
76	4110-PG-00512	MANÓMETRO	CONTROL DE PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALTA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	4110-MIL125
77	4110-PS-00512	PRESOSTATO	BAJA PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALTA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	4110-MIL125
78	4110-FS-00512	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN EL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN, ENTRADA DE LUBRICANTE DE ALTA PRESIÓN	4110-MIL125
79	4110-PG-00513	MANÓMETRO	CONTROL DE LA PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALTA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE DESCARGA	4110-MIL125
80	4110-PS-00513	PRESOSTATO	BAJA PRESIÓN EN LA DESCARGA COJINETE DE MUÑÓN ENTRADA DE ALTA PRESIÓN	4110-MIL125
81	4110-FS-00513	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN LA DESCARGA COJINETE DE MUÑÓN ENTRADA DE LUBRICANTE DE ALTA PRESIÓN	4110-MIL125
82	4110-PG-00514	MANÓMETRO	CONTROL DE LA PRESIÓN EN LA ENTRADA DE ALTA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE DESCARGA	4110-MIL125
83	4110-PS-00514	PRESOSTATO	BAJA PRESIÓN EN LA DESCARGA COJINETE DE MUÑÓN ENTRADA DE ALTA PRESIÓN	4110-MIL125
84	4110-FS-00514	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN LA DESCARGA COJINETE DE MUÑÓN ENTRADA DE LUBRICANTE DE ALTA PRESIÓN	4110-MIL125
85	4110-FG-00515	MEDIDOR DE FLUJO	CONTROL DE CAUDAL EN LA ENTRADA DE BAJA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	4110-MIL125
86	4110-FS-00515	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN LA ENTRADA DE BAJA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	4110-MIL125
87	4110-FG-00516	MEDIDOR DE FLUJO	CONTROL DE CAUDAL EN LA ENTRADA DE BAJA PRESIÓN DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE DESCARGA	4110-MIL125

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
88	4110-FS-00516	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN DESCARGA COJINETE DE MUÑÓN ENTRADA DE BAJA PRESIÓN	4110-MIL125
89	4110-TG-00517	INDICADOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN LA SALIDA DE LUBRICANTE DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE ALIMENTACIÓN	4110-LUB125E
90	4110-TG-00518	INDICADOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN LA SALIDA DE LUBRICANTE DEL COJINETE DEL MUÑÓN DE DESCARGA	4110-LUB125E
91	4110-PG-00519	MANÓMETRO	CONTROL DE LA PRESIÓN EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 1 ENTRADA	4110-MIL125
92	4110-FS-00519	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 1 ENTRADA	4110-MIL125
93	4110-FG-00519	MEDIDOR DE FLUJO	CONTROL DE CAUDAL EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 1 ENTRADA	4110-MIL125
94	4110-PG-00520	MANÓMETRO	CONTROL DE LA PRESIÓN EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 2 ENTRADA	4110-MIL125
95	4110-FS-00520	INTERRUPTOR DE FLUJO	BAJO CAUDAL EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 2 ENTRADA	4110-MIL125
96	4110-FG-00520	MEDIDOR DE FLUJO	CONTROL DE CAUDAL EN LA ENTRADA DEL COJINETE DE PIÑÓN N° 2	4110-MIL125
97	4110-TG-00521	INDICADOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 1 SALIDA DE LUBRICANTE	4110-MIL125
98	4110-TS-00521	INTERRUPTOR DE TEMPERATURA	BAJA TEMPERATURA EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 1 SALIDA DE LUBRICANTE	4110-MIL125
99	4110-TG-00522	INDICADOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE LA TEMPERATURA EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 2 SALIDA DE LUBRICANTE	4110-MIL125
100	4110-TS-00522	INTERRUPTOR DE TEMPERATURA	BAJA TEMPERATURA EN EL COJINETE DE PIÑÓN N° 2 SALIDA DE LUBRICANTE	4110-MIL125
101	4110-TG-00523	INDICADOR DE TEMPERATURA	CONTROL DE TEMPERATURA EN LA ENTRADA DE AGUA DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	4110-LUB125E
102	4110-SV-00524	VÁLVULA SOLENOIDE	PLANTA DE AIRE A BARRIL DE GRASA	3145-GSP120A
103	4110-SV-00525	VÁLVULA SOLENOIDE	LANZA DE AIRE DE PULVERIZACIÓN DE AIRE A ENGRANAJE DE LA PLANTA	3145-GSP120B

(Elaboración propia)

### 3.7.3 Alarmas

Las alarmas definidas para el sistema de control del subproceso de molienda (molino de bolas, zaranda, hidrociclones, sistema de bombeo de pulpa) corresponden básicamente al mal funcionamiento de límites de proceso excedidos, estas provocan detenciones de forma individual o bien de forma secuencial de la planta.

Tabla 3-16

Set point y alarmas de instrumentos - 4110

ÍTEM	TAG	UND.	SET POINT	ALARMS			
				LL	L	H	HH
Transporte de pulpa	4110-FIT-00001	m3/h	25	-	-	-	28
	4110-FIT-00101	m3/h	110	-	-	-	125
	4110-LIT-00102	%	-	0.10	0.20	0.8	0.9
	4110-PIT-00201	PSI	43	-	-	-	64
	4110-DIT-00201	kg/m3	1460	-	-	-	-
	4110-FIT-00201	m3/h	856	-	-	-	984
	4110-LSH-00308	%	-	-	-	0.8	-
SISTEMA DE MOLINO DE BOLAS	4110-FIT-00001	m3/h	25	-	-	-	28
	4110-FIT-00101	m3/h	110	-	-	-	125
	4110-LIT-00102	%	-	0.10	0.20	0.8	0.9
	4110-PIT-00201	PSI	43	-	-	-	64
	4110-DIT-00201	kg/m3	1460	-	-	-	-
	4110-FIT-00201	m3/h	856	-	-	-	984
	4110-LSH-00308	%	-	-	-	0.8	-

(Elaboración propia)

### 3.7.4 Enclavamientos y permisivos

#### - Sistema del Molino de bolas 4110-MIL101

- 1 Molino de bolas - Motor principal 4110-MIL125B
- 2 Válvula de control de flujo de agua de proceso FV-00001
- 3 Molino de bolas - Soplador de motor principal 4110-MIL125C
- 4 Reductor de molino de bolas – 4110-RED125B
- 5 Ventilador del reductor molino de bolas – 4110-RED125C
- 6 Bomba sumidero 4110-PPS050

Tabla 3-17

Enclavamientos y permisivos del proceso 4110 -1

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	PERMISIVO	ENCLAVAMIENTO
1	El motor no puede arrancar ni funcionar si alguna de las temperaturas del cojinete del muñón de descarga es alta (TAH-00003A/B).	X	X
	El motor no puede arrancar ni funcionar si alguna de las temperaturas del cojinete del muñón de alimentación es alta (TAH-00002A / B).	X	X
	El motor no puede arrancar ni funcionar si alguna de las temperaturas del cojinete del piñón es alta (TAH-00004 o -00005).	X	X

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	PERMISIVO	ENCLAVAMIENTO
	El motor no puede arrancar ni funcionar si la llave Kirk está puesta (activada), lo que aísla el arrancador del motor.	X	X
	El motor no puede arrancar ni funcionar si la unidad de avance lento está funcionando.	X	X
	El motor no puede arrancar ni funcionar si hay una falla en el sistema de lubricación (consulte la Tabla de enclavamiento del molino de bolas - Sistema de lubricación).	X	X
	El motor se detiene si hay una falla de rociado de engranajes que no se corrige dentro de los 30 minutos (4110- GSP125). Un error puede ser causado por: •Baja presión de aire. •Nivel bajo en el tambor de grasa. •Número insuficiente de ciclos de lubricación en el tiempo de pulverización. •Pérdida de memoria del controlador o fallo de la batería.	-	X
2	La válvula se cierra cuando el motor del molino de bolas se detiene	-	X
3	El soplador arranca cuando arranca el motor principal y se detiene cuando se detiene el motor principal del molino (4110-MIL125B).	-	X
4	La bomba de aceite arranca cuando arranca el motor principal y se detiene cuando el motor principal del molino se detiene (4110-MIL125B).	-	X
5	El ventilador reductor arranca cuando el motor principal arranca y se detiene cuando se detiene el motor principal del molino (4110-MIL125B).	-	X
6	La bomba se detiene cuando el nivel en el sumidero es baja (LAL-00005).	-	X
	La bomba arranca cuando el nivel en el sumidero es	-	X

(Elaboración propia)

- **Sistema de lubricación del Molino de bolas 4110-MIL101**

- ❖ Molino de bolas - Motor principal 4110-MIL125B
- ❖ Bomba de lubricante de bombas presión alta 4110-LUB125A@B

Tabla 3-18

Enclavamientos y permisos del proceso 4110 -2

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	PERMISIVO	ENCLAVAMIENTO
1	El motor no puede arrancar ni funcionar si alguno de los alimentadores o aceite de alta presión con cojinete de muñón de descarga presiones es baja (PAL-00511 a 00514).	X	X
	El motor no puede arrancar ni funcionar si alguno de los alimentadores o aceite de	X	X

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	PERMISIVO	ENCLAVAMIENTO
	alta presión con cojinete de muñón de descarga caudales bajos (FAL-00511 a 00514).		
	El motor no puede arrancar ni funcionar si alguno de los cojinetes del muñón de alimentación o descarga de baja presión (inundación) los caudales de petróleo son bajos (FAL-00515 o -00516).	X	X
	El motor no puede arrancar ni funcionar si alguno de los caudales de aceite a baja presión del cojinete de piñón es bajos (FAL-00519 o -00520).	X	X
	El motor no puede arrancar ni funcionar a menos que una de las bombas de lubricación de alta presión ha estado funcionando durante tres minutos. La bomba se detiene (4110-LUB125A o -LUB125B).	X	X
2	La bomba de lubricante de baja presión no puede arrancar si la presión de suministro es baja (PAL-0597).	-	X
	La bomba de lubricante de baja presión no puede arrancar a menos que una de las bombas de baja presión están funcionando (4110-LUB125C o -LUB125D).	-	X

(Elaboración propia)

- **Sistema de clasificación**

- ❖ 1 Succión de la bomba de alimentación de hidrociclones
- ❖ 2 Bomba de alimentación de hidrociclones
- ❖ 3 Descarga de bomba de alimentación de hidrociclones
- ❖ 4 Válvulas de zaranda de clasificación

Tabla 3-19

Enclavamientos y permisivos del proceso 4110 -3

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	PERMISIVO	ENCLAVAMIENTO
1	La válvula de succión se abre cuando se inicia una bomba se inicia y se cierra cuando la bomba se detiene.	-	X
2	La bomba no puede arrancar ni funcionar si el nivel del cajón de las bombas de alimentación es bajo (LAL-00102).	X	X
	La bomba no puede arrancar ni funcionar si la válvula de succión está cerrada (XV-00103A).	X	X
	La bomba se detiene si la densidad de descarga es alta (DAH-00201).	-	X
	La bomba se detiene si la presión de descarga es alta (PAH-00201).	-	X
3	La válvula se abre cuando se inicia el arranque de la bomba y se cierra cuando la bomba se detiene (4110-PPP130A).	X	X

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	PERMISIVO	ENCLAVAMIENTO
4	La válvula no se puede abrir si la zaranda no se está funcionando 4110-SCR135.	X	X
5	La válvula se abre si la zaranda no se está funcionando 4110-SCR135.	X	X

(Elaboración propia)

### 3.7.5 Lazos de control

- **Control de alimentación de agua a molino:** El propósito del control de proporción de flujo de agua al molino de bolas es mantener la densidad adecuada de la pulpa en el molino de bolas añadiendo agua de proceso en la proporción adecuada al mineral alimentado.
- **Control de densidad en alimentación a ciclones:** El propósito de controlar la densidad de alimentación del hidrociclón es controlar el tamaño de partícula en el rebose de la pulpa que va al espesador y al circuito CIL subsecuente.
- **Control de nivel en cajón de alimentación de ciclones:** El propósito del lazo de control de nivel de la caja de bombas de alimentación del ciclón es mantener condiciones de operación estables para los ciclones y evitar el desbordamiento de la caja de bombas. Esto se logra modulando automáticamente las velocidades de las bombas de alimentación del ciclón. Hay dos bombas de alimentación del ciclón (4110-PPP130A y -130B), una en operación y la otra en espera.

Tabla 3-20

Lazo de control - 4110

LAZO DE CONTROL	COMPONENTE	FUNCIÓN	CV	SP	PV
Alimentación de agua a molino	Modo de control por razón	El flujo de agua de proceso varía basado en el tonelaje de mineral alimentado al molino según un punto de ajuste de proporción ingresado por el operador.	FY/FV-00105	Punto de control de WIC-00105	WIT-00105
	Modo Automático	El operador ingresa manualmente un punto ajustado para el flujo deseado del agua de proceso. El controlador ajusta la apertura de la válvula para que el flujo coincida con el punto ajustado.	FY/FV-00001	Por el operador	FE-00001 / FIT-00001

LAZO DE CONTROL	COMPONENTE	FUNCIÓN	CV	SP	PV
Control de densidad en alimentación a ciclones	Modo Cascada	La densidad de la pulpa se mide (DE/DIT-00201) y se ajusta el flujo de agua (FE/FIT-00101) mediante la válvula (FV-00101).	FV-00101	Punto remoto proporcionado por DIC-00201	DE/DIT-00201
	Modo Automático	El flujo de agua se mide (FE/FIT-00101) y se ajusta mediante la válvula (FZ/FV-00101) según el punto ajustado ingresado por el operador.	FZ/FV-00101	Punto ajustado ingresado por el operador	FE/FIT-00101
Control de nivel en cajón de alimentación de ciclones	Modo Automático	Nivel de pulpa en la caja de bombas, medido por el sensor de nivel	LE-00102	Ingresado por el operador LIC-00102	Velocidad de las bombas de alimentación del ciclón SIC-00101

(Elaboración propia)

### 3.7.6 Secuencia de arranque

#### 1. Arranque inicial

- Realizar la inspección preoperacional por parte del Operador. Verificar permisos del sistema y se debe asegurar que el Espesador de Molienda (4125-THK160) esté funcionando.
- Se debe asegurar que no haya alarmas en el sistema de lubricación del molino de bolas. **(Permisivos ok)**
- Iniciar la zaranda de Hidrociclones de O/F (4110-SCR135) en modo manual.
- Ajustar manualmente el flujo de agua de proceso de alta presión a la zaranda usando una válvula de globo manual. Limpieza y operación óptima del equipo.
- Se debe asegurar que el controlador de densidad de alimentación del ciclón (DIC-00201) esté en modo Manual. Ajustar la salida del controlador para abrir la válvula al 100% y maximizar el flujo de agua en la caja de bombas.

- Se debe asegurar que el controlador de nivel de la caja de bombas de alimentación de hidrociclones (LIC-00102) esté en modo Manual con una salida del 75%.
- Cuando el nivel en la caja de bombas de alimentación de hidrociclones alcance al menos el 40%, iniciar la bomba de alimentación de ciclones seleccionada (4110-PPP130A o -PPP130B).
- El operador de campo confirma que las válvulas de drenaje y lavado de la caja de bombas y la bomba están cerradas.
- También se debe confirmar que las válvulas de aislamiento de la bomba se han abierto, luego la bomba arranca y hay una indicación de aumento del caudal de agua a través de la línea de alimentación del ciclón.
- Si se cumplen todas las condiciones de enclavamiento permisivo de arranque del motor, el motor arranca.
- Iniciar el Molino de Bolas (4110-MIL125).
- Ingresar el punto de ajuste de la relación de flujo requerida en el controlador de indicación de relación de flujo de agua de proceso (FIC-00001) y colocar el controlador en modo Automático.
- La válvula de control de flujo no se abre hasta que el mineral pase por la faja transportadora – Mineral de tamaño mediano (3145-CVB115), su valor es obtenido de la balanza de peso (3145-SCA130).
- Proceder con el arranque del circuito de Lavado.

## **2. Arranque luego de una parada de emergencia o presencia de interlock**

- Determinar la causa del paro de emergencia y corregir la condición. Verificar los enclavamientos del proceso del sistema.
- Si la zaranda – Hidrociclones de O/F (4110-SCR135) se apagó, realizar las siguientes acciones luego de levantar las alarmas de 2.1:
- Se debe asegurar que el espesador de molienda esté funcionando y pueda recibir alimentación.

- Se debe asegurar que las tolvas de sobre tamaño y bajo tamaño de la zaranda– Hidrociclones de O/F (4110-SCR135) estén despejadas. Iniciar zaranda.
- Se debe asegurar que el controlador de densidad de alimentación del ciclón (DIC-00201) esté en modo Manual.
- Ajustar la salida del controlador para abrir la válvula al 100% y maximizar el flujo de agua en la caja de bombas.
- Se debe asegurar que el controlador de nivel de la caja de bombas de alimentación de hidrociclones (LIC-00102) esté en modo Manual con una salida del 75%. Cuando el nivel en la caja de bombas de alimentación de hidrociclones alcance al menos el 40%, iniciar la bomba de alimentación de ciclones seleccionada (4110-PPP130A o -PPP130B).
- Se debe asegurar que la Bomba de sumidero– Área de Lavado (3145-PPP050) esté limpiando cualquier derrame del piso.
- Se debe asegurar que los sistemas de lubricación del molino de bolas estén funcionando. Iniciar el Molino de Bolas (4110-MIL125).
- Ingresar el punto de ajuste de la relación de flujo requerida en el controlador de indicación de relación de flujo de agua de proceso (FIC-00001) y colocar el controlador en modo Automático.
- Proceder con el arranque del circuito de Lavado.

