



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA**

**ELABORACIÓN DE MANUAL TÉCNICO DE OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE MINIPLANTA PILOTO DE
FLOTACIÓN MÓVIL PARA LA EMPRESA SGS MINERALS**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

PROF. GUÍA: JORGE MORALES FERREIRO

SEBASTIÁN NICOLÁS CASTILLO FUENZALIDA

CURICÓ - CHILE

2022

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular stamps and signatures are present. The left stamp is blue and contains the text "UNIVERSIDAD DE TALCA", "DIRECCIÓN", "SISTEMA DE BIBLIOTECAS". A blue ink signature is written over the stamp. The right stamp is grey and contains the text "UNIVERSIDAD DE TALCA", "SISTEMA DE BIBLIOTECAS", "CAMPUS CURICO". A blue ink signature is written over the stamp.

Curicó, 2023

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia quienes me dieron el apoyo y fueron el pilar que sostuvo este arduo camino. A mi hija quien fue mi fuente de inspiración y motivación para continuar día a día entregando el mejor de los esfuerzos.

Me gustaría destacar a todos los profesores de la Universidad de Talca que me entregaron todas las herramientas disponibles y siempre estuvieron dispuestos a enseñar, corregir y alentar en busca de la excelencia hacia su alumnado. Adicionalmente a todo el equipo de la escuela de Ingeniería Mecánica quienes con su dedicación logran crear el mejor ambiente para el desarrollo de nuestras actividades. Especialmente a nuestra secretaria de escuela Alejandra Cabrera, quien siempre lleva puesta la camiseta por la institución.

Reconocer el trabajo y preocupación de mi profesor guía Jorge Morales quien hasta el día de hoy me incentiva para conseguir grandes logros y está siempre disponible para una palabra tanto en lo académico como en lo personal.

Finalmente, al profesor del módulo Leonardo Albornoz quien fue de gran ayuda con su trabajo de corrección y guía en cada decisión tomada respecto al desarrollo de esta memoria. Muchas gracias, profesor.

DEDICATORIA

*Dedicado especialmente a mi hija Emily
A quien amo con todo mi corazón.*

RESUMEN

El proceso productivo del cobre integra diversas tareas que deben ser realizadas para conseguir el producto final. Estas tareas nos entregan muchos desafíos para quienes deben ejecutar las mismas, así con la finalidad de obtener el mineral en su máxima pureza, altamente rentable y con las mayores medidas de seguridad existentes. Es por esto, que antes de realizar cualquier proceso a gran escala, se deben realizar estudios de laboratorio y pruebas piloto. Las cuales nos permiten cuantificar el funcionamiento, optimizando sus parámetros de ejecución.

En busca de entregar las mejores soluciones ingenieriles para la industria minera, SGS Minerals ha desarrollado una Miniplanta piloto de flotación móvil, la cual permite transportar un laboratorio a la zona de trabajo y realizar simulaciones a escala del proceso de flotación que se ejecuta a nivel industrial. Por esta razón, durante el desarrollo y diseño de la Miniplanta fue necesario normalizar y estandarizar los procesos, equipos y arquitectura de funcionamiento. Así, el objetivo de esta memoria es realizar un manual técnico de operación y mantenimiento para asegurar el correcto uso de la Miniplanta y optimizar su vida útil, considerando también todas las medidas de seguridad pertinentes para el caso.

Este proyecto busca ser la base de trabajo para las futuras modificaciones o necesidades que pueda tener la Miniplanta piloto, asegurando el óptimo funcionamiento y conseguir un proceso de flotación a escala totalmente disponible para su interpretación a nivel industrial.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. RESULTADOS ESPERADOS.....	6
1.6. METODOLOGÍA.....	6
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. PROCESO PRODUCTIVO DEL COBRE.....	8
2.1.1. Proceso de flotación.....	10
2.1.1.1. Reactivos de flotación.....	13
2.1.1.2. Circuito de flotación.....	15
2.2. SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL.....	17
2.2.1.1. Conceptos clave.....	17
2.2.1.2. Diagramas de bloques.....	18
2.2.1.3. Tipos de sistemas de control.....	19

2.2.1.4.	Controlador continuo Proporcional, Integral, Derivativo (PID)	20
2.3.1.5.	Acción lógica proporcional	22
2.3.1.5.1.	<i>Acción de control integral</i>	23
2.3.1.5.2.	<i>Acción de control Derivativa</i>	24
2.3.1.6.	Controlador Lógico Programable (PLC).....	25
2.3.1.6.1.	<i>Conceptos generales</i>	25
2.3.1.6.2.	<i>Estructura externa</i>	26
2.3.1.6.3.	<i>Estructura interna</i>	26
2.3.	CONFIABILIDAD OPERACIONAL.....	29
2.3.2.	Aplicación de la confiabilidad operacional	30
2.3.3.	Herramientas de confiabilidad operacional	31
2.3.3.1.	Análisis de criticidad (CA):.....	32
2.3.3.2.	Análisis de Modos y efectos de Falla y Criticidad (FMECA):	32
2.3.3.3.	Análisis Causa Raíz (RCFA):	32
2.3.3.4.	Inspección Basada en Riesgos (RBI):	32
2.3.3.5.	Análisis Costo Riesgo Beneficio (BRCA):	32
2.3.3.6.	Costo del Ciclo de Vida (LCC):.....	32
2.4.	Análisis de modos y efectos de falla y criticidad (fmeca).....	33
2.4.1.	Definición FMECA	34
2.4.2.	Descripción del método FMECA	36
Capítulo 3.	DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA.....	41
3.1.	Miniplanta piloto de flotación móvil.....	42
3.1.1.	Visión general.....	42
3.1.2.	Principio de funcionamiento.....	44
3.1.3.	Descripción general del equipamiento	46

3.1.4.	Plano de planta	47
3.1.5.	Descripción de equipos y partes	48
3.1.6.	Sistema de control	60
3.1.7.	Esquemas generales de control.....	61
3.1.7.1.	PLC FATEK Model Fbs	61
3.1.7.2.	Sistema de visualización HMI.....	63
3.1.7.3.	Sistema servomotor YE LI YBL7S – Driver YPV Series	65
3.1.7.4.	Controlador de flujo másico Aalborg GFC 17	67
3.1.8.	Análisis modal de fallas y efectos (A.M.F.E)	70
3.1.8.1.	Criterio de clasificación	70
3.1.9.	Cronología Para Labores de Mantenimiento	73
3.1.9.1.	Molino De Bolas	73
3.1.9.2.	Equipo Auxiliar.....	74
3.1.9.3.	Tanque Agitador.....	75
3.1.9.4.	Feed Tank.....	76
3.1.9.5.	CFM	77
3.1.9.6.	Molino Vertical	79
3.1.9.7.	Columna De Flotación	80
Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS		82
4.1.	MANUAL DE OPERACIÓN	83
4.1.1.	Conexión de alimentación	85
4.1.2.	Inicio de operación	85
4.1.2.1.	Resumen del procedimiento de arranque	86
4.1.3.	Parada de operación.....	88
4.1.3.1.	Resumen del procedimiento de parada.....	88

4.2.	MANUAL DE MANTENIMIENTO	89
4.3.	FILOSOFÍA DE CONTROL	92
4.3.1.	Arquitectura.....	92
Capítulo 5.	CONCLUSIONES	95
	CONCLUSIONES.....	96
	REFERENCIAS	98
	ANEXO 1: MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y FILOSOFIA DE CONTROL DE MINIPLANTA PILOTO MÓVIL DE FLOTACIÓN.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 2.1: Representación esquemática del proceso de flotación. Fuente: Vianna, S.2004.	11
Ilustración 2.2: Diagrama de fuerzas, Tensiones interfaciales.	12
Ilustración 2.3: Circuito de flotación. Fuente: SGS documentación interna.	16
Ilustración 2.4: Diagrama de bloque simple. Fuente: Elaboración propia.	18
Ilustración 2.5: Diagrama de bloque sistema lazo abierto. Fuente: Elaboración propia.	19
Ilustración 2.6: Diagrama de bloques bucle cerrado. Fuente: Elaboración propia.....	19
Ilustración 2.7: Control Proporcional, Integral y Derivativo (PID) en bucle cerrado. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.	21
Ilustración 2.8: Representación de efectos Proporcional, Integral y Derivativo. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.	21
Ilustración 2.9: Actuación de un control proporcional. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.	22
Ilustración 2.10: respuesta sistema de control en bucle cerrado. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.....	24
Ilustración 2.11: Estructura externa PLC marca Fatek. Fuente: www.fatek.com	26
Ilustración 2.12: Diagrama de componentes internos de un PLC. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.....	27
Ilustración 2.13: Factores de confiabilidad operacional. Fuente: Gestión de activos industriales: Modelos y herramientas, 2011	29
Ilustración 2.14: Herramientas para la confiabilidad operacional. Fuente: Gestión de activos industriales: Modelos y Herramientas, 2011.	31
Ilustración 2.15: Tareas importantes FMECA. Fuente: Handbook of Maintenance and engineering, 2009	35
Ilustración 3.1 Vista exterior MPPM.....	43
Ilustración 3.2 Máquina de flotación continua	43
Ilustración 3.3: Esquema general - Fuente: Elaboración propia.....	45
Ilustración 3.4: Lógica de bucle cerrado. Fuente:	61
Ilustración 3.5: Lazo de control Pantalla HMI - Fuente: Elaboración propia	64

Ilustración 3.6: Lazo de control servomotor - driver YPV.....	66
Ilustración 3.7: Diagrama de funcionamiento - Fuente: www.aalborg.com	67
Ilustración 3.8: Lazo de control Flujoómetro Aalborg.....	69
Ilustración 4.1: Ventana inicial "% Sólido".....	83
Ilustración 4.2: Pantalla de calibración Feed Tank	84
Ilustración 4.3: Interruptores de encendido	85
Ilustración 4.4: Datos generales.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 0.1: Criterio de evaluación de ocurrencia. Fuente: Hanbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.....	37
Tabla 0.2: Criterios de evaluación de gravedad. Fuente: Hanbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.....	38
Tabla 0.3: Criterios de evaluación de la detectabilidad. Fuente: Hanbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.....	39
Tabla 0.4: Matriz FMECA tipo. Fuente: Hanbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.....	40
Tabla 0.1: Especificaciones generales MPPM	46
Tabla 0.2: Características técnicas pantalla HMI	63
Tabla 0.3: Características técnicas de equipos involucrados.....	65
Tabla 0.4: Características técnicas controlador de flujo másico	68
Tabla 0.5: Criterios de evaluación de gravedad	71
Tabla 0.6: Criterios de evaluación de frecuencia	71
Tabla 0.7: Criterios de evaluación de detectabilidad.....	72
Tabla 0.1: Extracto de labores de mantenimiento para molino de bolas.....	90
Tabla 0.2: Ejemplo instrumentos principales para Columna de flotación.....	93
Tabla 0.3: Ejemplo Secuencia de operación para Columna de flotación.	94

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La *Société Générale de Surveillance* en adelante SGS es una compañía multinacional Suiza cuya principal actividad económica es la inspección, certificación, verificación y ensayos, en diferentes industrias tales como: Agricultura y alimentos, construcción, productos químicos, bienes de consumo y venta minorista, Energía, fabricación industrial, ciencias biológicas, Minerales, petróleo y gas, sector público, transporte.

La experiencia adquirida durante su presencia en Chile desde 1951, le permite entregar hoy en día, servicios de calidad relacionados principalmente con la industria minera junto con sus diversas sedes a lo largo de Chile, que incluyen laboratorios, plantas piloto y oficinas.

Precisamente en la comuna de Quilicura se emplaza la planta piloto sede de SGS encargada de realizar el procesado de muestras, desarrollo de procesos, geo metalurgia, entre otros. Así dentro de sus soluciones ingenieriles, presenta la simulación del proceso de flotación en una planta piloto móvil automatizada, operando bajo diferentes condiciones de trabajo. La cual tiene como propósito el estudio del diseño de proceso metalúrgico, buscando reducir los riesgos, aportar valor agregado y maximizar el rendimiento. Entregando el diagrama de flujo óptimo y medioambientalmente sostenible para las operaciones de la empresa solicitante.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El proceso de flotación, uno de los procesos de mayor importancia en la industria metalúrgica, es donde se utilizan las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales que hacen que algunos minerales se adhieran a las burbujas de aire y otros los repelen. Para la realización de este procedimiento se utilizan una serie de celdas conectadas entre sí, en una configuración óptima que permita el ingreso de material y mediante la adición de químicos que favorecen las propiedades aerofílicas del metal de interés se forme la espuma rica en dicho mineral y pase al siguiente estanque o celda para repetir el procedimiento. El mineral que se encuentra en el fondo será descartado como relave o será reprocesado por otra etapa posterior.

Dada la importancia de este procedimiento es como en la industria extractiva y de procesamiento de cobre utilizan diversos estudios científicos y pruebas de laboratorio para determinar las condiciones de operación óptimas en la recuperación del mineral valioso. Las variables involucradas en el desempeño de la recuperación en el proceso de flotación son muchas y las más importantes son; propiedades fisicoquímicas específicas, flotabilidad, reactivos, alcalinidad, espuma, entre otros.

En la búsqueda de obtener la mejor predicción de funcionamiento del proceso de flotación, se utilizan generalmente pruebas de flotación batch en las cuales se flotan de entre 0,5 a 2 Kg de mineral y recibe su nombre ya que no se suministra mineral continuamente. Bajo esta condición los resultados son una aproximación a la realidad industrial y no precisan imitar correctamente el procedimiento. Por esta razón, se han diseñado un sistema a escala capaz de simular el procedimiento de flotación de manera continua y con la posibilidad de controlar, cuantificar y modificar cualquiera de las variables involucradas.

El departamento de innovación de SGS Minerals sede Quilicura trabaja en una nueva planta piloto móvil de flotación, diseñada y fabricada por personal de la empresa. La cual prestará servicios de prueba en terreno, con la capacidad de procesar 10 kg/h de material de forma continua de manera automatizada y con la posibilidad de modificar las condiciones de operación y medir su influencia en la recuperación del mineral de cobre. Para esto fue necesario la organización de un equipo de ingenieros de diversas áreas quienes en conjunto puedan diseñar de manera óptima el operar de esta máquina y establecer los procedimientos adecuados para el

Capítulo 1. Introducción

correcto funcionamiento de la miniplanta móvil. Por esto se propone la elaboración de un manual de procedimiento y mantención de los equipos involucrados.

El presente proyecto de tesis es de vital importancia para el ingeniero, operario o técnico encargado, como fuente de guía en sus actividades de supervisión, puesta en marcha, operación y mantenimiento de MPPM, generando de esta manera una estandarización de sus actividades para realizar un eficiente trabajo, debido a las exigencias por parte del fabricante de los equipos y los estándares de calidad que SGS representa. Es por lo que el documento se enfoca en un formato de operación y mantención de la MPPM, conociendo sus principales fallas o problemas que se puedan generar y solucionarlos adecuadamente.

1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA

Elaborar un documento técnico de referencia con el cual el personal de la empresa, operarios o técnicos guíen su trabajo en la operación y mantenimiento de los equipos que componen la Miniplanta Piloto Móvil (MPPM) de flotación, cumpliendo además con las restricciones que el sistema presenta.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Elaborar un manual de procedimientos para la operación y mantenimiento de la Miniplanta piloto móvil de flotación para la empresa SGS Minerals Chile.

1.4.2. Objetivos específicos

- Comprender y analizar el proceso de flotación de minerales sulfurados y esquematizar el proceso en la Miniplanta.
- Comprender y analizar la tecnología de control automatizado PLC Fatek.
- Realizar una descripción de las especificaciones técnicas de los equipos que componen la Miniplanta.
- Realizar Análisis modal de efectos y fallas (AMFE) para cada equipo existente en el sistema.
- Redactar la filosofía de control del sistema Miniplanta Piloto Móvil (MPPM) de flotación.
- Elaborar un documento manual técnico de implementación, puesta en marcha, operación y mantenimiento de MPPM.

1.5. RESULTADOS ESPERADOS

- Comprender a cabalidad el proceso metalúrgico que realiza la MPPM, los procesos físico-mecánicos involucrados y el sistema de control automatizado involucrado.
- Manual de operación claro y preciso, que detalle los procedimientos para ejecutar de forma exitosa el estudio necesario según condiciones de trabajo impuestas por el solicitante.
- Manual de mantenimiento detallado y ordenado capaz de proveer la información necesaria para ejecutar las labores mínimas que aseguren el óptimo funcionamiento del equipo y prolongar su vida útil, dadas las fallas críticas presentes en cada subsistema.
- Manual de filosofía de control explícito, ordenado y claro, el cual muestre el razonamiento utilizado en la programación del sistema de control automatizado para permitir la modificación según sea necesario, acorde a la programación, configuración y funcionamiento de controladores lógicos Fatek.

1.6. METODOLOGÍA

La metodología de desarrollo se basará en métodos cualitativos que funcionarán como eje directriz para la elaboración de planes y estrategias de mantenimiento de equipos y procesos que se encuentran en desarrollo, mejorando así su confiabilidad.

En primera instancia es necesario el estudio del proceso y los componentes que forman parte del sistema MPPM, esto será de vital importancia para diferencias aparatos críticos que merecen un estudio más exhaustivo.

Posteriormente, se realizará un análisis cualitativo y sistemático llamado FMECA, que nos permitirá ponderar en una escala la prioridad de riesgo de las posibles fallas. Determinando así condiciones de diseño que pueden ser modificadas o contempladas en el mantenimiento preventivo del equipo.

Para finalizar se elaborará un manual de operaciones y mantenimiento que contemple todos los procedimientos necesarios para una puesta en marcha segura y eficaz, un mantenimiento que nos entregue la seguridad de funcionamiento necesaria para operarios y equipo, además de los protocolos para operar el equipo con resultados óptimos.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. PROCESO PRODUCTIVO DEL COBRE

Se denomina proceso productivo del cobre a la serie de procedimientos que se realizan para alcanzar un cobre de alta concentración, es decir, libre de la mayor cantidad de impurezas. Esto comprende desde la exploración de terrenos en búsqueda de yacimientos a la fabricación de planchas o cátodos de cobre de 99,99% de pureza, que son comercializados en el mercado mundial.

Se diferencian cerca de 9 procedimientos que van desde la exploración en yacimientos hasta el concentrado de cobres.

1. Exploración: La primera etapa del proceso de producción comienza con la exploración geológica, verificando el tipo de rocas presentes en el subsuelo y la presencia o no de minerales valiosos. De acuerdo con esto, el cobre está presente en la corteza terrestre en forma de minerales sulfurados y/ óxidos, cuyas características definen su posterior forma de procesamiento.
2. Extracción: Tal como lo indica su nombre es el procedimiento mediante el cual se extrae el cobre de la Tierra. El objetivo principal es sacar el mineral del macizo rocoso para llevarlo de forma segura a la planta donde será separado de otros minerales y se obtendrá el cobre puro. Este proceso se lleva a cabo a través de cuatro etapas fundamentales: Perforación, Tronaduras, Carguío, Transporte.
3. Chancado: El principal objetivo del chancado es disminuir el tamaño de los fragmentos de roca mineralizada a un diámetro de ½ pulgada. Es necesario este proceso para que el material pueda ser tratado en las siguientes etapas del proceso productivo. Estos equipos van demoliendo las rocas hasta llegar al tamaño deseado, para eso lo realizan principalmente en tres etapas: Etapa primaria (8”), Etapa secundaria (3”), Etapa terciaria (1/2”).

Capítulo 2. Marco teórico

Las 3 primeras etapas son comunes para cualquier tipo de roca, luego el tratamiento cambia dependiendo si es sulfuro u óxido.

- a. Sulfuro: Etapa tradicional del proceso productivo del cobre.
 4. Molienda: Las rocas son trituradas al máximo llegando a una granulometría de 0,18 [mm]. Esto se realiza para encontrar las partículas de cobre y separarlas lo más posible de otras sustancias. En este proceso se le suele agregar agua a los fragmentos de roca en cantidades suficientes para formar un fluido lechoso, y se le añaden reactivos para facilitar el siguiente paso: flotación.
 5. Flotación: El material se sumerge en grandes piscinas (celdas de flotación) para separar el cobre de otras sustancias. Para esto se bombea aire desde el fondo de estas piletas formando burbujas, las cuales, junto a los reactivos adicionados previamente, los minerales de interés; generalmente cobre y molibdeno, ingresan a estas burbujas y suben a la superficie de la solución.
 6. Fundición: En esta etapa el concentrado obtenido es expuesto a altísimas temperaturas para ser fundidos y así separar el cobre de otros minerales e impurezas. Se divide principalmente en 4 etapas: Recepción y muestreo, Fusión, Conversión, Pírorrefinación.
 7. Electrorrefinación: Comprende la última etapa del cobre sulfurado. En esta fase los ánodos, también conocidos como cobre blíster, obtenidos en la fundición se transforman en cátodos de cobre de 99,99% de concentración, listos para ser comercializados en el mercado. Básicamente se disuelven los ánodos provenientes de la fundición mediante electrolisis a través de la aplicación de corriente eléctrica.
- b. Sulfuros: innovación en el proceso productivo.
 8. Biolixiviación: Este proceso es una nueva tecnología que se utiliza para extraer metales desde el concentrado mineralizado. Estos microorganismos se alimentan principalmente de dos elementos que suelen estar presentes en los sulfuros de cobre, azufre y hierro, por lo que naturalmente separan las partículas de metal de estas impurezas.
- c. Óxidos: proceso productivo del cobre oxidado.
 9. Lixiviación: Después del chancado del cobre oxidado, este pasa por la etapa de lixiviación, que básicamente, consiste en recuperar los metales presentes en la roca

mineralizada mediante la aplicación de agua y ácido sulfúrico. Este proceso se fundamenta en base a un procedimiento hidrometalúrgico, que tal como dice su nombre; comprende la extracción o recuperación de metales a través del uso de soluciones líquidas.

10. Electro obtención: Esta etapa final tiene por objetivo obtener créditos de cobre de 99,99% de pureza mediante el uso de energía eléctrica. La solución proveniente de lixiviación se traslada a las denominadas celdas electrolíticas, en estas celdas se disponen ánodos y cátodos. Aquí se hace circular una corriente eléctrica de muy baja intensidad y mediante la electrolisis, los iones de cobre (cationes) presentes en la solución de sulfato de cobre son atraídos por la carga negativa del cátodo y se depositan en él.

2.1.1. Proceso de flotación

El proceso de flotación es el proceso de separación de los minerales valiosos de aquel material no valioso, aprovechando sus características fisicoquímicas mediante la adición de reactivos; esto propicia la generación de espumas y su posterior colección mediante canaletas o launders, para lo cual se utilizan equipos mecánicos y/o neumáticos, denominadas celdas de flotación.

Este proceso surgió a partir del proceso de separación en medios densos, ya que la dificultad para la obtención de fluido en distintas densidades obligó a la utilización de modificadores de superficie, con el fin de mejorar la selectividad del proceso. Estos modificadores permiten mutar su condición hidrofílica a propiedades hidrofóbicas de tal forma que ante la presencia de un medio constituido por agua y aire (burbujas), la especie hidrofóbica rechace el agua y se adhiera a las burbujas de aire que ascienden hacia la superficie del líquido.

Siempre y cuando el conjunto de partículas adheridas a las burbujas de aire tenga una densidad global inferior a la del medio de separación, estas podrán viajar juntas hacia la superficie, no obstante, se requiere que la burbuja tenga la resistencia suficiente para no romperse antes de terminar su recorrido. Alcanzada la superficie es necesario que se forme una espuma que mantenga retenida las partículas para su posterior obtención, de lo contrario las burbujas se reventarán y las partículas caerán nuevamente al fondo de la celda de flotación.

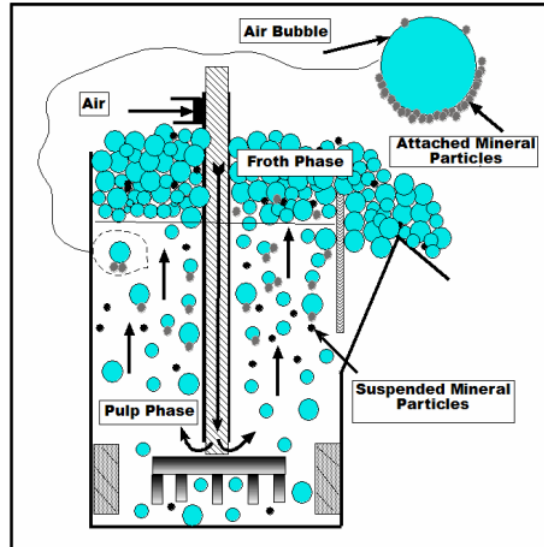


Ilustración 0.1: Representación esquemática del proceso de flotación. Fuente: Vianna, S.2004.

Tal como se muestra en la ilustración 2.1, el proceso de flotación se lleva a cabo en celdas que poseen mecanismo de agitación y dispositivos de ingreso de aire a la pulpa. La agitación favorece la separación y suspensión de las partículas, mientras que la inclusión de aire promueve la formación de burbujas.

En relación con su afinidad con el agua, los minerales pueden presentar propiedades hidrofóbicas (sin afinidad) e hidrofílicas (con afinidad), que determinan su flotabilidad natural. Esto está directamente relacionado con su polaridad. Se tiene que:

- **Minerales Apolares:** Son hidrofóbicos (no reaccionan con los dipolos de agua), ejemplo: azufre nativo, grafito, molibdenita y otros sulfuros. En estos minerales su estructura es simétrica, no intercambian electrones dentro de sus moléculas, no se disocian en iones, son en general químicamente inactivos y con enlaces covalentes.
- **Minerales Polares:** Son hidrofóbicos (los sólidos tienen la capacidad de hidratarse), por ejemplo: óxidos. En estos minerales su estructura es asimétrica, intercambian electrones en la formación de enlaces (enlace iónico) y tienen extraordinaria actividad química en general.

Los fenómenos que ocurren en flotación son interacciones fisicoquímicas específicas entre elementos y compuestos de las distintas fases. Esto ocurre a través de las tres interfases

posibles: **Gas – Líquido**, **Sólido – Líquido** y **Sólido – Gas**. Al interior de una fase las fuerzas intermoleculares se encuentran equilibradas. Esto no sucede en la interfase antes mencionada, donde no existe un balance de fuerzas. Generándose una tensión conocida como tensión interfacial o tensión superficial.

- Tensión Superficial γ

La tensión superficial se puede considerar como la energía libre de superficie (Gibbs) y es definida como el trabajo reversible (W) que se debe realizar para aumentar en una unidad el área interfacial (A)

$$\gamma = \left[\frac{dW}{dA} \right]_{T,P,n}$$

- Tensión Interfasial

Las tensiones interfasiales γ de las tres fases en equilibrio se pueden relacionar por la ecuación de Young, con el ángulo de contacto “ θ ”:

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta$$

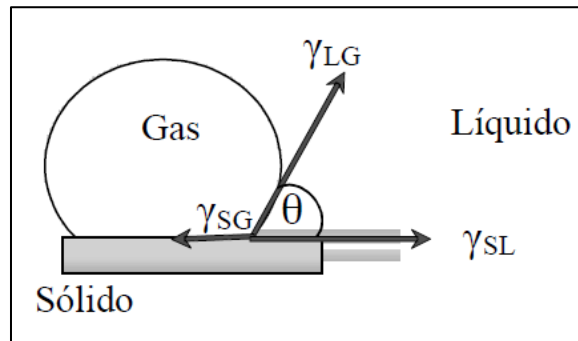


Ilustración 0.2: Diagrama de fuerzas, Tensiones interfasiales.

Capítulo 2. Marco teórico

La modificación selectiva de las partículas a separar se obtiene mediante la adición de **colectores, depresores y activadores**. A su vez, la estabilidad de las burbujas de aire, necesarias para evitar que estas se destruyan antes de llegar a la superficie, se logra mediante la adición de **espumantes**. Finalmente, la selectividad en la modificación superficial de las partículas a separar se obtiene mediante la adición de **modificadores de pH**, lo que favorece que algunos colectores se adhieran fácilmente a las especies más hidrofóbicas.

La recuperación de la especie de interés depende de la cantidad de partículas transportadas a la superficie, por lo tanto, la estabilidad y el tamaño de las burbujas de aire que las transporta influyen directamente en la recuperación. En un proceso en el que se produzcan muchas burbujas pequeñas se obtendrá una mayor recuperación, que, si se producen burbujas más grandes y en menor cantidad, ya que la recuperación depende del área superficial de las burbujas disponibles para que las partículas se adhieran a ellas.

2.1.1.1. *Reactivos de flotación*

Se clasifican en tres grupos principales: **Colectores, Espumantes, Modificadores**.

- **Colectores:**

La mayoría de los minerales son naturalmente hidrofílicos. Para lograr separarlos por flotación, la superficie de algunos debe ser selectivamente transformada en hidrofóbica. Esto se logra agregando compuestos orgánicos, iónicos y heteropolares solubles en agua. Su grupo polar es la parte activa que se absorbe en la superficie de un mineral, mientras que la parte apolar se orienta hacia la fase líquida, sin interactuar con ésta.

- **Modificadores:**

Son reactivos que se usan cuando se necesita mejorar las condiciones de colección y/o cuando se necesita mejorar la selectividad del proceso. Bajo esta categoría se incluyen: **Activadores, Depresantes** y los **Reguladores de pH**.

- *Activadores:* estos reactivos sirven para aumentar la absorción de los colectores sobre la superficie de los minerales o para fortalecer el enlace entre la superficie y el colector. Principalmente se destacan tres formas de acción que pueden ser: Limpiando la superficie del mineral (por ejemplo, disolviendo las capas oxidadas

de los sulfuros), formando una capa superficial particularmente favorable para la absorción de colector (por ejemplo, sulfidización NaSH de los óxidos metálicos antes de la aplicación de colectores sulfhídricos), reemplazando en la red cristalina los iones metálicos por otros que formen un compuesto más firme con los colectores.

- *Depresantes:* estos colectores sirven para disminuir la flotabilidad de un mineral haciendo su superficie más hidrofóbica o impidiendo la absorción de colectores que puedan hidrofobizarla. Los más comunes pueden ser: Sulfuro de Sodio, Sulfhidrato de Sodio, Cianuro de Sodio, Cal, Cromatos y bicromatos.
- *Reguladores de pH:* El regulador de pH más usado para operar en medio alcalino es la cal, la que puede agregarse como cal viva (CaO) o como cal apagada (Ca(OH)₂). En medio ácido se utiliza comúnmente una solución de ácido sulfúrico.

- **Espumantes:**

Son reactivos orgánicos de carácter heteropolar. Similar a los colectores iónicos en su estructura, su diferencia radica en el carácter del grupo polar que en este caso es un grupo con gran afinidad con el agua (OH⁻). Permiten la formación de una espuma estable y burbujas de tamaño apropiado (pequeño) para llevar los minerales al concentrado. Los más usados con ácidos, aminas y alcoholes. Los poliglicoles generan espuma más estable que los alcoholes y en general son considerados espumantes fuertes.