### 3.7.7 Secuencia de parada

#### 1. Parada total del proceso

- Coordinar el plan de apagado con los operadores de planta de las otras áreas (3140 y 3145). Se debe mantener una comunicación constante.:
- Reducir la densidad del molino SAG o Scrubber al 60%, 20 minutos antes del apagado, usando el controlador (FIC-00001) para eliminar partículas finas.
- Cambiar los lazos de control a modo manual y ajustar el valor automático, 1 minutos antes del apagado. Aplica para:

- Densidad de hidrociclones (4110-DIC-00201).
- Flujo de agua del molino (4110-FIC-00001)
- Nivel de la caja de la bomba (4110-LIC-00102).
- Apagar al molino SAG (Scrubber) y su zaranda de descarga.
- Descargar el material restante del transportador y la criba.
- Mantener al molino de bolas y la bomba de alimentación de ciclones en funcionamiento hasta alcanzar 15-20% de sólidos.
- Escuchar el aumento de ruido como indicativo para apagar, coordinar con operario en planta.
- Detener el molino de bolas (4110-MIL125).
- Cerrar la adición de agua al ciclón y el agua del trómel.
- Cuando el nivel de la caja de la bomba alcanza el 10%, detener las bombas de hidrociclones, abre el drenaje y enjuaga si es necesario.
- Detener la zaranda de hidrociclones y limpiar el filtro de residuos.
- Abrir la válvula de drenaje del muestreador y asegurar el cubo de muestras.
- Cambiar la bomba de sumidero a modo manual y apágala.
- Detener las bombas de lubricante y cerrar el agua de enfriamiento.
- Apagar los calentadores del depósito de aceite, si el apagado es prolongado.

## **2. Parada de emergencia**

- Informar al operador de la sala de control y al operador de campo sobre la emergencia, asegurando que ambos estén al tanto de la situación.
- Analizar la emergencia. Si se prevé que la situación dure más de unos minutos, proceder a apagar la línea de molienda siguiendo las pautas establecidas en 1 para un apagado completo o en espera.
- Detener la zaranda de hidrociclones O/F (4110-SCR135) y Se debe asegurar que la bomba de alimentación de los hidrociclones y el molino de bolas se detengan automáticamente a través del sistema de enclavamiento.

- Apagar todos los flujos de agua que se controlan manualmente dentro del circuito del molino, asegurando que no haya entradas de agua innecesarias.
- Ajustar el controlador de relación de flujo de agua de dilución del molino de bolas (FFIC-00001) a modo Manual con una salida de cero, y cerrar las válvulas de aislamiento manualmente para asegurar que el flujo de agua esté completamente detenido.

### **3. Parada luego de un corte de energía**

- Se debe determinar la causa del corte de energía y estimar el tiempo necesario para el restablecimiento del suministro eléctrico. Si la energía no se restablece de inmediato y el circuito de molienda no puede reiniciarse de manera inmediata, se deben cerrar todos los flujos de agua. Esto incluye cerrar todas las válvulas de aislamiento de las válvulas de control en sus respectivos puntos de uso. Además, es importante atender cualquier fuga de agua que pueda presentarse durante este tiempo.
- Se debe inspeccionar el circuito de molienda para Se debe asegurar que no existan condiciones inseguras que necesiten ser abordadas antes de la reactivación. Prepararse para reiniciar la planta según lo descrito en la Sección 1, que detalla la puesta en marcha desde un apagado completo o en espera.

## 3.8 Estrategias de control en espesamiento de molienda (WBS 4125)

### 3.8.1 Descripción general

El espesador de molienda (4125-THK160) es operado mediante un gabinete de control que forma parte del equipo vendor 4125-PCC101, el cual incluye un controlador programable con protocolo Ethernet/IP. El mecanismo del espesador consiste en una rastra accionada por un motor hidráulico, que permite sedimentar las partículas hacia el cono U/F. Este motor es impulsado por una unidad de potencia hidráulica, que consta de un depósito de aceite con detector de nivel y un diferencial de presión en el filtro de aceite para detectar suciedad en las líneas hidráulicas. El sensor de nivel de la interfaz mide la

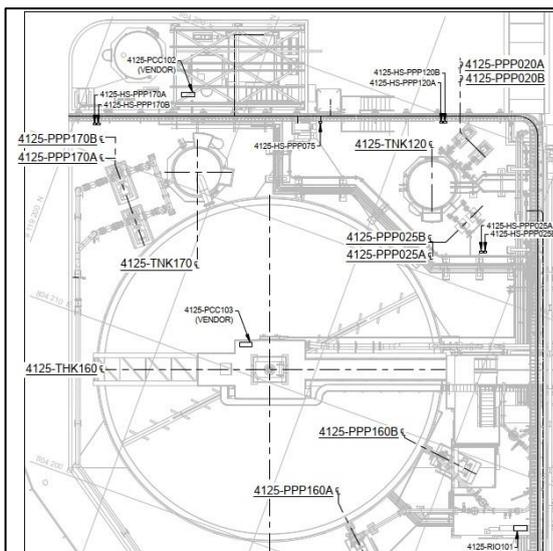
diferencia entre el agua recuperada y la cama de lodo formada, controlando el giro de la rastra mediante el controlador. En el cono del espesador se encuentra un transmisor de presión que mide el nivel de la cama de lodo.

Las bombas U/F del espesador de molienda (4125-PPP160A/B) requieren agua de sello para su operación, donde se tiene un juego de solenoide, el cual habilita la línea del proceso, y un interruptor de flujo en bajo para detectar algún fallo en la tubería del proceso. El flujo másico transportado por estas bombas se mide mediante los sensores de flujo sonar 4125-FIT-00101 y el densímetro nuclear 4125-DIT-00101, donde se realiza un cálculo que incluye la cantidad de sólidos del sistema utilizando una balanza Darcy.

El sistema de espesamiento incluye una estación de floculante donde se prepara el reactivo para ser transportado al espesador mediante bombas dosificadoras. Este paquete mecánico incluye un gabinete de control 4125-PCC102, que se comunica mediante el protocolo Ethernet/IP con el controlador principal del proceso.

Las señales de la instrumentación empleada en los sistemas de bombeo de pulpa y agua se envían al gabinete remoto I/O 4125-RIO001, permitiendo también la comunicación de los gabinetes electroneumáticos mediante el protocolo Ethernet/IP.

Figura 3-26  
Distribución de equipos en área 4125 -2



(Elaboración propia)

### 3.8.2 Instrumentación del proceso

La distribución de instrumentos en la zona de molienda de mineral se presenta de la siguiente manera:

- Instrumentos del proceso
- Instrumentos del Espesador de molienda y la planta de floculante

Tabla 3-21

Instrumentación - 4125

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
1	4125-ZIT-00001	TRANSMISOR DE POSICIÓN	TRANSMISOR DE POSICIÓN DE RASTRA	4125-THK160
2	4125-ZSH-00001	INTERRUPTOR DE POSICIÓN	POSICIÓN DE RASTRILLO DE ALTO NIVEL	4125-THK160
3	4125-ZSL-00001	INTERRUPTOR DE POSICIÓN	POSICIÓN DEL RASTRILLO NIVEL BAJO	4125-THK160
4	4125-LE-00001A	SENSOR DE NIVEL DE SÓNAR	MEDICIÓN DE NIVEL EN ESPESADOR	4125-THK160
5	4125-LIT-00001A	TRANSMISOR DE NIVEL DE SONAR	CONTROL DE NIVEL EN ESPESADOR	4125-THK160
6	4125-AE-00001	SENSOR DE PH	MEDICIÓN DE PH EN ESPESANTE	4125-THK160
7	4125-AIT-00001	ANALIZADOR / TRANSMISOR DE pH	MONITORIZACIÓN DE PH EN ESPESANTE	4125-THK160
8	4125-PIT-00001	TRANSMISOR DE PRESIÓN CON DIAFRAGMA	CONTROL DE PRESIÓN EN EL ESPESADOR U/F	4125-THK160
9	4125-XV-00006	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPESANTE U/F DE LAVADO	4125-PW-3"-C512B-435
10	4125-XV-00003A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPESADOR U/F BOMBA DE ALIMENTACIÓN "A"	4125-PPS-8"-J510U-213
11	4125-XV-00004A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPESADOR U/F BOMBA "A" LAVADO DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	4125-PW-3"-C512B-437
12	4125-XV-00005A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPESADOR U/F BOMBA "A" DRENAJE DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	4125-PPS-8"-J510U-213
13	4125-XV-00003B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPESADOR U/F BOMBA DE ALIMENTACIÓN "B"	4125-PPS-8"-J510U-215
14	4125-XV-00004B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPESADOR U/F BOMBA "B" LAVADO DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	4125-PW-3"-C512B-436
15	4125-XV-00005B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPESADOR U/F BOMBA "B" DRENAJE DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	4125-PPS-8"-J510U-215
16	4125-FSL-00102A	DETECTOR DE BAJO CAUDA	LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DEL AGUA DE SELLADO DEL PRENSAESTOPAS AL ESPESADOR U/F BOMBA 4125-PPP160A	4125-GW-1 1/2"-C512B-606
17	4125-PIT-00102A	TRANSMISOR DE PRESIÓN	CONTROL DE LA PRESIÓN EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DEL AGUA DE SELLADO DEL PRENSAESTOPAS AL	4125-GW-1 1/2"-C512B-606

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
			ESPEADOR U/F BOMBA 4125-PPP160A	
18	4125-PG-00101A	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA ESPEADORA U/F 4125-PPP160A	4125-PPS-8"-J512U-214
19	4125-FSL-00102B	DETECTOR DE BAJO CAUDAL	LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DEL AGUA DE SELLADO DEL PRENSAESTOPAS AL ESPEADOR U/F BOMBA 4125-PPP160B	4125-GW-1 1/2"-C512B-603
20	4125-PG-00102B	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DEL AGUA DE SELLADO DEL PRENSAESTOPAS A LA BOMBA ESPEADORA U/F 4125-PPP160B	4125-GW-1 1/2"-C512B-603
21	4125-PIT-00102B	TRANSMISOR DE PRESIÓN	CONTROL DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DEL AGUA DE SELLADO DEL PRENSAESTOPAS AL ESPEADOR U/F PUMP 4125-PPP160B	4125-GW-1 1/2"-C512B-603
22	4125-PIT-00101	TRANSMISOR DE PRESIÓN CON DIAFRAGMA	CONTROL DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS ESPEADORAS U/F 4125-PPP160A/B	4125-PTS-8"-J510U-214
23	4125-DX-00101	FUENTE NUCLEAR	FUENTE PARA LA MEDICIÓN DE LA DENSIDAD	4125-PTS-8"-J510U-214
24	4125-DE-00101	SENSOR DE DENSIDAD NUCLEAR	MEDICIÓN DE LA DENSIDAD EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS ESPEADORAS U/F 4125-PPP160A/B	4125-PTS-8"-J510U-214
25	4125-DIT-00101	TRANSMISOR DE DENSIDAD NUCLEAR	CONTROL DE DENSIDAD EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS ESPEADORAS U/F 4125-PPP160A/B	-
26	4125-FE-00101	SENSOR DE CAUDAL MAGNÉTICO	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS ESPEADORAS U/F 4125-PPP160A/B	4125-PTS-8"-J510U-214
27	4125-FIT-00101	TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	CONTROL DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS ESPEADORAS U/F 4125-PPP160A/B	-
28	4125-LSHL-00110	INTERRUPTOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	NIVEL EN SUMIDERO	4125-PPS-075
29	4125-PG-00110	MANÓMETRO CON DIAFRAGMA	PROTECCIÓN DE LA BOMBA DE SUMIDERO	4125-DPP-4"-J510U-273
30	4125-LSHL-00111	INTERRUPTOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	NIVEL EN SUMIDERO	4125-PPS-076
31	4125-PG-00111	MANÓMETRO CON DIAFRAGMA	PROTECCIÓN DE LA BOMBA DE SUMIDERO	4125-DPP-4"-J510U-274
32	4125-XV-00101A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA ESPEADOR U/F "A"	4125-PPS-8"-J510U-214
33	4125-SV-00102A	VÁLVULA SOLENOIDE	ESPEADOR U/F BOMBA "A" JUNTA DE PRENSAESTOPAS AGUA	4125-GW-1 1/2"-C512E-604

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
34	4125-XV-00103A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPEADOR U/F BOMBA "A" DE DESCARGA DE LAVADO	4125-PW-3"-C512B-419
35	4125-XV-00101B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA ESPEADORA U/F "B"	4125-PTS-8"-J510U-216
36	4125-SV-00102B	VÁLVULA SOLENOIDE	ESPEADOR U/F BOMBA "B" JUNTA DE PRENSAESTOPAS AGUA	4125-GW-1 1/2"-C512E-603
37	4125-XV-00103B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPEADOR U/F BOMBA "B" LAVADO DE LA LÍNEA DE DESCARGA	4125-PW-3"-C512B-420
38	4125-XV-00104	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPEADOR U/F BOMBAS LÍNEA DE DESCARGA DRENAJE	4125-PPS-8"-J510U-214
39	4125-XV-00105	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPEADOR U/F BOMBAS DE DESCARGA LÍNEA DE DESCARGA LAVADO	4125-PW-3"-C512B-433
40	4125-XV-00106A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPEADOR U/F A CIL LÍNEA DE CAJA DE ALIMENTACIÓN	4125-PPS-8"-J510U-214
41	4125-XV-00106B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	LÍNEA DE RETORNO DEL ESPEADOR U/F	4125-PPS-8"-J510U-217
42	4125-XV-00107A	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	ESPEADOR U/F A CIL LAVADO DE LA LÍNEA DE LA CAJA DE ALIMENTACIÓN	4132-PLG-6"-C512B-018
43	4125-XV-00107B	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	LAVADO DE LA LÍNEA DE RETORNO DEL ESPEADOR U/F	4125-PW-3"-C512B-431
44	4125-LSHL-00206	INTERRUPTOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	NIVEL EN SUMIDERO	4125-PPS080
45	4125-PG-00206	MANÓMETRO CON DIAFRAGMA	PROTECCIÓN DE LA BOMBA DE SUMIDERO	4125-DPP-2"-C512B-275
46	4125-FSH-00207	INTERRUPTOR DE FLUJO	USO DE LA ALARMA DE DUCHA O LAVAOJOS	4125-EYW001
47	4125-PIT-00214	TRANSMISOR DE PRESIÓN	CONTROL DE LA PRESIÓN DEL AGUA DULCE	4125-WFF-2"-C512B-003
48	4125-XV-00208	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	TANQUE DE AGUA DE DILUCIÓN	4125-WFF-2"-C512B-001
49	4125-LT-00210	TRANSMISOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	CONTROL DE NIVEL EN 4125-TNK010	4125-TNK010
50	4125-LSLL-00212	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO	NIVEL DE SEGURIDAD EN 4125-BIN010	4125-BIN010
51	4125-SE/ SSL-00213	INTERRUPTOR DE VELOCIDAD	VELOCIDAD DE SEGURIDAD EN 4125-FEE010	4125-BIN010
52	4125-XV-00217	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	TANQUE DE AGUA DE DILUCIÓN	4125-WFF-2"-C512B-003
53	4125-LT-00211	TRANSMISOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	CONTROL DE NIVEL EN 4125-TNK012	4125-TNK012
54	4125-FE/FIT-00215	SENSOR Y TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	MEDICIÓN DE CAUDAL DE AGUA DULCE	4125-RFL-1"-R510I-014
55	4125-FE/FIT-00217	SENSOR Y TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	MEDICIÓN DEL CAUDAL DEL AGUA DE DILUCIÓN	4125-WFF-3"-C512B-006
56	4125-FV-00217	VÁLVULA MODULANTE NEUMÁTICA	TANQUE DE AGUA DE DILUCIÓN	4125-WFF-3"-C512B-006

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
57	4125-LE-00301	SENSOR DE NIVEL HIDROSTÁTICO	MEDICIÓN DE NIVEL EN TANQUE DE AGUA DE PROCESO	4125-TNK030
58	4125-LIT-00301	TRANSMISOR DE NIVEL HIDROSTÁTICO	CONTROL DE NIVEL EN EL TANQUE DE AGUA DE PROCESO	4125-TNK030
59	4125-PG-00302A	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA DE AGUA DE PROCESO DE ALTA PRESIÓN 4125-PPP031A	4125-PW-3"-C512B-423
60	4125-PG-00302B	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA DE AGUA DE PROCESO DE ALTA PRESIÓN 4125-PPP031B	4125-PW-3"-C512B-453
61	4125-PIT-00302	TRANSMISOR DE PRESIÓN	CONTROL DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE AGUA DE PROCESO DE ALTA PRESIÓN 4125-PPP031A/B	4125-PW-3"-C512B-423
62	4125-FE-00302	SENSOR DE CAUDAL MAGNÉTICO	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE PROCESO DE ALTA PRESIÓN 4125-PPP031A/B	4125-PW-3"-C512B-423
63	4125-FIT-00302	TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	CONTROL DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE AGUA DE PROCESO DE ALTA PRESIÓN 4125-PPP031A/B	4125-PW-3"-C512B-423
64	4125-PG-00303A	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA DE AGUA DE PROCESO 4125-PPP030A	4125-PW-10"-C512B-406
65	4125-PG-00303B	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA DE AGUA DE PROCESO 4125-PPP030B	4125-PW-10"-C512B-451
66	4125-PIT-00303	TRANSMISOR DE PRESIÓN	CONTROL DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE PROCESO 4125-PPP030A/B	4125-PW-10"-C512B-406
67	4125-FE-00303	SENSOR DE CAUDAL MAGNÉTICO	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE PROCESO DE ALTA PRESIÓN 4125-PPP030A/B	4125-PW-10"-C512B-406
68	4125-FIT-00303	TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	CONTROL DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE BOMBAS DE AGUA DE PROCESO DE ALTA PRESIÓN 4125-PPP030A/B	4125-PW-10"-C512B-406
69	4125-LV-00401	VÁLVULA NEUMÁTICA DE ON/OFF	LLENADO DEL TANQUE DE AGUA DE SERVICIO	4125-WRR-3"-C512B-531
70	4125-FE-00401	SENSOR DE CAUDAL MAGNÉTICO	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DESDE LAS BOMBAS DEL ESTANQUE DE PULIDO HASTA EL DEPÓSITO DE AGUA DE SERVICIO 4125-TNK020	4125-WRR-3"-C512B-531
71	4125-FIT-00401	TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	CONTROL DEL CAUDAL EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	N.A

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
			DESDE LAS BOMBAS DEL ESTANQUE DE PULIDO HASTA EL DEPÓSITO DE AGUA DE SERVICIO 4125-TNK020	
72	4125-LE-00401	SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	MEDICIÓN DE NIVEL EN TANQUE DE AGUA DE SERVICIO	4125-TNK020
73	4125-LIT-00401	TRANSMISOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	CONTROL DE NIVEL EN EL TANQUE DE AGUA DE SERVICIO	4125-TNK020
74	4125-PG-00402A	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA DE AGUA DE SERVICIO 4125-PPP020A	4125-WRR-4"-C512B-535
75	4125-PG-00402B	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA DE AGUA DE SERVICIO 4125-PPP020B	4125-WRR-4"-C512B-537
76	4125-PIT-00402	TRANSMISOR DE PRESIÓN	CONTROL DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE SERVICIO 4125-PPP020A/B	4125-WRR-4"-C512B-535
77	4125-FE-00402	SENSOR DE CAUDAL MAGNÉTICO	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE SERVICIO 4125-PPP020A/B	4125-WRR-4"-C512B-535
78	4125-FIT-00402	TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	CONTROL DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE SERVICIO 4125-PPP020A/B	N.A
79	4125-PG-00501A	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA DE AGUA DE JUNTA DE PRENSAESTOPAS 4125-PPP025A	4125-GW-1 1/2"-C512B-603
80	4125-PG-00501B	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA DE AGUA DE JUNTA DE PRENSAESTOPAS 4125-PPP025B	4125-GW-1 1/2"-C512B-605
81	4125-FE-00501	SENSOR DE CAUDAL MAGNÉTICO	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE JUNTA DE PRENSAESTOPAS 4125-PPP025A/B	4125-GW-1 1/2"-C512B-603
82	4125-FIT-00501	TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	CONTROL DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE JUNTA DE PRENSAESTOPAS 4125-PPP025A/B	N.A
83	4125-PIT-00501	TRANSMISOR DE PRESIÓN	CONTROL DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE JUNTA DE PRENSAESTOPAS 4125-PPP025A/B	4125-GW-1 1/2"-C512B-603
84	4125-LE-00601	SENSOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	MEDICIÓN DE NIVEL EN EL TANQUE DE ESPESAMIENTO O F DE MOLIENDA	4125-TNK170
85	4125-LIT-00601	TRANSMISOR DE NIVEL ULTRASÓNICO	CONTROL DE NIVEL EN EL TANQUE DE O/F DEL ESPESADOR DE MOLIENDA	4125-TNK170
86	4125-PG-00602A	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA O/F DEL	4125-PW-10"-C512B-403

ITEM	TAG DE INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO	EQUIPO / NÚMERO DE LÍNEA
			ESPEADOR DE MOLIENDA 4125-PPP170A	
87	4125-PG-00602B	MANÓMETRO	INDICADOR DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LA BOMBA O/F DEL ESPEADOR DE MOLIENDA 4125-PPP170B	4125-PW-10"-C512B-447
88	4125-PIT-00602	TRANSMISOR DE PRESIÓN	CONTROL DE LA PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS O/F DEL ESPEADOR DE MOLIENDA 4125-PPP170A/B	4125-PW-10"-C512B-403
89	4125-FE-00602	SENSOR DE CAUDAL MAGNÉTICO	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE ESPESAMIENTO DE MOLIENDA O/F 4125-PPP170A/B	4125-PW-10"-C512B-403
90	4125-FIT-00602	TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	CONTROL DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS O/F DEL ESPEADOR DE MOLIENDA 4125-PPP170A/B	4125-PW-10"-C512B-403
91	4125-PIT-00701	TRANSMISOR DE PRESIÓN	CONTROL DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE PROCESO DE ALTA PRESIÓN 4125-PPP032A/B	4125-PW-6"-C512B-441
92	4125-FE-00701	SENSOR DE CAUDAL MAGNÉTICO	MEDICIÓN DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE PROCESO DE ALTA PRESIÓN 4125-PPP032A/B	4125-PW-6"-C512B-441
93	4125-FIT-00701	TRANSMISOR DE FLUJO MAGNÉTICO	CONTROL DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE AGUA DE PROCESO DE ALTA PRESIÓN 4125-PPP032A/B	4125-PW-6"-C512B-441

(Elaboración propia)

### 3.8.3 Alarmas del sistema

Las alarmas definidas para el sistema de control de la planta de espesamiento (Espesador, preparación de floculante, procesos) corresponden básicamente al mal funcionamiento o límites de proceso excedidos, estas provocan detenciones de forma individual o bien de forma secuencial de la planta.

Tabla 3-22

Setpoints y alarmas del Espesador 4125

SISTEMA DE ESPESAMIENTO						
Tag instrumento	Unidad	SP	LL	L	H	HH
4125-LIT-00001	%		0.1	0.2	0.8	0.9
SISTEMA DE FLOCULANTE						
4125-LIT-00001	%		0.1	0.2	0.8	0.9

SISTEMA DE TRANSPORTE DE PULPA						
LPL4125-LIT-00001	%		0.1	0.2	0.8	0.9
4125-FSL-00102A@B	m³/h			3		
4125-DIT-00101	kg/m³	1450				
4125-PIT-00101	psi	93				140
4125-FIT-00101	m³/h	218				250

(Elaboración propia)

### 3.8.4 Enclavamientos y permisivos

#### - Sistema del espesador 4125-TH101

- 1 Mecanismo de bomba hidráulica de accionamiento para rastra de espesador
- 2 Mecanismo de actuadores hidráulicos de elevación de rastra

Tabla 3-23

Enclavamientos y permisivos del espesador

ÍTEM	CONDICIÓN	ENCLAVAMIENTO	PERMISIVO
1	El motor de accionamiento de la unidad de potencia hidráulica (HPU) de la rastra no puede arrancar ni funcionar si la medición del sensor de par es alta-alta (PT-001A).		
	El motor de accionamiento de HPU del rastrillo no puede arrancar ni funcionar si el nivel de aceite lubricante en el depósito es bajo o bajo-bajo (LSL / LIT-TH001).		
	El motor de accionamiento HPU del rastrillo no puede arrancar ni funcionar si la temperatura del aceite lubricante en el depósito es alta-alta (TIT-TH001).		
2	Los actuadores hidráulicos de elevación de rastrillo no pueden arrancar ni funcionar para levantar los rastrillos si se alcanza el límite superior (ZSH-TH001).		
	Los actuadores hidráulicos del elevador de rastrillo no pueden arrancar ni funcionar para bajar los rastrillos si se alcanza el límite inferior (ZSL-TH001).		
	Los actuadores hidráulicos de elevación de rastrillo comienzan a levantar los rastrillos cuando el par alcanza el 30 por ciento y bajan cuando el par alcanza el 28 % (PT-TH001A).		

- **Sistema de bombeo del espesador**

- ❖ 1 Bomba de sumidero
- ❖ 2 Bomba UF de espesador de molienda 4125-PPP160A
- ❖ 3 Agua de sello SV-00102A para bomba UF espesador de molienda
- ❖ 4 Válvula de recirculación XV-00106B
- ❖ 5 Válvula de succión de Bomba U/F (XV-00003A)

Tabla 3-24

Enclavamientos y permisivos del sistema de bombeo

ÍTEM	CONDICIÓN	ENCLAVAMIENTO	PERMISIVO
1	La bomba arranca si el nivel en el nivel del sumidero del área del espesador de molienda es alto (LAH-00110).	X	
	La bomba se detiene si el nivel en el nivel del sumidero del área del espesador de molienda es bajo (LAL-00110).	X	X
2	La bomba no puede arrancar ni funcionar si el flujo de agua del sello es bajo (FAL-00102A).	X	X
3	La válvula de agua de sello se abre cuando se inicia la puesta en marcha de la bomba de flujo inferior espesador de molienda 4125-PPP160A y se cierra cuando se apaga la bomba.		X
4	La válvula se abre si la válvula de alimentación CIL (XV-00106A) está cerrada y se cierra si se abre la válvula de alimentación CIL.	X	X
	La válvula se abre si la densidad es baja (DIC-00101) y se cierra si la densidad es alta (DIC-00101).	X	
5	La válvula se abre cuando se inicia el arranque de la bomba y se cierra cuando la bomba se detiene.	X	

(Elaboración propia)

- **Sistema de preparación de floculante**

- ❖ 1 Tolva de alimentación
- ❖ 2 Alimentación de agua fresca

3 Transportador de tornillo

4 Tanque de preparación 4125-TNK015

Tabla 3-25

Enclavamientos y permisivos de la planta de floculante

ÍTEM	CONDICIÓN	ENCLAVAMIENTO	PERMISIVO
1	Despliegue en HMI, indicándole al operador cargar la tolva y detención de tornillo 4125-FEE010. genera alarma de bajo nivel en tolva 4125-BIN010 ( <b>4125-LSLL-00209</b> ).	X	
2	Se presenta una alta presión ( <b>PAHH-00214</b> ) y se detiene la alimentación de agua fresca con el cierre de válvulas 4125-XV-00207 y 4125-XV-00203.	X	
	Se presenta una baja presión ( <b>PALL-00214</b> ) y se detiene la alimentación de agua fresca con el cierre de válvulas 4125-XV-00207 y 4125-XV-00203.	X	
3	Detención de tornillo 4132-FEE015 detectado por sensor de velocidad cero (4125-SAL-01505).	X	
4	La medición 4125-LT-00203<30% habilita a la válvula 4125-XV-00207.		X
	La medición 4125-LT-00203<30% inicia al agitador 4125-AGI010.	X	
	La medición 4125-LT-00203<30% habilita al tornillo 4125-FEE010.		X
	La medición 4125-LT-00203 ≥97 % cierra valvula 4125-XV-00207.	X	

(Elaboración propia)

### 3.8.5 Lazos de control

- Control de densidad en descarga de espesador
- Control de presión en cama de lodo de U/F

Tabla 3-26

Lazo de control - 4125

LAZO DE CONTROL	COMPONENTE	FUNCIÓN	PV (VARIABLE DE PROCESO)	SP (PUNTO DE AJUSTE)	CV (VARIABLE DE CONTROL)
<b>Densidad U/F de descarga de espesador</b>	4125-DX/DE/DIT-00101	Fuente/receptor de densidad nuclear que mide la densidad de la corriente de descarga del espesador.	Densidad medida		
	4125-DIC-00101	Controlador de densidad que compara la densidad medida con el punto de ajuste.		Densidad deseada	
	4125-FIC-00101	Controlador de flujo que ajusta el flujo basado en la señal del controlador de densidad.	Flujo medido	Flujo deseado (de DIC-00101)	
	4125-SIC-00101	Controlador que ajusta la velocidad de la bomba de descarga.			VFD de bomba U/F
<b>Presión en cama de lodo de U/F</b>	4125-PIT-00001	Mide la presión del lecho del espesador.	Presión del lecho medida		
	425-PIC-00001	Controlador indicador de presión que compara la presión medida con el punto de ajuste.		Presión del lecho deseada	
	4125-SIC-00101	Bombas de descarga del espesador de molienda.			VFD de bomba U/F.

(Elaboración propia)

### 3.8.6 Secuencia de arranque

#### 1. Arranque inicial

- Cuando el sistema de espesamiento se encuentre en estado de apagado completo o a largo plazo hace suponer que todo el sistema se encuentra detenido o que algunos sistemas pueden haberse vaciado para realizar el mantenimiento (tanques, espesador, se abrieron las válvulas de drenaje y se cerraron las válvulas de aislamiento del sistema).
- Es necesario comenzar con el espesador de molienda lleno o semilleno de agua, y la segunda es comenzar con el espesador de molienda vacío. Cualquiera de los dos métodos requiere que las bombas de U/F estén configuradas inicialmente para recircular los sólidos al espesador.
- La puesta en marcha solo puede comenzar después de que el circuito CIL (fuera de alcance de este trabajo) esté listo para aceptar el flujo de descarga

del espesador de molienda y el sistema de agua de proceso esté listo para aceptar el flujo de agua OF del espesador.

- Realizar las inspecciones preoperacionales antes de accionar al sistema de espesamiento.
- Se debe corroborar que el espesador esté lleno de agua. De lo contrario, se debe avisar al operador de molienda que envíe agua de proceso a través del cajón de bombas de alimentación de hidrociclones.
- Se debe colocar todas las estaciones locales de control de motores de los equipos en modo local.
- Se debe fijar al espesador en el modo recirculación.
- La válvula de recirculación en la línea de flujo inferior de la bomba UF se abre y la válvula de alimentación al cajón distribuidor de alimentación CIL se cierra.
- Alertar a otros operadores de la inminente puesta en marcha.
- Si en caso la rastra no esté funcionando, se debe iniciar el accionamiento
- Se debe corroborar que la posición de la rastra en el espesador esté en la posición completamente elevada. Si en caso no se encuentre en esta posición, se debe iniciar el arranque de la transmisión de la rastra. Luego se debe indicar al operador de campo que eleve la rastra a la posición completamente elevada.
- Se debe fijar el control de flujo de las bombas U/F del espesador de molienda en modo manual con un ajuste de velocidad del 70 %.
- Se empieza con el arranque de la bomba U/F del espesador de molienda seleccionado (4125-PPP160A o 160B) para establecer el flujo y evitar la obstrucción del cono del espesador.
- La secuencia que debe seguir la bomba U/F es la siguiente:
  - Se apertura la válvula de aislamiento de agua de sello.
  - Se apertura la válvula de succión de la bomba seleccionada.
  - La bomba seleccionada se pone en marcha tan pronto como se confirma el flujo de agua de sello.

- La velocidad del motor de la bomba funciona a la velocidad de salida mínima.
- Se apertura la válvula de descarga de la bomba.
- El control de la bomba se fija y el motor acelera hasta el punto de ajuste.
- Luego del inicio de la secuencia de la bomba, la pulpa fluye desde el cono del espesador, a través de la bomba UF y regresa al cajón de alimentación del mismo equipo.
- Luego de la puesta en marcha la bomba de UF, se debe cambiar al modo automático con un punto de ajuste de caudal. Ponga en marcha la bomba de desbordamiento OF del espesador de molienda seleccionado (4125-PPP170A ó 170B) para establecer el flujo. La bomba arrancará y se detendrá según el nivel del tanque.
- Cuando La rastra se encuentre funcionando, se debe cambiar el control local al modo remoto.
- Cuando se establezca la recirculación del espesador y todo funcione correctamente y no se notifiquen alarmas, se alerta al operador de clasificación que el espesador de molienda está listo para aceptar alimentación de pulpa.
- Se debe iniciar la dosificación de floculante cuando la pulpa llegue al espesador desde el desbordamiento U/F de los hidrociclones. La cantidad de floculante agregada al espesador puede ser controlada manualmente por el operador de campo.
- Conforme se mide la altura de la cama y el operador lea el valor se establece la cantidad de floculante cambiando la dosis que se agregará.

### 3.8.7 Secuencia de parada

#### **1. Parada total del proceso**

Los siguientes procedimientos se deben tener en consideración para realizar la parada total del sistema de espesamiento:

- Se debe informar sobre el plan de parada de la planta con los operadores en otras áreas de la planta y manténgalos informados en todo momento.
- El flujo de lodo del muestreador secundario O/F de hidrociclones (4110-SAM136) cesará.
- La bomba dosificadora de floculante en línea (4125-PPM012A o -PPM012B) se detendrá. Así mismo se debe proceder con el cierre de las válvulas de aislamiento de succión y descarga de estas bombas.

# CAPÍTULO IV

## Resultados, Constatación de Hipótesis y Discusión

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Planos P&ID

A partir del Project Setup se pudo exportar los datos, características y funciones de equipos e instrumentos del proceso en plantillas Excel que sirvieron para el desarrollo de listados de instrumentos y señales. A partir de estas plantillas también se pueden hacer modificaciones en caso surja la necesidad de hacer una modificación de tag de instrumento, línea o propiedad de equipo.