2.1.1.2. *Circuito de flotación*

Las celdas de flotación se agrupan en un circuito que para cada requerimiento industrial representa una solución económica distinta, diferenciándose para cada tipo de mineral y tiempos de explotación de un yacimiento. Generalmente encontramos sistemas combinados con diversas etapas conectadas entre sí para así optimizar la recuperación del mineral valioso, separándolo del mineral no valioso o “ganga”.

Un circuito está compuesto básicamente de 3 tipos de celdas:

1. **Flotación primaria o Rougher:** Es aquella que recupera una alta proporción de las partículas valiosas, aun a costa de la selectividad, utilizando las mayores concentraciones de reactivos colectores y/o depresores del circuito, velocidades altas de agitación y baja altura de la zona de espuma. El concentrado Rougher, no es un producto final y deberá pasar a las etapas de limpieza o Cleaner.
2. **Flotación en limpieza (Cleaner):** Se consideran las operaciones en las que los concentrados primarios están sujetos a flotaciones repetidas para mejorar la calidad del concentrado. Tiene como finalidad obtener concentrados de alta ley aún a costa de una baja recuperación; en algunos casos para hacer más selectivo el proceso, se requieren bajos porcentajes de sólidos en las pulpas de flotación, menores velocidades de agitación, mayor altura de la zona de espumas y principalmente menor concentración de reactivos colectores. También es recurrente añadir reactivos depresores que incrementan la selectividad de la flotación. Los relaves de limpieza generalmente no son descartados y regresan para su retratamiento a la etapa anterior.
3. **Flotación Scavenger:** Es aquella operación en la que se recupera la mayor cantidad de mineral valioso posible; su relave será un descarte final, mientras que su concentrado deberá retomar generalmente a la etapa rougher para incrementar su ley. El concentrado scavenger deberá tener una ley cercana a la del alimento fresco y al relave de la primera limpieza ya que las tres se unen. Muchas condiciones severas de flotación se imponen en esta sección: alta concentración de reactivos y prolongados tiempos de flotación, en el otro extremo en la sección cleaner, existen condiciones suaves.

Un ejemplo de circuito de flotación sería como el que se presenta en la Ilustración 2.3.

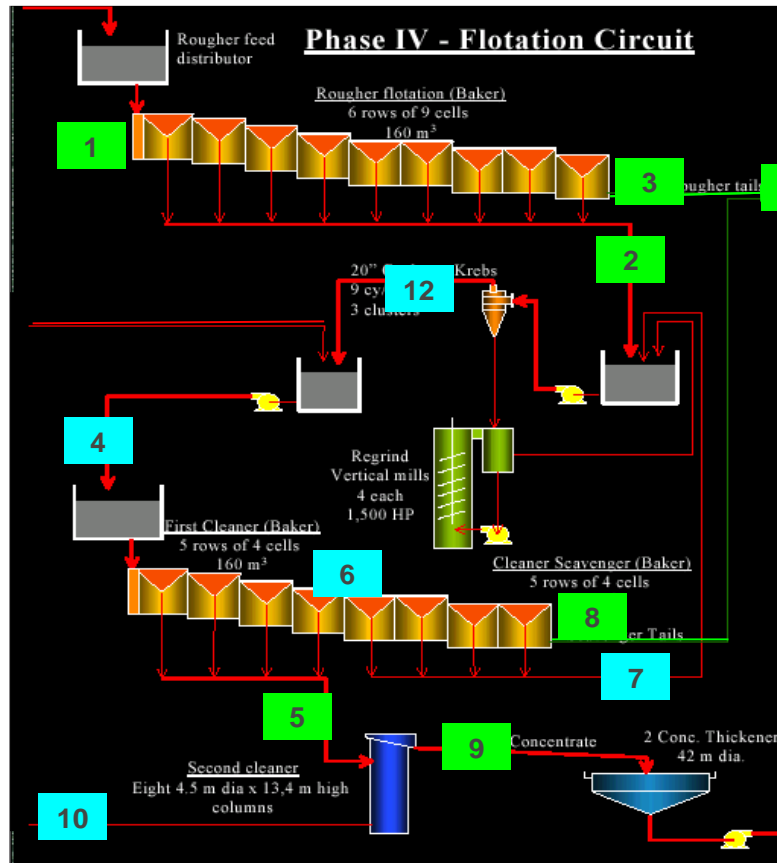


Ilustración 0.3: Circuito de flotación. Fuente: SGS documentación interna.

1. Alimentación Rougher
2. Concentrado Rougher
3. Cola Rougher
4. Alimentación 1era Limpieza (Cleaner)
5. Concentrado 1era Limpieza (Cleaner)
6. Cola 1era Limpieza (Cleaner)
7. Concentrado Scavenger
8. Cola Scavenger
9. Concentrado Final
10. Cola Columna de Flotación
11. Cola final
12. Over Cy Remolienda

2.2. SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROL

Un sistema automático de control es un conjunto de componentes físicos conectados y/o relacionados entre sí, de manera tal que regulen su propia actuación por sí mismos. Es decir, es posible prescindir de la intervención de agentes externos (incluida la humana), corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento. Comúnmente encontramos en un sistema, mecanismo o planta industrial una parte actuadora, que corresponde al sistema físico que realiza la acción, y otra parte de mando o control, que genera las ordenes necesarias para que esa acción se lleve a cabo no.

2.2.1.1. *Conceptos clave*

- **Variables de sistema:** Son todas las magnitudes, sometidas a vigilancia y control, que definen el comportamiento de un sistema (velocidad, temperatura, posición, etc.)
- **Entrada:** es la excitación que se aplica a un sistema de control desde una fuente de energía externa, con el fin de producir una respuesta.
- **Salida:** es la respuesta que proporciona el sistema de control.
- **Perturbación:** son señales no deseadas que influyen de forma adversa en el funcionamiento del sistema.
- **Planta:** sistema sobre el que se pretende actuar.
- **Sistema:** es un conjunto de elementos interrelacionados capaces de realizar una operación dada o de satisfacer una función deseada.
- **Entrada de mando:** señal externa al sistema que condiciona su funcionamiento.
- **Señal de referencia:** es una señal de entrada conocida que nos sirve para calibrar al sistema.
- **Señal activa:** también denominada señal de error. Representa la diferencia entre la señal de entrada y la realimentada.
- **Unidad de control:** gobierna la salida en función de una señal de activación.
- **Unidad de realimentación:** está formada por uno o varios elementos de captan la variable de salida, la acondicionan y trasladan a la unidad de comparación.

Capítulo 2. Marco teórico

- **Actuador:** es un elemento que recibe una orden desde el regulador o controlador y la adapta a un nivel adecuado según la variable de salida necesaria para accionar el elemento final de control, planta o proceso.
- **Transductor:** transforma una magnitud física en otra que es capaz de interpretar el sistema.
- **Amplificador:** nos proporciona un nivel de señal procedente de la realimentación, entrada, comparador, etc. Adecuada al elemento sobre el que actúa.

2.2.1.2. Diagramas de bloques

Los sistemas de control se pueden representar en forma de diagramas de bloques, en los que se busca ofrecer una expresión visual y simplificada de las interconexiones o relaciones entre la entrada y salida de un sistema físico. A cada componente del sistema de control se le denomina elemento, y se representa por medio de un rectángulo. El diagrama de bloques más sencillo es el de bloque simple, que consta de una sola entrada y de una sola salida.

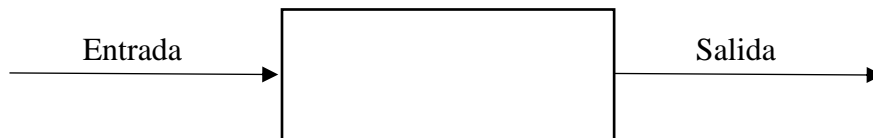


Ilustración 0.4: Diagrama de bloque simple. Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.3. Tipos de sistemas de control

Se pueden clasificar según su tipo de bucle en:

- Sistema de control de lazo abierto:

Este sistema corresponde a aquel que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La exactitud de estos sistemas depende de la calibración y por ningún motivo de la señal entregada en tiempo real.



Ilustración 0.5: Diagrama de bloque sistema lazo abierto. Fuente: Elaboración propia.

- Sistema de control de lazo cerrado:

En el caso anterior si existiesen perturbaciones es posible no obtener la variable de salida deseada. Por tanto, es conveniente utilizar un sistema en el que exista una relación entre la salida y entrada.

El sistema de bucle cerrado es aquel en el que la acción de control es dependiente de la salida. Para esto es necesario que a la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida. Esto se consigue por medio de los llamamos realimentación o retroalimentación (Feedback). La realimentación se compara con la entrada del sistema, de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas.

El diagrama de bloques correspondiente a un sistema de control en lazo cerrado es:

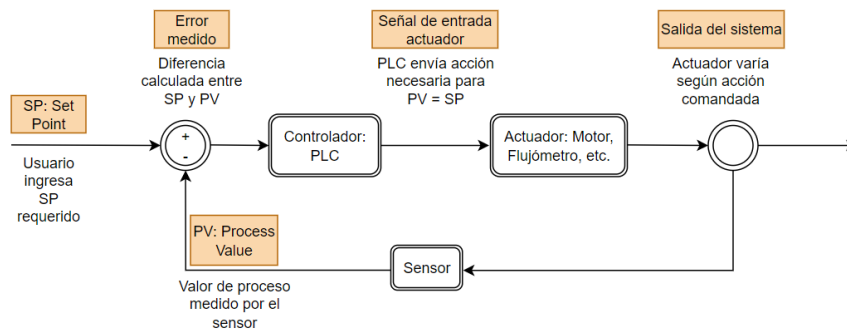


Ilustración 0.6: Diagrama de bloques bucle cerrado. Fuente: Elaboración propia

2.2.1.4. *Controlador continuo Proporcional, Integral, Derivativo (PID)*

En sus inicios el control de procesos industriales se realizaba de manera manual: siendo un operario encargado de realizar los cambios adecuados al sistema para obtener los resultados finales deseados. Hoy en día, esa tarea es realizada de manera automática utilizando un computador o unidad lógica como elemento de control.

El controlador constituye el elemento fundamental en un sistema de control, pues determina el comportamiento del bucle, ya que condiciona la acción del elemento actuador en función del error obtenido.

Para mejorar el comportamiento del controlador o regulador continuo y hacer que la diferencia o error entre la variable de consigna SP y la variable de salida de proceso PV en régimen permanente sea tan pequeña como sea necesario sin que se produzcan oscilaciones, se deben combinar la acción proporcional con una acción integral y una acción derivativa en las proporciones adecuadas. Dado esto se desarrolla el regulador “Proporcional, Integral y Derivativo”, también conocido como PID.

Los controles PID realizan adecuadamente el control de numerosos productos y procesos industriales, en especial cuando la dinámica del proceso lo permite, por ejemplo:

- Proceso lineal con retardo, cuyo comportamiento responde a una ecuación diferencial de primer orden, tal como el control de temperatura de un horno.
- Proceso descrito en base a una ecuación diferencial de segundo orden como, por ejemplo, un motor de corriente continua.

Capítulo 2. Marco teórico

En la ilustración 2.7 se presenta el diagrama de bloques de un regulador PID en el que la señal de control CV se obtiene mediante la suma de los tres tipos de acciones. Las constantes K_p , T_i y T_d , son parámetros ponderantes para cada variable (Proporcional, integral y derivativo respectivamente).

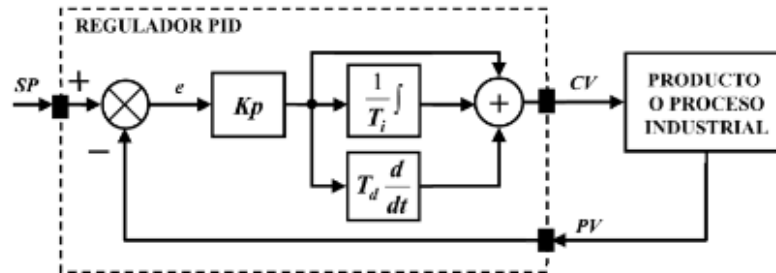


Ilustración 0.7: Control Proporcional, Integral y Derivativo (PID) en bucle cerrado. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.

El sistema entonces utiliza señales intermitentes que determinan el error existente entre CV y PV , por tanto, cuanto más precisa es la medida, mejor se puede encargar el control PID de realizar la acción reguladora. Por esta razón los elementos críticos recaen en el sensor que se encarga de la medida PV y la transmisión de dicha señal al regulador evitando todo tipo de interferencias.

Tal como se indica en la Ilustración XX, el efecto proporcional actúa en función del valor actual del error (presente), el efecto derivativo actúa en función de la velocidad de cambio del error (pendiente) lo que le proporciona capacidad para anticipar el futuro y el efecto integral actúa en función de la evolución previa (área sombreada) del error (pasado).

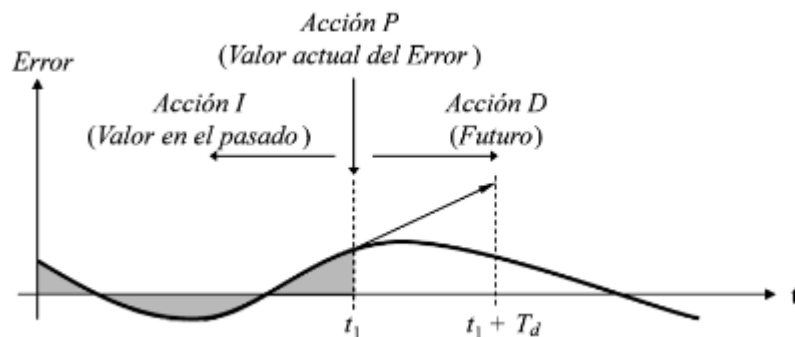


Ilustración 0.8: Representación de efectos Proporcional, Integral y Derivativo. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.

2.3.1.5. *Acción lógica proporcional*

Se denomina control proporcional a un sistema de control en el que el error se multiplica por un factor de ganancia proporcional para obtener la variable de control CV que actúa sobre el proceso y modifica su punto de operación hasta que la variable de proceso PV y la consigna SP sean prácticamente iguales.

Para describir su acción reguladora se deben establecer los límites máximos CV máx y CV mín de la variable de control que vienen fijados por el actuador. Para esta zona entonces se puede representar de dos formas diferentes:

- En función de su pendiente, que constituye la ganancia del regulador.
- Mediante la zona lineal, conocida como banda proporcional BF.

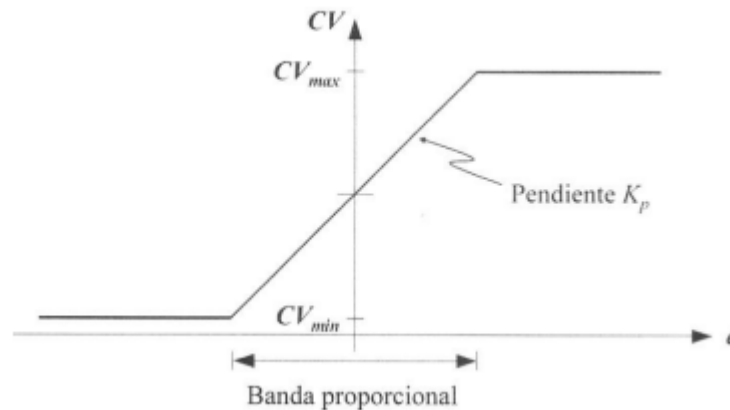


Ilustración 0.9: Actuación de un control proporcional. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.

Dado lo anterior se puede especificar que, para reducir el error al valor mínimo posible, es necesario aumentar el valor de K_p . Sin embargo, cuando se utiliza una ganancia muy alta el sistema se hace inestable y la variable de control CV no alcanza el valor establecido mediante SP. Por otra parte, si existe un retardo entre la aplicación de la señal CV y la respuesta del proceso, el sistema de control tiene a sobre corregir el error.

Por lo tanto, si se intenta mejorar el comportamiento del sistema en bucle cerrado incrementando solo el valor de ganancia proporcional K_p no se obtiene un control preciso. Aunque el comportamiento del sistema puede experimentar una ligera mejoría, un incremento excesivo hace que el sistema en muchos casos se convierta en inestable.

2.3.1.5.1. *Acción de control integral*

En un controlador integral, la señal de salida de este varía en función de la desviación y del tiempo en que se mantiene la misma. Esto implica que mientras que en la señal proporcional no influía el tiempo, sino que la salida únicamente variaba en función de las modificaciones de la señal de error, en este tipo de control la acción varía según la desviación de la salida y el tiempo durante el que esta desviación se mantiene.

Para eliminar el error en régimen permanente es imprescindible añadir una actuación adicional CV_0 a la acción proporcional, de acuerdo con la ecuación:

$$CV = K_p(SP - PV) + CV_0 \quad (3)$$

Dado que este valor actúa cuando el error es distinto de cero se puede obtener el valor de CV_0 mediante la integral del error de acuerdo con la ecuación:

$$CV_0 = \int \frac{K_p}{T_i} (SP - PV) dt \quad (4)$$

Donde T_i es la constante de tiempo de integración.

De esta forma, cuando el error alcanza el valor de cero, la integral tiene un valor finito igual a CV_0 porque de lo contrario la integral seguiría modificando dicho valor. Se obtiene así el valor CV_0 automáticamente y por ello el termino integral se suele denominar anulación automática.

Como consecuencia, cuando T_i se hace infinito el sistema no tiene actuación integral. Por lo tanto, la constante de tiempo de integración T_i da una idea del tiempo que se tarda en anular el error de forma automática. A partir de esto se puede deducir que un valor adecuado de T_i puede ser el del periodo de oscilación del sistema sin acción integral o un tiempo algo menor.

Es por esto que suele utilizar la acción integral junto a la proporcional y no por sí sola. Este regulador PI es adecuado para controlar un gran número de procesos industriales.

2.3.1.5.2. *Acción de control Derivativa*

Para evitar oscilaciones que en ocasiones se producen cerca del punto de consigna cuando solo se utiliza el efecto proporcional, se añaden otra actuación proporcional a la derivada del error, lo que se traduce en un efecto de “anticipación” o en otras palabras poder predecir como se muestra en la ecuación básica de un regulador PD:

$$K_p \left[e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \cong K_p \left[e(t) + T_d \frac{e(t + dt) - e(t)}{T_d} \right] = K_p * e(t + T_d) \quad (5)$$

Para un entendimiento más claro en la ilustración XX se presenta la respuesta de un sistema de control de bucle cerrado en el que se produce una sobre oscilación. Aquí se observa que en el instante t_1 el error todavía es positivo, debido a lo cual el regulador sigue actuando hasta llegar al valor de consigna, aunque el error sea muy pequeño. Esto sumado a la elevada velocidad de respuesta, en breves instantes se rebase el valor de consigna. En el caso que añadimos una acción Derivativa, en el instante t_1 se produce una actuación contraria o de frenado, es decir, el regulador actuará con la acción indicada para $t_1 + T_d$.

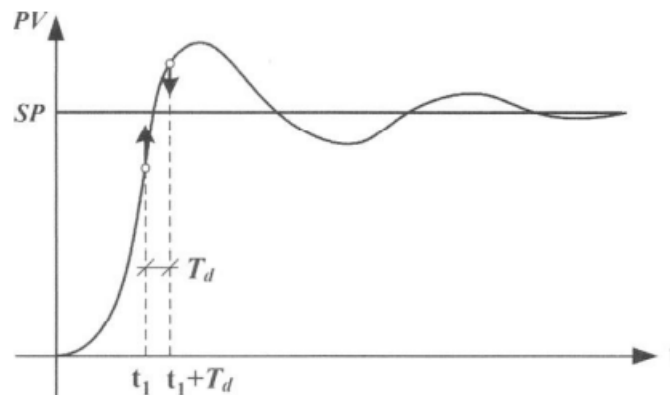


Ilustración 0.10: respuesta sistema de control en bucle cerrado. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.

Por esta razón el valor T_d , denominada constante de tiempo derivativa, debe ser inferior al periodo de oscilación del sistema sin acción derivativa.

Capítulo 2. Marco teórico

2.3.1.6. *Controlador Lógico Programable (PLC)*

Se entiende por controlador lógico programable, o autómeta programable, a toda máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales. Son dispositivos diseñados para trabajar con amplios rangos de temperatura, resistente a los impactos y vibraciones y con la capacidad de gestionar una gran cantidad de señales de salida y entrada de manera simultánea. Sus funciones básicas son:

- **Detección:** lectura de las señales provenientes de los captadores distribuidos por el sistema.
- **Mando:** elabora y envía acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.
- **Interfaz hombre máquina:** mantener un dialogo con los operarios de producción obedeciendo sus consignas e informando el estado del proceso.

2.3.1.6.1. *Conceptos generales*

En los procesos industriales, el mejor camino a la automatización es la utilización de dispositivos autómetas programables. Estos dispositivos se basan en el empleo de un microcontrolador para el manejo de entras y salidas.

La memoria del equipo contendrá el programa cargado por el usuario como también el sistema operativo que permite ejecutar en secuencia las instrucciones del programa. Adicionalmente, en muchos controladores se pueden encontrar funciones pre-implementadas de uso general (por ejemplo, reguladores PID).

Dentro de las mayores ventajas está el hecho de que si hay que cambiar o variar el proceso basta con cambiar el programa e introducirlo nuevamente al PLC. Además, este mismo nos permite saber el estado del proceso incluyendo la adquisición de datos para un posterior estudio.

2.3.1.6.2. Estructura externa

Su estructura principalmente es de manera modular, lo que significa que posee una caja o bloque que contiene el controlador con sus entradas y salidas. A las cuales se les pueden incorporar extensiones para aumentar la capacidad de variables de control, nuevos conectores o contactos específicos e incluso conexiones rápidas para periféricos. Se encuentran normalizados para ser ensamblados en rieles, formándose una estructura compacta y resistente.



Ilustración 0.11: Estructura externa PLC marca Fatek. Fuente: www.fatek.com

2.3.1.6.3. Estructura interna

Los elementos que constituyen un sistema autónomo de control se detallan en la ilustración 2.12, principalmente los elementos esenciales son:

- Entradas: se consideran las líneas de entrada, las cuales pueden ser del tipo digital o analógico. En ambos casos tenemos unos rangos de tensión característicos y servirán para conectar los sensores a utilizar.
- Salidas: se consideran las líneas de salida, las cuales pueden ser del tipo digital o analógico. Aquí se transmite la señal hacia los actuadores.
- CPU (Unidad Central de Procesamiento): es el cerebro digital encargado de procesar el programa de usuario que se introduce por el usuario, para ello se utilizan diversas zonas de memoria, instrucciones de programa y registros.

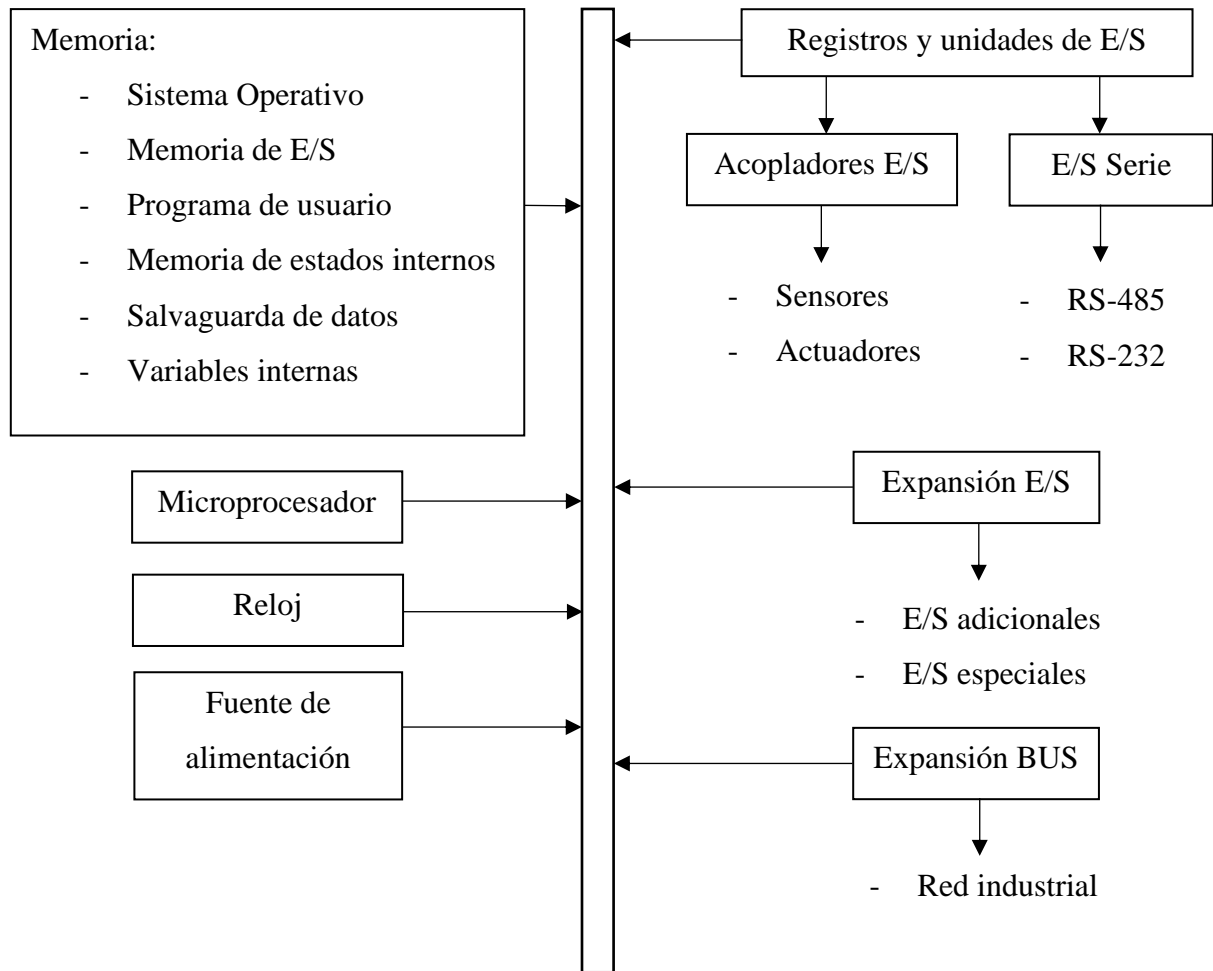


Ilustración 0.12: Diagrama de componentes internos de un PLC. Fuente: Autómatas programables y sistemas de automatización, 2009.

Se describen los principales elementos descritos en la ilustración 2.12 pertenecientes a los componentes internos:

- **Memoria:** El área dedicada a la memoria cumple diversas funciones, como almacenar el programa del usuario que se va a ejecutar cíclicamente. Además, en el sistema se encuentra el código máquina que monitoriza el sistema. Este programa es ejecutado directamente por el microprocesador junto con la memoria utilizada para la tabla de datos, como contadores, temporizadores, etc.
- **CPU:** la unidad central de procesamiento o CPU es el corazón del autómata programable, es la encargada de ejecutar el programa de usuario mediante el programa del sistema. Sus principales funciones son vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario no exceda un determinado tiempo máximo, ejecutar el programa de usuario, crear una imagen.
- **Unidades de Entradas y Salidas de datos:** generalmente pueden ser digitales o analógicas, las entradas digitales se basan en una comunicación binaria, es decir, no conducen una señal en algún nivel de tensión. Se manejan en nivel de bits dentro del programa de usuario. Por su parte las entradas analógicas pueden poseer cualquier valor dentro de un rango determinado específico por el fabricante, se basan en convertidores aislados de la CPU. Estas señales se transmiten en nivel de byte dentro del programa de usuario.
- **Interfases:** la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos es una virtud excepcional que permiten facilitar las tareas y sincronización en un sistema. Para esto se utilizan normas como RS-232 /RS -422, Ethernet, HDMI, etc.
- **Dispositivos periféricos:** el PLC tiene la capacidad de ampliar sus funciones, con una infinidad de posibilidades que van desde las redes internas, módulos auxiliares de E/S, memoria adicional hasta expansiones con otros módulos PLCs.

2.3. CONFIABILIDAD OPERACIONAL

La confiabilidad de un sistema o un equipo es la probabilidad que dicha entidad pueda operar durante un determinado periodo de tiempo sin pérdida de su función. El fin último del análisis de confiabilidad de los activos físicos es cambiar las actividades reactivas y correctivas, no programadas y altamente costosas, por acciones preventivas planeadas que dependan de análisis objetivos, situación actual e historial de equipos y permitan un adecuado control de costos.

La confiabilidad operacional entonces se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, que incorporan sistemáticamente, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial.

Es importante, puntualizar que en un sistema de confiabilidad operacional es necesario el análisis de sus cuatro parámetros operativos: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad y confianza de los equipos; sobre los cuales se debe actuar si se quiere un mejoramiento continuo y de largo plazo. Estos cuatro elementos se muestran en la ilustración 2.13

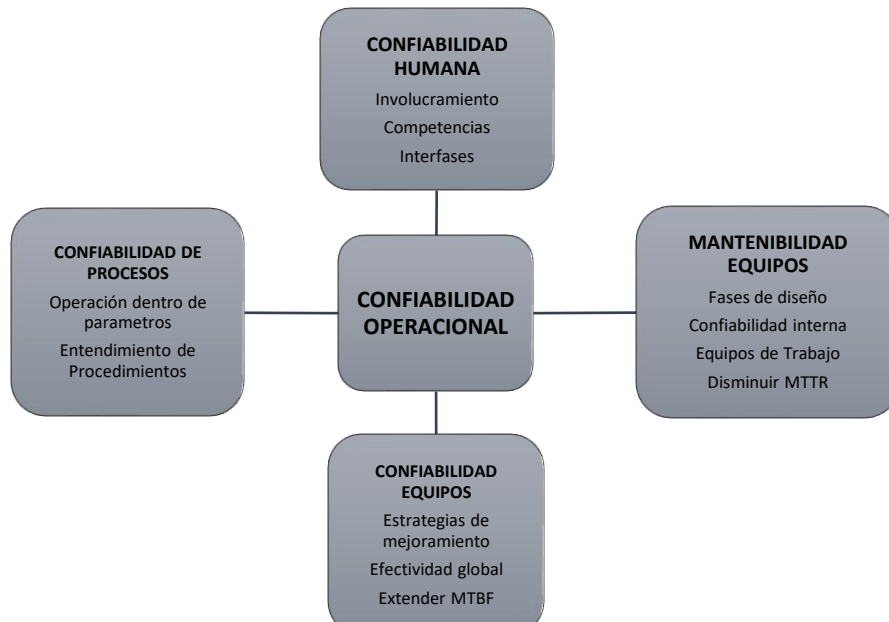


Ilustración 0.13: Factores de confiabilidad operacional. Fuente: Gestión de activos industriales: Modelos y herramientas, 2011

2.3.2. Aplicación de la confiabilidad operacional

Generalmente las estrategias de confiabilidad operacional se usan en los casos relacionados con:

- Elaboración de los planes y programas de mantenimiento e inspección de equipos e instalaciones industriales.
- Solución de problemas recurrentes en los activos fijos que afecten los costos y la efectividad de las operaciones.
- Determinación de las tareas que permiten minimizar riesgos en los procesos, equipos e instalaciones y medio ambiente.
- Establecer procedimientos operacionales y prácticas de trabajo seguro.
- Determinar el alcance y frecuencia óptima de paradas de planta.

La confiabilidad operacional impulsa el establecimiento de tecnologías que faciliten la optimización industrial, entre las cuales se pueden destacar:

- Modelaje de sistemas, en la confiabilidad operacional se gasta a nivel de elementos (equipos, procesos y clima organizacional) y se recibe beneficios a nivel planta.
- Confiabilidad organizacional, llamada también en forma sesgada error humano siendo este el ancla más fuerte.
- Gestión del conocimiento, valor agregado de nuevas prácticas y conocimientos, a través de mediciones sistemáticas, bancos de datos, correlaciones, simulaciones, minería de datos y estadísticas.
- Manejo de la incertidumbre, a través del análisis probabilístico de incertidumbre y riesgo asociado.

Optimización integral de la productividad, a través de pruebas piloto en seguridad y confiabilidad del diseño.

2.3.3. Herramientas de confiabilidad operacional

La confiabilidad operacional como método de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permiten evaluar el comportamiento del activo de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operatividad, la cuantía del riesgo y las demás acciones de mitigación que se requieren, para asegurar su integridad y continuidad operacional.

Son múltiples las herramientas disponibles para lograr el fin de elaborar estrategias que logren la excelencia en las actividades y mantenimiento. Las más utilizadas se resumen en la Fig. 2.14

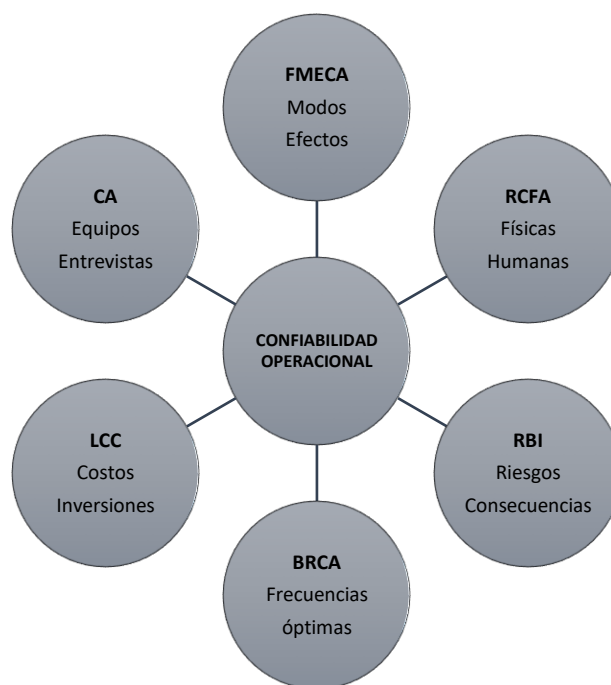


Ilustración 0.14: Herramientas para la confiabilidad operacional. Fuente: Gestión de activos industriales: Modelos y Herramientas, 2011.

Capítulo 2. Marco teórico

2.3.3.1. *Análisis de criticidad (CA):*

Es una técnica que permite jerarquizar sistemas, equipos e instalaciones, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

2.3.3.2. *Análisis de Modos y efectos de Falla y Criticidad (FMECA):*

Es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan.

2.3.3.3. *Análisis Causa Raíz (RCFA):*

Es una técnica sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas.

2.3.3.4. *Inspección Basada en Riesgos (RBI):*

Es una técnica que permite definir la probabilidad de falla de un equipo o sistema, y las consecuencias que las fallas pueden generar sobre la gente, el ambiente y los procesos.

2.3.3.5. *Análisis Costo Riesgo Beneficio (BRCA):*

Es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de hacer una actividad y los logros o beneficios que la actividad genera, considerando el riesgo que involucra la realización o no de tal actividad.

2.3.3.6. *Costo del Ciclo de Vida (LCC):*

El análisis LCC es una metodología que permite elegir entre opciones de inversión o acciones de incremento de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.

2.4. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA Y CRITICIDAD (FMECA)

Durante muchos años, el análisis de modo y efecto de falla se ha utilizado en muchos sectores para administrar el riesgo. FMECA surgió como una técnica formal en las industrias aeroespacial y de defensa. Fue utilizado en las misiones Apolo de la NASA. Luego la Marina desarrolló un estándar militar (MIL STD_1629). Luego se extendió a la industria automotriz estadounidense a fines de la década de 1970, donde los fabricantes de automóviles comenzaron por usar FMECA en el diseño de su proceso de desarrollo de productos para lidiar con su poca confiabilidad y enfrentar la competencia internacional. Así se expandió rápidamente a diversas industrias en la década de 1990 como, electroquímica, energía nuclear, software, políticas medioambientales, procesamiento de semiconductores. Elaborándose diversos libros dedicados a FMECA (Stamatis, 1995; McDermonntt et al. 1996; Pinna et al. 1998; Vandenbrande, 1998; Goddard, 2000; DeRosier y Stalhandske, 2002).

Entonces el procedimiento detrás del FMECA está implícito en cualquier desarrollo procesos o análisis de productos que busque minimizar el riesgo. Básicamente nos encontramos con esto al responder las siguientes preguntas lógicas: ¿Qué problemas podrían surgir?, ¿Qué tan probable es que ocurran estos problemas y si ocurren que tan serios son?, y lo más importante ¿Cómo pueden evitarse estos problemas?

Por lo tanto, el FMECA es un análisis sistemático de los posibles modos de falla y prevenirlos. Está destinado a ser un proceso de acción preventiva que se lleva a cabo antes de implementar productos o procesos nuevos o cambios.

Capítulo 2. Marco teórico

Algunos de los beneficios de realizar FMECA son:

- Aumentar la satisfacción del cliente mejorando la seguridad y la confiabilidad, mitigando el efecto adverso de los problemas antes de que lleguen al cliente.
- Mejorar la eficiencia del desarrollo en términos de tiempo y costo al resolver problemas de confiabilidad y fabricación durante las etapas de diseño. Cuanto más avanzamos en el proceso de desarrollo, los problemas de rectificación se vuelven más caros.
- Documentar, priorizar y comunicar los riesgos potenciales haciendo que los problemas sean explícitos para los miembros del equipo, la gerencia y los clientes.
- Ayude a reducir las posibilidades de fallas catastróficas que pueden provocar lesiones y/o efectos adversos en el medio ambiente.
- Optimice los esfuerzos de mantenimiento sugiriendo tareas de mantenimiento preventivo aplicables y efectivas para posibles modos de falla. Básicamente la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

2.4.1. Definición FMECA

Análisis de modos y efectos de falla y criticidad es una técnica de ingeniería utilizada para definir, identificar, eliminar problemas, errores, conocidos y/o potenciales del sistema, diseño, proceso y/o servicio antes de que lleguen al cliente (Omdahl, 1998; ASQC, 1983).

Bajo esta definición entendemos que el FMECA es una metodología sistemática destinada a realizar las siguientes actividades:

1. Identificar y reconocer potenciales fallas incluyendo sus causas y efectos.
2. Evaluar y priorizar los modos de falla identificados.
3. Identificar y sugerir acciones que pueden eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran fallas potenciales.

Idealmente un FMECA se debe realizar en la etapa de diseño del producto o desarrollo del proceso. Sin embargo, realizarlos en productos o procesos ya existentes también pueden

Capítulo 2. Marco teórico

entregarnos diversos beneficios, como en RCM para desarrollar un programa de mantenimiento preventivo efectivo.

La identificación de modos de falla conocidos y potenciales es una tarea importante en FMECA, usando datos y conocimientos del proceso o producto, cada modo y efecto de falla potencial se califica en cada uno de los siguientes 3 factores:

- Gravedad: La consecuencia de la falla cuando ocurre.
- Frecuencia: La probabilidad o frecuencia de ocurrencia de la falla.
- Detectabilidad: La probabilidad de que la falla sea detectada antes del impacto o el efecto se realice.

Luego estos tres factores se combinan en un número llamado Número de prioridad de riesgo (NPR) que reflejará la prioridad de los modos de falla identificados. El NPR se calcula fácilmente multiplicando el valor de gravedad, la frecuencia de ocurrencia y la probabilidad de detección:

$$\text{Número de Prioridad de Riesgo (NPR)} = \text{Gravedad} \times \text{Frecuencia} \times \text{Detectabilidad}$$

Las fallas no se originan ni son de la misma forma para todos los casos por lo tanto es necesario priorizarlas con un valor acorde a su riesgo. Las tareas más importantes están resumidas en la Fig. 2.3.

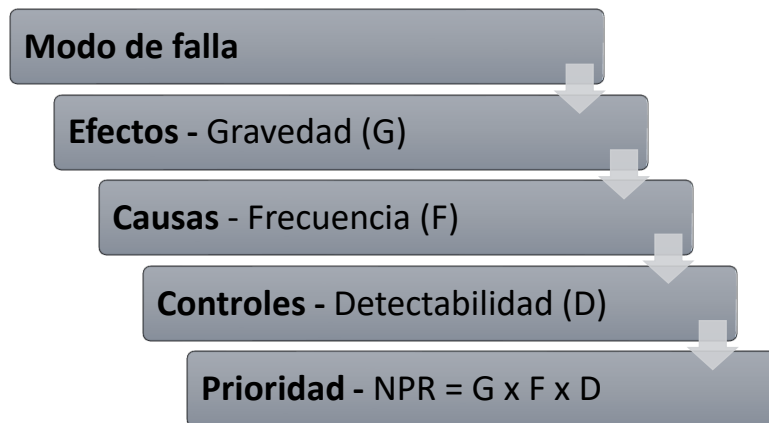


Ilustración 0.15: Tareas importantes FMECA. Fuente: Handbook of Maintenance and engineering, 2009

2.4.2. Descripción del método FMECA

El proceso de identificación del problema raíz suele no ser una de las tareas realizadas al momento de identificar una falla, solo se busca solucionar la falla sin dar importancia de su origen. Por esto uno de los desafíos más importantes es adelantarse a los problemas potenciales y diseñarlos fuera de los procesos o evita que ocurran. Un proceso típico de desarrollo del FMECA sigue los siguientes pasos típicos:

2. Seleccione un proceso o equipo de alto riesgo.
3. Revise el proceso: este paso generalmente involucra a un equipo de expertos de diversas áreas que puedan aportar con diferentes perspectivas, asegurando la objetividad del análisis y contemplar las diferentes experiencias con el caso.
4. Haga una lluvia de ideas sobre posibles modos de falla.
5. Enumere los efectos potenciales de cada modo de falla.
6. Asigne clasificaciones de Gravedad, Frecuencia, Detectabilidad para cada efecto.
7. Calcule el Número de Prioridad de Riesgo para cada efecto.
8. Priorice los modos de fallo usando el NPR.
9. Tome acciones para eliminar o reducir los modos de falla de alto riesgo.
10. Recalcule el NPR resultante a medida que se reducen o eliminan los modos de falla como medio de monitoreo del producto o proceso mejorado.

Los índices involucrados en el NPR generalmente deben estar escalados del 1 al 10, tome como referencias las Tablas 2.1-2.2-2.3.

Para la documentación del FMECA es necesario realizar una matriz que organice todo lo antes enumerado, utilice de referencia la Tabla 2.4.

El sistema NPR para priorizar los modos de falla tiene sus limitaciones. En particular:

- Diferentes conjuntos de Gravedad, Frecuencia, Detectabilidad pueden producir el mismo NPR, aunque las implicaciones de riesgo pueden ser totalmente diferentes.
- Si uno de los valores Gravedad, Frecuencia, Detectabilidad es 10, se debe considerar el NPR como crítico, aun cuando el valor del NPR no sea muy superior.
- Gravedad, Frecuencia, Detectabilidad tienen la misma importancia (peso) en el cálculo de NPR.

Tabla 0.1: Criterio de evaluación de ocurrencia. Fuente: Handbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.

Probabilidad de Falla	Posible tasa de falla	Clasificación
Muy alto: La falla es casi inevitable.	≥ 1 en 2	10
	1 en 3	9
Alto: Fallas repetidas.	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderado: Fallas ocasionales.	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2000	4
Bajo: Relativamente pocas fallas.	1 en 15000	3
	1 en 150000	
Remoto: La falla es poco probable.	≤ 1 en 1500000	2
		1

Tabla 0.2: Criterios de evaluación de gravedad. Fuente: Hanbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.

Efecto	Criterio: Gravedad	Clasificación
Peligroso sin previo aviso	Clasificación de gravedad muy alta cuando un modo de falla potencial afecta la operación segura y/o implica el incumplimiento de las regulaciones sin previo aviso.	10
Peligroso con advertencia	Clasificación de gravedad muy alta cuando un modo de falla potencial afecta la operación segura y/o implica el incumplimiento de las regulaciones con advertencia.	9
Muy alto	Producto/artículo inoperable, con pérdida de la función principal.	8
Alto	Producto/artículo operable, pero con nivel reducido de rendimiento. Cliente insatisfecho.	7
Moderado	Producto/artículo operable, pero puede causar reelaboración/repación y/o daño del equipo.	6
Bajo	Producto/artículo operable, pero puede causar ligeros inconvenientes a las operaciones relacionadas	5
Muy Bajo	Producto/artículo operable, pero posee algunos defectos (estéticos y de otro tipo) perceptibles para la mayoría de los clientes.	4
Menor	Producto/artículo operable, pero puede tener algunos defectos perceptibles por los clientes discriminatorios	3
Muy Menor	Producto/artículo operable, pero no cumple con la política de la compañía	2
Ninguna	Sin efecto.	1

Tabla 0.3: Criterios de evaluación de la detectabilidad. Fuente: Hanbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.

Detectabilidad	Criterio: Probabilidad de detección por control de diseño	Clasificación
Incertidumbre absoluta	El control de diseño no detectará y/o no podrá detectar una posible causa/mecanismo y el subsiguiente modo de falla; o no hay control de diseño	10
Muy remoto	Posibilidad muy remota de que el control de diseño detecte una causa/mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente.	9
Remoto	Posibilidad remota de que el control de diseño detecte una potencial causa/mecanismo y el modo de falla subsiguiente	8
Muy bajo	Muy poca probabilidad de que el control de diseño detecte un potencial causa/mecanismo y modo de falla subsiguiente	7
Bajo	Baja probabilidad de que el control de diseño detecte una causa/mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente.	6
Moderado	Probabilidad moderada de que el control de diseño detecte una causa/mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente.	5
Moderadamente Alto	Probabilidad moderadamente alta de que el control de diseño detecte una causa/mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente.	4
Alto	Alta probabilidad de que el control de diseño detecte una causa/mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente.	3
Muy Alto	Muy alta probabilidad de que el control de diseño detecte una causa/mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente.	2
Casi Seguro	Es casi seguro que el control de diseño detecte una causa/mecanismo potencial y el modo de falla subsiguiente.	1

Tabla 0.4: Matriz FMECA tipo. Fuente: *Hanbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.*

	Potencial modo de falla	Potencial efectos de la falla	Gravedad	Potencial causa de falla	Frecuencia	Sistema de detección presente	Detectabilidad	Numero de Prioridad de Riesgo (NPR)	Resultados					
									Acción Recomendada	G	F	D	NPR	

CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA

3.1. MINIPLANTA PILOTO DE FLOTACIÓN MÓVIL

3.1.1. Visión general

El desarrollo de un proceso de concentración para un nuevo yacimiento mineral debe tener en cuenta, entre otras cosas, la variabilidad del mineral. Desde el principio, es una de las variables desconocidas más importantes y puede llegar a ser crítica al estudiar la viabilidad del proyecto. Las respuestas metalúrgicas, como las recuperaciones finales y las leyes de los concentrados, pueden verse muy afectadas por los diferentes tipos de mineral, las leyes de cabeza y las variables de concentración. La evaluación económica adecuada depende, en cierta medida, de la capacidad de estimar correctamente esta variabilidad, ya que la planta debe diseñarse con la suficiente flexibilidad para manejar las variaciones previstas.

La máquina de flotación continua (CFM) es una herramienta de laboratorio muy versátil diseñada para permitir al ingeniero metalúrgico extraer la máxima cantidad de información metalúrgica a partir de una cantidad mínima de muestra con mayor precisión y bajos costes. Utilizando muestras de perforación, es posible simular el funcionamiento continuo de un circuito básico de rougher/ scavenger / cleaner con un nivel de confianza que supera el de las pruebas estándar de ciclo cerrado. Los efectos de los productos intermedios reciclados y los reactivos en el rendimiento metalúrgico final pueden determinarse fácilmente.

La MPPM ha sido diseñada para proporcionar una etapa intermedia entre las pruebas a escala de banco y los estudios de planta piloto. Está emplazada en un contenedor marítimo de 40 pies estándar tipo box, modificado interiormente y seccionado en 3 partes. Su diseño proporciona la capacidad de realizar diferentes procesos en una sola ubicación y cuenta con la automatización mediante PLC en gran parte de sus funciones. Facilitando el trabajo por parte del operador y sistemas de control para posterior análisis de datos



Ilustración 0.1 Vista exterior MPPM



Ilustración 0.2 Máquina de flotación continua

3.1.2. Principio de funcionamiento

El molino de bolas tiene un bastidor de alta resistencia fabricado en acero recubierto en pintura epóxica anticorrosiva con una capacidad de molienda diseñada para 10kg de muestra de mineral. El tambor está fabricado de acero inoxidable de 302 [mm] diámetro montado en un eje pivotante diseñada para girar a 90° permitiendo una fácil carga y descarga del molino. La inclinación se realiza de manera manual con el equipo correctamente desenergizado y sin funcionamiento. Se proporciona un carro de descarga de molino, accesorio para facilitar la descarga del molino y transporte de mineral.

El CFM es una unidad autónoma que consiste en una estructura de alta resistencia que soporta doce (12) máquinas de flotación individuales. Las celdas de flotación, modeladas a partir de la celda de laboratorio Denver D-12, están equipadas con vertederos individuales de control de nivel, labio de desbordamiento de espuma, palas de eliminación de espuma de velocidad variable, impulsor y difusor con controladores de aire y controles de velocidad individuales. Se utilizan pequeñas bombas de transferencia peristáltica para transferir el concentrado y los residuos de una celda a otra. Las celdas pueden disponerse en cualquier combinación de rougher's, scavengers o cleaners según dicte el proceso. Los lavaderos de recogida de espuma se suministran para permitir la recogida de espuma de una, dos o tres celdas. Los lavaderos han sido diseñados para minimizar la cantidad de agua de pulverización necesaria para el transporte de la espuma. Las bombas de traspaso de alta precisión miden la cantidad de agua de lavado para facilitar el cálculo del balance de masas en el circuito.

El tanque de alimentación Feed Tank nos permiten conocer de forma instantánea parámetros como concentración de sólidos, densidad, volumen de pulpa, pH de alimentación a celdas. Lo que nos permite de manera automatizada controlar las características de la pulpa antes de ingresar a las celdas de flotación propiamente tal.

El CFM está equipado con 2 controladores de pH como equipo estándar que permite la lectura del pH instantáneo en el Feed Tank y un electrodo móvil para la medición en cualquier celda de interés. Posee un sistema de control automático de lechada cal para permitir el control automatizado del pH utilizando cal.

Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

Una bandeja de lavado integral permite una fácil limpieza y recogida de muestras de residuos. Un dispositivo de elevación eléctrico permite elevar los doce mecanismos de las celdas simultáneamente para facilitar el mantenimiento. Toda la máquina está pintada con un acabado duradero para facilitar la limpieza y evitar la oxidación.

En la última etapa se encuentra la columna de flotación fabricada en acrílico de 6 mm de espesor y con una altura de 1000 mm, tiene un control de proceso automatizado por PLC a través del mando de control general, controlando la alimentación, bomba de cola y la altura de la espuma, el flujo de aire y el flujo de agua de lavado. Posee 2 sensores de presión para la medición de altura de la pulpa y espuma. El puerto de inyección de alimentación se encuentra en la mitad del largo de la columna aproximadamente a los 500 mm desde la base de esta.

Adicionalmente se dispone de un molino de remolienda vertical (vertimil) de 89 [mm] de diámetro fabricado en acero inoxidable con la capacidad de incluirse en un circuito típico de recuperación de concentrado. Controlado de manera digital a través del controlador PLC para variar la velocidad de giro del servomotor incorporado y que permite la rotación de los ejes agitadores, en consecuencia y en conjunto con las bolas de ¼” permiten la remolienda del mineral.

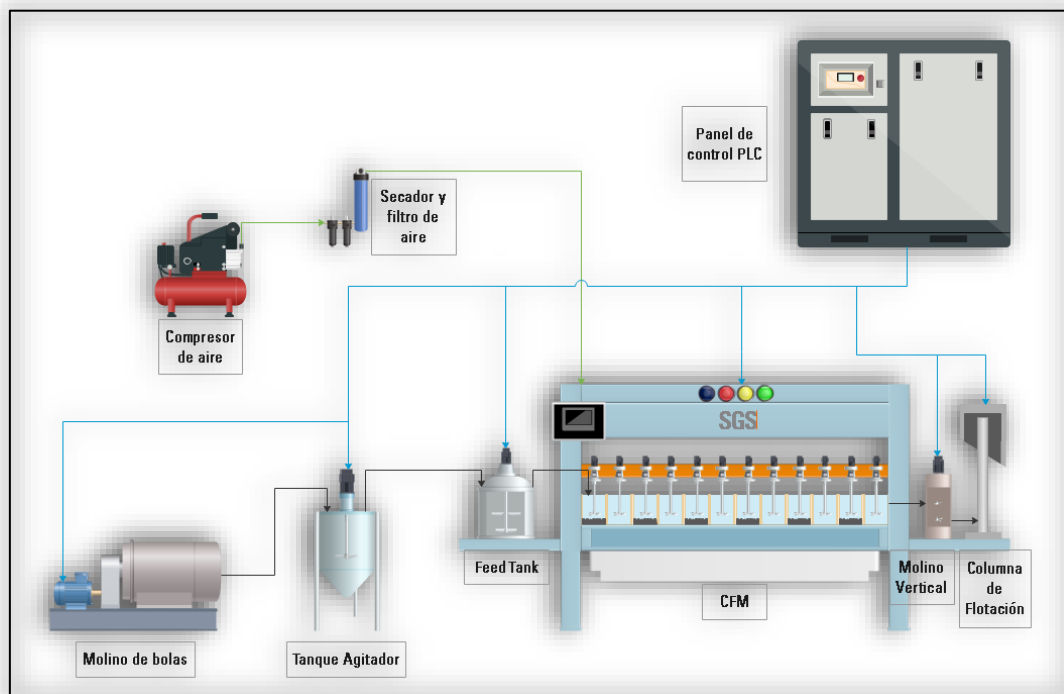


Ilustración 0.3: Esquema general - Fuente: Elaboración propia

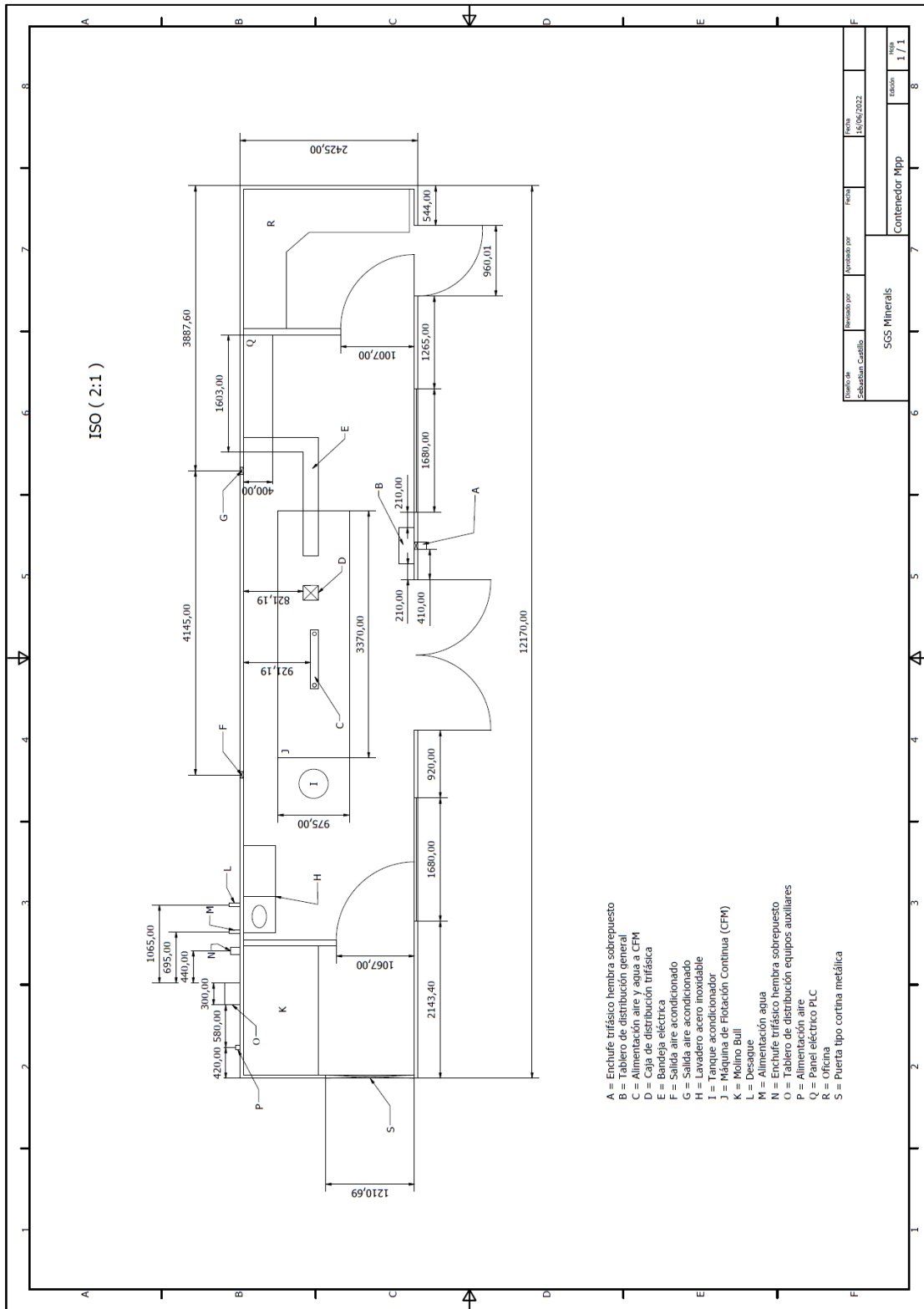
3.1.3. Descripción general del equipamiento

La miniplanta piloto está emplazada en el interior de un Container marítimo de 40 pies el cual está dividido interiormente en 3 zonas; zona de molienda, zona de máquina de flotación continua (CFM) y oficina de control. Los equipos que forman parte del sistema de enumeran a continuación:


Tabla 0.1: Especificaciones generales MPPM


ESPECIFICACIONES	MEDIDAS
ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	
Potencia nominal	20 kW
Tensión trifásica nominal	380 V
Frecuencia	50 Hz
DIMENSIONES EXTERNAS (CM)	
Largo	1220
Ancho	243
Alto	290
PESO (Kg)	
Contenedor	3700
Equipos	1800
Peso neto	5500
VOLUMEN INTERNO	
70 m ³	
ALIMENTACIÓN AIRE	
Presión máxima	7 bar (100 psi)
Flujo máximo	5 L/min


3.1.4. Plano de planta





3.1.5. Descripción de equipos y partes

Molino de bolas	
	<p>Molino de bolas tipo Bach sostenido por estructura firme de acero que permite modificar su posición en 360° para facilitar la carga y descarga de mineral y/o bolas. Posee una bandeja de recepción para descarga de bolas además de agujeros para el paso del material hacia la bandeja inferior. La bandeja inferior cuenta con ruedas para el transporte del mineral y/o pulpa hacia la siguiente etapa de procesamiento. Cuenta con botonera de parada de emergencia y sensor inductivo de proximidad para la medición de RPM de giro.</p>
Características principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones 302 [mm] de diámetro interior, 360 [mm] alto • Volumen aproximado 30 litros • Material cilindro Acero inoxidable • Montaje en rodamientos y descansos • Fabricación de estructurado acero SAE1020 • Sin recubrimiento interior • Sistema de transmisión accionado por piñones y cadena. • El molino se encuentra en el interior de un encapsulado acústico de 105 [mm] espesor 	
Equipos principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Moto-reductor eléctrico SITI de 1 HP 380 [V] ~ 50 [Hz] • Sensor inductivo de proximidad PL-4N 12-24VDC 4 [mm] FTC 	

Tanque Agitador	
	<p>Tanque fabricado en acero inoxidable que cuenta con un eje y 2 impulsores diseñados para la homogenización de la pulpa y mantener una suspensión de solidos eficiente y de forma continua. Adicionalmente cuenta con una bomba peristáltica de recirculación y se conecta con el tanque de acondicionamiento Feed Tank, para el traspaso hacia la siguiente etapa.</p>
Características principales	
<ul style="list-style-type: none">• Dimensiones 300 [mm] de diámetro interior, 500 [mm] alto• Volumen aproximado 35 [L]• Fabricación de acero inoxidable• Protectores superiores de acrílico• Rodamiento de descanso para fijación de eje• Brida inferior de despiche	
Equipos principales	
<ul style="list-style-type: none">• Servo motor Ye Li 220 [V] ~ 2,6 [A] / 400 [W] 3000 RPM	

Feed Tank	
	<p>Tanque de alimentación fabricado en acrílico montado sobre una balanza de precisión el cual cuenta con un eje e impulsores de agitación, sensor de nivel y electrodo de pH. Está diseñado para acondicionar la pulpa antes del ingreso al proceso de flotación en celdas, modificando la concentración de sólidos y el pH a valores de trabajo requeridos. Este sistema fue diseñado para mejorar el rendimiento y control de las variables de proceso al ingresar a las celdas de flotación.</p>
Características principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones 150 [mm] de diámetro interior, 300 [mm] alto • Volumen aproximado 5 [L] • Fabricación en acrílico de 5 [mm] • Eje agitador de 8 [mm] de diámetro, 40 [mm] largo 	
Equipos principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Servo motor Ye Li 220 [V] ~ 2,6 [A] / 400 [W] 3000 RPM • Balanza digital AND 21 [Kg] / 5 [g] - tolerancia 0,1 [g] • Sensor de nivel SICK tipo sonda de varilla 200 [mm] – tolerancia ± 5 [mm] • Electrodo PH Cole-Parmer -Tipo selectivo de iones 	

Compresor de aire	
	<p>Compresor de aire sin aceite con un volumen de 100 [L] forma parte de los equipos auxiliares y esta dimensionado para la entrega de un flujo continuo de aire limpio a presión constante para cada una de las celdas.</p>
Características principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Marca SCHULZ - Modelo CSD 18.1/100 • Dimensiones generales 1160x827x425 [mm] • Cilindro doble de aluminio • Presión de operación 6 – 8 [Bar] (87 – 114 [psig]) • Volumen de tanque 100 [L] • Purgador con válvula de esfera 	
Equipos principales	
<ul style="list-style-type: none"> • 2 x Motor 220 [V]~50 [Hz] 1,5 [HP] 4 polos 	

Secador y Filtro de aire	
	<p>Secador y filtro de aire comprimido dimensionado para asegurar la entrega de un aire sin vapor de agua procurando cuidar los instrumentos de medición involucrados en la distribución de aire, como lo son los flujómetros. Adicionalmente cuenta con filtros de membrana capaces de entregar un aire limpio y libre de polvo o partículas que pudiesen ingresar tanto a equipos en la línea de distribución o a la pulpa propiamente tal y afectar sus condiciones de operación.</p>
Características principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Secador Marca Atlas Copco Modelo SD 1P-7 • Presión de trabajo 7 [bar] (102 [psi]) • Máx. flujo de entrada 3 [L/s] • Caída de presión 100 [mBar] (1,5 [psi]) • Conexiones tipo G3/8 • Filtro Marca Atlas Copco Modelo DD9/PD9 • Filtrante aerosol de aceite y polvo húmedo • Tecnología de envoltura • Caída de presión 132 [mBar] (1,9 [psi]) 	
Equipos principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Secador Marca Atlas Copco Modelo SD 1P-7 • Filtro Marca Atlas Copco Modelo DD9/PD9 	

Máquina de flotación continua



Características principales


La máquina de flotación continua (CFM) es una unidad que consiste en una estructura de alta resistencia y acero inoxidable en las cubiertas. Que dan soporte a 12 máquinas de flotación individuales. Las celdas de flotación se realizaron a partir de la celda de laboratorio Denver D-12, están equipadas con vertederos individuales de control de nivel, labio de desbordamiento de espuma, palas de eliminación de espuma de velocidad variable, impulsor y difusor con controlador de aire y control de velocidad individuales. Se utilizan pequeñas bombas de transferencia peristáltica para transferir el concentrado y los residuos de una celda a otra.