Figura 4-1

Data manager de los planos P&ID

DWG Number	Tag	Type	Description	Manufactur	Model Number	Supplier	Design Press
21466447-D-4125-PI-PID-20002	4125-AGI010-ARE...	U	VERTICA				
21466447-D-4132-PI-PID-20003	4132-AGI160-ARE...	U	Agitator				

(Elaboración propia)

Figura 4-2

Hoja Excel de un equipo mecánico Agitador plano P&ID

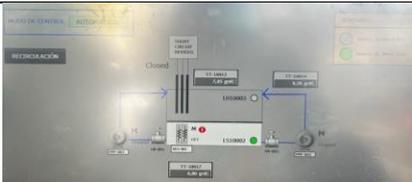
ITEM	TAG	DESCRIPTION	MANUFACTURER	MODEL NUMBER	SUPPLIER	DESIGN PRESSURE	AREA	UNIT
21466447-4125-AGI10	4125-AGI10	VERTICAL CARBON STEEL AGITATOR	...	...	...	...	AREA 1 - 1: OPERATING AREA 1	001

(Elaboración propia)

#### 4.1.2 Operación y funcionamiento de los equipos

En la inspección rutinaria del sistema de automatización del Scrubber de la planta se asegura el correcto funcionamiento del equipo, así como minimizar el tiempo de inactividad del sistema. Los datos recopilados son esenciales para mantener la eficiencia operativa y la seguridad del proceso.

Tabla de Resultados de la Inspección:

Elemento Inspeccionado	Resultado	
Sistema de lubricación del scrubber	Sin ruidos inusuales, vibraciones o alta temperatura	
Tuberías de lubricación	Sin fugas	
Niveles de aceite en el depósito de lubricación	Nivel adecuado	
Filtro de aceite de lubricación	Presión diferencial normal	
Datos de lubricación	Registrados en el registro del operador	
Scrubber (pernos del revestimiento de la cabeza y carcasa)	Sin fugas	
Derrames en los extremos de alimentación y descarga	Sin derrames	
Válvula de control de flujo de agua automática	Sin fugas de agua, suministro de aire del instrumento en buen estado	
Motor del scrubber LRS y SCD	Niveles de electrolitos y temperaturas normales	
Bombas, tuberías y tanque del LRS	Sin fugas	
Sistema de enfriamiento del motor del scrubber	Sin fugas, sin ruidos inusuales, vibraciones o alta temperatura	
Sistema de lubricación del motor del scrubber	Sin fugas, niveles y temperaturas de aceite de lubricación en rango normal	
Reductor de engranajes y unidad de lubricación del scrubber	Sin ruidos inusuales, vibraciones o alta temperatura	
Sistema de rociado de agua de la zaranda descarga del scrubber	Suficiente agua para lavar el material fino	

Elemento Inspeccionado	Resultado	
Zaranda de descarga del scrubber	Arrancador funcionando Cubículo en sala eléctrica	
Fajas transportadoras (mineral de gran tamaño, apilador de mineral de gran tamaño, y tamaño medio)	No hay alarmas de disparo de sus instrumentos de protección	

#### 4.2 Constatación de hipótesis

El sistema de automatización para la nueva planta de procesos está diseñado para que opere dentro de los rangos establecidos de los lazos de control identificados en cada etapa de operación acorde al Reporte de constructibilidad.

La corroboración de resultados se da en las hojas de comisionamiento en frío y caliente realizadas en campo que se llenan conforme a la puesta en marcha de cada sistema del proceso (fajas transportadoras, sistemas de molienda, sistemas de bombeo, clasificación de partículas, espesador de moliendas).

#### 4.3 Discusión de resultados

##### **Evaluación de la Operación del Sistema de Control**

Durante el diseño del nuevo sistema de control, se observó una optimización notable en las estrategias de control y la integración de los lazos y equipos involucrados. La mejora en la definición y configuración de los lazos de control permitió una respuesta del sistema un 20% más rápida a las fluctuaciones del proceso, lo cual es crucial para mantener la estabilidad operacional.

Las estrategias de control fueron diseñadas para maximizar la eficiencia y minimizar la variabilidad del proceso. Esto se logró mediante la implementación de lazos de control avanzados que ajustan dinámicamente las variables críticas, asegurando que el flujo y la presión se mantengan dentro de los límites deseados.

El diseño del sistema también incluyó la selección de equipos de control de última generación, que proporcionan alta precisión y confiabilidad. Los sensores y actuadores

fueron elegidos por su capacidad para operar en condiciones exigentes, y los controladores programables se configuraron para gestionar múltiples entradas y salidas de manera eficiente.

Por último, el diseño del sistema priorizó la usabilidad para los operadores. Se desarrolló una interfaz de usuario intuitiva que facilita la monitorización y ajuste del sistema de control. Según una encuesta de satisfacción realizada entre los operadores, el 85% encontró que la nueva interfaz es significativamente más fácil de usar en comparación con la anterior, lo que redujo el tiempo de capacitación necesario en un 30%.

Esta evaluación destaca la efectividad y eficiencia del diseño del sistema de control, subrayando cómo las estrategias y tecnologías implementadas han mejorado el rendimiento global del sistema.

### **Desarrollo de Planos P&ID en AutoCAD Plant 3D**

Los planos P&ID generados en AutoCAD Plant 3D demostraron un nivel de detalle y precisión superior a los métodos anteriores. La claridad de los planos facilitó la identificación y resolución de posibles conflictos en el diseño antes de la fase de construcción, lo que redujo el tiempo de revisión en un 25%.

La integración de los planos con otros sistemas fue fluida, lo que permitió una mejor coordinación entre los equipos de ingeniería y construcción. Esto resultó en una disminución del 15% en los errores de comunicación y en una ejecución más eficiente del proyecto.

El impacto general del nuevo sistema de control y los planos P&ID en el proyecto ha sido positivo. Se logró una reducción del 10% en los costos operativos gracias a la eficiencia mejorada y a la disminución de paradas no planificadas. Además, el tiempo total de implementación del proyecto se redujo en dos semanas, lo que permitió una entrega anticipada del proyecto.

Las principales lecciones aprendidas incluyen la importancia de la capacitación continua para los operadores y la necesidad de un soporte técnico constante durante las

primeras fases de implementación. Esto asegura que cualquier problema inicial pueda ser resuelto rápidamente y sin impacto negativo en la operación.

## CONCLUSIONES

### CONCLUSIÓN GENERAL

1. La correcta identificación de modos de operación de cada subproceso y sus equipos es importante para entregar una adecuada descripción funcional del proceso. Los métodos de protección empleados para las fajas transportadoras permiten que el equipo opere acorde al diseño, así como los requerimientos de mando automático/manual para su operación.

### CONCLUSIÓN ESPECÍFICA

1. La velocidad del alimentador de placas (apron feeder) en relación con el lazo de control y los equipos involucrados tiene una influencia significativa en el funcionamiento del sistema del molino SAG (Scrubber). Este proceso opera de manera continua, gracias a los lazos de control establecidos en la estrategia de control. La verificación del ratio de consumo de agua y mineral es crucial para alcanzar el rendimiento esperado. Dado que se trata de la molienda primaria, el tamaño de partícula no es un factor influyente. Sin embargo, para el molino de bolas, es necesario implementar un sistema de control especializado para lograr el tamaño de partícula requerido para alimentar al nido de hidrociclones, lo cual no fue considerado en este diseño. En cuanto al espesador, opera de acuerdo con los parámetros establecidos, dado que la mayoría de los lazos de control planificados para este sistema se implementaron de manera efectiva.

## RECOMENDACIONES

1. La interacción activa entre cliente final, diseñador (casa consultora) y proveedor es importante para que el sistema que se está diseñando tenga concordancia con lo planteado.
2. Se puede plantear el diseño de un sistema DCS para la planta con el fin de distribuir mejor el control dentro de la planta.
3. Basado en los resultados obtenidos se ofrece recomendaciones para futuras mejoras en sistemas de control que involucre en el desarrollo de los planos P&ID.
4. Se sugiere más capacitación para los operadores o soporte técnico adicional para maximizar los beneficios del sistema y la precisión de los planos.

## REFERENCIAS

- [1] Bancayán Suyo, P. A. (2019). Automatización de una planta de filtrado de relaves mineros. Universidad Tecnológica del Perú, 127.
- [2] Cabrera, J. G. (2021). Diseño e Implementación de un Sistema de Control para Instalación, Afinación, Operación y Optimización del Espesador HRT. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 132.
- [3] González, B. F. (2019). Instrumentación de campo para la obtención de un adsorbente de óxido de grafeno magnético. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid.
- [4] Ibañez Avalos, S. A. (2016). Diseño de un Sistema de Control y Supervisión para la Operación Automática de la Nueva Planta de Relleno en Pasta de Compañía Minera Cuzcatlán – Oaxaca, México. Universidad Nacional de Trujillo, 171.
- [5] Poveda, A. O. (2018). Ingeniería de detalle para la automatización del sistema de dosificación y mezcla de aceites RBD para los tanques de envasado la Fabril S.A. Quito, Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.
- [6] Meier, F. A. (2011). Instrumentation and Control Systems Documentation. United States: ISA.
- [7] Toghraei, M. (2019). Piping and Instrumentation Diagram Development. United States: Willey.
- [8] Whitt, M. D. (2012). Successful instrumentation and control systems design. United States: ISA.
- [9] Rockwell Automation (2011). Converged Plantwide Ethernet (CPwE) Design and Implementation Guide. United States: Rocwell.

## ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia .....	1
Anexo B: Normativa complementaria.....	3
Anexo C: Piping & Instrumentation Diagrams .....	5
Anexo D: Arquitectura de Control .....	21
Anexo E: Layout de Planta .....	23
Anexo F: Secuencia de Operación.....	25
Anexo G: Información de Proveedores Eléctricos e Instrumentación.....	28

## **ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

## ANEXO A: Matriz de Consistencia

TÍTULO: "DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO DE UNA PLANTA MINERA DEL PERU"

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS
			INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE		
<p><b>Problema General</b></p> <p>¿Qué procedimientos se deben seguir para diseñar el sistema de automatización de un proceso de recuperación de oro de una planta minera del Perú?</p> <p><b>Problema específico</b></p> <p>¿Qué documentos y planos técnicos serían necesarios para el desarrollo de la estrategia de control del proceso?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Diseñar el sistema de automatización acorde a los estándares de la Sociedad Internacional de Automatización (ISA).</p> <p><b>Objetivo específico</b></p> <p>Generar la estrategia de control acorde a los lazos de control, enclavamientos y permisivos que permitan operar la planta de manera óptima.</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>El sistema de automatización está basado adecuadamente sobre los criterios de diseño y las especificaciones técnicas de los estándares de la Sociedad Internacional de Automatización (ISA) para el desarrollo de documentación técnica (diagramas y conceptos legibles para los operadores del proceso).</p> <p><b>Hipótesis específica</b></p> <p>La estrategia de control desarrollada contempla las condiciones necesarias para realizar la automatización del proceso empleando diagramas lógicos, secuencias e identificación de las variables de control (PV, SP, CV).</p>	<p>Sistema de automatización.</p>	<p>- Protección de personal y equipos</p> <p>- Visualización de variables y rendimiento</p>	<p>- Variables de proceso que se desea medir o controlar.</p> <p>- Desarrollo de estrategia de control.</p> <p>- Reducción de incidentes graves y operación segura del proceso.</p> <p>- Identificación de requerimiento de operación proceso para mejorar rendimiento (% consumo, etc)</p>	<p>Recolección de parámetros actuales de la planta de procesos con respecto a los valores fijados en los diagramas de flujo.</p> <p>Documentación técnica que muestren la instalación, configuración y puesta en marcha del sistema de control.</p>

**ANEXO B: NORMATIVA COMPLEMENTARIA**

**MECÁNICA:**

ASME B16.5: BRIDAS Y ACCESORIOS

ASME B16.3: TUBERÍAS DE PROCESO

API 650: CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA LÍQUIDOS

API 682: SISTEMAS DE SELLADO MECÁNICO PARA BOMBAS

**CALIDAD:**

ISO 80000: MAGNITUDES Y UNIDADES

ISO 5167: MÉTODOS Y ESTÁNDARES PARA MEDICIÓN DE CAUDAL EN TUBERÍAS

**ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA:**

IEC61850: SCADA ELÉCTRICO

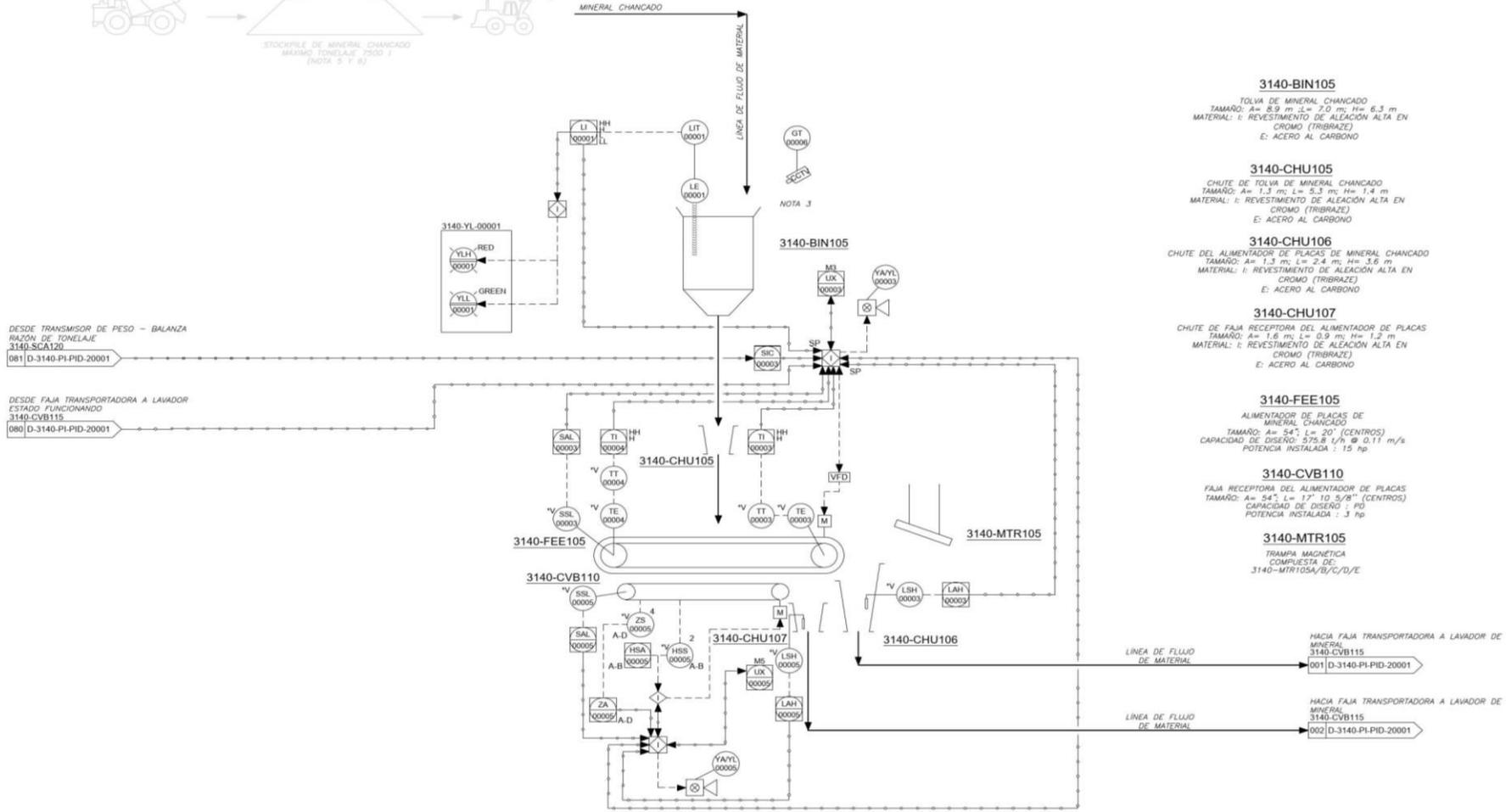
IEC 61131: PROGRAMACIÓN PLC Y ESTÁNDARES

IEC 61326: COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

**TELECOMUNICACIÓN**

TIA 568: REQUISITOS PARA CABLEADO ESTRUCTURADO DE COBRE Y FIBRA ÓPTICA

## **ANEXO C: PIPING & INSTRUMENTATION DIAGRAMS**



- 3140-BIN105**  
TOLVA DE MINERAL CHANCADO  
TAMAÑO: A= 8.9 m, L= 7.0 m, H= 6.3 m  
MATERIAL: l: REVESTIMIENTO DE ALEACIÓN ALTA EN CROMO (TRIBRAZE)  
E: ACERO AL CARBONO
- 3140-CHU105**  
CHUTE DE TOLVA DE MINERAL CHANCADO  
TAMAÑO: A= 1.3 m, L= 5.3 m, H= 1.4 m  
MATERIAL: l: REVESTIMIENTO DE ALEACIÓN ALTA EN CROMO (TRIBRAZE)  
E: ACERO AL CARBONO
- 3140-CHU106**  
CHUTE DEL ALIMENTADOR DE PLACAS DE MINERAL CHANCADO  
TAMAÑO: A= 1.3 m, L= 2.4 m, H= 3.6 m  
MATERIAL: l: REVESTIMIENTO DE ALEACIÓN ALTA EN CROMO (TRIBRAZE)  
E: ACERO AL CARBONO
- 3140-CHU107**  
CHUTE DE FAJA RECEPTORA DEL ALIMENTADOR DE PLACAS  
TAMAÑO: A= 1.6 m, L= 0.9 m, H= 1.2 m  
MATERIAL: l: REVESTIMIENTO DE ALEACIÓN ALTA EN CROMO (TRIBRAZE)  
E: ACERO AL CARBONO