Las celdas pueden disponerse en cualquier combinación de Rougher's, Scavengers o Cleaners según dicte el proceso. Los lavaderos de recogida de espuma han sido diseñados para permitir la recogida de espuma de una, dos o tres celdas.


La CFM está equipada con 2 controladores de pH, cuenta con una bomba peristáltica disponible para añadir un sistema de lechada de cal, permitiendo el control automático del pH mediante el uso de cal. En la zona inferior una bandeja de lavado integrada permite una fácil limpieza y recogida de muestras de residuos. Un dispositivo de elevación electrónico (aparejo eléctrico) permite elevar los doce mecanismos de las celdas simultáneamente para facilitar el mantenimiento. Toda la máquina está pintada con acabado duradero para facilitar la limpieza y evitar la oxidación.


Secciones principales


- Alimentación
- Banco de celdas
- Equipo auxiliar


Alimentación	
	<p>En la zona lateral de la bancada de celdas se encuentra la sección de alimentación de pulpa, aquí se encuentran los cabezales de bombas peristálticas para la distribución de pulpa hacia las celdas y lechada de cal, llave de agua de proceso, válvula de paso de aire comprimido. Adicionalmente en esta zona se ubica la pantalla de control HMI junto con una botonera de parada de emergencia.</p>
Características principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Llave de paso agua • Válvula de paso aire • 4 x Cabezal Bomba peristáltica Master Flex easy-load II • Funcionamiento con 4 rodillos • Máxima velocidad 600 RPM • Tubos L/S de 15, 24, 35 o 36 (10 mm diámetro) 	
Equipos principales	
<ul style="list-style-type: none"> • 4 x Cabezal Bomba peristáltica Master Flex easy-load II • 4 x Servo motor Ye Li 220 [V] ~ 2,6 [A] / 400 [W] 3000 RPM 	

Banco de Celdas	
	<p>En la zona intermedia se encuentra la bancada de celdas de flotación, las cuales están distribuidas en 2 grupos de 6 celdas independientes. Los dispositivos agitadores Impeller forman parte de la estructura móvil operada manualmente con el aparejo eléctrico (Tecle) el cual permite la elevación de todo el conjunto a la vez, permitiendo una fácil mantención. Adicionalmente se encuentran los flujómetros que controlan el paso de aire para cada celda de flotación.</p>
Características principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Flujómetro AALBORG Modelo GFC17 • Caída de presión máxima 75 [mBar] • Presión máxima 70 bar (1000 [psig]) • Agitadores Impeller • Material Superior Polipropileno • Material inferior Robalon • Cabezal Bomba peristáltica Master Flex easy-load II • Funcionamiento con 4 rodillos • Máxima velocidad 600 RPM • Tubos L/S de 15, 24, 35 o 36 • accionadores modulares de velocidad variable Master Flex L/S • Motor 0,075 [kW] (0,1 HP) • Controlador manual 6 W • Velocidad de giro 6 - 600 RPM • Torque 13 kg-cm 	
Equipos principales	
<ul style="list-style-type: none"> • 14 x Servo motor Ye Li 220 [V] ~ 2,6 [A] / 400 [W] 3000 RPM • 12 x Flujómetro AALBORG Modelo GFC17 • 12 x Cabezal Bomba peristáltica Master Flex easy-load II • 12 x Celdas de flotación • 12 x Agitadores Impeller • 4 x accionadores modulares de velocidad variable Master Flex L/S • Cubetas de recepción de acrílico 	

Equipo Auxiliar	
	<p>Equipo encargado de permitir la elevación de la bancada de agitadores para controlar su altura y poseer el espacio necesario para el retiro de equipos para mantenimiento, limpieza o reparación. El dispositivo se encuentra en la zona superior de la estructura al interior de un encapsulado de acero inoxidable con puertas abatibles.</p>
Características principales	
<ul style="list-style-type: none">• Aparejo eléctrico Gladiator Pro – AP8100-25• Potencia 220 W• Velocidad de elevación 12 m/min• Capacidad de carga 100 Kg	

Molino Vertical	
	<p>El molino de remolienda se utiliza para la molienda fina hasta el tamaño de micras (o incluso submicras). El molino de remolienda o Vertimil está diseñado para la molienda húmeda continua. Comúnmente utilizado con bolas de acero inoxidable de 6 mm es controlado de manera automatizada a través de la acción del servomotor por parte del controlador PLC, posee una entrada en la zona inferior y tres niveles alternativos de salida.</p>
Características principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones internas 280 [mm] alto, diámetro interior 88,9 [mm] • Volumen interior 1.7 [L] • Fabricación en acero inoxidable • Eje y pasantes agitadores de acero inoxidable 	
Equipos principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Servo motor Ye Li 220 [V] ~ 2,6 [A] / 400 [W] 3000 RPM 	

Columna de Flotación	
	<p>Columna de flotación de laboratorio de 1000 [mm] fabricada en acrílico de 6 [mm] alimentada a través de bomba peristáltica de traspaso, posee una bomba adicional de cola. Se suministra aire a través de un flujómetro independiente e ingresa a través de un generador de burbujas con una presión de trabajo establecida según alimentación general. En la zona inferior se encuentran 2 sensores de presión para la detección de nivel del líquido. El control de proceso se realiza a través del sistema de control de automatización por PLC. Se incorpora una bomba de lavado la cual suministra el agua en forma de ducha en la zona superior donde se encuentra la espuma.</p>
Características principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones generales 50 [mm] diámetro interior, 1000 [mm] alto, 210 [mm] diámetro superior mayor • Fabricación en Acrílico 6 [mm] • Sellos de goma • Bomba peristáltica ETRATRON B3-V • Rango de Flujo 1 [L/h] • Rango de presión 3 [Bar] (43 [psi]) • Velocidad de giro 34 RPM • Flujómetro AALBORG Modelo GFC17 • Rango de flujo 0-5 [L/min] • Caída de presión máxima 75 [mBar] • Presión máxima 70 [bar] (1000 [psig]) • 2 transmisores de presión WIKA Modelo S-11 	
Equipos principales	
<ul style="list-style-type: none"> • Bomba peristáltica ETRATRON B3-V • Flujómetro AALBORG Modelo GFC17 • 2 x transmisores de presión WIKA Modelo S-11 	

Panel de Control PLC	
	<p>Gabinetes eléctricos fabricados en chapa de acero laminado en frío, con tratamiento superficial para evitar la oxidación y mejorar la adherencia de la capa de pintura. Pintados con pintura electroestática. Incluye mando de encendido y apagado en la puerta de manera exterior, evitando la necesidad de manipular o abrir los compartimentos. Sistema de ventilación sujeto a termocupla interna para la protección a sobrecalentamientos de los dispositivos.</p>
Tablero de control de pulpa	
<ul style="list-style-type: none"> • PLC Fatek Fbs44mn • 4 módulos analógicos con 6 entradas análogas Fbs6ad • 5 módulos salidas analógicas Fbs4da • 1 módulo salida analógica Fbs2da • 2 expansiones digitales de salida Fbs8yr • Fuente de poder 24 V 15 [A] • Fuente de poder 12 v 16,5 [A] • Módulo de comunicación Fbscm22 • 8 drivers motores YPV series 040-v(7s-76l) Ye Li Electric • Variador de frecuencia WEG cfw500 • Controlador de motor DC 0-24 V • 4 relés para luces de falla • 12 automáticos monofásicos 6 [A] y 1 trifásico 10 [A] 	
Tablero de Agitación	
<ul style="list-style-type: none"> • 3 PLC Fatek Fbs44mn • 1 PLC Fatek Fbs 20mn • 3 módulos Fbs412d • 13 drivers YPV series 040-v(7s-76l) Ye Li Electric • Swicth ethernet fénix Contac FLswitch 1000 • 14 automáticos 6 [A] y 1 trifásico de 20 [A] 	

3.1.6. Sistema de control

Para conseguir un óptimo funcionamiento de los sistemas automatizados involucrados en el control de las variables de proceso, es necesario utilizar un conjunto de decisiones basadas en los conceptos pertinentes que permiten alcanzar los objetivos propuestos como puntos de referencia establecidos. Para verificar su cumplimiento y permitir la versatilidad del equipo es necesario conocer la filosofía utilizada en la programación de estas órdenes de mando.

La arquitectura contempla controladores del sistema ubicados en dos paneles generales de control los cuales se interconectan con todos los procesos y subprocesos del sistema, unidos por una red central. Esta a su vez es operada a través de una pantalla HMI y visualizada en una pantalla en la oficina de control.

Se designan controladores para cada área, y eventualmente puede recibir o provocar un algún enclavamiento a otra área. Existen 5 *PLCs* encargados de controlar gran parte de los equipos y forman parte de la interfase de trabajo con el operador.

- PLC estación 1 controla los primeros 4 agitadores de la máquina de agitación.
- PLC estación 2 controla los 4 agitadores siguientes.
- PLC estación 3 controla los 4 siguientes.
- PLC estación 4 controla paleteo n°1 (izquierdo).
- PLC estación 5 control de pulpa y periféricos (flujómetros, sensores, electrodo de pH, bombas de traspaso (*Feed Tank*)).

Los controladores se comunican a todos los elementos de campo que incluyen instrumentos análogos, discretos y equipos por comunicaciones que incluyen a su vez motores, sensores, flujómetros, electrodos y otros dispositivos electromecánicos.

3.1.7. Esquemas generales de control

3.1.7.1. PLC FATEK Model Fbs

El componente PLC modelos FBs proporcionan un algoritmo matemático PID digitalizado para diferentes aplicaciones, en este caso y para la utilización de sensores que miden las condiciones reales del proceso se considera el control de bucle cerrado. Para ejemplificar las partes claves de un bucle de control cerrado, se adjunta el diagrama de bloques a continuación:

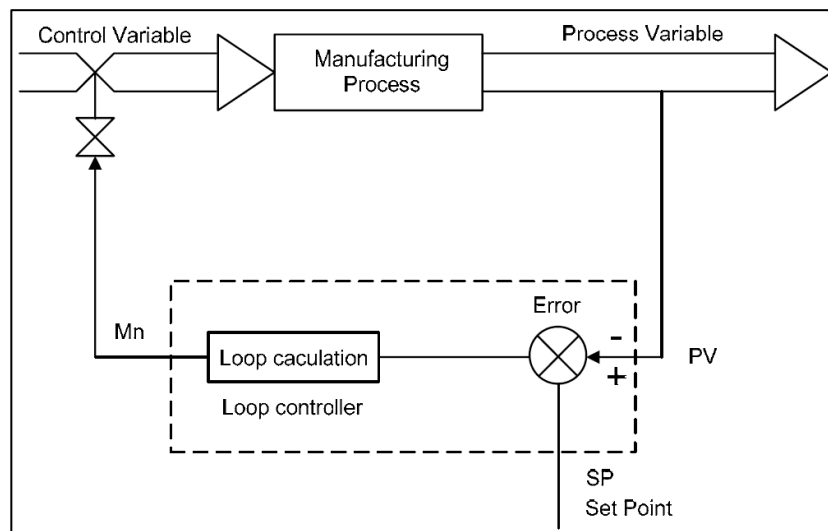


Ilustración 0.4: Lógica de bucle cerrado. Fuente:

Dados los requisitos, el controlador adecuado está sujeto bajo la lógica de operación “Controlador Proporcional Integral Derivativo”. La expresión matemática digitalizada de la instrucción FBs-PLC esta descrita como:

$$Mn = \left(\frac{D4005}{Pb}\right) * (En) + \sum_0^n \left[\left(\frac{D4005}{Pb}\right) * Ki * Ts * En\right] - \left[\left(\frac{D4005}{Pb}\right) * Td * (PV_n - PV_{n-1})/Ts\right] + Bias \quad (6)$$

Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

Donde:

Mn = Salida en el tiempo n .

$D4005$ = Constante de ganancia, el valor por defecto es 1000. Puede ajustarse entre 1~5000.

Pb = Banda proporcional – Expresión que indica el porcentaje de cambio de error necesario para cambiar el valor máximo de la escala de salida

$$\left(rango : 1\sim 5000, unidad en 0,1\%; Kc(gain) = \frac{D4005}{Pb} \right)$$

Ki = Constante de ajuste integral (Rango: 0~9999, tal que 0,00~99,99 $\frac{Repeticiones}{minuto}$)

Td = Constante de ajuste derivativo (Rango: 0~9999, tal que 0,00~99,99 minutos)

PV_n = Variable de proceso at time “ n ”

PV_{n-1} = Variable de proceso cuando el bucle se resolvió por última vez.

En = La diferencia entre el punto de referencia (SP) y la variable de proceso (PV) en el momento “ n ”; $En = SP - PV_n$.

Ts = intervalo de solución entre cálculos (Rango: 1~3000, unidades en 0,01 s)

$Bias$ = Ajuste de salida (Rango: 0~16383)

3.1.7.2. Sistema de visualización HMI

Para el control preciso y visualización de variables se incorpora en el sistema una pantalla controladora HMI WEINTEK MT8151X de 15” (Touchscreen). Permitiendo la correcta comunicación entre la orden ejecutada por el usuario, controlador PLC correspondiente al mecanismo accionado y actuador o equipo de trabajo. Los detalles técnicos de la pantalla se describen a continuación en la Tabla 3.2.

Tabla 0.2: Características técnicas pantalla HMI

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Pantalla	15.0”
Brillo	350 [cd/m ²]
Contraste	500:1
Resolución	1024 x 768
Panel Táctil	Tipo Resistivo 4 hilos
I/O Port	COM1 (RS-232, RS-485 2W/4W) COM2 (RS-232) COM3 (RS-232, RS-485 2W) 1 ETHERNET PORT (A0/100 Base T)
Entrada de video	NTSC/PAL
USB Host	2 USB 2.0
Procesador	X86 500 Mhz
Almacenamiento	256 D.O.M
DRAM	S56MB DDR-400Mhz
Alimentación	24±10% VCD
Consumo de energía	1,6 A
Sistema operativo	EB8000 V4.1.0

La pantalla HMI se comunica con las estaciones Fatek FBs a través del protocolo de comunicación ETHERNET el cual está instalado en cada módulo PLC. Para acceder a cada equipo es necesario un enrutador el cual se encarga de interconectar las redes y establecer la mejor ruta para enviar este “paquete datos” al dispositivo de destino.

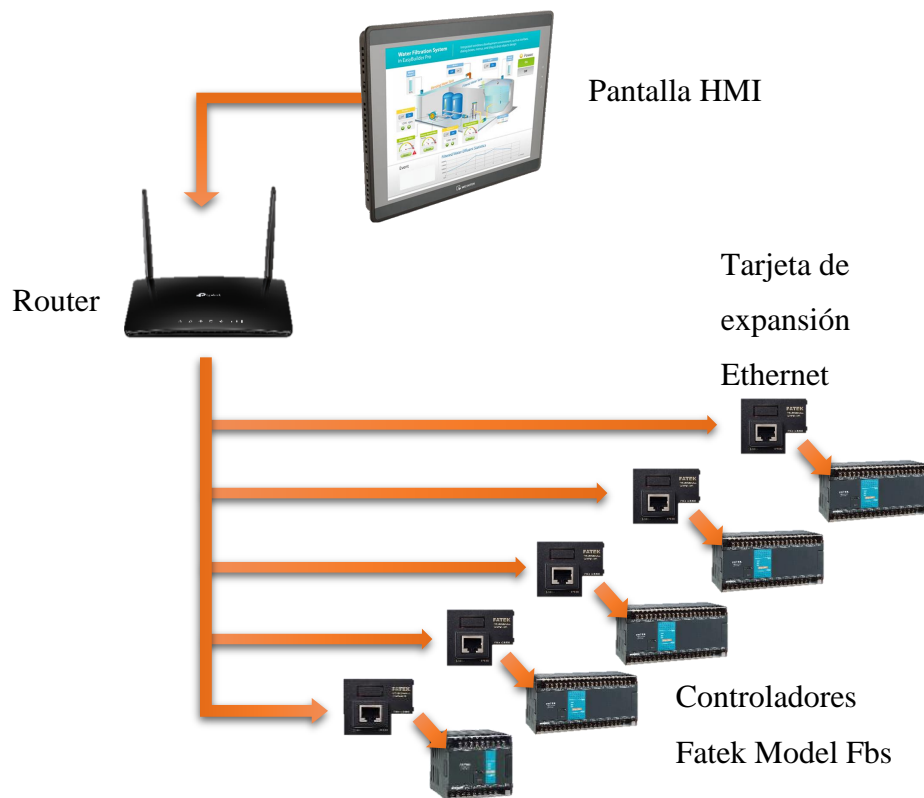


Ilustración 0.5: Lazo de control Pantalla HMI - Fuente: Elaboración propia

3.1.7.3. *Sistema servomotor YE LI YBL7S – Driver YPV Series*

El servomotor o precisamente servomecanismo no son en realidad una clase específica de motor, sino una combinación de piezas específicas, que incluyen un motor y son adecuado para su uso en sistemas de control de bucle cerrado. Un servomecanismo nos permite un control preciso en términos de posición angular, aceleración y velocidad. La señal de control es la entrada, ya sea analógica o digital, que representa el comando de posición final para el eje.

Por otro lado, el encoder sirve como sensor, proporcionando retroalimentación de velocidad y posición. La posición final es informada al driver controlador y se compara con la entrada de posición final, condicionando así su movimiento a la posición correcta.

Este tipo de servomotor junto al control PID, presente en la comunicación con el PLC, nos permiten llevar a la posición, velocidad deseada de forma rápida y segura. Por lo tanto, para la implementación del conjunto de servomotores que permiten la rotación de los agitadores en el banco de celdas se consideran los equipos y configuración de comunicación detallada a continuación:

Tabla 0.3: Características técnicas de equipos involucrados

EQUIPO	MODELO	ESPECIFICACIONES	FUNCIÓN
Pantalla HMI Weintek	MT – 8151x	15” – Touchscreen	Recibir y transmitir instrucciones de operador
Tarjeta de Expansión Ethernet Fatek	FBs-CBES	Expansión Ethernet, Medidas 46x49x30 [mm]	Permite la conexión a través de protocolo Ethernet utilizando alimentación de la misma placa
Controlador PLC Fatek	FBs-44mn	4 salidas de alta velocidad HSPWM Puertos de comunicación (RS232, RS 485, USB, Ethernet)	Referencia/Feedback de velocidad y posición con salidas/entradas diferenciales de voltaje entre -5/+5 VDC
Módulo analógico Fatek	FBs-4A2D	4 entradas 2 salidas 0-10 VDC	Referencia de torque, feedback de consumo de energía en Amperes.

Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

Driver YPV	YPV Series 040	Driver 400 W	Controlador que conecta las señales entre Servomotor y PLC
Servomotor Ye Li	YBL7s	3000 RPM 400 [W] 2.6 [A] 3.8 [Nm]	Actuador rotativo que permite control de velocidad y rotación de agitadores

La pantalla HMI envía la señal indicada por el operador a través de su panel táctil hacia la tarjeta de expansión Ethernet, la cual intercomunica con el controlador central quien esta interconectado con el módulo analógico. Este módulo permite la conexión del Driver YPV, actuador necesario para procesar y controlar las señales provenientes del servomotor, de esta forma podemos controlar de forma precisa la velocidad, dirección, pulso, falla, partida y parada de marcha.

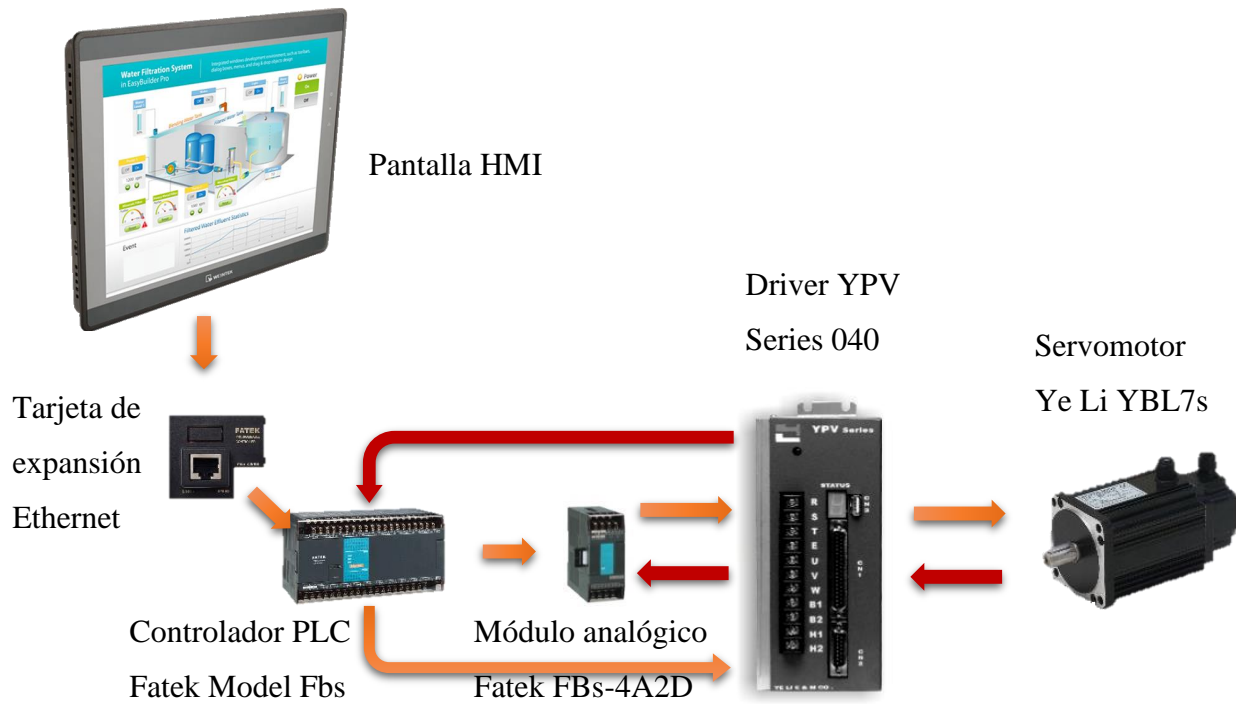


Ilustración 0.6: Lazo de control servomotor - driver YPV

3.1.7.4. Controlador de flujo másico Aalborg GFC 17

Los controladores de flujo másico térmico, modelo GFC, han sido diseñados para indicar y controlar los volúmenes de flujo predeterminados de los gases de trabajo. El diseño robusto, en combinación con su precisión de grado instrumentación, ofrece un medio versátil y económico para el control del flujo.

Para la medición y control del flujo se utilizan dos trayectos de flujo laminares. Uno es el conducto de flujo primario y en el otro se encuentran dos devanados sensores de temperatura, diseñados a precisión sobre el tubo sensor y cuando haya flujo, el gas transporta el calor desde el devanado corriente arriba hasta el devanado corriente abajo. La temperatura diferencial que resulta es proporcional al cambio en la resistencia de los devanados sensores. Así se usa un puente de Wheatstone para monitorear la gradiente de resistencia dependiente en la temperatura de los devanados sensores, la cual es linealmente proporcional a la relación de flujo instantánea. (Ilustración 3.7).

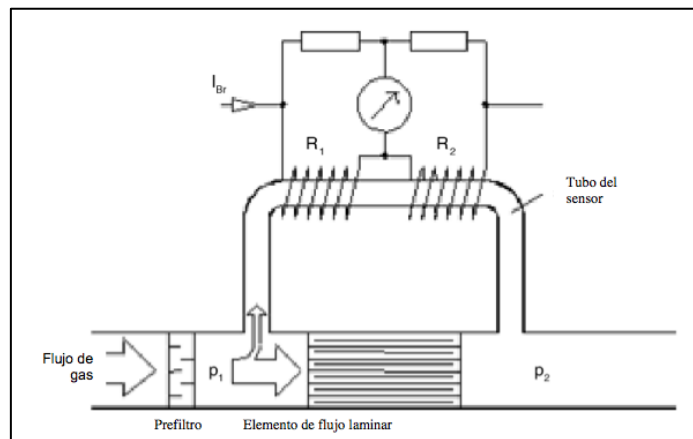


Ilustración 0.7: Diagrama de funcionamiento - Fuente: www.aalborg.com

Sus características técnicas se detallan en la tabla XX presente a continuación:

Tabla 0.4: Características técnicas controlador de flujo másico

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Precisión	±1.0% (Rango 0-100%)
Repetibilidad	±0.25% de escala plena
Tiempo de respuesta	2 seg.
Coefficiente de temperatura	0.15% de escala plena/°C
Coefficiente de presión	0.01% de la escala plena/psi (0.07 bars)
Optima presión del gas	25 psig (1.73 bars)
Máxima presión del gas	1000 psig (70 bars)
Relación de eficiencia	40:1
Máx. presión diferencial del gas	50 psig
Temperatura de gas y del ambiente	0-50°C (Gas), -10-50°C(Ambiente)
Señal de salida	0-5 Vcd Lineal. Impedancia de carga 1000 Ohms min. Resistencia de bucle de 4-20 mA 0-500 Ohms. Ruido máximo ±20mV.
Conectores	Conector de compresión 1/4"
Alimentación	12 Vcd – 650 mA
Cumplimiento de normas CE	EN 55011, clase 1; Clase B, EN 50082-1

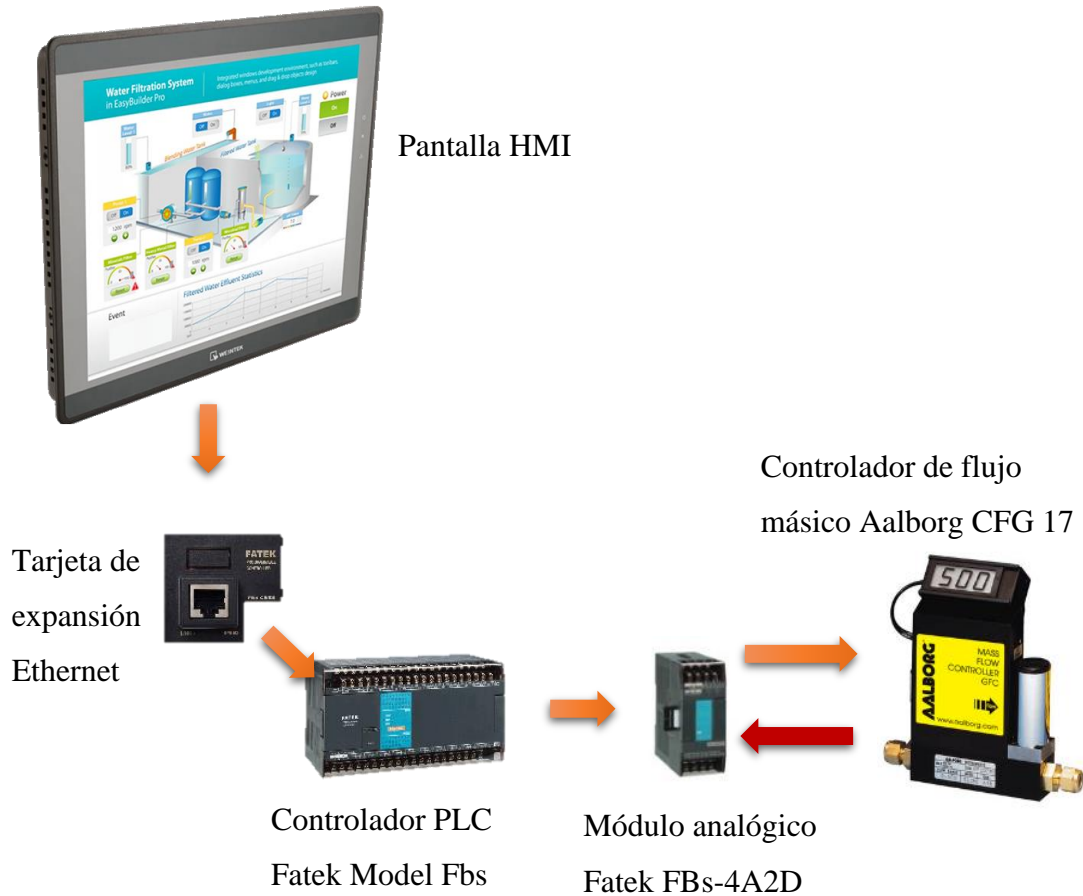


Ilustración 0.8: Lazo de control Fluómetro Aalborg

El controlador másico de flujo posee una señal de salida de 0-5 Vcd lineal, por lo tanto, es necesaria su interconexión con un módulo analógico para el procesamiento de sus señales y enviar las acciones necesarias de vuelta al flujómetro. El controlador PLC recibe la orden desde la pantalla HMI a través de la comunicación Ethernet y la entrega al módulo analógico.

3.1.8. Análisis modal de fallas y efectos (A.M.F.E)

El método AMFE consiste en sistematizar el estudio de un proceso, identificar los puntos potenciales de fallo, y elaborar planes de acción para poder combatir los riesgos involucrados. Para esto es importante definir ciertos criterios de clasificación que velarán por la seguridad e integridad de los equipos como también por la seguridad y salud de quienes los operan. Para poder cuantificar la criticidad del riesgo se determina un factor, al multiplicar los criterios antes mencionados, basado en los fundamentos de evaluación matemática de riesgos.

$$\text{Indice de Prioridad de Riesgo (IPR)} = \text{Gravedad} \times \text{Frecuencia} \times \text{Detectabilidad}$$

En consecuencia, si el valor del IPR es mayor a 100 se debe considerar un fallo crítico que debe ser inspeccionado a la brevedad y considerar prioritario al momento de realizar las respectivas mantenciones preventivas. Adicionalmente, si uno de estos factores (Gravedad, Frecuencia o Detectabilidad) tienen como valor 10, el fallo debe considerarse crítico aun cuando el IPR calculado sea inferior a 100. Se realiza el estudio AMFE con la finalidad de evidenciar los posibles fallos futuros del sistema y/o componentes, para posteriormente clasificarlos según su rango de importancia o criticidad para el correcto funcionamiento del sistema.