- 3140-FEE105**  
ALIMENTADOR DE PLACAS DE MINERAL CHANCADO  
TAMAÑO: A= 54", L= 20' (CENTROS)  
CAPACIDAD DE DISEÑO: 375.8 t/h @ 0.11 m/s  
POTENCIA INSTALADA: 15 hp
- 3140-CVB110**  
FAJA RECEPTORA DEL ALIMENTADOR DE PLACAS  
TAMAÑO: A= 54", L= 17' 10 5/8" (CENTROS)  
CAPACIDAD DE DISEÑO: 400  
POTENCIA INSTALADA: 3 hp
- 3140-MTR105**  
TRAMPA MAGNÉTICA  
CONSTRUCIÓN DE: 3140-MTR105A/B/C/D/E

DESDE TRANSMISOR DE PESO - BALANZA RAZÓN DE TONELAJE 3140-SCA120  
081 D-3140-PI-PID-20001

DESDE FAJA TRANSPORTADORA A LAVADOR ESTADO FUNCIONANDO 3140-CVB115  
080 D-3140-PI-PID-20001



TITLE  
**AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT**  
P&ID  
**ALMACENAMIENTO DE MINERAL - HOJA 1 DE 2**

PROJECT Nº  
20141064J

DRAWING Nº  
D-3140-PI-PID-20000

REV.  
0

**3140-CVB115**

FAJA TRANSPORTADORA A LAVADOR DE MINERAL  
 TAMAÑO: W= 42" ; L= 77.4 m ; H= 12.2 m  
 CAPACIDAD DE DISEÑO: 662.2 t/h @ 3.2 m/s  
 POTENCIA INSTALADA: 100 hp

**3140-SCA120**

BALANZA - FAJA TRANSPORTADORA A LAVADOR DE MINERAL

DESDE LAVADOR DE MINERAL  
 ESTADO FUNCIONANDO  
 3145-MIL120

083 D-3145-PI-PID-20000

DESDE CHUTE DEL ALIMENTADOR DE PLACAS  
 DE MINERAL CHANCHADO  
 3140-CHU106

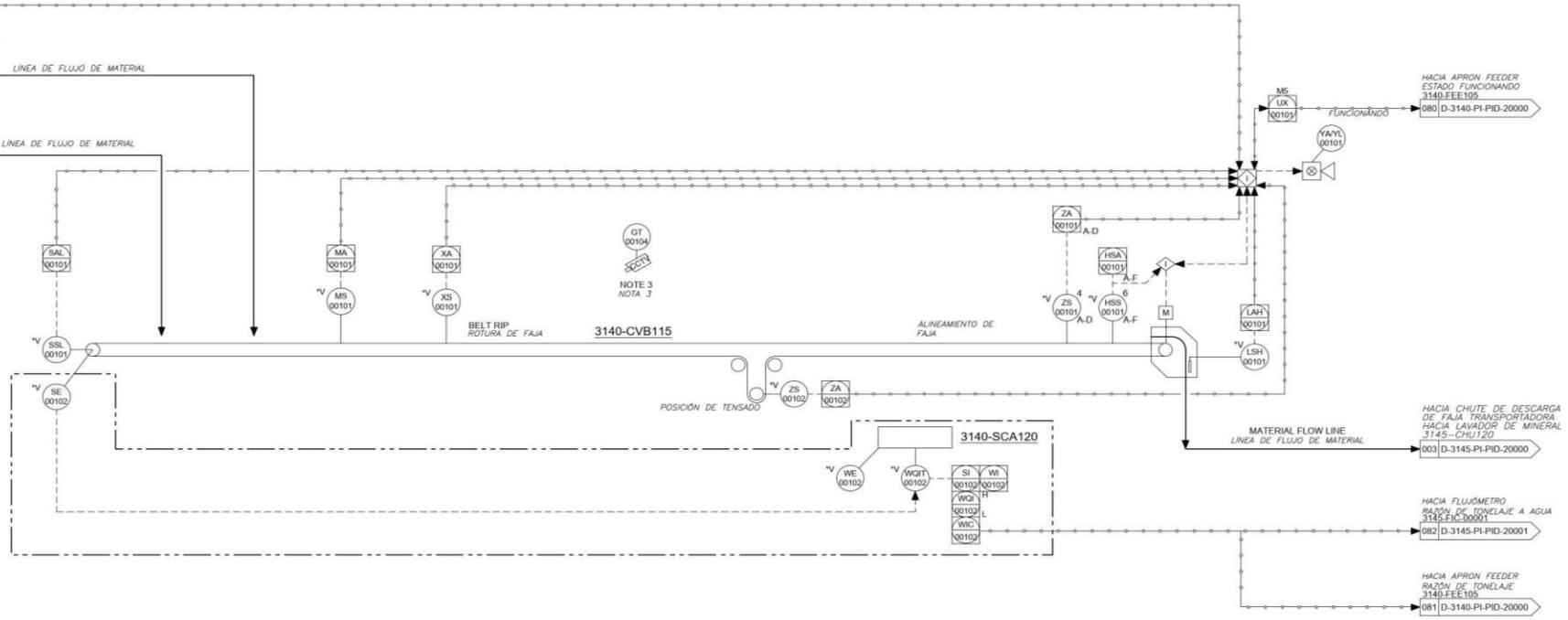
001 D-3140-PI-PID-20000

DESDE CHUTE DE FAJA RECEPTORA DEL  
 ALIMENTADOR DE PLACAS  
 3140-CHU107

002 D-3140-PI-PID-20000

LINEA DE FLUJO DE MATERIAL

LINEA DE FLUJO DE MATERIAL

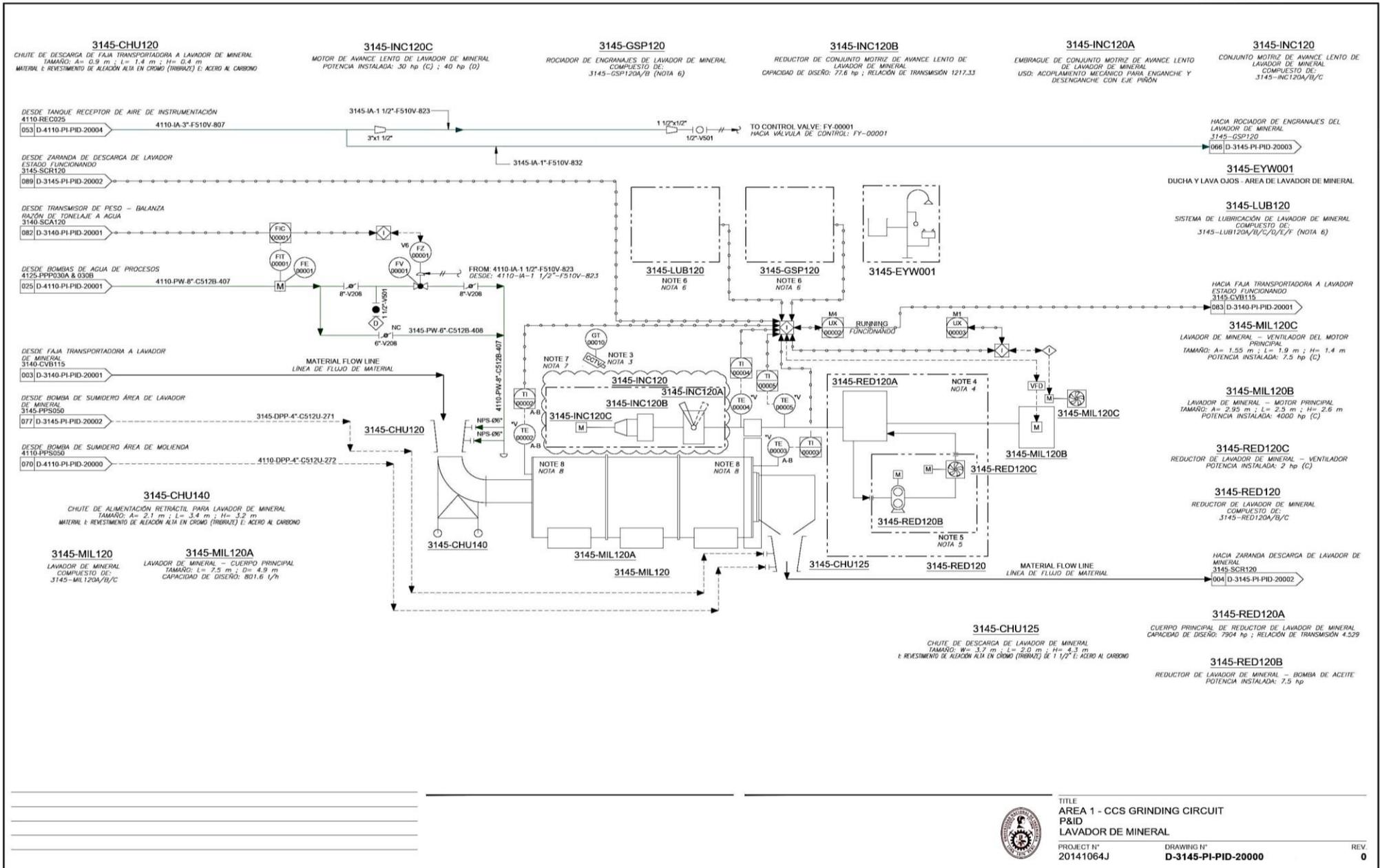


TITLE  
 AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT  
 P&ID  
 ALMACENAMIENTO DE MINERAL - HOJA 2 DE 2

PROJECT Nº  
 20141064J

DRAWING Nº  
 D-3140-PI-PID-20000

REV.  
 0



TITLE  
AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT  
P&ID  
LAVADOR DE MINERAL

PROJECT N°  
20141064J

DRAWING N°  
D-3145-PI-PID-20000

REV.  
0



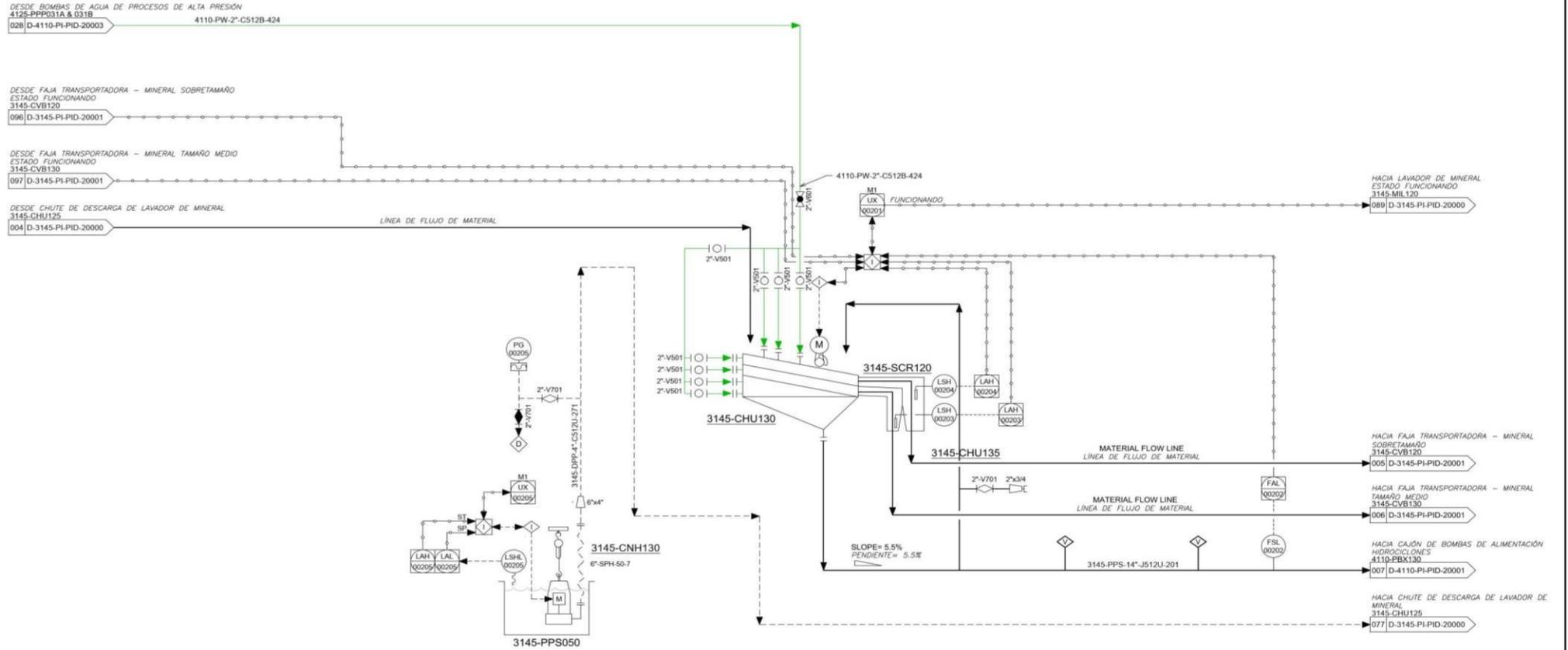
**3145-SCR120**  
 ZARANDA - DESCARGA DE LAVADOR DE MINERAL  
 TAMAÑO: A= 31" L= 20"  
 TIPO: ZARANDA VIBRATORIA LINEAL HORIZONTAL, DOS PISOS  
 POTENCIA INSTALADA: 50 hp (C)

**3145-CHU130**  
 CHUTE DE TAMAÑO PEQUEÑO DE ZARANDA  
 TAMAÑO: A= 2.6 m; L= 6.5 m; H= 1.5 m  
 MATERIAL: I. REVESTIMIENTO DE ALEACIÓN ALTA EN CROMO (TRIBRAZE)  
 E. ACERO AL CARBONO

**3145-CHU135**  
 CHUTE DE SOBRETAMAÑO Y TAMAÑO MEDIO DE ZARANDA  
 TAMAÑO: A= 2.7 m; L= 3.5 m; H= 6.7 m  
 MATERIAL: I. REVESTIMIENTO DE ALEACIÓN ALTA EN CROMO (TRIBRAZE)  
 E. ACERO AL CARBONO

**3145-PPS050**  
 BOMBA SUMIDERO - ÁREA DE LAVADOR DE MINERAL  
 TIPO: BOMBA DE PULPA SUMERGIBLE  
 CAPACIDAD DE DISEÑO: 22m<sup>3</sup>/h; 40T= 20.6m<sup>3</sup> DE PULPA  
 POTENCIA INSTALADA: 34 hp (C)

**3145-CNH130**  
 TECLE MANUAL PARA BOMBA SUMIDERO - ÁREA DE LAVADOR DE MINERAL  
 CAPACIDAD DE DISEÑO: 11



TITLE  
 AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT  
 P&ID  
 ZARANDA DE LAVADOR DE MINERAL