3.1.8.1. Criterio de clasificación

Los criterios de clasificación fueron diseñados específicamente para el análisis del sistema MPP y sus componentes asociados.

- Gravedad

Determina la importancia o severidad del efecto del modo de fallo potencial para el proceso; valora el nivel de consecuencias, con lo que el valor del índice aumenta en función de la degradación de las prestaciones esperadas y los costes de reparación. Este índice solo es posible mejorarlo mediante acciones en el diseño, y no deberían afectarlo los controles o revisiones periódicas de calidad.

Tabla 0.5: Criterios de evaluación de gravedad

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
MUY BAJA Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento y funcionamiento del sistema.	1
BAJA Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo origina un ligero inconveniente al sistema. Probablemente, se pueda apreciar un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia.	2 - 3
MODERADA Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en la operación. El operario observará deterioro en el rendimiento del sistema	4 - 6
ALTA	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema.	7 - 8
MUY ALTA	Tipo de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento con seguridad del proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10.	9 - 10

- Frecuencia

Es la probabilidad de que una causa potencial de fallo (causa específica) se produzca y de lugar al modo de fallo. Se trata de una evaluación subjetiva que está relacionada al conocimiento y experiencia del personal en base a datos históricos o estadísticos, así como también la información técnica suministrada por el proveedor. La forma de reducir el índice de frecuencia es cambiar el diseño o incrementar y mejorar los sistemas de prevención y/o control que impiden que se produzca la causa del fallo.

Tabla 0.6: Criterios de evaluación de frecuencia

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
MUY BAJA Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
BAJA	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2 - 3
MODERADA	Defecto que aparece ocasionalmente en procesos similares. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4 - 5
ALTA	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado	6 - 8
MUY ALTA	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9 - 10

- Detectabilidad

Este índice indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, sea detectado con antelación suficiente para evitar daños, a través de los controles actuales existentes a tal fin. Es decir, la capacidad de detectar el fallo antes de que llegue al operario final. Inversamente a los otros índices, cuanto menor sea la capacidad de detección mayor será el índice de detectabilidad y mayor el consiguiente índice de riesgo.

Se hace necesario aquí puntualizar que la detectabilidad no significa control, pues puede haber controles muy eficaces, pero si finalmente el defecto se aprecia tardíamente, ya sea por un error o símil. La detección tendrá un valor alto. Se consideran dos opciones para reducir este índice: Aumentar los controles, lo que supone aumentar el costo o cambiar el diseño para facilitar la detección.

Tabla 0.7: Criterios de evaluación de detectabilidad

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
MUY ALTA	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
ALTA	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2 - 3
MEDIANA	El defecto es detectable a tiempo y posiblemente se detecte en las ultimas etapas de control.	4 - 5
PEQUEÑA	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	6 - 8
IMPROBABLE	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final u operario.	9 - 10

El desarrollo completo de la matriz AMFE, se encuentra en los anexos y fue necesario para la identificación de los elementos críticos presentes en el sistema MPPM.

3.1.9. Cronología Para Labores de Mantenimiento

La siguiente tabla indicará la periodicidad con la que se deben realizar las labores de mantenimiento para el sistema completo, indicando la cantidad de horas de funcionamiento programado para cada caso. El sistema automatizado incluye la visualización en pantalla de las horas de funcionamiento de la planta, debemos considerar este valor para realizar la mantención correspondiente.

3.1.9.1. Molino De Bolas

Equipo	Descripción	Recursos	Periodicidad	Observación
Motor eléctrico (molino)	Revisión nivel de aceite en el reductor	Personal Mantenimiento	240 horas	Cuando la planta se encuentre operativa
	Engrase rodamientos	Personal Mantenimiento	650 horas	Considere hoja de datos del rodamiento
	Lubricación de partes	Personal Mantenimiento	2150 horas / 3 meses	Usar grasa específica para cada caso
	Mantención conexiones eléctrico	Tec. Eléctrico	4300 horas / 6 meses	Reparación, corrección o cambio si es necesario
	Revisar estado de bobinados y limpieza	Tec. Eléctrico	8760 horas / anualmente	Medir la resistencia de aislamiento
	Limpieza del bloque terminal	Personal Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Utilice aire comprimido presión no superior a 2,5 bar
	Lubricación de cadenas	Personal de Mantenimiento	300 horas	Realice la lubricación manual, si la cadena está cubierta con suciedad y residuos, limpie con queroseno y vuelva a lubricar
Sistema Piñón - Cadena	Inspección general de sistema de transmisión	Personal de Mantenimiento	500 horas	Verifique: Lubricación, Tensado, desgaste de dientes y

Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

				cadena, alineación, fallas generales
	Limpieza descansos	Personal de Mantenimiento	840 horas / Mensual	Limpieza y verificación de lubricación en descansos
Molino	Limpieza sellos y juntas	Personal de mantenimiento	840 horas / Mensual	Revisión de sellos de tapa y limpieza general

3.1.9.2. Equipo Auxiliar

Secador y filtro de aire	Cambio de filtros y limpieza	Personal de Mantenimiento	4000 horas / Caída de presión de 350 mbar	Extracción y cambio de vaso de filtro, membranas y rectifique indicador de servicio
Compresor de aire	Inspección de válvula de retención	Personal de mantenimiento	1000 horas / 9 meses	Realice la limpieza si es necesario
	Verifique tiempo de llenado	Personal de mantenimiento	1000 horas / 9 meses	Si es mayor a 20% del funcionamiento normal efectúe reemplazo de los anillos
	Calibración general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Realice la calibración del presostato, manómetro y válvula de seguridad
	Inspección y recambio de condensador	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Realizar inspección anual y reemplazar cuando este presente fallas

Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

3.1.9.3. *Tanque Agitador*

Servo Motor	Revisión conectores de fuerza y señal	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Revisión de correcta conexión y limpieza de conectores
Eje, soporte con rodamiento y aspas	Retiro y revisión de eje, soporte y rodamientos	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y montaje de eje, soporte y rodamientos
	Lubricación de juntas, cojinetes, rodamientos	Personal de mantenimiento	640 horas	Lubricación de equipo si se encuentra operativo.
Bomba peristáltica	Revisión de bomba de alimentación y recirculación	Personal de mantenimiento	960 horas	Desarme, revisión y limpieza de partes que componen las bombas de recirculación
	Revisión de mangueras	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Revisión de estado de mangueras, realice el recambio si se encuentran defectuosas

Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

3.1.9.4. Feed Tank

Componentes generales	Mantenimiento general	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Realizar desmontaje para revisión y limpieza de todos los equipos que componen el sistema
Servo Motor	Revisión conectores de fuerza y señal	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Revisión de correcta conexión y limpieza de conectores
Eje, soporte con rodamiento y aspas	Retiro y revisión de eje, soporte y rodamientos	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y montaje de eje, soporte y rodamientos
	Lubricación de juntas, cojinetes, rodamientos	Personal de mantenimiento	640 horas	Lubricación de equipo si se encuentra operativo
Balanza digital	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Verificar condiciones de operación y realizar calibración si es necesario
Sensor de nivel	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarmar, inspeccionar y limpiar todos sus componentes
Electrodo pH	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Inspeccione electrodo y cable. Reemplace ante cualquier imperfecto. Considere vida útil de 1 – 3 años

Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

3.1.9.5. CFM

Componentes generales	Mantenimiento general	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Realizar desmontaje para revisión y limpieza de todos los equipos que componen el sistema
Servo Motor	Revisión conectores de fuerza y señal	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Revisión de correcta conexión y limpieza de conectores
Agitadores	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y revisión de eje, rodamientos y cuerpos del agitador. Reemplace o repare si esta dañado
Impeller	Revisión de desgaste	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Revisión del desgaste de los Impeller inferiores de los agitadores. Verifique grosor nominal y composición integra. Reemplace si es necesario
Bombas peristálticas de traspaso	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y revisión de cabezales. Cambio de piezas si es necesario.
	Revisión de mangueras	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Revisión de estado de mangueras, realice el recambio si se encuentran defectuosas
Controlador másico de flujo de aire	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Inspección de cables y conector.

Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

Celdas de flotación	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme e inspección de integridad estructural. Reemplace si es necesario
Paletas y ejes	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Inspección de rotación correcta y estado de paletas. Si es necesario reemplácelas
	Revisión descansos	Personal de mantenimiento	640 horas	Inspección, limpieza y lubricación de rodamientos

Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

3.1.9.6. Molino Vertical

Componentes generales	Mantenimiento general	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Realizar desmontaje para revisión y limpieza de todos los equipos que componen el sistema
Servo Motor	Revisión conectores de fuerza y señal	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Revisión de correcta conexión y limpieza de conectores
Bombas peristálticas de traspaso	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y revisión de cabezales. Cambio de piezas si es necesario.
	Revisión de mangueras	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Revisión de estado de mangueras, realice el recambio si se encuentran defectuosas
Pasadores	Mantenimiento y cambio	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Inspeccionar pasadores y verificar integridad. Reemplazar si presenta alguna anomalía

Capítulo 3. Desarrollo de la solución a la problemática

3.1.9.7. *Columna De Flotación*

Componentes generales	Mantenimiento general	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Realizar desmontaje para revisión y limpieza de todos los equipos que componen el sistema
Servo Motor	Revisión conectores de fuerza y señal	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Revisión de correcta conexión y limpieza de conectores
Bombas peristálticas de traspaso	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y revisión de cabezales. Cambio de piezas si es necesario.
	Revisión de mangueras	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Revisión de estado de mangueras, realice el recambio si se encuentran defectuosas
Bomba de cal	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y revisión de cabezales. Cambio de piezas si es necesario
	Revisión de mangueras	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Revisión de estado de mangueras, realice el recambio si se encuentran defectuosas
Controlador másico de flujo de aire	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Inspección de cables y conector

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. MANUAL DE OPERACIÓN

El manual de operaciones tiene por finalidad presentar la forma de interactuar y la relación hombre – máquina, identificando como componente principal la utilización de la pantalla HMI para la realización de las diferentes operaciones posibles en la MPPM.

Se comienza por la presentación de la pantalla principal que tiene por finalidad ser amigable e intuitiva al operador mostrando los principales controles y accesos directos a todas las pestañas referentes a cada proceso involucrado. Esta organizada según importancia, con el control de partida en la zona izquierda, gráficos de operación en el centro y modificadores de parámetros de control metalúrgico a la izquierda.

Este orden y distribución de sectores de operación por pestañas permiten modificar de manera ordenada cada una de las variables involucradas, facilitando el trabajo del operador y entendimiento de indicadores en tiempo real.

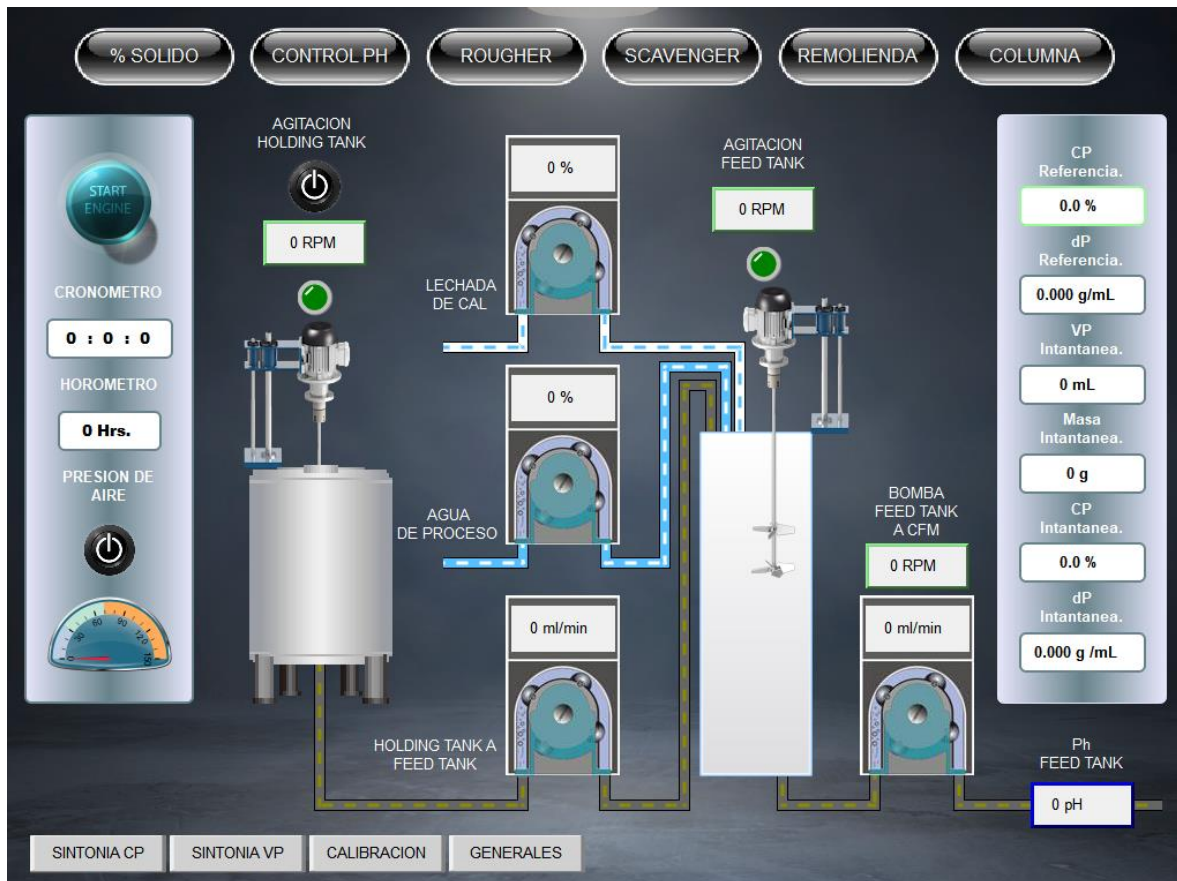


Ilustración 0.1: Ventana inicial "% Sólido"

Capítulo 4. Análisis de resultados

En segunda instancia es importante enumerar los procesos de calibración de todos los equipos que así lo necesiten, en el manual desarrollado se establecen los procedimientos paso a paso y formas de verificación. La cual tiene por finalidad comprobar la correcta lectura y comunicación de las variables por parte del sensor – actuador y el controlador PLC.

Existen calibraciones por equipo y la principal es la perteneciente al porcentaje de sólidos que hace relación con la calibración de volumen / nivel / masa en el tanque de alimentación. Se puede ver esquema de calibración en la ilustración 4.2.

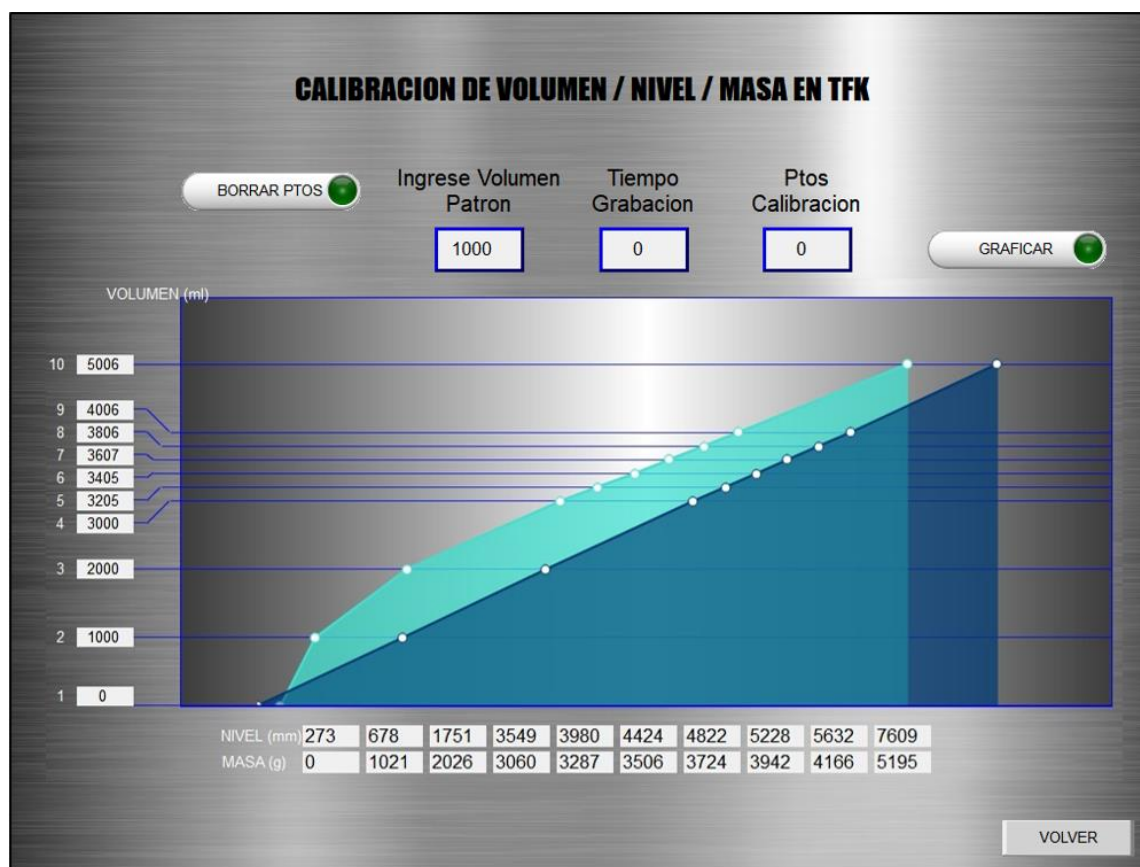


Ilustración 0.2: Pantalla de calibración Feed Tank

Finalmente se establecen secuencias de inicio y parada de operación que facilitaran la puesta en marcha de manera segura del equipo y esquematizan todas las operaciones necesarias.

4.1.1. Conexión de alimentación

Conecte la alimentación eléctrica poniendo los interruptores en posición “ON”, que se encuentran en el tablero de alimentación general. Una señal luminosa de color rojo indicará que el circuito esta energizado, para cada una de las fases. Finalmente accione el interruptor general presente en la puerta del gabinete eléctrico.



Ilustración 0.3: Interruptores de encendido

4.1.2. Inicio de operación

Una vez encendido el sistema, lo primero será verificar que las calibraciones y mantenciones del equipo se encuentren debidamente realizadas. Verifique los procedimientos descritos anteriormente y el manual de mantenimiento que debe estar actualizado según el horómetro presente en pantalla principal. Antes de la puesta en marcha de la planta, todos los miembros participantes deben tener claras las responsabilidades, la secuencia de eventos y los objetivos de la prueba. Cada uno debe estar familiarizado con todos los aspectos de la CFM, sus capacidades y sus requisitos.

Cumplidos los requerimientos previos proceda a ingresar las propiedades de los agentes involucrados en la pestaña “GENERALES”, en el recuadro “DATOS GENERALES”. Ingrese la densidad del agua de proceso y gravedad específica del mineral a utilizar en la pulpa en sus respectivos recuadros.

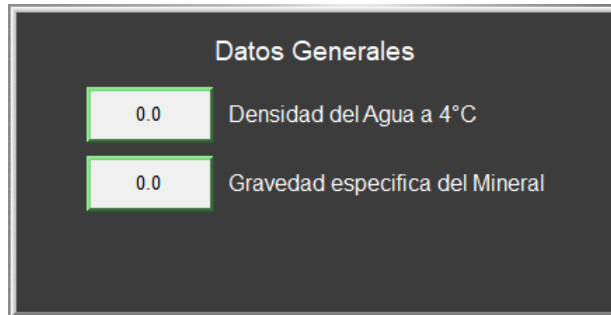


Ilustración 0.4: Datos generales

Antes de la puesta en marcha, el operario debe preparar una cantidad suficiente de pulpa (con la granulometría correcta de trabajo) y de reactivos (con la concentración necesaria). La máquina debe estar nivelada. Cada celda individual puede llenarse con agua hasta el nivel de trabajo para comenzar, o bien puede encenderse dejando que todas las celdas se llenen a medida que la flotación avanza. La *CFM* utiliza bombas de traspaso peristálticas que pueden funcionar en seco sin degradarse para evitar atascos. Estas bombas deben estar operando antes de que inicie la alimentación. El aire y los reactivos se introducen a niveles mínimos, ajustándose a medida que progresa la flotación. Se encienden las bombas de paleteo. Se observan y controlan cuidadosamente todos los parámetros y se realizan ajustes mientras el circuito se estabiliza.

4.1.2.1. Resumen del procedimiento de arranque

1. Comprobar todas las celdas, que no haya residuos ni ningún objeto que obstruya.
2. Montar las sondas de pH en la *CFM*, verificar apriete y correcta posición de sonda en *FEED TANK*.
3. Asegúrese que todos los recuadros de ingreso de velocidad están ajustados a la velocidad mínima.
4. Verificar presión del inyector de aire y correcta conexión.
5. Ponga en marcha el equipo de *HOLDING TANK*, establezca *RPM* de trabajo.
6. Ingreso de pulpa a *HOLDING TANK*. Utilice bomba de recirculación para evitar el estancamiento.
7. Compruebe que las compuertas de nivel de la parte posterior de las celdas están correctamente ajustadas.

Capítulo 4. Análisis de resultados

8. Ponga en marcha el equipo general en “*STAR ENGINE*”.
9. Ponga en marcha el equipo de control de pH, en pestaña “*CONTROL PH*”. Ingrese *SET POINT* requerido.
10. Poner en marcha las bombas, una a una, según sea necesario para la configuración del circuito.
11. Ajustar los flujos de aire de las celdas de trabajo.
12. Poner en marcha la alimentación a *CFM*.
13. Poner en marcha los agitadores cuando las celdas comienzan a llenarse.
14. Poner en marcha las palas de espuma.
15. Iniciar la adición de reactivos.
16. Comprobar la densidad en *FEED TANK* y verificar valores de proceso.
17. Ajustar las compuertas de nivel a su funcionamiento normal o deseado.
18. Poner en marcha molino vertical cuando sea necesario.
19. Poner en marcha control de nivel en columna de flotación.

Una vez ajustados todos los parámetros necesarios, debe transcurrir al menos un tiempo de residencia de flotación rougher antes de tomar las muestras metalúrgicas. La obtención de las muestras adecuadas debe ser tan sencilla como desviar las líneas de pulpa a contenedores de muestras específicos de forma rápida y sin desorden o pérdidas de importancia. Las muestras deben tomarse siempre en el orden inverso al flujo normal de la pulpa (es decir, la muestra de relaves antes del concentrado antes de la alimentación) para minimizar el sesgo de la muestra. Los operarios pueden obtener varias muestras simultáneamente si es necesario. Todos los parámetros deben registrarse antes y después de cada muestreo. No debe suponer nada.

4.1.3. Parada de operación

Una vez finalizado el trabajo puede ser necesaria una recogida cuidadosa de los lodos de alimentación, de concentrado y de relaves restantes para obtener un balance de masas global. Por lo tanto, es esencial la recogida sistemática de todos los productos. Utilizar procedimientos adecuados aceptado para la recogida y posterior procesamiento de todas las muestras obtenidas durante la operación. Apagar todos los impulsores y lavar todas las bombas y líneas con agua limpia. Levantar los mecanismos de los impulsores y retirar las celdas, lavarlas y limpiarlas. Limpiar y secar todas las superficies según sea necesario para evitar su deterioro. Asegúrese de que todo el equipo quede disponible y listo para su reutilización. Deseche los reactivos diluidos según sea necesario. Recoger todos los datos registrados apropiados

4.1.3.1. Resumen del procedimiento de parada

2. Apagar control general en “*STAR ENGINE*”.
3. Apagar el sistema de control de pH.
4. Apagar equipo de molino vertical.
5. Apagar equipo de control nivel de columna de flotación.
6. Utilice agua de lavado auxiliar (Manguera disponible al costado) para lavar bombas, líneas, etc. Y reducir densidad en las celdas.
7. Cierre el paso de agua.
8. Cerrar compuertas de nivel
9. Parar los equipos asociados, bombas y otros.
10. Lavar los lavaderos de recepción y equipo en general.
11. Apagar fuente de alimentación.

4.2. MANUAL DE MANTENIMIENTO

El manual de mantenimiento comienza con la presentación y descripción de los principales equipos y componentes que forman parte de nuestro sistema MPPM. Estos elementos fueron considerados según su orden de importancia y/o relevancia en el correcto funcionamiento del sistema. Se describen los equipos que pertenecen a cada etapa, para facilitar su comprensión y se realiza una enumeración de las características principales. Este estudio es una aproximación y resumen de los objetos principales. Es necesario una revisión más exhaustiva de todos los componentes que pudiesen interferir o producir mal funcionamiento del equipo. Principalmente se consideran las indicaciones establecidas por el fabricante de cada equipo, siguiendo sus consideraciones de mantenimiento y operación adecuadas.

En la etapa de diseño de la MPPM fue útil realizar un análisis modal de fallas y efectos (A.M.F.E) el cual nos sirvió para identificar los puntos potenciales de fallos o puntos críticos. En este análisis se creó una matriz de riesgo que consta de tres criterios de clasificación; Gravedad, Frecuencia y Detectabilidad. Parámetros que junto en una escala de 1 – 10 nos indican el Índice de Prioridad de Riesgo (IPR), bajo la siguiente formula:

$$\text{Indice de Prioridad de Riesgo (IPR)} = \text{Gravedad} \times \text{Frecuencia} \times \text{Detectabilidad}$$

En consecuencia, si el valor del IPR es mayor a 100 se debe considerar un fallo crítico que debe ser inspeccionado a la brevedad y considerar prioritario al momento de realizar las respectivas mantenciones preventivas. Adicionalmente, si uno de estos factores (Gravedad, Frecuencia o Detectabilidad) tienen como valor 10, el fallo debe considerarse crítico aun cuando el IPR calculado sea inferior a 100. Se realiza el estudio AMFE con la finalidad de evidenciar los posibles fallos futuros del sistema y/o componentes, para posteriormente clasificarlos según su rango de importancia o criticidad para el correcto funcionamiento del sistema.

Gracias a esto se generó la matriz de riesgo del sistema completo dividida por cada subsistema, esta se encuentra en el anexo, sección Manual de mantenimiento.

Dado esto fue necesario realizar el procedimiento de revisión de equipos críticos el cual enumera los pasos a realizar para mantener de manera óptima cada uno de los componentes de

Capítulo 4. Análisis de resultados

la MPPM. Se esquematiza la limpieza general a realizarse antes y después de cada procedimiento y a su vez la lubricación según corresponda.

Para finalizar se realiza una cronología de las labores de mantenimiento de todos los equipos involucrados. Indicando la periodicidad en horas, recursos necesarios y descripción correspondiente a cada labor a realizar. Un ejemplo se muestra en la ilustración XX. Para el detalle completo puede consultar el Anexo sección Cronología para labores de mantenimiento.

Tabla 0.1: Extracto de labores de mantenimiento para molino de bolas

Equipo	Descripción	Recursos	Periodicidad	Observación
Motor eléctrico (molino)	Revisión nivel de aceite en el reductor	Personal Mantenimiento	240 horas	Cuando la planta se encuentre operativa
	Engrase rodamientos	Personal Mantenimiento	650 horas	Considere hoja de datos del rodamiento
	Lubricación de partes	Personal Mantenimiento	2150 horas / 3 meses	Usar grasa específica para cada caso
	Mantención conexiones eléctrico	Tec. Eléctrico	4300 horas / 6 meses	Reparación, corrección o cambio si es necesario
	Revisar estado de bobinados y limpieza	Tec. Eléctrico	8760 horas / anualmente	Medir la resistencia de aislamiento
	Limpieza del bloque terminal	Personal Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Utilice aire comprimido presión no superior a 2,5 bar
	Lubricación de cadenas	Personal de Mantenimiento	300 horas	Realice la lubricación manual, si la cadena está cubierta con suciedad y residuos, limpie con queroseno y vuelva a lubricar
Sistema Piñón - Cadena	Inspección general de sistema de transmisión	Personal de Mantenimiento	500 horas	Verifique: Lubricación, Tensado, desgaste de dientes y cadena, alineación, fallas generales

Capítulo 4. Análisis de resultados

	Limpieza descansos	Personal de Mantenimiento	840 horas / Mensual	Limpieza y verificación de lubricación en descansos
Molino	Limpieza sellos y juntas	Personal de mantenimiento	840 horas / Mensual	Revisión de sellos de tapa y limpieza general

Finalmente se establece el stock crítico de repuestos necesarios que deben estar presentes en el contenedor, disponibles ante una emergencia o para realizar una labor de mantenimiento correctivo cuando se encuentre en faena. El stock crítico se enumera a continuación:

- Servo Motor *Ye Li* 220 [V] ~ 2,6 [A] / 400 [W] 3000 RPM
- Controlador másico de flujo de aire (Flujómetro) *AALBORG* Modelo *GFC17*
- Impeller para agitadores (Considere plano de fabricación en Anexo)
- Celdas de flotación (Considera plano de fabricación en Anexo)
- Paletas de barrido de espuma
- Pasadores de eje (pines)
- Tubos *Master Flex* tamaño *L/S* 14,15,16,36 (Códigos ítems # - 06509-14, 6424-15, 96410-16, 06509-36)

Cabe destacar que es necesario la estandarización de estos repuestos cuando se realicen modificaciones en el diseño de la miniplanta, ya que nos permitirá tener un stock mayor de repuestos.

4.3. FILOSOFÍA DE CONTROL

Para conseguir un óptimo funcionamiento de los sistemas automatizados involucrados en el control de las variables de proceso, es necesario utilizar un conjunto de decisiones basadas en los conceptos pertinentes que permiten alcanzar los objetivos propuestos como puntos de referencia establecidos. Para verificar su cumplimiento y permitir la versatilidad del equipo es necesario conocer la filosofía utilizada en la programación de estas órdenes de mando.

4.3.1. Arquitectura

La arquitectura contempla controladores del sistema ubicados en dos paneles generales de control los cuales se interconectan con todos los procesos y subprocesos del sistema, unidos por una red central. Esta a su vez es operada a través de una pantalla HMI y visualizada en una pantalla en la oficina de control. Se designan controladores para cada área, y eventualmente puede recibir o provocar un algún enclavamiento a otra área. Existen 5 PLCs encargados de controlar gran parte de los equipos y forman parte de la interfase de trabajo con el operador.

- PLC estación 1 controla los primeros 4 agitadores de la máquina de agitación
- PLC estación 2 controla los 4 agitadores siguientes
- PLC estación 3 controla los 4 siguientes
- PLC estación 4 controla paleteo n°1 (izquierdo)
- PLC estación 5 control de pulpa y periféricos (flujómetros, sensores, electrodo de pH, bombas de traspaso (*Feed Tank*)).