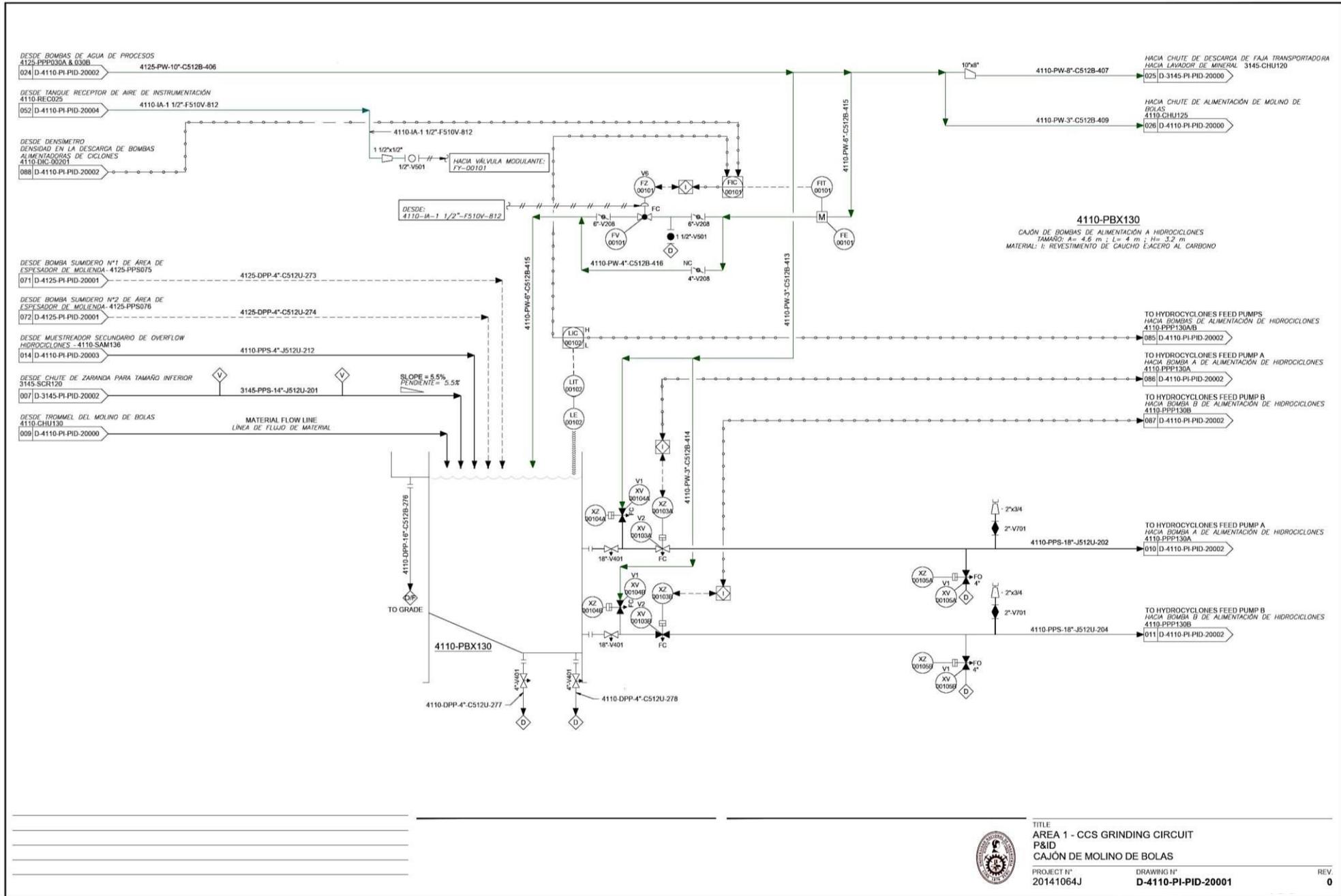
PROJECT N°  
 20141064J

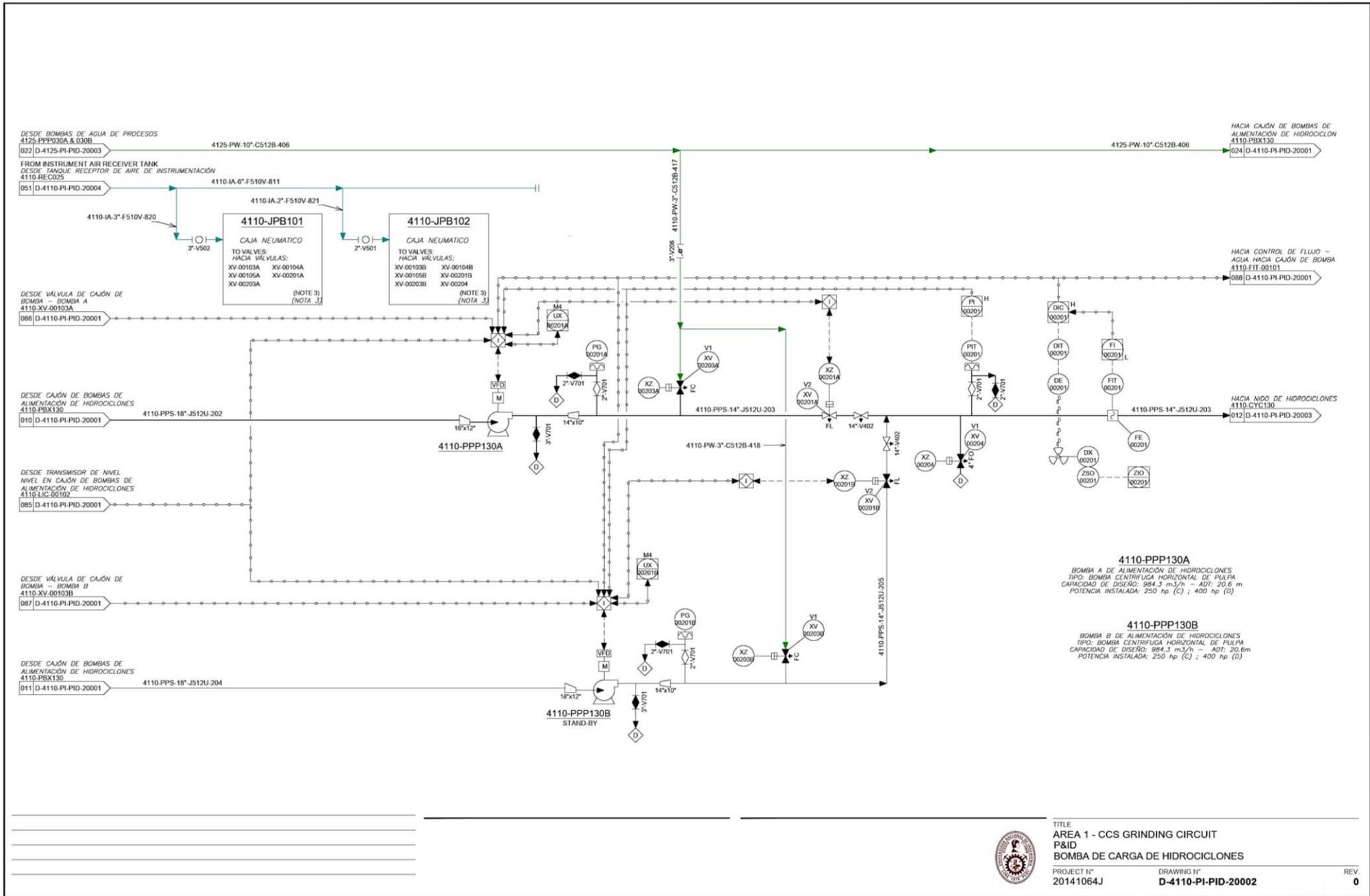
DRAWING N°  
 D-3145-PI-PID-20002

REV  
 0







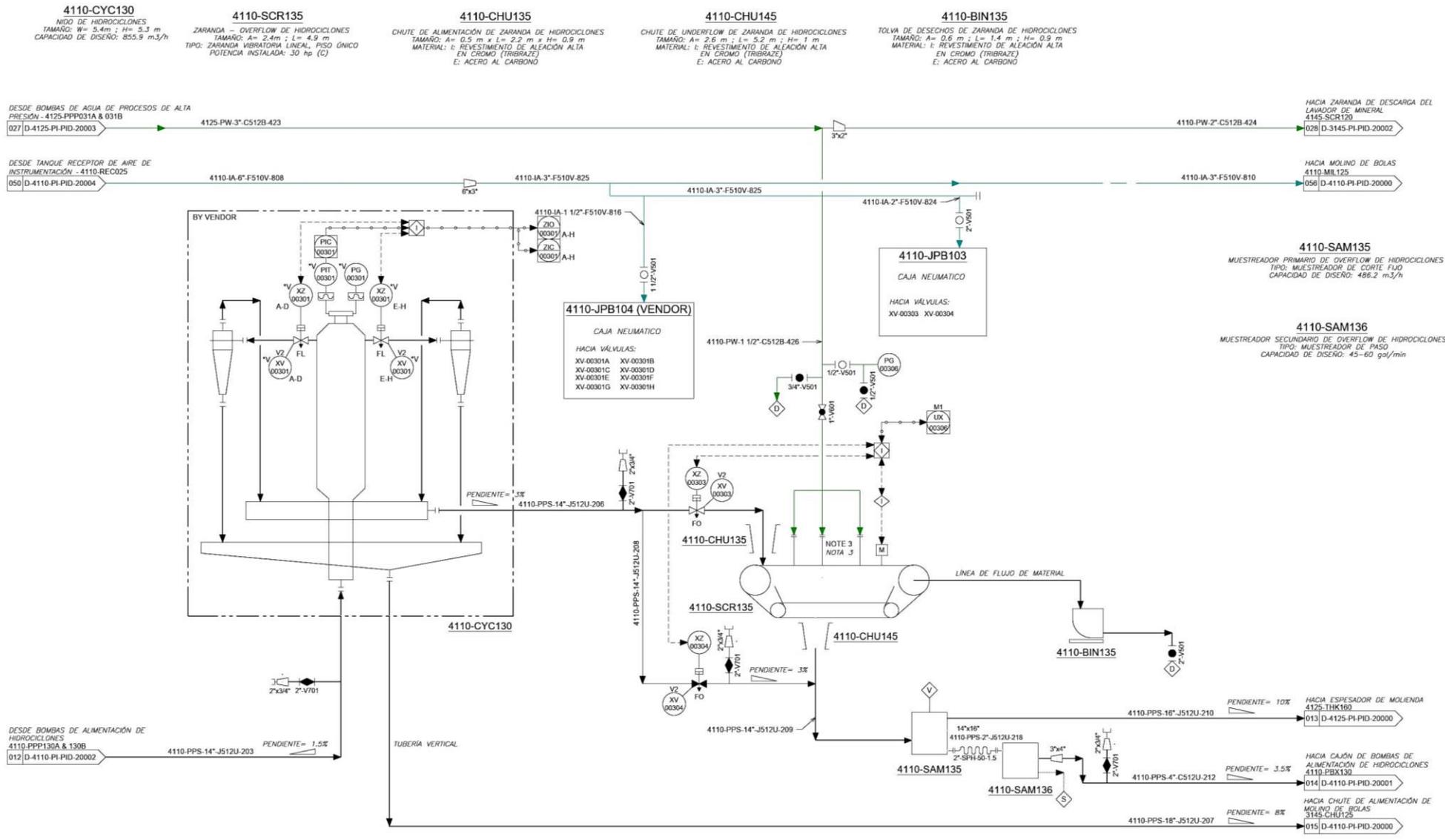


TITLE  
AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT  
P&ID  
BOMBA DE CARGA DE HIDROCICLONES

PROJECT N°  
20141064J

DRAWING N°  
D-4110-PI-PID-20002

REV.  
0

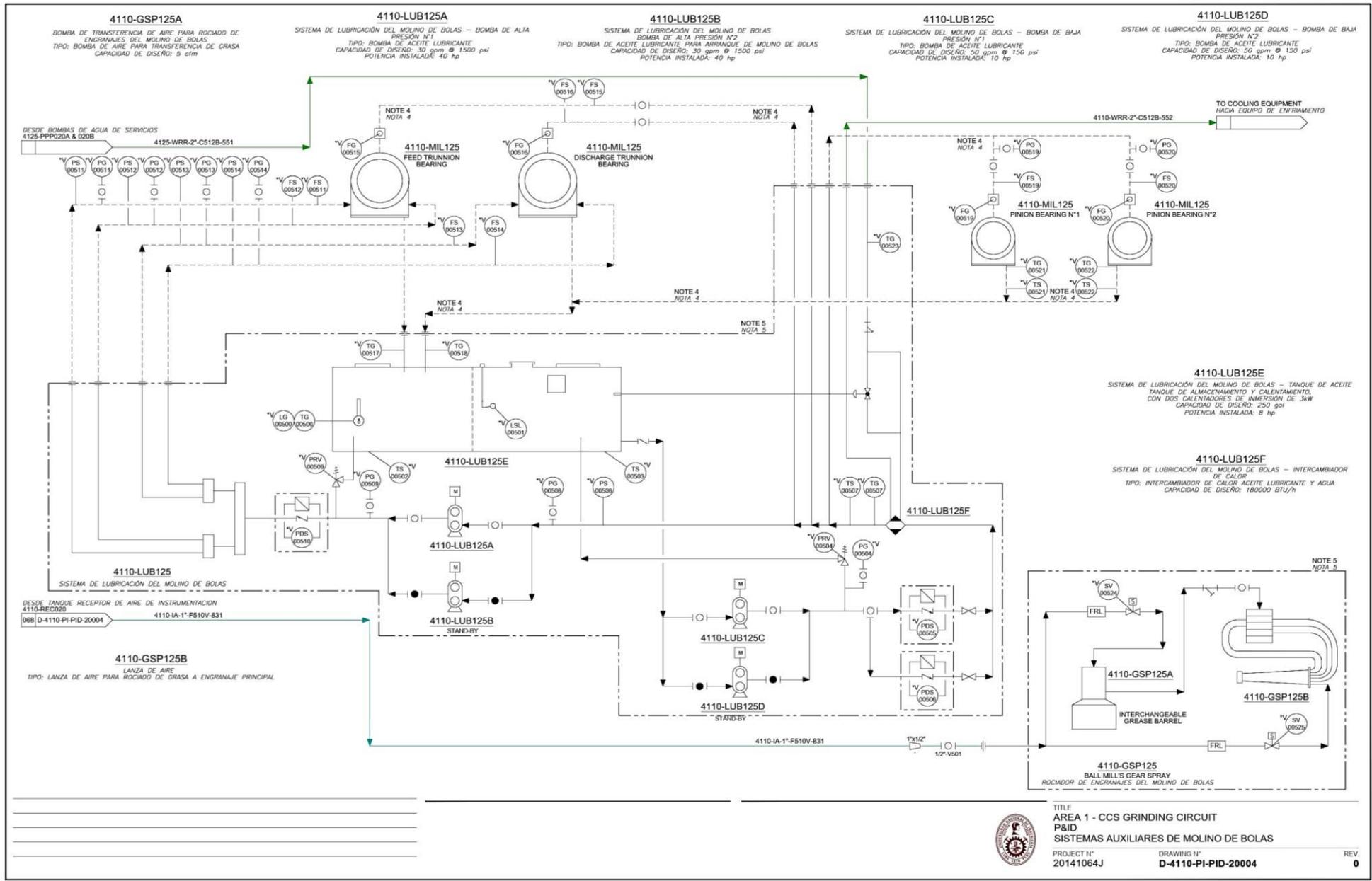


TITLE  
AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT  
P&ID  
HIDROCICLONES

PROJECT N°  
20141064J

DRAWING N°  
D-4110-PI-PID-20003

REV  
0



TITLE  
AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT  
P&ID  
SISTEMAS AUXILIARES DEL MOLINO DE BOLAS

PROJECT N°  
20141064J

DRAWING N°  
D-4110-PI-PID-20004

REV.  
0

DESDE TANQUE RECEPTOR DE AIRE DE INSTRUMENTACIÓN...4110\_REC025  
057 D.4125-PI-PID-20001

DESDE BOMBAS DE AGUA DE PROCESOS DE ALTA PRESION  
4125-PPP031A & 031B  
028 D.4125-PI-PID-20003

DESDE BOMBAS DE DOSIFICACION DE FLOCULANTE DE MOLENDA  
4125-PPM012A & 012B  
075 D.4125-PI-PID-20002

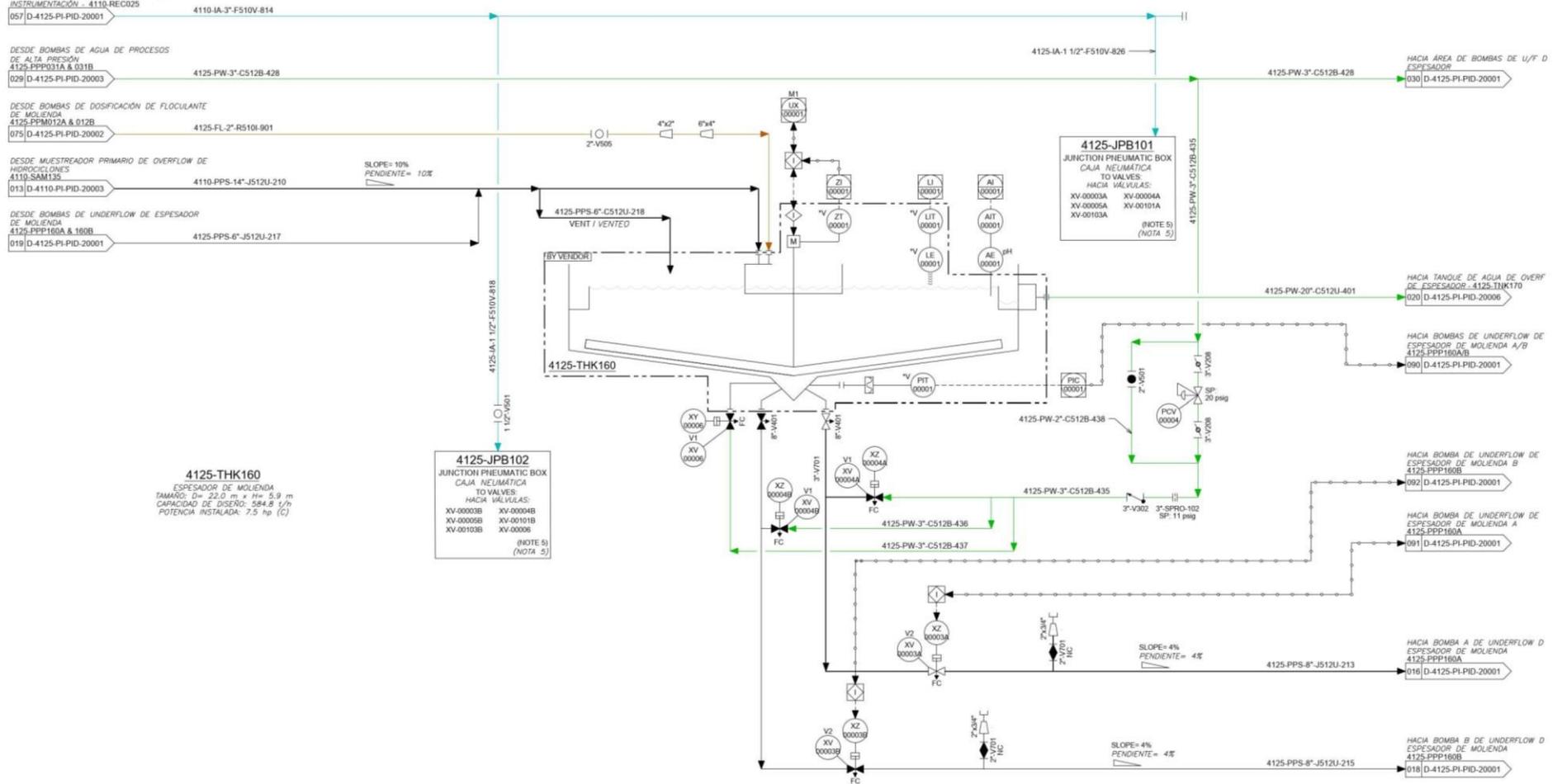
DESDE MUESTREADOR PRIMARIO DE OVERFLOW DE MOLENDA  
4110-SAM135  
013 D.4110-PI-PID-20003

DESDE BOMBAS DE UNDERFLOW DE ESPESADOR DE MOLENDA  
4125-PPP160A & 160B  
019 D.4125-PI-PID-20001

**4125-THK160**  
ESPESADOR DE MOLENDA  
TAMANO: D= 22.0 m x H= 5.9 m  
CAPACIDAD DE DISEÑO: 584.5 t/h  
POTENCIA INSTALADA: 7.5 hp (C)

**4125-JPB102**  
JUNCTION PNEUMATIC BOX  
CAJA NEUMATICA  
TO VALVES:  
XV-00003B XV-00004B  
XV-00005B XV-00101B  
XV-00103B XV-00006B  
(NOTE 5)  
(NOTA 5)

**4125-JPB101**  
JUNCTION PNEUMATIC BOX  
CAJA NEUMATICA  
TO VALVES:  
XV-00003A XV-00004A  
XV-00005A XV-00101A  
XV-00103A XV-00006A  
(NOTE 5)  
(NOTA 5)



\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



TITLE  
AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT  
P&ID  
ESPESADOR DE MOLENDA

PROJECT N°  
20141064J

DRAWING N°  
D-4125-PI-PID-20000

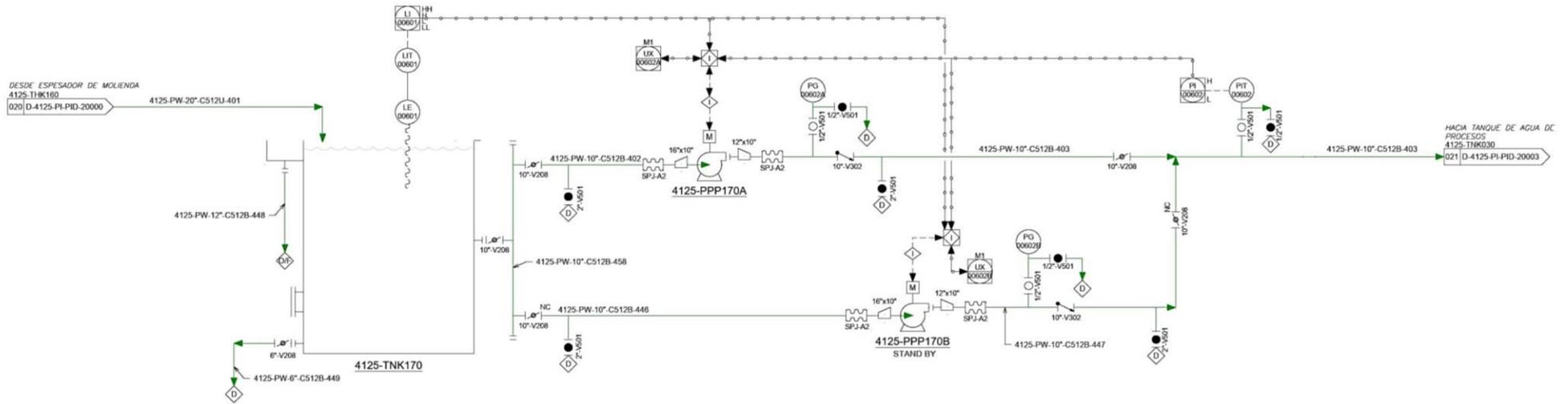
REV  
0



**4125-TNK170**  
 TANQUE DE OVERFLOW DE ESPESADOR DE MOLENDA  
 CAPACIDAD DE DISEÑO: 26 m<sup>3</sup>  
 TAMAÑO: D=3 m ; H=5.4 m

**4125-PPP170A**  
 BOMBA A DE OVERFLOW DE ESPESADOR DE MOLENDA  
 TIPO: BOMBA DE AGUA HORIZONTAL CENTRIFUGA  
 CAPACIDAD DE DISEÑO: 334.4 m<sup>3</sup>/h; ADT: 9.6 m  
 POTENCIA INSTALADA: 40 hp (C)

**4125-PPP170B**  
 BOMBA B DE OVERFLOW DE ESPESADOR DE MOLENDA  
 TIPO: BOMBA DE AGUA HORIZONTAL CENTRIFUGA  
 CAPACIDAD DE DISEÑO: 334.4 m<sup>3</sup>/h; ADT: 9.6 m  
 POTENCIA INSTALADA: 40 hp (C)



TITLE  
 AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT  
 P&ID  
 BOMBAS O/F DE ESPESADOR

PROJECT N°  
 20141064J

DRAWING N°  
 D-4125-PI-PID-20002

REV  
 0

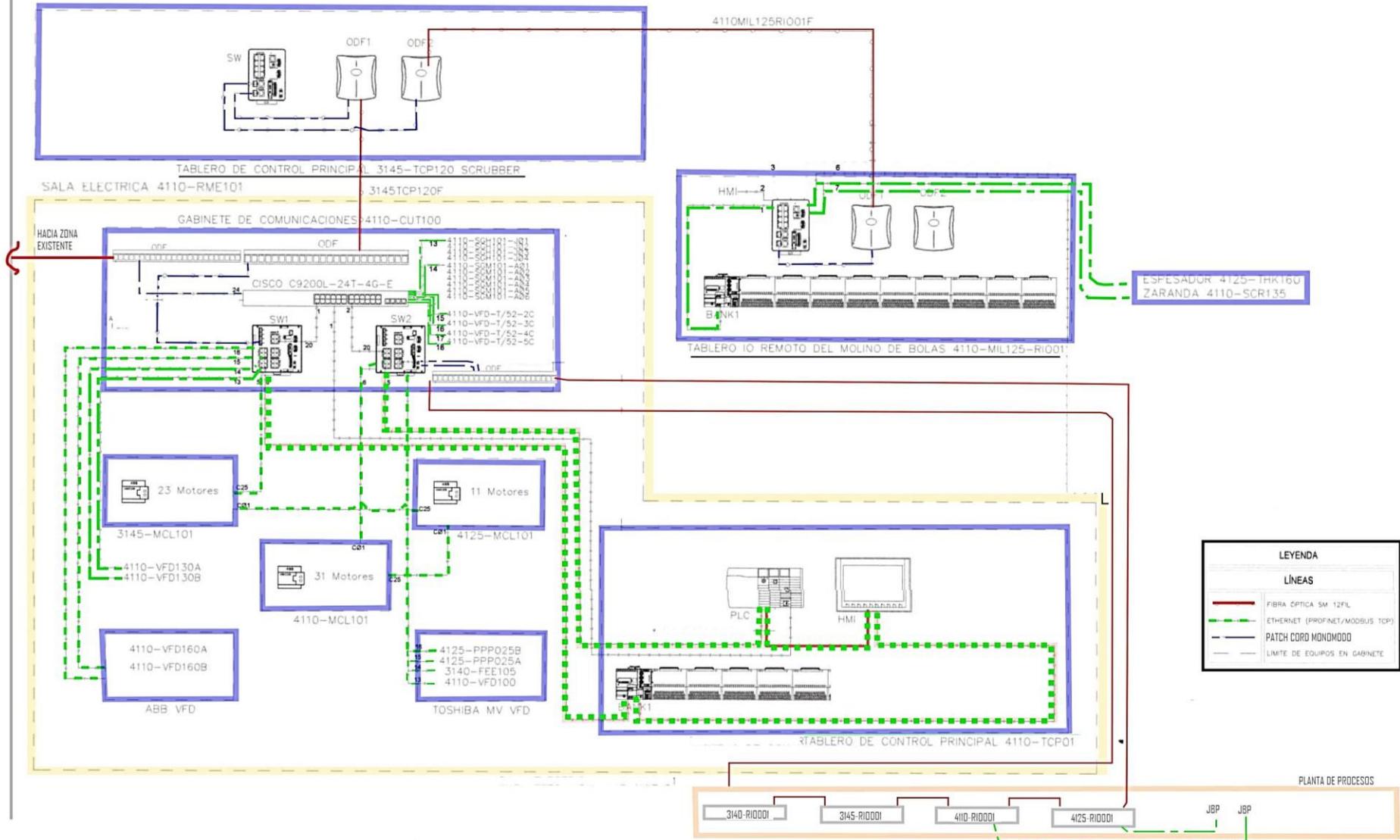


## **ANEXO D: ARQUITECTURA DE CONTROL**

ZONA EXISTENTE

AREA 01

6



**LEYENDA**

**LINEAS**

- FIBRA OPTICA SM 12PL
- - - ETHERNET (PROFINET/MODBUS TCP)
- - - PATCH CORD MONOMODO
- LIMITE DE EQUIPOS EN GABINETE



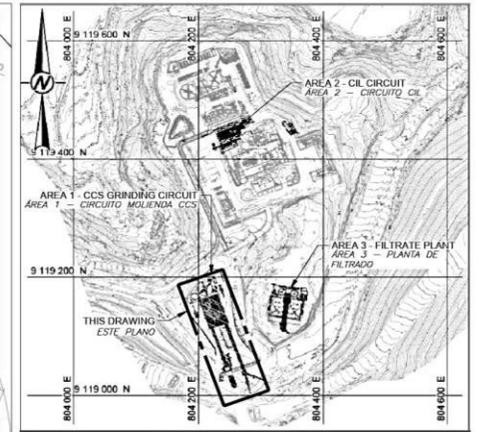
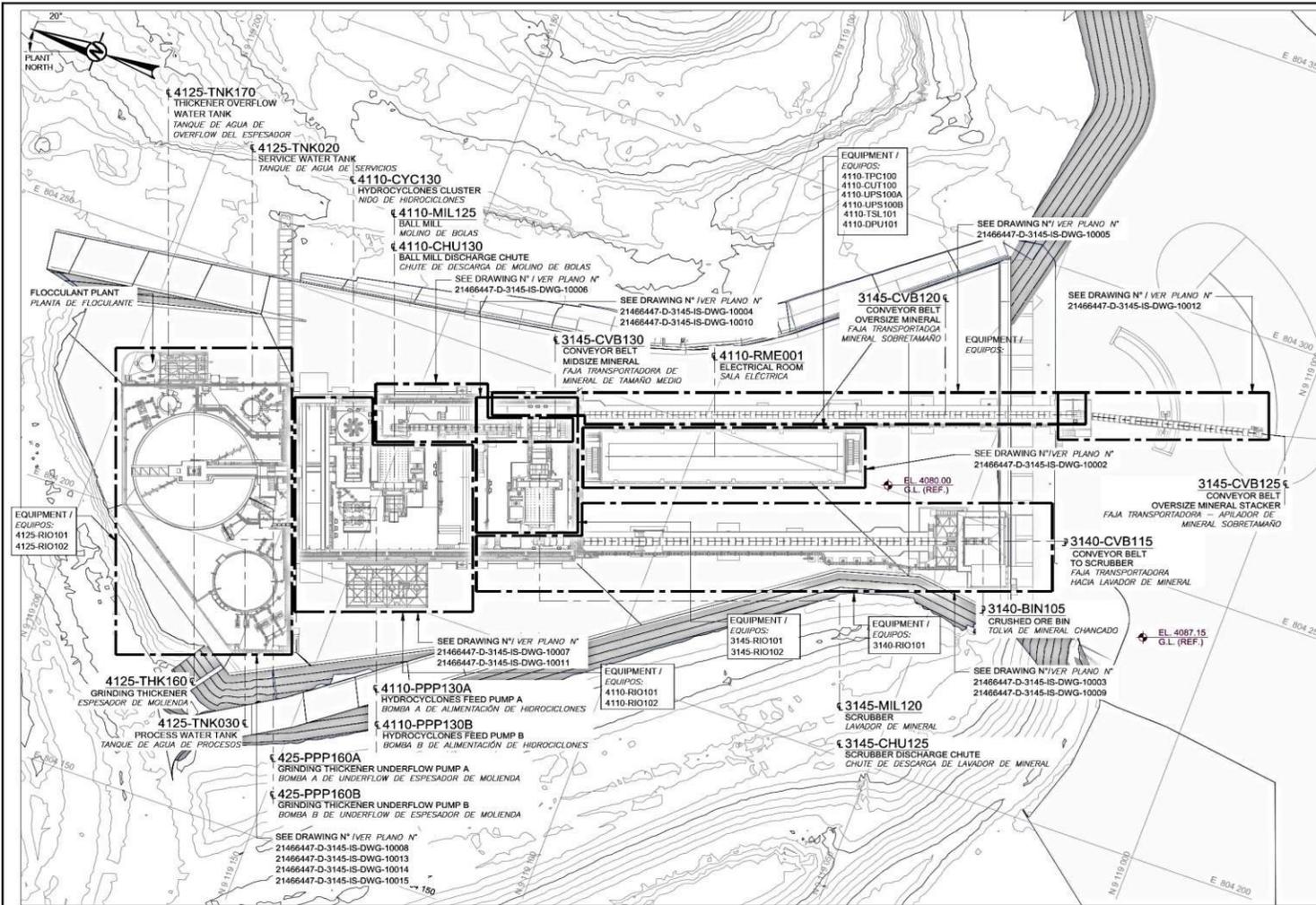

TITLE  
**AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT**  
**AUTOMATIZACIÓN**  
**ARQUITECTURA DE CONTROL**

PROJECT N°  
**21466447**

DRAWING N°  
**D-3145-AUT-DWG-20000**

REV  
**0**

## **ANEXO E: LAYOUT DE PLANTA**



KEY PLAN / PLANO LLAVE  
SCALE 1/4000 / ESCALA 1/4000

- LEGEND / LEYENDA
- EXISTING TOPOGRAPHY / TOPOGRAFIA EXISTENTE
  - G.L. = GROUND LEVEL / NIVEL DE TERRENO
  - IS = INSTRUMENTATION CABINET / TABLERO DE INSTRUMENTACION