Los controladores se comunican a todos los elementos de campo que incluyen instrumentos análogos, discretos y equipos por comunicaciones que incluyen a su vez motores, sensores, flujómetros, electrodos y otros dispositivos electromecánicos.

Este diseño en la arquitectura de control fue desarrollado hace algún tiempo para cumplir con las condiciones de operación en ese instante. Hoy en día, existen combinaciones igual de efectivas con menor cantidad de controladores, ya que con solo 1 controlador PLC se pueden

Capítulo 4. Análisis de resultados

utilizar expansiones analógicas según el caso para satisfacer las entradas y salidas de comunicación faltantes.

Sus funciones principales del sistema se basan en los siguientes cuatro conceptos:

- Asegurar que la operación de todas las instalaciones y los requerimientos del proceso se cumplan a cabalidad.
- Facilitar la toma de decisiones y acciones rápidas por parte del operador
- Entregar la capacidad de supervisar, monitorear, controlar y manejar apropiadamente el proceso. Considerando tiempos de respuesta eficientes.
- Brindar la capacidad de detección de alarmas y condiciones de emergencia

Finalmente se desarrollan los esquemas generales de control, los cuales junto a los lazos regulatorios del tipo en bucle cerrado que nos permiten controlar las variables de proceso, compensando las perturbaciones de variación rápida afectando en menor medida la variable controlada principalmente.

En cuanto a los esquemas de control de proceso son necesarios y efectivos al momento de comprender el funcionamiento de los procesos involucrados en los subsistemas de la miniplanta.

Tabla 0.2: Ejemplo instrumentos principales para Columna de flotación.

Instrumento	Tag	Descripción
Servomotor de bomba de cola	SON_LC_CF	Inicio e identificación de servomotor
	RPM_LC_CF	Velocidad de giro (RPM, Determinada por PID “Control de nivel”)
	SP_LC_CF	Set Point de nivel (Desde el borde superior de columna hasta altura de interfase)
	FALLA_LC_CF	Falla de servomotor
Transductor de presión 1	FB_P1_CF	Identificación de transductor de presión 1
Transductor de presión 2	FB_P2_CF	Identificación de transductor de presión 2
Bomba peristáltica de lavado	BON_WW_CF	Identificación de bomba
	SP_WW_CF	Set Point

Capítulo 4. Análisis de resultados

Nos ayuda a conocer los instrumentos comprometidos en su funcionamiento, la estrategia utilizada en el control del proceso y lo más importante la secuencia de operación que se debe realizar o generalmente puede ser una base correcta dispuesta a modificaciones circunstanciales.

Tabla 0.3: Ejemplo Secuencia de operación para Columna de flotación.

Paso	Condición / Descripción	Delay	Acción / Comentario
1	<p>Verifique alineación de agitadores antes de ingreso de pulpa, los siguientes valores lógicos se deben cumplir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • S_ON_VTML estado lógico OFF • Dirección R75 debe estar en cero (Ingreso de SP RPM) • Dirección R75 debe estar en cero (Valor de PV RPM) • Realice un doble toque en zona de gráfico “Potencia de molino vertical”, para centrar la medición. 	No	<p>Se deben ingresar la velocidad de giro en RPM del motor de agitación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • RPM_VTML = velocidad de giro <p>Presione la botonera virtual ON / OFF para dar inicio al giro</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dirección M16 estado lógico ON
2	<p>Operación controlada</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indicador verde permanecerá en estado lógico ON – Dirección Y14 	No	<p>El gráfico “Potencia molino vertical” nos entregará el cambio de potencia en el tiempo, utilizada por el operario para comprender el proceso de molienda.</p>
3	Parada de operación		<p>El sistema se detendrá ocurrida cualquiera de las siguientes situaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accionar parada de emergencia global (E_STOP_MPP) • Accionar botonera ON / OFF (S_ON_VTML) Dirección M16 estado lógico OFF

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Al involucrarse en el desarrollo, diseño e implementación de una maquinaria con alta sofisticación en una industria de gran peso como es la minería. Propone un alto reto, exigiendo cumplir con estándares de calidad que representan a la marca y al competitivo mercado en el que se encuentra. Para conseguir cumplir con las exigencias es necesario el trabajo en conjunto de equipos multidisciplinarios, con la finalidad de cubrir todas las aristas involucradas a la perfección.

Para el desarrollo de este manual fue necesario conocer en primera instancia los procesos mineros y metalúrgicos que fundamentan el funcionamiento de la miniplanta de flotación móvil. Así, fue posible formar parte del equipo de desarrollo y generar un documento que resume el funcionamiento de la MPPM, visto desde 3 aristas; visión mecánica (mantención), visión metalúrgica (procesos), visión programación (control de procesos automatizado). El cumplimiento de los objetivos específicos de este trabajo se detalla a continuación:

1. Se realiza un acercamiento al proceso productivo del cobre en Chile y específicamente se analiza el proceso de obtención llamado flotación. Dado esto es posible esquematizar como ocurre este proceso a gran escala y luego a menor escala o en pruebas de laboratorio. Logrando comprender el procedimiento que se realiza en la simulación a escala en la Miniplanta Piloto de Flotación.
2. Luego de una revisión por los mecanismos de automatización industrial, conocemos los softwares y hardware de la marca FATEK. Marca utilizada para el control de los procesos en la MPPM. Se identifica una programación del tipo LADDER y junto a los manuales proporcionados por la marca identificamos la función que rige el control PID utilizado en esta sincronización.
3. La descripción y enumeración de características principales de los equipos fue fundamental para identificar las posibles fallas y conocer el funcionamiento de los diferentes componentes. Utilizando manuales y guías de usuario se conoce además sus parámetros óptimos de funcionamiento.
4. El análisis AMFE nos entregó una valiosa información de los equipos que podrían fallar con mayor frecuencia además de la criticidad de esta falla para el sistema completo. Una vez conocidas las características de los equipos fue posible realizar el AMFE con una

Capítulo 5. Conclusiones

mayor precisión y siempre guiándonos por los documentos oficiales otorgados por el fabricante.

5. La filosofía de control generó la contextualización necesaria para que el operario capacitado pueda modificar las variables involucradas en el cálculo y/o lectura de los diferentes parámetros que influyen la MPPM. Adicionalmente si algunos de los procesos o equipos pierde su sincronía, es necesario cambiarlo o no esta funcionando correctamente, esta sección presenta todo lo necesario para volver a programar su correcta operación.
6. Finalmente, todo lo anterior se organiza en un documento en orden de lo general a lo particular. Presenta en detalle procedimientos de operación, mantención y programación que resultan útil para los operarios quienes podrán conocer su funcionamiento, aún cuando no haya operado antes el sistema.

A partir de lo desarrollado fue posible realizar modificaciones para mejorar las condiciones de operación sustituyen componentes, modificando materiales y optimizando la programación en procesos que requerían mayor precisión. Entregando como resultado una MPPM cumpliendo con las exigencias mínimas y realizando correctamente las mediciones necesarias para un estudio preciso en el proceso de flotación.

El trabajo realizado durante seis meses en la empresa fue muy valioso para rescatar toda la información útil respecto al trabajo que realiza SGS regularmente y como lo realizan sus colaboradores. Plasmando la excelencia que busca en sus servicios para llegar a los mas altos estándares de calidad. Por último, este diseño probablemente reciba mejoras o modificaciones en un futuro por lo que será necesario siempre mantener actualizado el manual y sus respectivas operaciones.

REFERENCIAS

- Espinosa Fuentes, Fernando Félix. Salinas Salas, Gonzalo (2011). *Gestión de Activos Industriales: Modelos y Herramientas. Planificación, Implementación y Control*. Editorial Académica Española.
- Coetzee, Jasper L. (1997). *Maintenance*. Trafford Publishing.
- Ben-Daya, Mohamed. Duffuaa, Salih O. Raouf, Abdul. Knezevic, Jezdimir. Ait-Kadi, Daoud (2009). *Hanbook of Maintenance Management and Engineering*. Springer-Verlag.
- VIANNA, S. M. (2004) The Effect Of Particle Size, Collector Coverage And Liberation On The Floatability Of Galena Particles In An Ore. Tesis (Doctorado) The University of Queensland, Australia. Department of Mining, Minerals and Materials Engineering.
- W. Kracht; (2011) Apuntes del curso MI5021: Ingeniería del procesamiento de minerales.
- Gladiator PRO. (Ed 1). (2017). Manual de instrucciones y garantía Aparejo eléctrico, (AP 81000-25).
- A&D Company, Limited. Manual GX-K GF-K Series. www.aandd.jp
- Cole-Parmer. (2019). Datasheet Masterflex and selection guide for L/S Pump Heads. www.coleparmer.com.
- Masterflex. (Ed 16). Operating manual Easy Load II, Pump Heads. www.masterflex.com
- Masterflex. (Ed. 01) (2015) Operating manual: L/S Variable-Speed Modular Drives. www.masterflex.com
- Etatron D.S. (Ed. 06). (2012) Manual B3-V and BH3-V Series. www.etatronds.com
- Schulz Compressores LTDA. (Ed. 00). Manual de instrucciones compresores Schulz. www.schulz.com.br
- Aalborg. (2018). Catálogo controlador de flujo másico GFC. www.aalborg.com
- Aalborg (Rev. T). (2020). Operating manual GFC Mass Flow Controller. https://www.aalborg.com/gfc-mass-flow-controller_o/21.

Referencias

- Ye-Li Electric & Machinery Co., LTD. (Ed. 2). YPV Series Universal Servo Drive Instruction Manual. <http://www.yeli.com.tw>
- Ye-Li Electric & Machinery Co., LTD. (Ed. 160810). YPVB Servo Motor and Drive Operation Manual. <http://www.yeli.com.tw>
- Società Italiana Trasmissioni Industriali, SITI. (Ed. 00). (2012). Catálogo técnico comercial motores eléctricos NRG. www.sitiriduttori.it
- FATEK Automation Corporation. (Ed. 07). (2021). Human Machine Interface P5 Series. www.fatek.com
- Cole-Parmer. Laboratory pH Electrodes. www.coleParmer.com/pH_electrodes.
- Hanna Instruments. Instruction Manual pH and ORP Transmitters HI 8614 – HI 8615, HI 8614L – HI 8615L. www.hannainst.com.
- Atlas Copco. Quality Air Solutions. (Ed. 2935 0893 43). (2021). SD Membrane Dryers Brochure. www.atlascopco.com.
- Atlas Copco. Quality Air Solutions. (Ed. 2935 0932 45). (2021). Filtros de aire comprimido. www.atlascopco.com.
- SICK Sensor Intelligence. (2021). Hoja de datos de producto LFP Cubic. LFP0200-A4DMB. www.sick.com.
- WIKA Instrumentos S.A.U. (Ed. 09). (2017). Hoja técnica WIKA PE 81.02 Transmisor de presión con membrana enrasada para medios viscosos y sustancias con partículas en suspensión Modelo S-11. www.wika.es.
- WIKA Instrumentos S.A.U. (Ed. 08). (2019). Manual de instrucciones Transmisor de presión con membrana aflorante modelo S-11. www.wika.es.

Anexos

ANEXO 1: MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y FILOSOFIA DE CONTROL DE MINIPLANTA PILOTO MÓVIL DE FLOTACIÓN.

El siguiente anexo comprende el manual completo realizado para la empresa SGS e incluye en sus anexos las matrices, planos y todos los documentos realizados en este trabajo de memoria.

Manual de operación, mantenimiento y filosofía de control de mini planta piloto móvil de flotación.



**MANUAL DE OPERACIÓN,
MANTENIMIENTO Y FILOSOFÍA DE
CONTROL DE MINIPLANTA PILOTO
MÓVIL DE FLOTACIÓN**

INFORMACIONES IMPORTANTES

Lea detenidamente todas las instrucciones de funcionamiento, los consejos que conciernen a la seguridad y las advertencias del manual de instrucciones.

Las reglas fundamentales para la seguridad están indicadas explícitamente en su apartado, así como también lo relativo a la utilización y mantenimiento de la miniplanta piloto.

Los accidentes de trabajo se pueden evitar identificando con tiempo las situaciones potenciales de peligro y respetando las reglas de seguridad apropiadas.

Es de prioridad la revisión de la continuidad de las mantenciones de todos los equipos que componen el sistema miniplanta piloto antes de comenzar la operación. Si alguno ellos no se han cumplido deben regularizarse a la brevedad, ya que conllevan un incremento en las probabilidades de falla y riesgo para el personal y la maquinaria.

ÍNDICE

1	CONSIDERACIONES PREVIAS	6
1.1	IMPORTANCIA DEL MANUAL	6
1.2	PROPÓSITO	6
1.3	ALCANCE Y APLICACIÓN	6
1.4	RESPONSABILIDADES	6
1.4.1	JEFE DE PROYECTO	6
1.4.2	INGENIERO DE PROCESOS	6
1.4.3	SUPERVISOR	6
1.4.4	OPERADOR DE PROCESO	6
1.5	DEFINICIONES	6
2	INFORMACIONES GENERALES	8
2.1	INFORMACIÓN IMPORTANTE DE SEGURIDAD	8
2.1.1	ADVERTENCIAS GENERALES DE SEGURIDAD	8
2.1.2	ADVERTENCIA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA	9
2.1.3	ADVERTENCIA DE CONEXIÓN DE AIRE	9
2.1.4	ADVERTENCIA DE CONEXIÓN DE AGUA	10
3	INFORMACIONES PRELIMINARES SOBRE EL SISTEMA	11
3.1	VISIÓN GENERAL	11
3.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPAMIENTO	12
3.3	PLANO DE PLANTA	13
4	MANUAL DE OPERACIÓN	14
4.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	14
4.1.1	PANTALLA PRINCIPAL	14
4.1.2	CONTROL PH	20
4.1.3	ROUGHER	21
4.1.4	SCAVENGER	22
4.1.5	REMOLIENDA	23
4.1.6	COLUMNA DE FLOTACIÓN	24
4.2	CALIBRACIÓN DE EQUIPOS	25
4.2.1	ELECTRODO Y TRANSMISOR PH	25
4.2.1.1	General	25
4.2.1.2	Información base	25
4.2.1.3	Preparación Inicial	26
4.2.1.4	Compensación de temperatura	26
4.2.1.5	Procedimiento	27

4.2.2	SENSOR DE NIVEL SICK.....	29
4.2.2.1	General.....	29
4.2.2.2	Información Base.....	29
4.2.2.3	Preparación Inicial.....	29
4.2.2.4	Procedimiento.....	30
4.2.3	VOLUMEN / NIVEL / MASA DE FEED TANK.....	32
4.2.3.1	General.....	32
4.2.3.2	Preparación Inicial.....	32
4.2.3.3	Procedimiento.....	32
4.2.4	FLUJÓMETRO.....	35
4.2.4.1	General.....	35
4.2.4.2	Información Base.....	35
4.2.4.3	Procedimiento.....	35
4.2.5	TRANSMISOR DE PRESIÓN DE COLUMNA DE FLOTACIÓN / NIVEL DE ESPUMA.....	37
4.2.5.1	General.....	37
4.2.5.2	Información Base.....	37
4.2.5.3	Procedimiento.....	37
4.3	SUGERENCIAS DE CONTROL PREVIO A FUNCIONAMIENTO.....	38
4.4	USO DE MINIPLANTA PILOTO DE FLOTACIÓN.....	39
4.4.1	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	39
4.4.2	CONEXIÓN DE ALIMENTACIÓN.....	40
4.4.3	INICIO DE OPERACIÓN.....	40
4.4.3.1	Resumen del procedimiento de arranque.....	41
4.4.4	PARADA DE OPERACIÓN.....	42
4.4.4.1	Resumen del procedimiento de parada.....	42
5	MANUAL DE MANTENIMIENTO.....	43
5.1	DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y PARTES.....	43
5.1.1	MOLINO DE BOLAS.....	43
5.1.2	TANQUE AGITADOR.....	44
5.1.3	FEED TANK.....	45
5.1.4	COMPRESOR DE AIRE.....	46
5.1.5	SECADOR Y FILTRO DE AIRE.....	47
5.1.6	CFM.....	48
5.1.6.1	Alimentación.....	49
5.1.6.2	Banco De Celdas.....	50
5.1.6.3	Equipo Auxiliar.....	51
5.1.7	MOLINO VERTICAL.....	52
5.1.8	COLUMNA DE FLOTACIÓN.....	53
5.1.9	PANEL DE CONTROL PLC.....	54
5.2	ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS (A.M.F.E).....	55
5.2.1	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN.....	55
5.2.1.1	Gravedad.....	55
5.2.1.2	Frecuencia.....	56

5.2.1.3 Detectabilidad	56
5.2.2 RESUMEN FALLOS CRÍTICOS	57
5.3 PROCEDIMIENTO PARA REVISIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS.....	62
5.3.1 PARADA DEL EQUIPO.....	62
5.3.2 REVISIÓN CELDAS DE FLOTACIÓN.....	63
5.3.3 REVISIÓN AGITADORES DE PULPA.....	64
5.3.4 REVISIÓN DE SERVO MOTORES	65
5.3.5 REVISIÓN DE PALETAS Y EJE.....	65
5.3.6 REVISIÓN DE BOMBAS DE TRASPASO	66
5.3.7 REVISIÓN DE FLUJÓMETRO DE AIRE.....	67
5.3.8 REVISIÓN DE TECLE DE BANCADA	68
5.4 PROCEDIMIENTO PARA LIMPIEZA DE CFM	69
5.5 LUBRICACIÓN.....	69
5.6 CRONOLOGÍA PARA LABORES DE MANTENIMIENTO.....	70
5.6.1 MOLINO DE BOLAS	70
5.6.2 EQUIPO AUXILIAR.....	71
5.6.3 TANQUE AGITADOR.....	71
5.6.4 FEED TANK.....	72
5.6.5 CFM.....	73
5.6.6 MOLINO VERTICAL	74
5.6.7 COLUMNA DE FLOTACIÓN	75
5.7 STOCK DE REPUESTOS CRÍTICOS.....	76
6 FILOSOFÍA DE CONTROL.....	77
6.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	77
6.1.1 ARQUITECTURA	77
6.1.2 FUNCIONES DEL SISTEMA.....	77
6.1.3 GRADO DE AUTOMATIZACIÓN	77
6.2 ESQUEMAS GENERALES DE CONTROL	78
6.2.1 PLC FATEK MODEL FBS	78
6.2.1.1 Sintonización PID.....	79
6.2.2 SISTEMA DE VISUALIZACIÓN HMI	82
6.2.3 SISTEMA SERVOMOTOR YE LI YBL7S – DRIVER YPV SERIES.....	85
6.2.4 CONTROLADOR DE FLUJO MÁSSICO AALBORG GFC 17	87
6.3 LAZOS DE CONTROL REGULATORIO.....	89
6.3.1 VOLUMEN DE CONTROL (NIVEL EN FEED TANK)	89
6.3.2 COLUMNA DE FLOTACIÓN.....	90
6.3.3 PORCENTAJE DE SÓLIDOS	91
6.3.4 PH FEED TANK.....	91
6.3.5 PH CFM.....	92
6.4 MODOS DE OPERACIÓN.....	92
6.4.1 MOTOR ELÉCTRICO (MOLINO BULK)	92
6.4.2 SERVOMOTOR (TANQUE ACONDICIONADOR)	93
6.4.3 FEED TANK.....	93

6.4.4	CONTROL PH (FEED TANK / CFM)	94
6.4.4.1	Control pH Feed Tank	94
6.4.4.2	Control pH CFM	94
6.4.5	SERVOMOTORES (AGITADORES)	95
6.4.6	PALETEO	95
6.4.7	CONTROL DE FLUJO MÁSSICO DE AIRE EN CELDAS	95
6.4.8	MOLINO DE REMOLIENDA (VERTIMIL)	96
6.4.9	COLUMNA DE FLOTACIÓN	96
6.5	MODOS DE DETENCIÓN	96
6.6	CONTROL DE PROCESO	97
6.6.1	MOLIENDA	97
6.6.1.1	Límite de batería	97
6.6.1.2	Equipos principales	97
6.6.1.3	Instrumentos principales	97
6.6.1.4	Estrategias de control	97
6.6.1.5	Secuencia de operación	98
6.6.2	ADMISIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE PULPA	99
6.6.2.1	Límite de batería	99
6.6.2.2	Equipos principales	99
6.6.2.3	Instrumentos principales	99
6.6.2.4	Estrategias de control	100
6.6.2.5	Secuencia de operación	101
6.6.3	BANCO DE CELDAS DE FLOTACIÓN (CFM)	102
6.6.3.1	Límite de batería	102
6.6.3.2	Equipos principales	102
6.6.3.3	Instrumentos principales	102
6.6.3.4	Estrategias de control	104
6.6.3.5	Secuencia de operación	105
6.6.4	REMOLIENDA (MOLINO VERTIMIL)	106
6.6.4.1	Límite de batería	106
6.6.4.2	Equipos principales	106
6.6.4.3	Instrumentos principales	106
6.6.4.4	Estrategias de control	106
6.6.4.5	Secuencia de operación	106
6.6.5	COLUMNA DE FLOTACIÓN	108
6.6.5.1	Límite de batería	108
6.6.5.2	Equipos principales	108
6.6.5.3	Instrumentos principales	108
6.6.5.4	Estrategias de control	108
6.6.5.5	Secuencia de operación	109

1 CONSIDERACIONES PREVIAS

1.1 IMPORTANCIA DEL MANUAL

El presente manual de instrucciones constituye una guía para la **OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONTROL** de la miniplanta piloto móvil de flotación que va a operar.

Le aconsejamos que siga escrupulosamente todos los consejos que contiene el manual, pues tanto el buen funcionamiento como la duración de los equipos, dependen del uso correcto y de la aplicación metódica de las instrucciones de mantenimiento contenidas en este manual.

Guarde el presente manual durante toda la vida de la miniplanta.

Asegúrese de que todas las actualizaciones realizadas se hayan incluido en el manual o se anexen al contenido de este.

Entregue el manual junto con la miniplanta cuando ésta cambie de operario o propietario.

1.2 PROPÓSITO

Establecer el procedimiento para la operación, mantenimiento y control de Miniplanta Piloto de Flotación, con el fin de ayudar a desarrollar las destrezas y las técnicas necesarias para operar la planta de la forma más eficaz. En consecuencia, el presente manual constituye una referencia para los operadores. Las fotografías e ilustraciones guiarán al operador para los distintos procedimientos.

1.3 ALCANCE Y APLICACIÓN

El procedimiento se realiza en el área de Miniplanta Piloto de Flotación Móvil (MPPM) de Planta Piloto Quilicura, sin importar su lugar de operación.

1.4 RESPONSABILIDADES

Todo el personal involucrado es responsable de cumplir con los requisitos legales locales y del Grupo SGS.

1.4.1 Jefe de Proyecto

- Encargado de asegurar la efectividad, aplicación y mejoramiento de las actividades descritas.

1.4.2 Ingeniero de Procesos

- Responsable de elaborar y mantener actualizado el presente documento.
- Debe planificar, controlar y coordinar las actividades descritas.
- Debe procesar y revisar los datos medidos y los resultados obtenidos con ellos.
- Velar por el cumplimiento de este documento.

1.4.3 Supervisor

- Responsable de verificar el cumplimiento de este procedimiento.
- Debe dirigir y organizar la ejecución de las actividades enmarcadas en este procedimiento, dando garantía del fiel cumplimiento de las actividades.

1.4.4 Operador de Proceso

- Deben cumplir fielmente lo indicado en este documento.

1.5 DEFINICIONES

- **MPPM:** siglas de "Miniplanta Piloto Móvil" de Flotación continua, su capacidad de tratamiento es de 10 [Kg/h].
- **Holding:** estanque acondicionador de pulpa, bajo parámetros ajustables de Cp (% Sólido).
- **FeedTank:** estanque acondicionador de pulpa que alimenta a planta de flotación (CFM).

- **CFM:** máquina de Flotación continua, está conformada por una serie de celdas de flotación, dosificación controlada de cal y control de pH.
- **Rougher:** primera etapa que recibe la pulpa de cabeza que viene de los acondicionadores, ella flota la mayor parte de los minerales objetivo.
- **Scavenger:** celdas que reciben el relave de las celdas *rougher* y su función es el flotar los minerales que no fueron aprovechados anteriormente.
- **Cleaner:** celdas que reciben las espumas de las celdas *Rougher*, y su función es eliminar la mayor cantidad posible de impurezas.
- **EPP:** sigla de equipo de protección personal.
- **PLC:** sigla en inglés de programmable logic controller (Controlador lógico programable).
- **Vertimil:** molino vertical patentado por empresa Metso Outotec.
- **RPM:** revoluciones por minuto.
- **Lechada de cal:** fluido que este compuesto por una suspensión de hidróxido cálcico en agua.
- **pH:** coeficiente que indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución acuosa.
- **Set Point:** valor deseado o valor objetivo.
- **Reset:** del inglés reiniciar. Poner en condiciones iniciales el sistema.
- **BNC:** Bayonet Neill-Concelman. Tipo de conector de rápida conexión/desconexión, utilizado para cable coaxial.
- **IP44:** resistente al agua (adecuado en el baño o la ducha).
- **IP65:** protegido contra chorros de agua
- **IP67:** a prueba de polvo / inmersión durante 30 [min] (adecuado para ducha o baño)
- **Buffer:** tampón químico, sistema constituido por una base y su ácido conjugado que puede oponerse a grandes cambios de pH.
- **Trimmer:** condensador pequeño que permite modificar parámetros con precisión.
- **Off Set:** distancia del valor objetivo, modificable por el usuario.
- **Slope:** pendiente o inclinación de un elemento lineal. En este caso, hace referencia a la función de comunicación electrónica.
- **Amperímetro:** galvanómetro utilizado para medir intensidad de corriente eléctrica.
- **TDR:** Time-Domain Reflectometry, técnica de medición de líneas eléctricas mediante la observación de ondas reflejadas.
- **PID:** mecanismo de control basado en tres parámetros: proporcional, integral y derivativo.
- **Epóxica:** pintura fabricada con componentes elaborados a base de una resina epóxica.
- **Denver D-12:** máquina de flotación de laboratorio.
- **SAE 1020:** acero de bajo contenido de carbono, de fácil mecanizado y buena soldabilidad.
- **Polipropileno:** polímero termoplástico parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno.
- **Robalon:** polietileno de alto peso molecular y densidad muy elevada. Posee excepcionales propiedades químicas y físicas, atóxico, liviano, aislante e impermeable.
- **Micras:** unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro.
- **IPR:** índice de prioridad de riesgo.
- **RFE:** elemento de restricción de flujo.

2 INFORMACIONES GENERALES

2.1 INFORMACIÓN IMPORTANTE DE SEGURIDAD

La mayoría de los accidentes relacionados con la operación, mantenimiento o la reparación de este equipo se deben a que no se observan las precauciones y reglas básicas de seguridad. Con frecuencia se puede evitar un accidente si se reconocen las situaciones de peligro antes de que ocurra el accidente. Todo el personal debe estar alerta a la posibilidad de peligros. Se debe tener la capacitación necesaria, los conocimientos y las herramientas para realizar estas funciones correctamente.

No opere este equipo ni realice ningún trabajo de operación, mantenimiento o reparación hasta que haya leído y entendido toda la información de operación, mantenimiento y reparación documentada para tal caso.

2.1.1 Advertencias generales de seguridad



ATENCIÓN: EL USO INAPROPIADO Y UN MANTENIMIENTO INCORRECTO DE LA MPPM PUEDE PROVOCAR LESIONES FÍSICAS AL USUARIO. PARA EVITAR ESTOS RIESGOS HAY QUE SEGUIR DETENIDAMENTE LAS INSTRUCCIONES SIGUIENTES.

- **NO TOCAR LAS PARTES EN MOVIMIENTO**
No meter nunca las manos, dedos u otras partes del cuerpo cerca de las partes en movimiento de la MPPM.
- **UTILIZAR SIEMPRE EPP COMPLETO**
Utilizar siempre gafas de protección, casco y zapatos de seguridad al manipular cualquier parte del sistema.
- **DESCONECTAR LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN**
Desconectar la MPPM de la fuente de energía eléctrica y descargar completamente la presión de los depósitos de aire antes de efectuar cualquier operación de asistencia, inspección, mantenimiento, limpieza y cambio o control de cualquier pieza.
- **ZONA DE TRABAJO**
Mantener la zona de trabajo limpia y si fuera necesario quitar del área las herramientas que no sean necesarias. Mantener la zona de trabajo bien ventilada. No usar la MPPM en presencia de líquidos inflamables o gases. No usar la MPPM en situaciones donde se puedan hallar pinturas, gasolinas, sustancias químicas, adhesivos o cualquier otro material combustible o explosivo.
- **PRENDAS DE TRABAJO**
No usar indumentaria o accesorios inadecuados, pues podrían quedar atrapados en las partes en movimiento. Llevar un gorro o símil para cubrir el pelo si es necesario.
- **MANTENER LA MPPM CON CUIDADO**
Seguir las instrucciones para el mantenimiento. Inspeccionar las fuentes de alimentación periódicamente y si están dañadas, reparar o cambiar antes de puesta en marcha. Comprobar el aspecto general de los componentes de manera que no presente anomalías visuales.
- **CUIDADO**
Prestar atención a la tarea que se está efectuando y utilizar el sentido común. No usar la MPPM cuando están cansados. La MPPM no debe ser utilizada jamás si se está bajo los efectos del alcohol, drogas o medicinas que puedan inducir somnolencia.
- **CONTROLAR LAS PARTES DEFECTUOSAS O LAS PÉRDIDAS DE AIRE**
Antes de volver a utilizar la MPPM, si una protección u otras piezas están dañadas, deben ser controladas detenidamente para determinar si pueden funcionar en condiciones de seguridad. Controlar la alineación de las partes en movimiento, tubos, manómetros, flujómetros, conexiones neumáticas y cualquier otra

parte que tenga importancia en el funcionamiento normal de la máquina. Las piezas dañadas deben ser correctamente reparadas o sustituidas, tal como se indica en el manual de mantenimiento.

- **COMPROBAR QUE LOS TORNILLOS, PERNOS Y SELLOS ESTÉN FIRMEMENTE FIJADOS**
- **MANTENER LIMPIA LA REJILLA DE ASPIRACIÓN DEL COMPRESOR AUXILIAR**
Mantener la rejilla de ventilación del motor limpia. Limpiar con regularidad esta rejilla si el ambiente de trabajo es demasiado sucio.
- **HACER FUNCIONAR LA MPPM A LA TENSIÓN NOMINAL**
Hacer funcionar la MPPM a la tensión especificada en la placa de los datos eléctricos de trabajo. Si la MPPM se utiliza a una tensión superior a la nominal, corre el riesgo de dañar o quemar componentes críticos.
- **NO UTILIZAR JAMÁS LA MPPM SI ESTÁ DEFECTUOSA**
Si mientras la MPPM trabaja, esta produce ruidos extraños o excesivas vibraciones, o si pareciera defectuosa, interrumpir su funcionamiento inmediatamente y comprobar su funcionalidad.
- **NO LIMPIAR LAS PARTES DE PLASTICO CON DISOLVENTES**
Los disolventes como la gasolina, diluyentes, gasóleo u otras sustancias que contienen hidrocarburos pueden dañar las partes de plástico. Limpiar eventualmente estas partes con un paño suave y agua con jabón o con líquidos apropiados.
- **APAGAR LA MPPM CUANDO NO ESTÁ EN FUNCIONAMIENTO**
Cuando la MPPM no está en funcionamiento, colocar los interruptores en posición OFF, desconectar de la corriente y purgar el aire comprimido del depósito del compresor.
- **PIEZAS DE REPUESTO**
En caso de reparaciones, utilizar únicamente piezas de repuesto originales idénticas a las piezas a sustituir. Las reparaciones deben ser efectuadas exclusivamente por el personal de mantenimiento autorizado.
- **NO DESENROSCAR LA CONEXIÓN CON EL DEPOSITO BAJO PRESIÓN**
No desenroscar conexiones con el depósito bajo presión y sin haber controlado antes si el depósito está cargado.
- **NO INTRODUCIR JAMÁS OBJETOS O MANOS DENTRO DE CUALQUIER DISPOSITIVO EN FUNCIONAMIENTO**
No introducir jamás objetos o manos dentro de las zonas delimitadas para evitar daños físicos a las personas y daños a los equipos en operación.