LOCALIZACIÓN Y RUTEO - ARREGLO GENERAL  
ESCALA 1/400






TITLE  
AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT  
LAYOUT GENERAL

PROJECT N°  
21466447

DRAWING N°

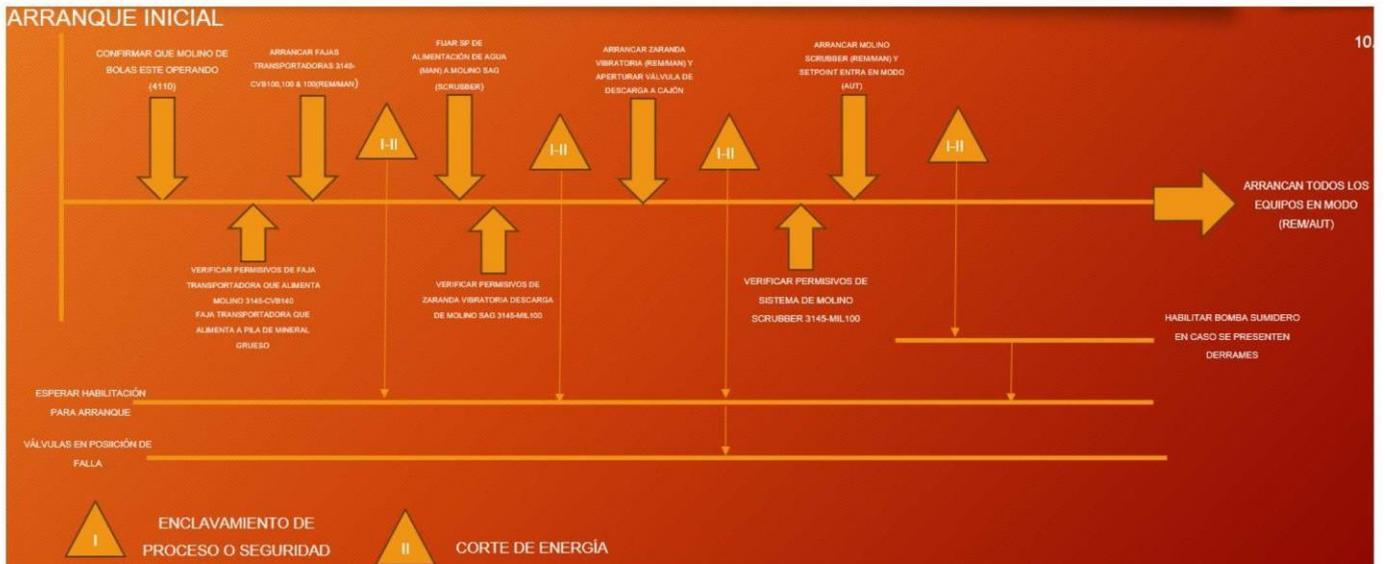
REV  
0

## **ANEXO F: SECUENCIA DE OPERACIÓN**

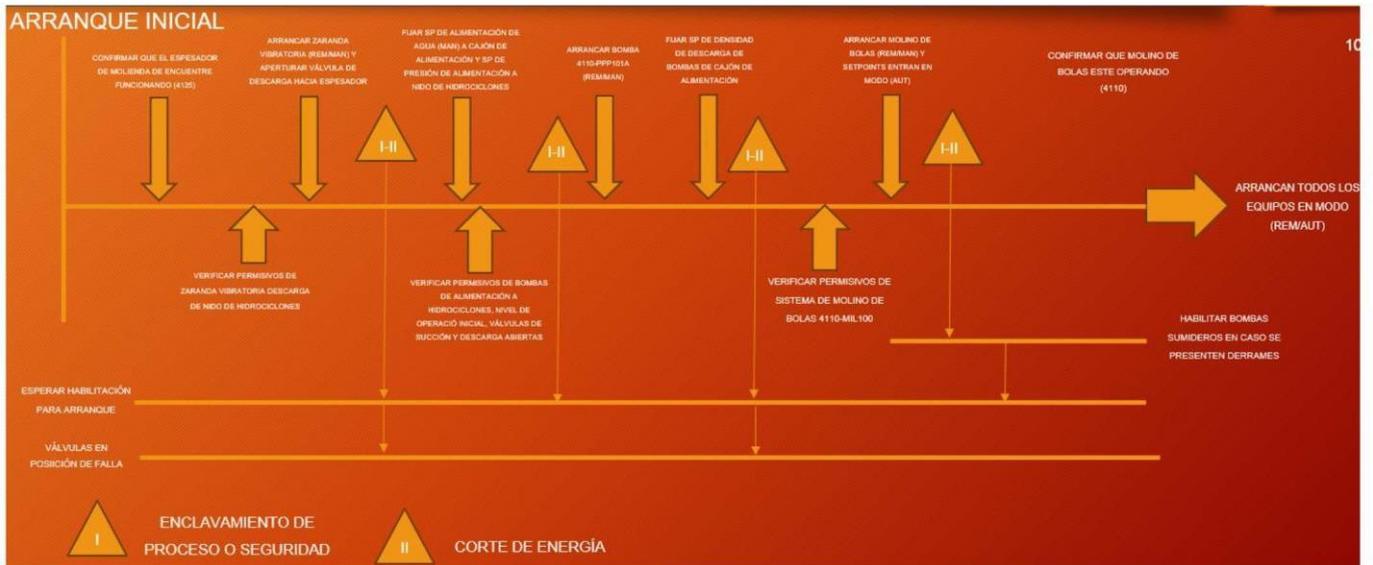
## SECUENCIA DE OPERACIÓN - 3140



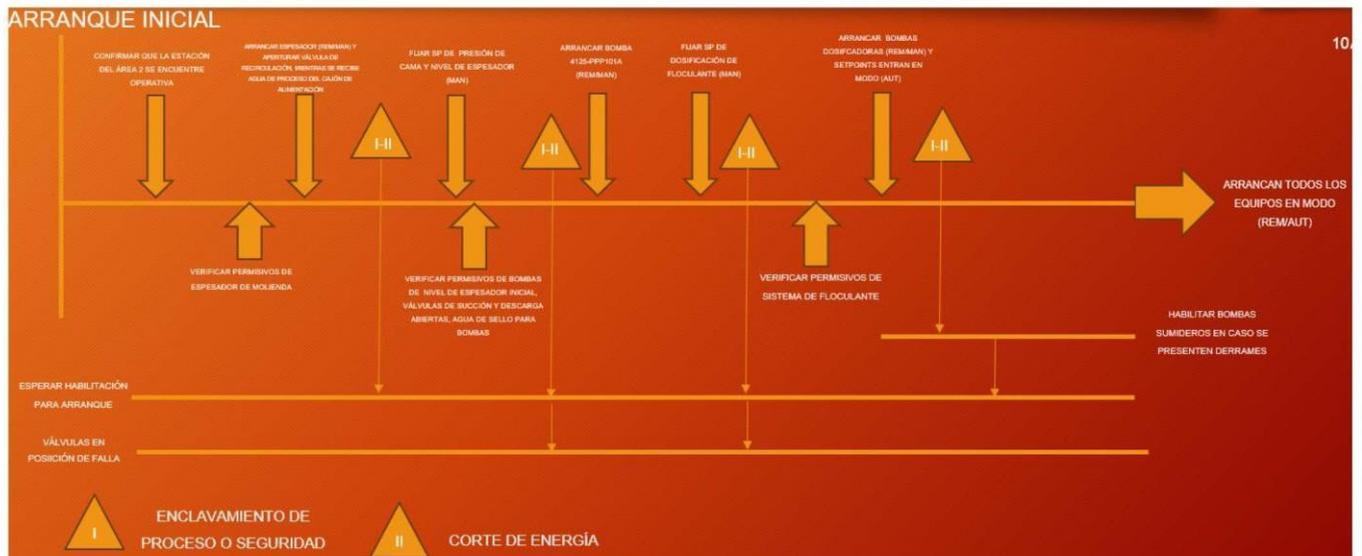
## SECUENCIA DE OPERACIÓN - 3145



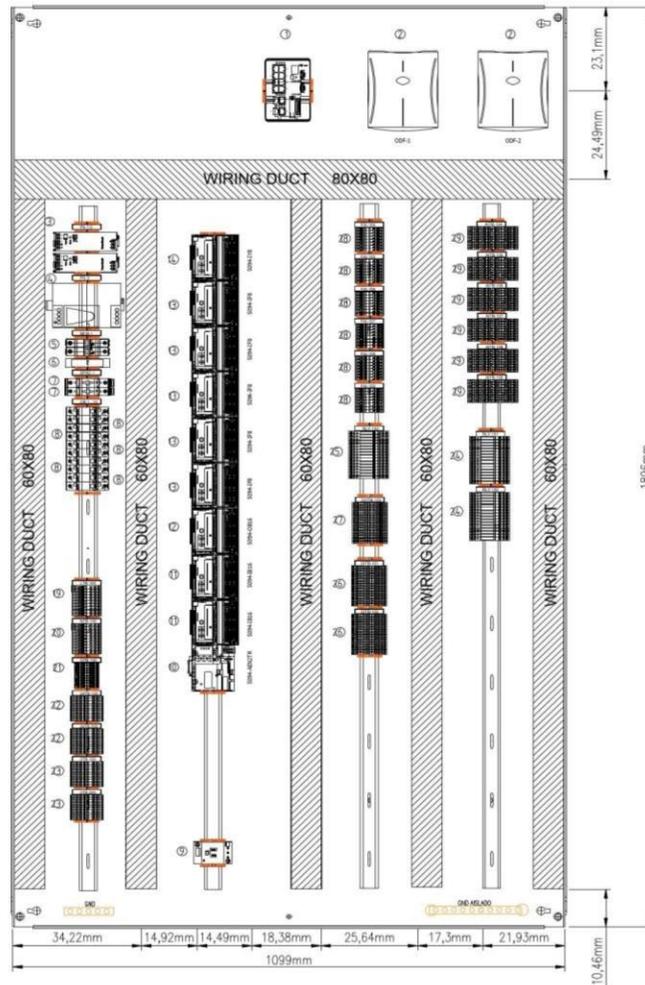
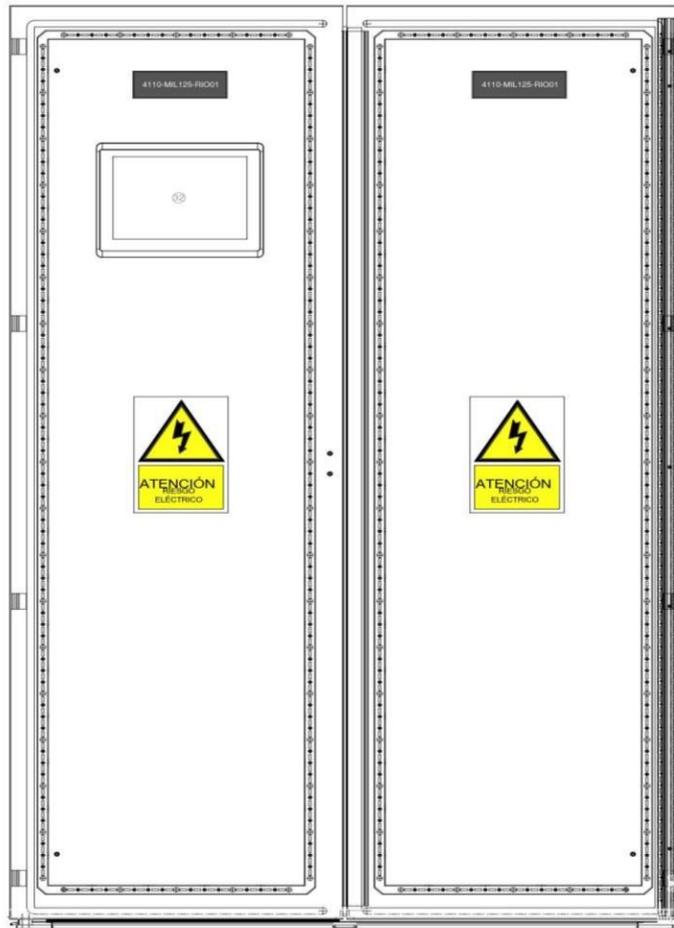
## SECUENCIA DE OPERACIÓN - 4110



## SECUENCIA DE OPERACIÓN - 4125



**ANEXO G: INFORMACIÓN DE PROVEEDORES ELÉCTRICOS  
E INSTRUMENTACIÓN**



LEYENDA DE EQUIPOS				
ITEM	TAG	DESCRIPCION	MARCA	CODIGO EQUIPO
1	SW1	Switch Ethernet	ALLEN BRADLEY	1783-8M510CCN
2	OP1,2	Caja de panel OP	NEOSIEM	#0961
3	PS1,2	Fuente de alimentación, 24-28V DC	ALLEN BRADLEY	1606-XLE24DE
4	PS3	Fuente de alimentación, 24-28V DC	SCHNEIDER ELECTRICS	ABLBPSP24100
5	MCB1	Interruptor termomagnético principal	ALLEN BRADLEY	1492-5PMCC200
6	FU1	Portafusible principal de sobretensión	ABB	EP1/32
7	SPAC1	Supresor de pico Tipo 2, 120kV, Monopolar	PHOENIX CONTACT	VAL-MS 133 ST 2807588
8	CB1,2-10	Interruptores termomagnéticos de línea	SCHNEIDER	593.4102-7
9	RC1	Termocorriente 120VAC + Neutro EG-48/UT/LD/15	PHOENIX CONTACT	804155
10	ETH2	Adaptador Ethernet 5084 Módulo RJ45	ALLEN BRADLEY	5094-AEN2TR
11	DI1,2	Módulo de 8 entradas digitales, sumido 10-32V	ALLEN BRADLEY	5094-0B16
12	DO1	Módulo de 16 salidas digitales, 24V	ALLEN BRADLEY	5094-0B16
13	AI...5	Módulo de 8 entradas analógicas tipo corriente	ALLEN BRADLEY	5094-0B8
14	AO	Módulo de 8 entradas analógicas tipo corriente	ALLEN BRADLEY	5094-0B8
15	LT1	Luminaria led 600 Lumen, alimentación a 100-240VAC	RITAL	SZ 2500.110
16	PA1	Panel View 7	ALLEN BRADLEY	2711P-112W2209P
17	SH0	Portaquemas, DIN A4 ho	RITAL	SZ 2514.000
18	INT	Interruptor de puerta para luminaria LED	RITAL	2500460

LEYENDA DE BLOQUES DE TERMINALES				
ITEM	TAG	DESCRIPCION	MARCA	CODIGO EQUIPO
19	L1B	Bloque de terminales para Línea	PHOENIX CONTACT	UF 2,5-TWIN - 3044513
20	N1B	Bloque de terminales para neutro	PHOENIX CONTACT	UF 2,5-TWIN - 3044513
21	Q1B	Bloque de terminales para tierra	PHOENIX CONTACT	UF 4-PE-3044128
22	241B	Bloque de terminales para 24Vdc	PHOENIX CONTACT	UF 2,5-QUARTRO
23	01B	Bloque de terminales para Divc	PHOENIX CONTACT	UF 2,5-QUARTRO
24	RL101,102	Relay para entradas digitales	PHOENIX CONTACT	PLC-RSC-7200C-2966197
25	RL103	Relay para salidas digitales	PHOENIX CONTACT	PLC-RSC-240C/21-2966171
26	01B	Bloque de terminales para entradas digitales	PHOENIX CONTACT	PTB 2,5 - 3210567
27	DO1B	Bloque de terminales para salidas digitales	PHOENIX CONTACT	PTB 2,5 - 3210567
28	FA1	Tablas para entradas analógicas	PHOENIX CONTACT	UF 4-RESILED 24-3211861
29	AF1B	Bloque de terminales para entradas analógicas	PHOENIX CONTACT	PT 2,5-3L - 3210499

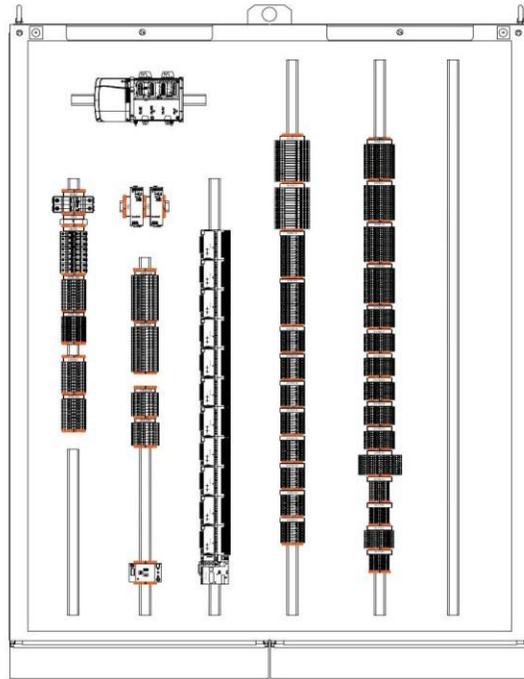


TITLE  
**AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT  
 AUTOMATIZACIÓN  
 GABINETE REMOTO I/O DE MOLINO DE BOLAS**

PROJECT N°  
 21466447

DRAWING N°  
 D-3145-AUT-DWG-20001

REV.  
 0



Nº	TAG	DESCRIPCION	Nº CAT.	CANT.
	MCB1	Main Circuit Breaker	1492-SPM2C400	1
	CB1	Fie. CompactLogix PS1	1492-SPM1C020	1
	CB2	Fie. 24vdc 240w PS2	1492-SPM1C040	1
	CB3	Fie. 24vdc 240w PS3	1492-SPM1C040	1
	CB4	Iluminacion Gabinete LT1	1492-SPM1C020	1
	CB5	Calefaccion Gabinete HT1	1492-SPM1C020	1
	CB6	Tomacorriente RCT1	1492-SPM1C020	1
	CB7	Entradas Discretas DITB	1492-SPM1C010	1
	CB8	Salidas Discretas DOTB	1492-SPM1C100	1
	CB9	Instrumentos ESTB	1492-SPM1C020	1
	CB10	Reserva	1492-SPM1C020	1
	CB11	Reserva	1492-SPM1C020	1

1	NTB	Bloque Terminal Neutro	1492-J3	11
2	GTB	Bloque Terminal Tierra	1492-JG4	11
3	DITB	Bloque Terminal Entrada Discreta	1492-WFB4250 1492-J3	10 10
4	DOTB	Bloque Terminal Salida Discreta	1492-WFB4250 1492-J3	11 11
5	ESTB	Bloque Terminal Instrumentos	1492-WFB4250 1492-J3	10 10
6	24FB1	Bloque Terminal 1 - 24VDC	1492-WFB424 1492-J3	7 7
7	24FB2	Bloque Terminal 2 - 24VDC	1492-WFB424 1492-J3	17 17
8	TB-D01.01 TB-D01.02 TB-D01.03 TB-D01.04	Bloque Terminal 5094-IA16	1492-WFB424 1492-J3	64 64
9	TB-DC02.06 TB-DC02.05	Bloque Terminal 5094-CB16	1492-WFB4250 1492-JD3	32 32
10	TB-AC02.04	Bloque Terminal 5094-OF8	1492-WFB424 1492-JD3	8 8
11	TB-AB02.03 TB-AB02.02 TB-AB02.01	Bloque Terminal 5094-IF8IH	1492-WFB424 1492-WTF3	24 24
12	TBR-500 TBR-S01	Bloque Terminal Relé	700-HLT1224	32
13	PS1	Fuente Control Logix	1756-PA72	1
14	PS2	Fuente de Poder 24vdc, 240w	1606-XLE240E	1
15	PS3	Fuente de Poder 24vdc, 240w	1606-XLE240E	1
16		Controlador Control Logix LR2E	1756-LR2E	1
17		Tarjeta de Comunicación	1756-EN2TR	1
18		Tarjeta de Comunicación	1756-EN2T	1
19		Ethernet Adapter	5094-AENTR	3
20		Tarjeta de Entrada Digital 16 CH	5094-IA16	3
21		Tarjeta de Entrada Digital 16 CH	5094-IA16	3
22		Tarjeta de Entrada Análoga 8 CH	5094-IF8IH	3
23		Tarjeta de Salida Análoga 8 CH	5094-OF8	1
24		Tarjeta de Salida Discreta 16 CH	5094-OB16	2
25		Switch Ethernet	1783-BMS10CGN	1
26		HT1 Resistencia Calefactora 60W	DAH601	1
27	LT1, LT2	Luminaria 900lm	EL900D	2
28	S1, S2	Switch de Puerta	ADSW01	2
29	RCT1	Tomacorriente		1
30	T1	Termostato Hoffman Eldon	ETR200	1
31	PV	PanelView Plus 7	2711P-T12W22D9P	1
32	ODF1	ODF Industrial		2
33	GW1	GATEWAY Industrial	ODOT-SZE2	1



TÍTULO  
 AREA 1 - CCS GRINDING CIRCUIT  
 AUTOMATIZACIÓN  
 GABINETE DE CONTROL PRINCIPAL

PROJECT Nº  
 21466447

DRAWING Nº  
 D-3145-AUT-DWG-20002

REV.  
 0