2.1.2 Advertencia de conexión eléctrica



La unidad MPPM está diseñada para poder ser colocada en cualquier espacio exterior correctamente nivelado. Para este fin, la conexión eléctrica debe ser la siguiente:

El contenedor cuenta con un enchufe de entrada industrial hembra sobrepuesto 3P + T + N 415V 63A IP44.

Posee una salida con enchufe industrial hembra sobrepuesto 3P + T + N 415V 16A IP44 para equipos auxiliares fuera del contenedor.

El voltaje operativo del equipo es de: 380V / 3 fases / 50 Hz.

2.1.3 Advertencia de conexión de aire



La unidad MPPM cuenta con su propio compresor de aire, el cual está dimensionado y regulado según las necesidades de alimentación por parte de los equipos de trabajo.

Disponer de este compresor en un lugar seco y alejado de demasiados contaminantes, si no es posible, realizar limpieza en los ductos de aspiración tan seguido como sea necesario.

Las condiciones de operación son: Flujo máximo de 5 [L/min] – Presión máxima de 100 [psi].

2.1.4 Advertencia de conexión de agua



La unidad MPPM cuenta con una entrada de agua tipo acople de 3/4x1/2", conexión de grifería disponible para la incorporación a sistema de agua u otro sistema de impulsión como motobomba.

3 INFORMACIONES PRELIMINARES SOBRE EL SISTEMA

3.1 VISIÓN GENERAL

El desarrollo de un proceso de concentración para un nuevo yacimiento mineral debe tener en cuenta, entre otras cosas, la variabilidad del mineral. Desde el principio es una de las variables desconocidas más importantes y puede llegar a ser crítica al estudiar la viabilidad del proyecto. Las respuestas metalúrgicas, como las recuperaciones finales y las leyes de los concentrados, pueden verse muy afectadas por los diferentes tipos de mineral, las leyes de cabeza y las variables de concentración. La evaluación económica adecuada depende, en cierta medida, de la capacidad de estimar correctamente esta variabilidad, ya que la planta debe diseñarse con la suficiente flexibilidad para manejar las variaciones previstas.

La máquina de flotación continua (CFM) es una herramienta de laboratorio muy versátil diseñada para permitir al ingeniero metalúrgico extraer la máxima cantidad de información metalúrgica a partir de una cantidad mínima de muestra con mayor precisión y bajos costes. Utilizando muestras de perforación, es posible simular el funcionamiento continuo de un circuito básico de *rougher/ scavenger/ cleaner* con un nivel de confianza que supera el de las pruebas estándar de ciclo cerrado. Los efectos de los productos intermedios reciclados y los reactivos en el rendimiento metalúrgico final pueden determinarse fácilmente.

La MPPM ha sido diseñada para proporcionar una etapa intermedia entre las pruebas a escala de banco y los estudios de planta piloto. Su diseño proporciona la capacidad de realizar diferentes procesos en una sola ubicación y cuenta con la automatización mediante PLC en gran parte de sus funciones, facilitando el trabajo por parte del operador y sistemas de control para el posterior análisis de datos.

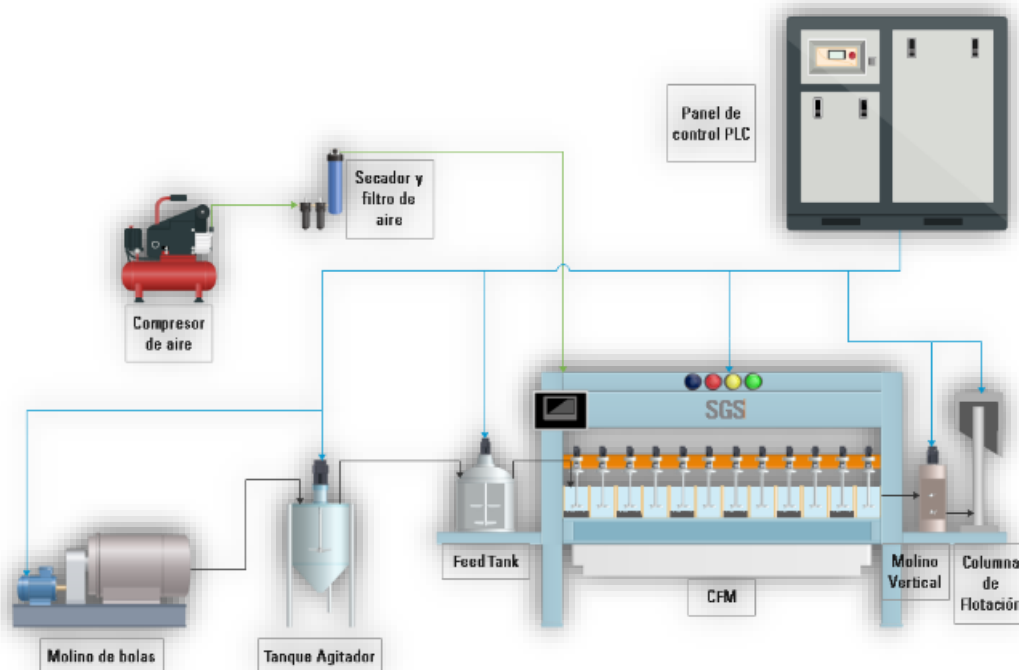


Ilustración 3.1: Esquema General MPPM

3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPAMIENTO

La miniplanta piloto está emplazada en el interior de un Container marítimo de 40 pies el cual está dividido interiormente en 3 zonas: zona de molienda, zona de máquina de flotación continua (CFM) y oficina de control. Los equipos que forman parte del sistema se enumeran a continuación:

- Molino de bolas
- Tanque agitador
- Feed Tank
- Compresor de aire
- Secador y filtro de aire
- Máquina de flotación continua (CFM)
- Molino vertical (Vertimil)
- Columna de flotación
- Panel de control PLC

Tabla 3.1: Especificaciones Técnicas

ESPECIFICACIONES	MEDIDAS
ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	
Potencia nominal	20 kW
Tensión trifásica nominal	380 V
Frecuencia	50 Hz
DIMENSIONES EXTERNAS (CM)	
Largo	1220
Ancho	243
Alto	290
PESO (Kg)	
Contenedor	3700
Equipos	1800
Peso neto	5500
VOLUMEN INTERNO	
	70 m ³
ALIMENTACIÓN AIRE	
Presión máxima	7 bar (100 psi)
Flujo máximo	5 L/min

3.3 PLANO DE PLANTA

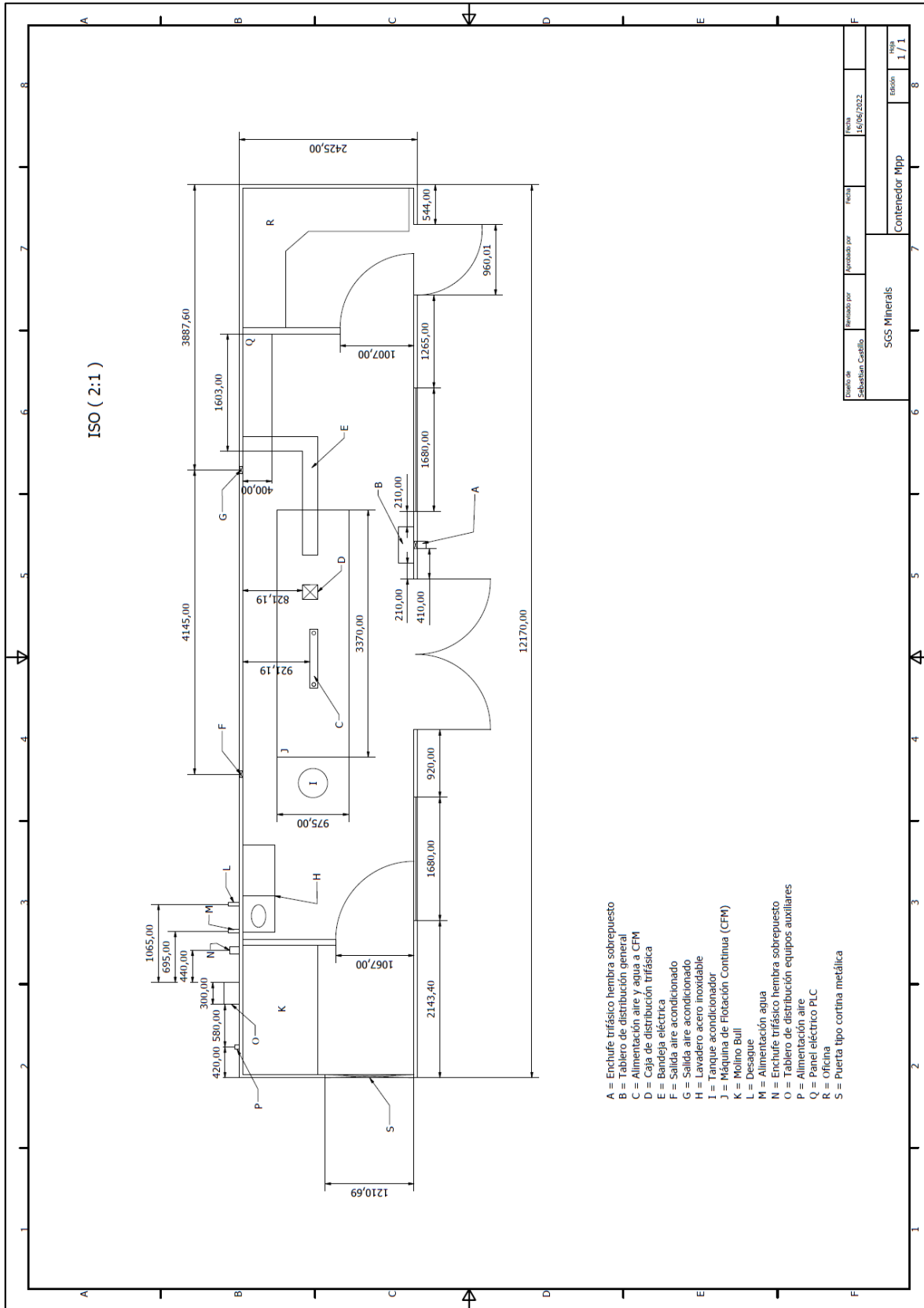


Ilustración 3.2: Plano de Planta MPPM

MANUAL DE OPERACIÓN

4 MANUAL DE OPERACIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Los siguientes apartados tiene por finalidad acercar al operario al entorno de trabajo y programación que deberá utilizar para manipular y operar de manera segura y óptima todos los controles presentes en la MPPM. Se detallarán todas las ventanas presenten en la pantalla HMI que forman parte del control automatizado PLC.

Una vez energizado el sistema, la ventana inicial mostrará los logotipos del equipo durante aproximadamente 10 segundos para luego presentar la pantalla principal (Ilustración 4.1).

4.1.1 Pantalla principal

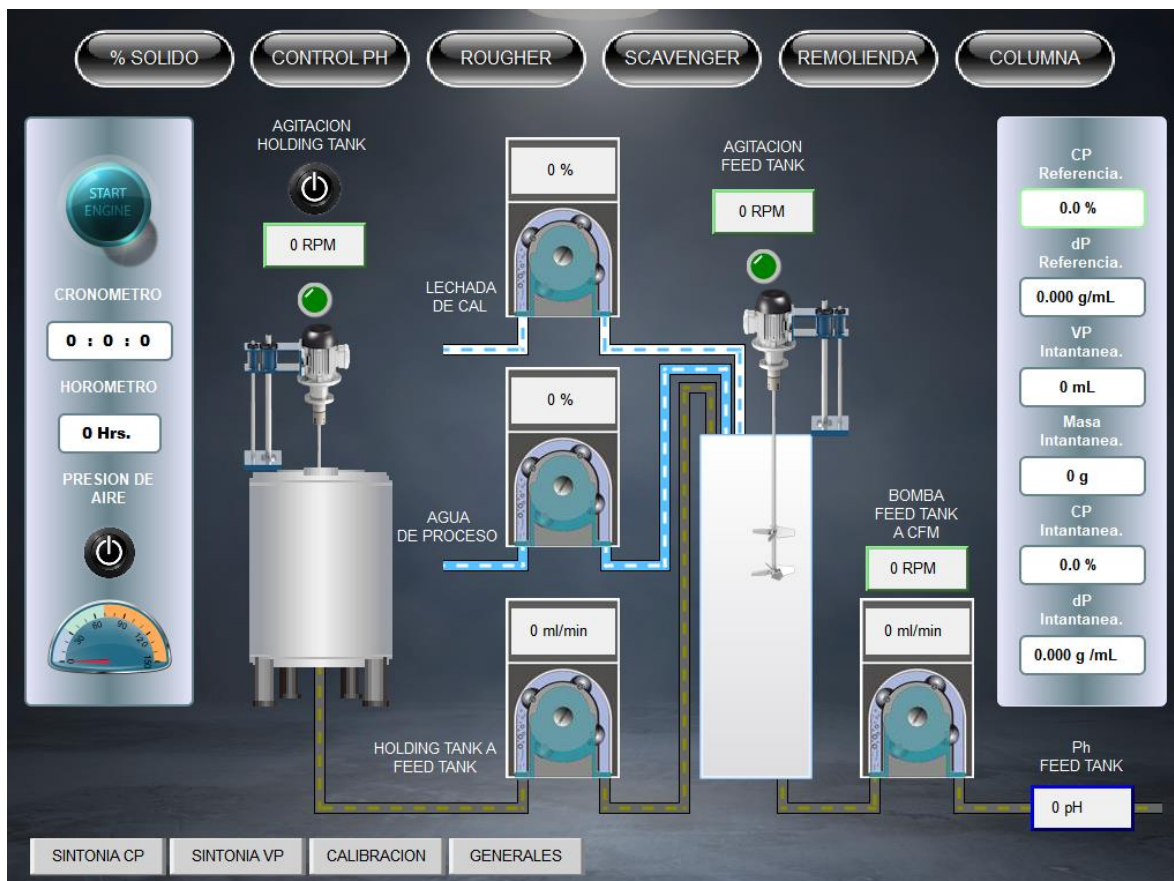


Ilustración 4.1: Ventana inicial "% Solido"

La pantalla principal, la cual corresponde a la pestaña "% SÓLIDO", presenta un resumen general de los diferentes parámetros utilizados para modificar el control del proceso. Se encuentran presentes los botones para iniciar el proceso general, el flujo de aire y el motor de agitación del "HOLDING TANK". Además, permite el acceso a las pestañas "CALIBRACION" Y "GENERALES" y permite visualizar de manera virtual y en tiempo real lo sucedido en los equipos disponibles con la posibilidad de controlar los parámetros a través de su panel táctil.

En la zona lateral izquierda de la pantalla, se encuentra un recuadro con el botón “START ENGINE”, el cual permite iniciar la marcha del equipo, en consecuencia, comenzará la agitación del *Impeller* perteneciente al dispositivo FEED TANK. Adicionalmente, se presenta un cronómetro que se iniciará en cada uso y se reiniciará al momento de apagar el equipo. Bajo este se encuentra el “HOROMETRO”, el cual nos servirá como guía para realizar las labores de mantención (Ilustración 4.2).



Ilustración 4.2: Recorte sección "START ENGINE"

En la parte inferior se encuentra la botonera virtual que controla la válvula de paso del aire comprimido hacia los flujómetros del banco de celdas. Al momento de activar el paso, la aguja del indicador analógico mostrará la presión presente en la línea de alimentación, iniciándose así la alimentación (Ilustración 4.2).

A continuación, encontramos la botonera virtual ON/OFF que nos permitirá iniciar el proceso de agitación en el "HOLDING TANK", el cual indicará su funcionamiento con un led verde. En el recuadro verde inferior se debe ingresar las RPM de giro requeridas para el proceso (Ilustración 4.3).



Ilustración 4.3: Recorte sección "Agitación Holding Tank"



*Ilustración 4.4:
Recorte "Tabla
Variables de
Proceso"*

En el recuadro ubicado en el lateral derecho de la pantalla (Ilustración 4.4) encontramos parámetros de control metalúrgico útiles para el control de proceso. A continuación, se describirá cada variable:

- **CP Referencia:** es el único recuadro modificable y permite establecer el "PORCENTAJE DE SÓLIDOS" que se desea obtener en el *FEED TANK*, variable de control antes de ingresar la pulpa al circuito de flotación en celdas.
- **dP Referencia:** indica el valor de la densidad de pulpa que debe alcanzar en el *FEED TANK*. Este valor es calculado respecto al CP de referencia ingresado anteriormente. No es modificable, solo es un valor de referencia.
- **VP Instantánea:** muestra el valor del volumen en el tiempo n, este valor es proporcionado gracias al sensor de nivel que fue calibrado para relacionar nivel/volumen de la pulpa en el *FEED TANK*.
- **Masa Instantánea:** nos indica el valor de la masa en el tiempo n, este valor es proporcionado gracias a la balanza de precisión que fue previamente calibrada para entrega solo la masa de la pulpa.
- **CP Instantánea:** entrega el valor de "PORCENTAJE DE SÓLIDOS" en el tiempo n, que fue calculado mediante la masa y volumen de proceso medidos de forma instantánea.
- **dP Instantánea:** entrega el valor de "DENSIDAD DE PULPA" en el tiempo n, valor calculado mediante las variables de proceso medidas, además de la densidad de agua de proceso y gravedad específica del mineral de trabajo

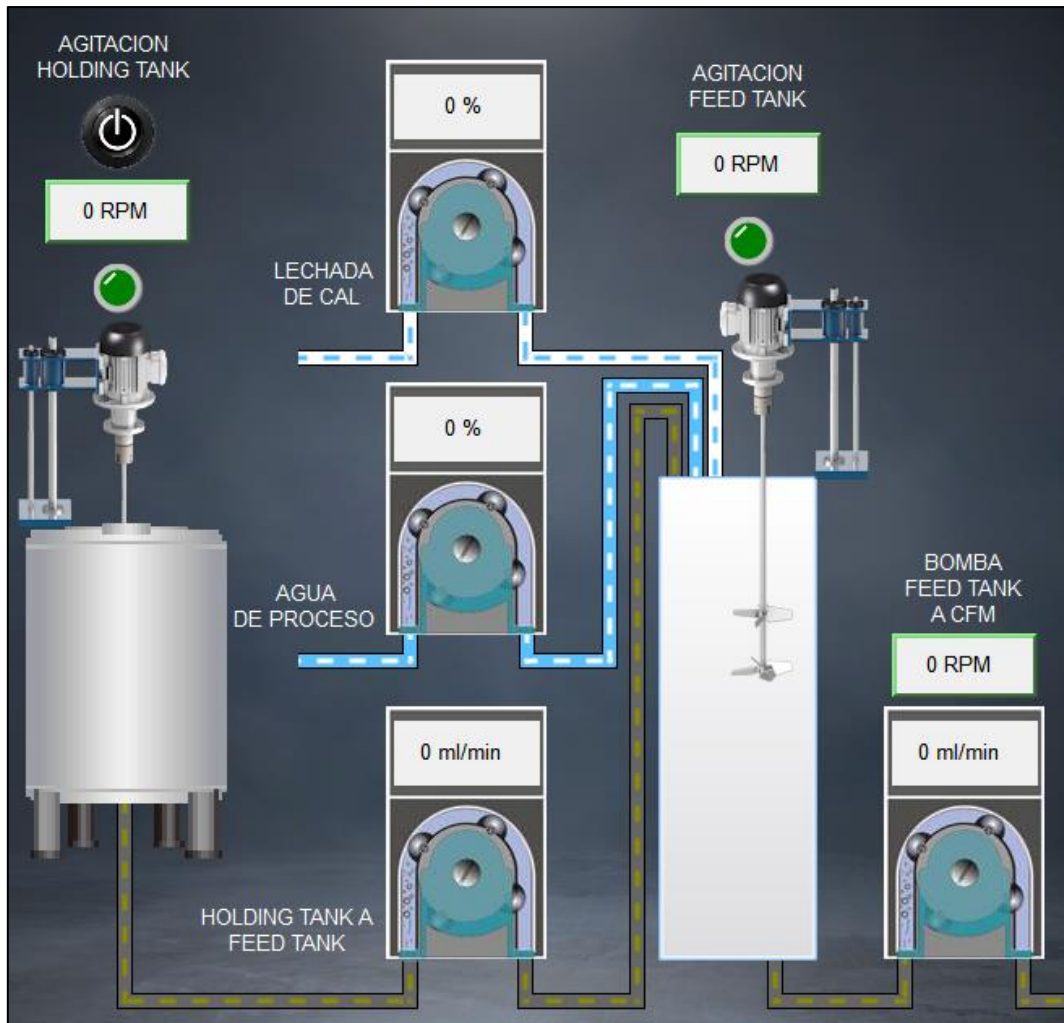


Ilustración 4.5: Recorte sección "Flujo de proceso General"

En la zona central se encuentra el *FEED TANK* representado por un rectángulo vertical que se llenará indicando el nivel de la pulpa, cambiando su color a rojo cuando este nivel sea crítico. A su alrededor se encuentran las diferentes líneas de alimentación o salida junto con sus respectivas bombas peristálticas de proceso. El color del fluido indicará si se trata de pulpa (gris), agua (azul) o lechada de cal (blanco). Cada bomba tiene un recuadro que indicará al flujo presente en ml/min, además cuenta con un indicador led de color verde para señalar el correcto funcionamiento, una señal de alerta triangular de color amarilla que indicará la detención por falla del equipo y un botón virtual de *RESET* para reiniciar su funcionamiento (Ilustración 4.5).

Encontrará en la esquina inferior izquierda accesos directos para “SINTONÍA CP y SINTONÍA VP” (control densidad de pulpa y volumen, respectivamente) de los PID de equipos presentes, esta configuración será descrita detalladamente en la sección “Filosofía de control”. La pestaña “CALIBRACIÓN” contiene los indicadores, controladores y gráfica necesaria para calibrar el volumen / nivel / masa en el tanque de alimentación, este procedimiento se detallará en profundidad en la sección “CALIBRACIONES”. Para el caso del botón “GENERALES” se encontrarán las calibraciones generales entre los valores de ingeniería y valores eléctricos, estos procedimientos se detallarán en profundidad en la sección “CALIBRACIONES”.

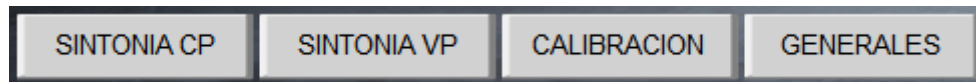


Ilustración 4.6: Accesos directos

4.1.2 Control pH

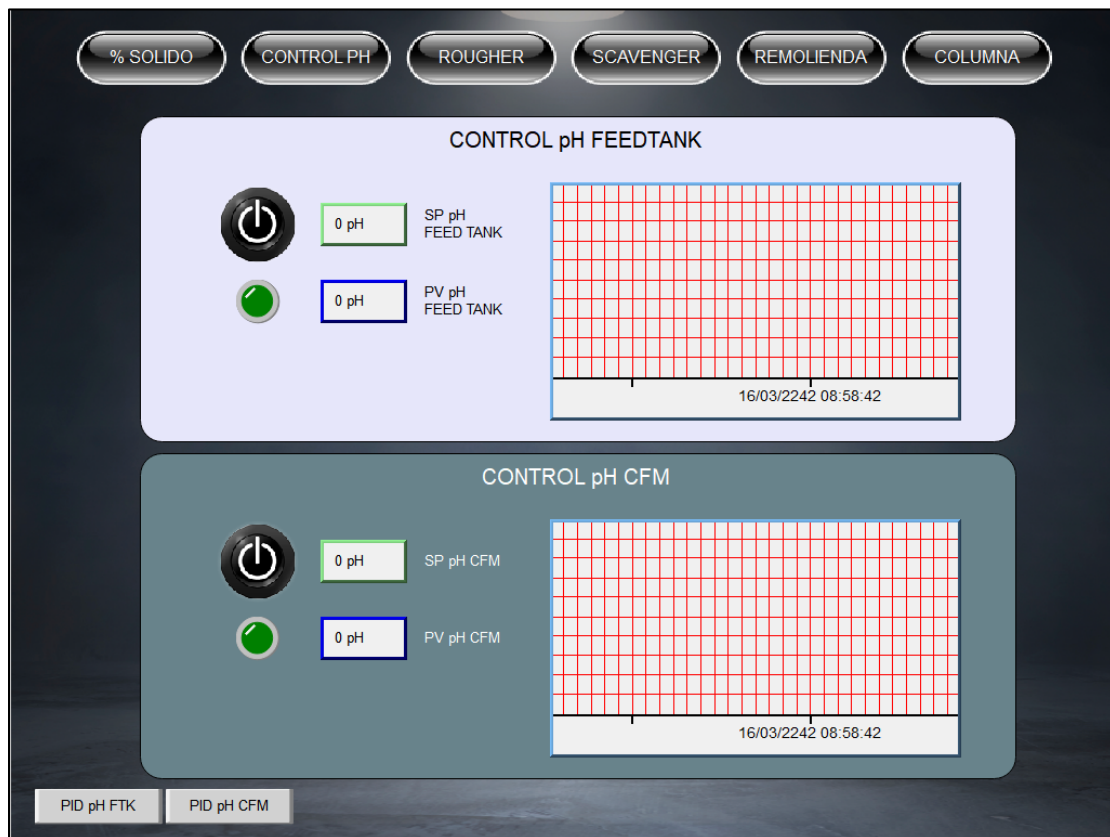


Ilustración 4.7: Pestaña "Control pH"

En la ventana CONTROL PH se encuentran los controles para comandar las acciones en los electrodos ubicados en el *FEED TANK* y el electrodo móvil en la *CFM*. Para ambos casos debemos establecer en el recuadro verde el valor de proceso requerido y en la ventana azul se indicará el valor de pH medido en el instante n. El inicio de medición se realiza presionando la botonera virtual y el indicador led verde se iluminará. Para el caso del *FEED TANK*, una vez establecido el *SET POINT* se activará la bomba de traspaso de lechada de cal, la cual ayudará al sistema a la pulpa a conseguir el valor deseado. Adicionalmente y para facilitar el entendimiento del comportamiento se presentan gráficos en el tiempo del valor de proceso (PV) y el *SET POINT* (ST). En la zona inferior izquierda encontramos las botoneras que dan acceso al control de los parámetros PID de comunicación y control del pH con el controlador *PLC*. Se detalla esta configuración en el apartado correspondiente en "Filosofía de control".

4.1.3 Rougher

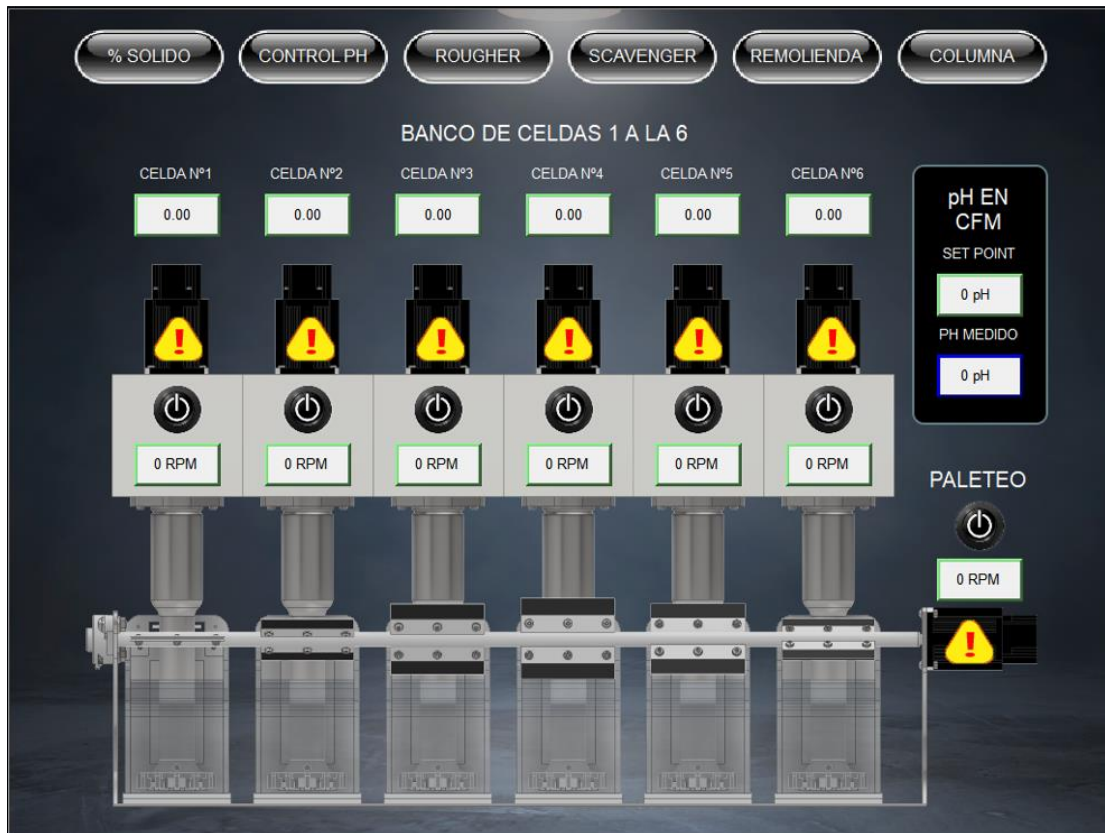


Ilustración 4.8: Banco de celdas - Pestaña "ROUGHER"

En la pestaña denominada *ROUGHER* se encuentran los controles relativos a los equipos presentes en el banco de celdas, estos se distribuyen en 2 grupos de 6, encontrándose los primeros 6 sistemas de flotación en la pestaña *ROUGHER*. El sistema lo comprende una celda de flotación, agitador *Impeller* y flujómetro de aire comprimido.

Luego de activado el paso de aire comprimido desde la pantalla principal podemos establecer el caudal de aire comprimido seco y limpio para cada celda, considere un rango entre 0~5 [L/min].

El control de la velocidad de los agitadores *Impeller* se realiza en el recuadro verde disponible en la zona inferior para cada celda, puede establecer un valor máximo de 2000 RPM. Su operación es comandada por la botonera virtual ON/OFF y posee una señal de falla la cual se activará si existen problemas en el dispositivo que impidan su correcto funcionamiento. Para reiniciar su funcionamiento utilice el botón *RESET* dispuesto para reestablecer su funcionamiento.

Adicionalmente se encuentra el control del servomotor que permite la rotación de las paletas, estableciendo sus RPM de funcionamiento e iniciando la marcha con la botonera virtual ON/OFF.

En la zona superior derecha podemos encontrar el valor del pH medido por el electrodo móvil de la CFM, podemos asignar el *SET POINT* si se desea. Considere para este caso la incorporación de un sistema auxiliar de ingreso de lechada de cal.

4.1.4 Scavenger

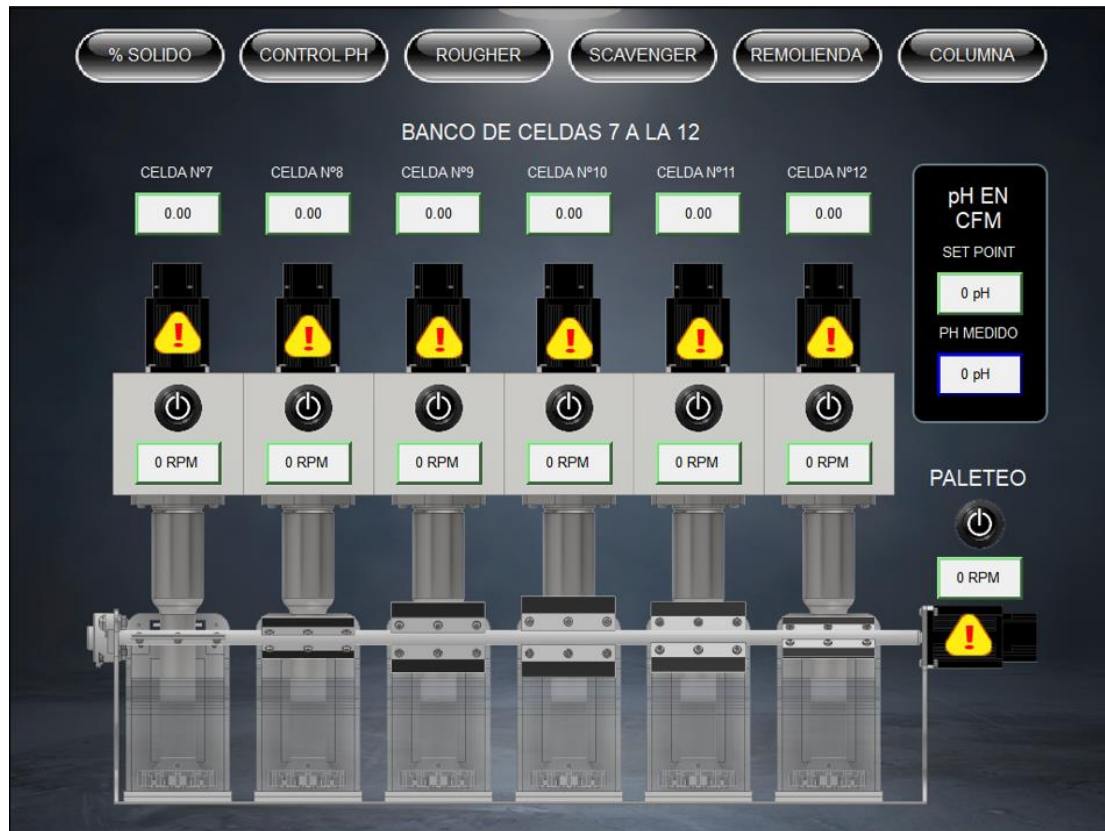


Ilustración 4.9: Banco de celdas - Pestaña "SCAVENGER"

La pestaña **SCAVENGER** cumple la misma función que la ventana anterior, controlando el flujo de aire comprimido para cada celda, la velocidad de agitación de los *Impeller*, el paletado de espuma y el electrodo de pH. Con la distinción de que tratan del segundo grupo de celdas de flotación desde la número 7 hasta la número 12.

4.1.5 Remolienda

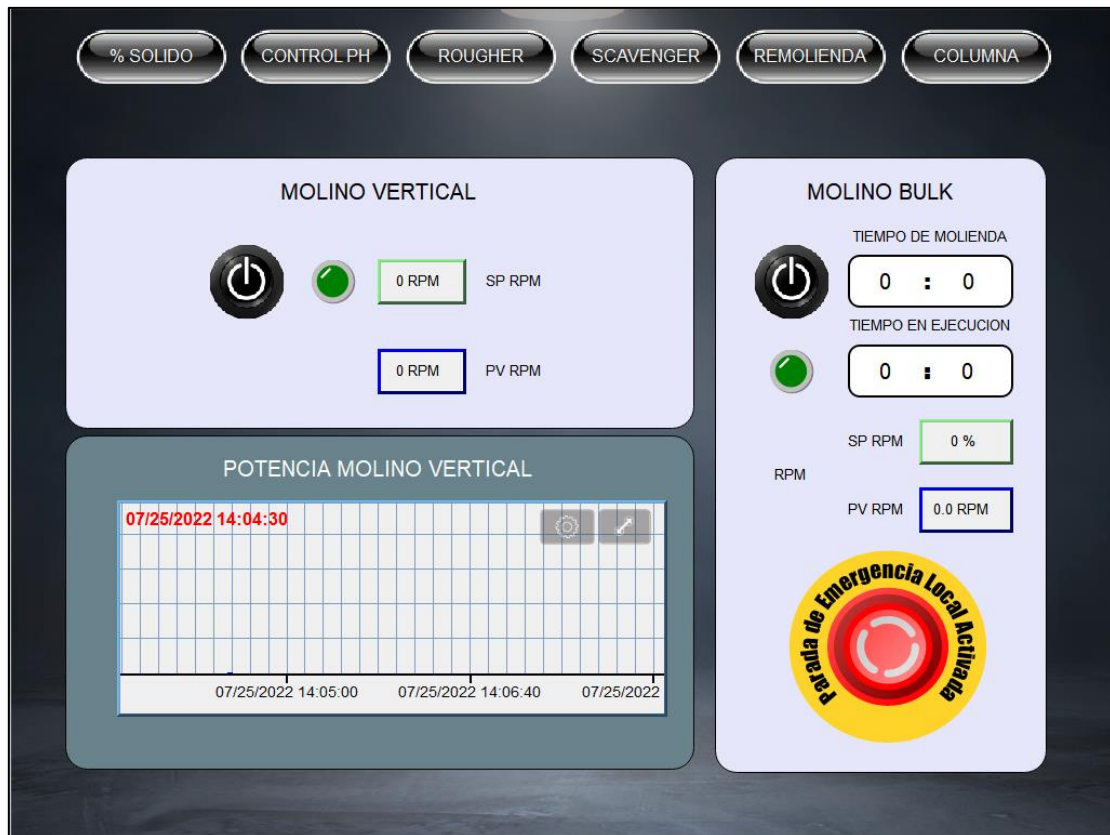


Ilustración 4.10: Pestaña control "REMOLIENDA"

En esta sección se encuentran los controles referentes a los procesos de molienda, en específico para el molino de remolienda vertical (tipo *Vertimil*), se debe ingresar el *SET POINT* de las RPM de giro e iniciar la marcha con la botonera virtual, una luz led de color verde confirmará su funcionamiento. Si ocurre alguna falla una señal de emergencia se indicará en pantalla y se debe presionar el botón *RESET* para volver a iniciar el giro. Adicionalmente se muestra una gráfica que indica la potencia del molino en el tiempo.

En la zona lateral derecha podemos encontrar los comandos para la operación del molino *bulk*, se deben establecer las RPM de giro del molino y un cuadro azul indicará las RPM leídas por el sensor de proximidad inductivo. Una luz led verde confirmará la correcta operación y en el recuadro superior se debe establecer el tiempo de operación, el cronometro inferior comenzará a funcionar hasta alcanzar el tiempo programado. El molino *bulk* posee una botonera física de parada de emergencia, si esta se encuentra activa se indicará como se muestra en la ilustración 4.10.

4.1.6 Columna de Flotación

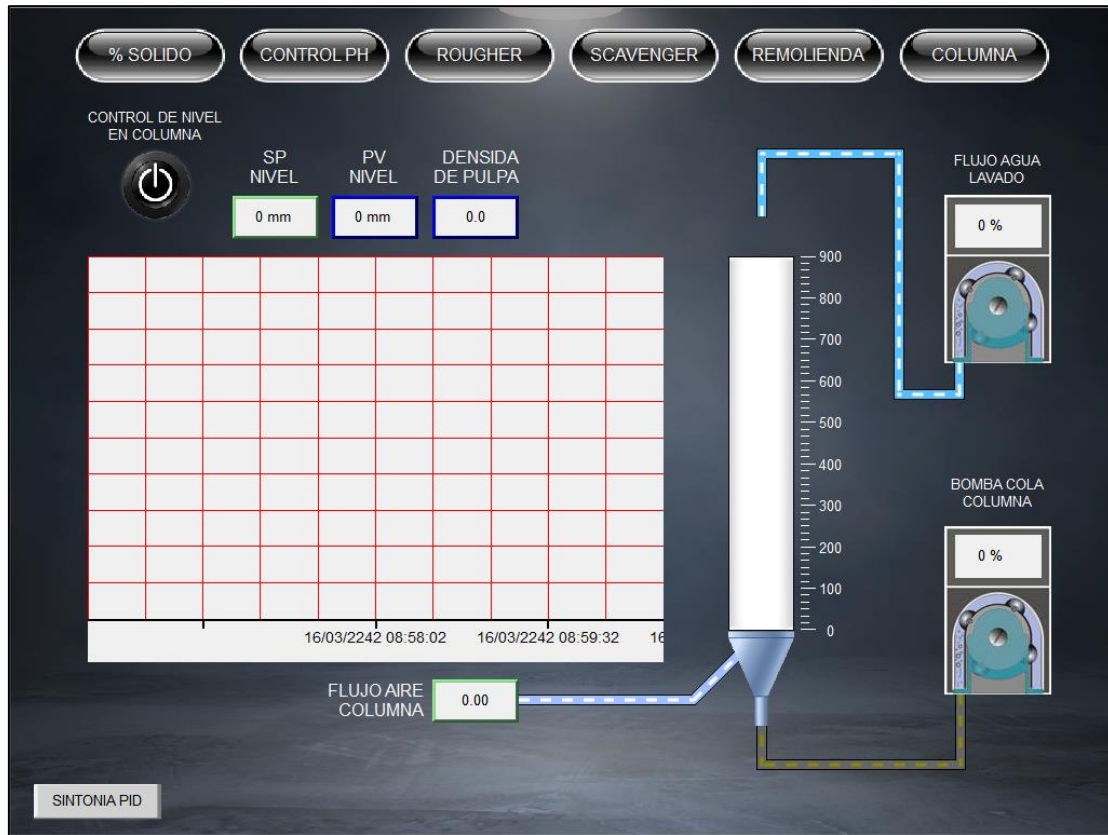


Ilustración 4.11: Pestaña control "COLUMNA"

La última pestaña disponible contiene la información y control referente a la columna de flotación, en el recuadro verde superior se debe ingresar el *SET POINT* deseado para la altura de espuma, más abajo nos entregará el valor medido en el instante n y la densidad de la pulpa como referencia. Podemos controlar el caudal de flujo del aire comprimido para la formación de burbujas y el caudal del flujo de agua de lavado el cual se regula de manera porcentual. Podemos conocer el estado de funcionamiento del motor de cola, salida de relave. La luz verde nos indicará el correcto funcionamiento, si ocurre una falla se mostrará una señal de alerta y se puede reiniciar el funcionamiento con el botón *RESET*. Adicionalmente podemos conocer la curva del valor de proceso versus el *SET POINT* fijado anteriormente.

4.2 CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

Para una correcta sincronización y funcionamiento de los equipos con respecto al sistema de control automatizado PLC es necesario verificar y realizar la calibración de los equipos que forman parte de la medición y control de parámetros de operación. Es necesario entender que existen 2 tipos de calibraciones necesarias, en primera instancia debemos calibrar los equipos para que realicen una correcta medición y en segunda instancia, si el equipo lo necesita, debe sincronizarse la comunicación correcta entre medición y lectura por parte del PLC. A continuación, se enumeran los equipos que deben estar calibrados antes de iniciar cualquier procedimiento.

4.2.1 Electrodo y transmisor pH

4.2.1.1 General

El dispositivo transmisor modelo *HL 8614* es un transmisor de 2 hilos resistente al agua especialmente diseñado para la medición a larga distancia de pH o redox en aplicaciones industriales. La señal de pH se transmite en un bucle de corriente de 2 hilos en el rango de 4 a 20mA.

El transmisor utiliza una toma BNC universal para una conexión rápida y segura a cualquier electrodo con un conector BNC. Para este modelo la compensación de temperatura es realizada por el circuito ATC del transmisor de la sonda. Si no se requiere el dispositivo ATC, es posible sustituir la sonda de temperatura por una resistencia fija.

La entrada está aislada de la corriente para eliminar los problemas relacionados con las conexiones a tierra, cables de bajo aislamiento, conexiones de múltiples electrodos, y una tensión de modo común de hasta 100 V asegura lecturas diferenciales reales. La unidad esta encapsulada es una carcasa de protección conforme a la norma IP 65.

4.2.1.2 Información base

Tabla 4.1: Características técnicas Transmisor pH HL8614

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Rango de operación	4 a 20 mA / 0.00 a 14.00 pH
Resolución	0.01 mA / 0.01 pH
Precisión (20°C / 68°F)	±0.02 mA / ±0.02 pH
Desviación típica de la EMC	±0.25 mA / ±0.25 pH
Calibración	Offset: ±2.2 mA / ±2 pH Slope: ±0.5 mA / 86 a 116%
Compensación de temperatura	Fijada o automática de 0 a 100°C (32°F a 212°F) con sonda HL76608
Impedancia de entrada	10 ¹² Ohm
Salida	4-20 mA (aislado)
Categoría de instalación	II
Protección	IP 65
Entorno	0 a 50°C (32 a 122°F) HR máx. 95% sin condensación
Suministro de energía	18 a 30 Vdc
Carga	Máx. 500 Ohm
Dimensiones	165 x 110 x 90 mm (6.5 x 4.3 x 3.5")
Peso	1 kg (2.2 lb.)

4.2.1.3 Preparación Inicial

Para la realización del procedimiento es necesario contar con los siguientes materiales e instrumentos:

- 3 vasos precipitados limpios
- Agua desmineralizada
- Solución buffer pH 7,01
- Solución buffer pH 10,01
- Calibrador de precisión de lazo
- Destornillador punta plana de precisión
- EPP conforme a procedimiento

4.2.1.4 Compensación de temperatura

El equipo transmisor cuenta con 3 tipos de compensación de temperatura; Compensación automática, Compensación ajustada, Compensación manual.

Para este caso se utiliza la compensación manual realizando la conexión de una resistencia entre los bornes de "TEMPERATURE PROBE". El valor de la resistencia variará respecto a la temperatura ambiental de trabajo de acorde a la siguiente tabla de valores

Tabla 4.2: Relación Temperatura - Resistencia

Temperatura (°C)	Resistencia (Ohms)
0	1634
10	1774
20	1922
30	2078
40	2242
50	2412
60	2590

*Una resistencia de 2 kOhm viene montada de fábrica para compensar la temperatura a 25°C

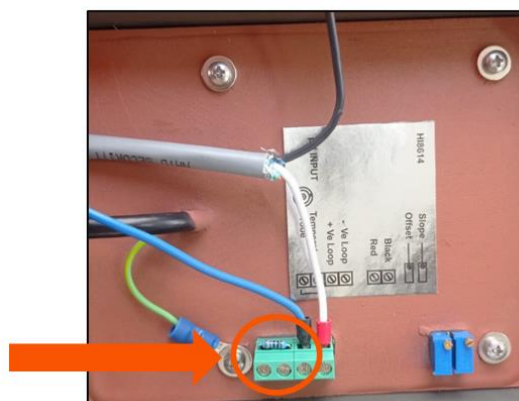


Ilustración 4.12: Bornera de conexión transmisor

4.2.1.5 Procedimiento

- Desconecte el cable “+ Ve” de la bornera “+ Ve Loop” y conecte un calibrador de precisión de lazo de 20 mA f.s. entre el cable “+ Ve” y la bornera indicada como “+ Ve Loop” (conexión en serie).

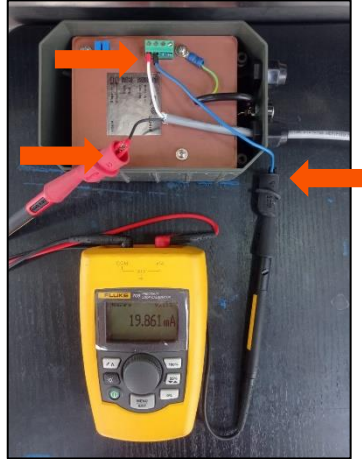


Ilustración 4.13: Conexión en serie con calibrador de lazo

- Disponga de un vaso precipitado para el lavado, y enjuague el electrodo con un poco de agua destilada pH 7.00, luego sumerja el electrodo en la solución buffer pH 7,01; agite brevemente y espere a que la lectura se estabilice.
- Ajuste el trimmer de desplazamiento “Off set”, hasta que el calibrador indique **12,00 mA**

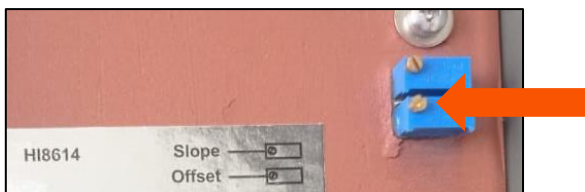


Ilustración 4.14: Trimmer de ajuste "Off set"



Ilustración 4.15: Lectura correcta de calibrador

- Enjuague nuevamente el electrodo con un poco de agua destilada pH 7.00, luego sumerja el electrodo en la solución buffer pH 10,01; agite brevemente y espere a que la lectura se estabilice.
- Ajuste el trimmer de pendiente "**Slope**", hasta que el calibrador indique **15,43 mA**

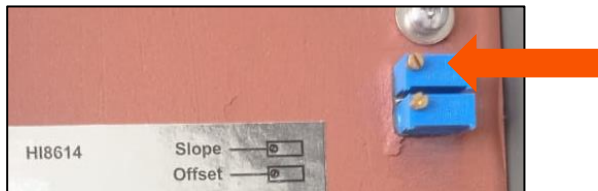


Ilustración 4.16: Trimmer de ajuste "Slope"



Ilustración 4.17: Lectura correcta de calibrador

- Retire el calibrador de lazo y vuelva a conectar la terminal "+ Ve" a la bornera "+ Ve Loop"
- La calibración ha finalizado, incorpore el dispositivo a su posición de trabajo con mucho cuidado de no golpear ninguna pieza que lo compone.

Nota:

Bajo condiciones normales el ajuste de este módulo puede no ser necesario. Si se requiere un control rutinario o se desea corroborar la correcta medición se deben llevar a cabo los siguientes procedimientos:

- Calibre el módulo transmisor con un amperímetro, como se explica en las páginas anteriores.
- Simule una corriente de bucle de 4 mA para el transmisor (es decir, pH 0,00 como entrada del electrodo) y compruebe la lectura en pantalla.
- Simule una corriente de bucle de 20,00 mA para el transmisor (es decir, pH 14,00 como entrada del electrodo) y compruebe la lectura de la pantalla.

Si los errores persisten, puede deberse a desperfectos del equipo o electrodo de medición el cual puede estar funcionando defectuosamente. Si el error se percibe en la lectura entregada por el controlador automático PLC, debe realizar la calibración de las señales indicador/controlador que corresponden a la programación del PLC propiamente tal. Consulte Filosofía de control para dicho procedimiento.

4.2.2 SENSOR DE NIVEL SICK

4.2.2.1 General

El sensor de nivel *LFP Cubic* es un sensor de nivel de llenado para líquidos que se basa en la tecnología TDR, un procedimiento que sirve para determinar los tiempos de propagación de las ondas electromagnéticas. La señal de nivel de llenado se genera a partir de la diferencia entre el impulso emitido y el impulso reflejado. El sensor puede emitir esta señal en forma de valor medido continuo (valor analógico) o también derivar puntos de conmutación de libre posicionamiento a partir de la misma (salida conmutada). El *LFP Cubic* se puede utilizar con casi todos los líquidos. También se puede utilizar con líquidos que forman depósitos y con líquidos con espuma. Posee un grado de protección elevado IP67 con carcasa orientable y electrónica remota. Sonda de varilla intercambiables y acortable,

4.2.2.2 Información Base

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Longitud de sonda	200 [mm]
Resolución	< 2 [mm]
Precisión (20°C / 68°F)	± 5 [mm]
Presión de proceso	-1 bar ~ 10 bar
Temperatura de proceso	-20°C ~ +100°C
Tiempo de respuesta	< 400 [ms]
MTTF	194,3 años
Salida	1 x PNP + 1 x PNP/NPN + 4 mA ... 20 mA / 0 V ... 10 V
Categoría de instalación	III
Protección	IP 67: EN 60529
Suministro de energía	12 Vdc
Carga	Máx. < 6 [Nm]
Consumo de corriente	< 100 [mA]
Longitud del cable	3.3 [m]

4.2.2.3 Preparación Inicial

El sensor de nivel instalado cuenta con un tubo coaxial extraíble que debe estar en su posición de trabajo para realizar la calibración. Debemos asegurarnos de tener tanto el tubo como la sonda limpios, si no es el caso proceda con la limpieza de cada componente con un paño limpio y seco. Verifique la correcta conexión de alimentación y señal, para proceder con la calibración del equipo.

4.2.2.4 Procedimiento

- Con el equipo en posición, conectado y sin liquido en el *FEED TANK*, usted debe visualizar en la pantalla una medición aleatoria o sin sentido si el equipo no está calibrado. Considere que el tubo coaxial está a 2 [cm] de la base del tanque y la sonda a 2 [cm] más arriba aproximadamente, por lo que la medición comenzará hasta el fluido entre en contacto con la sonda.



Ilustración 4.18: Sensor De Nivel Sick

- En primera instancia debemos asegurarnos de la limpieza de la sonda y tubo coaxial para realizar la calibración.
- Para comenzar la calibración presione los botones “**SET**” y “**ESC**” simultáneamente hasta que aparezca en pantalla el mensaje “**AutCal**”, como indica la ilustración 10.2.

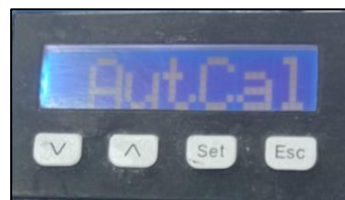


Ilustración 4.19: Pantalla Auto Calibración

- Luego que aparezca el mensaje **“AutoCal”** debemos presionar el botón **“SET”** para iniciar el proceso de calibración. El equipo nos pedirá confirmar la acción con un mensaje que dice: **“OK?”** (ilustración 4.20). Presionamos **“SET”** nuevamente para confirmar.



Ilustración 4.20: Pantalla Confirmación

- La calibración comenzará y en pantalla se mostrará una barra de progreso hasta terminar la calibración. (ilustración 10.4) Finalmente se indicará el mensaje **“!CalOK”** (ilustración 4.21). Esto nos indicará un proceso exitoso.

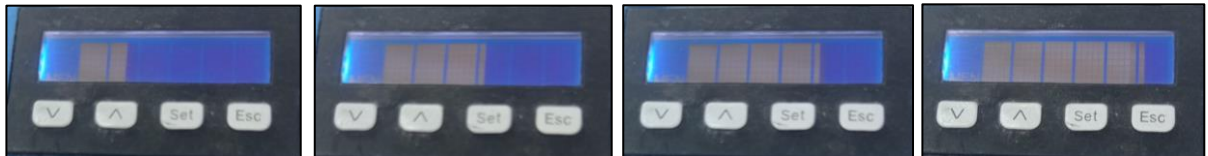


Ilustración 4.21: Pantalla De Progreso



Ilustración 4.22: Pantalla Calibración Con Éxito

- La calibración del equipo ha finalizado (ilustración 4.22).

4.2.3 VOLUMEN / NIVEL / MASA DE FEED TANK

4.2.3.1 General

Una de las principales funciones del dispositivo *FEED TANK* es el cálculo de la densidad de la pulpa. Para esto es necesario calibrar los dispositivos que influyen en este cálculo; sensor de nivel, balanza de precisión y volumen de agua ingresada, con el sistema automatizado de control *PLC*. Con el propósito de que el control *PID* se ejecute correctamente es necesario realizar el siguiente procedimiento.

4.2.3.2 Preparación Inicial

Para la realización del procedimiento es necesario contar con los siguientes materiales e instrumentos:

- Probeta de plástico graduada 1 [L]
- Balanza de precisión
- Agua limpia

4.2.3.3 Procedimiento

Para iniciar el procedimiento de calibración del volumen / nivel / masa en el *FEED TANK* debemos presionar el botón llamado “**CALIBRACIÓN**”, ubicado en la pantalla principal (ilustración 4.23).

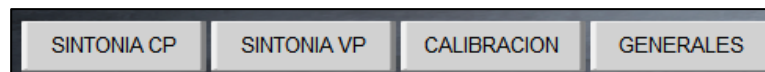


Ilustración 4.23: Botón Calibración

Al presionar el botón “**CALIBRACIÓN**” nos mostrará la siguiente pantalla (ilustración 4.24) La cual podría estar con información referente a alguna calibración anterior o con sus valores en cero.

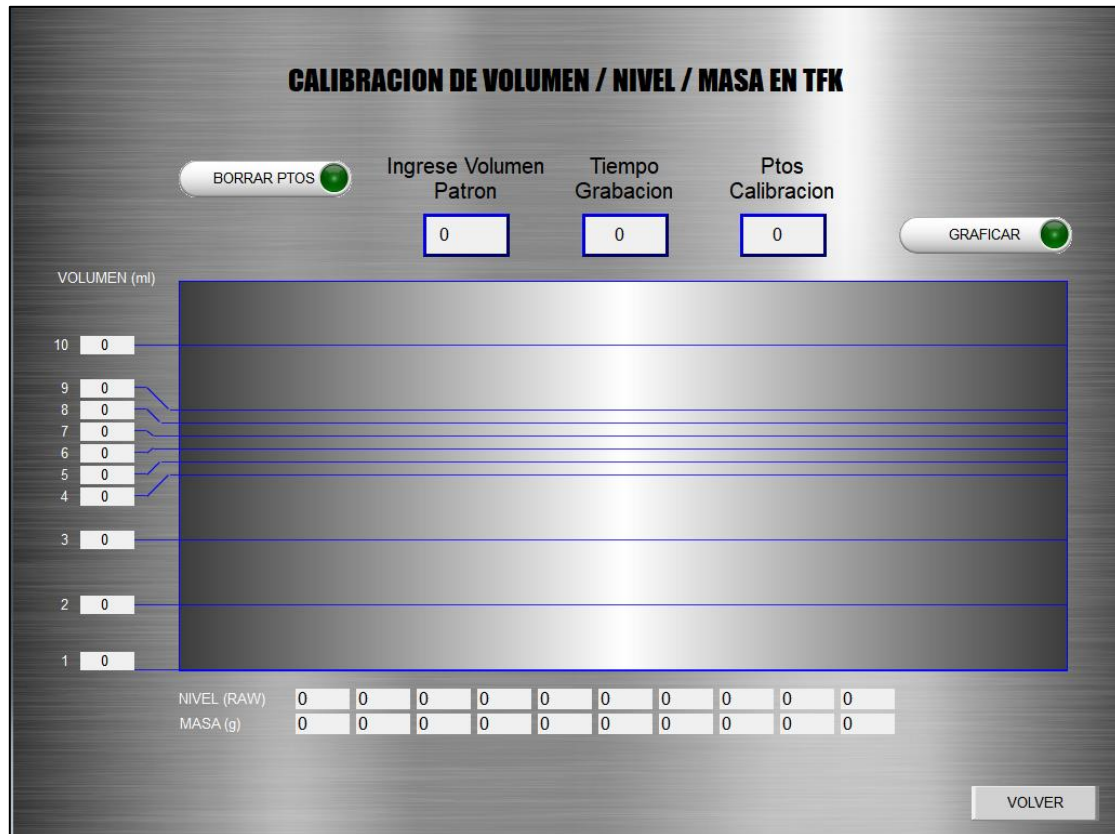


Ilustración 4.24: Pantalla Calibración Volumen / Nivel / Masa

Ya en esta pantalla comenzaremos el siguiente procedimiento para los 10 puntos establecidos de calibración. Es de vital importancia seguir el procedimiento al pie de la letra, si comete algún error al ingresar el valor o medición incorrecta, debe reiniciar la operación de calibración desde el principio.

La calibración del dispositivo se realizará ingresando agua limpia al estanque siguiendo la tabla 4.3 y siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

1. Tarar balanza de precisión con la masa de la probeta vacía.
2. Masar 1000 [ml] de agua en la probeta.
3. Ingresar el valor en el recuadro "INGRESE VOLUMEN PATRON". Procure ser lo más preciso posible. Intente utilizar siempre cifras cerradas evitando los decimales, para no agregar errores de arrastre en la medición.
4. Deposite el agua en el estanque *FEED TANK*
5. Espere que se establezca la balanza de precisión en el *FEED TANK*
6. Presione el botón "ENTER" para guardar la medición. Se iniciará un contador regresivo de 5 segundos, una vez finalizado el contador la medida fue grabada con éxito.
7. Para confirmar la grabación el contador de "PTOS CALIBRADOS" deberá aumentar en una unidad, utilice este valor de referencia si olvida el paso calibrado.
8. Repita los pasos de 2 a 6 hasta el 4to punto de calibración.
9. En el 4to punto de calibración se deben repetir los pasos de 2 a 6 pero solo masar e ingresar 200 [ml] de agua.
10. Repita el procedimiento anterior hasta el 8vo punto de calibración, como se muestra en la tabla 4.3.
11. Para finalizar el 9no punto de calibración requiere repetir los pasos de 2 a 6, ingresando 1000 [ml] al tanque *FEED TANK*.
12. Proceso de calibración finalizado.

Tabla 4.3: Procedimiento de incorporación de agua.

Paso	Agua por ingresar	Agua en el estanque
1	1000	0
2	1000	1000
3	1000	2000
4	200	3000
5	200	3200
6	200	3400
7	200	3600
8	200	3800
9	1000	4000
10	0	5000

Luego de realizado el procedimiento debe presionar el botón virtual “GRAFICAR” y en pantalla se desplegarán las curvas de valor ingresado en color azul y el valor de nivel medido en color celeste. Esta gráfica nos servirá para corroborar una calibración correcta. Los primeros puntos de calibración pueden diferir ya que debemos considerar la distancia de medición a la cuál comienza la sonda del sensor de nivel. Para los puntos a partir del 3 al 10, se deben visualizar ambas líneas paralelas en especial para los puntos del 4 – 9 los cuales son de un paso menor para aumentar la precisión en esa zona. Considerada la zona de trabajo o fluctuación del nivel de pulpa.

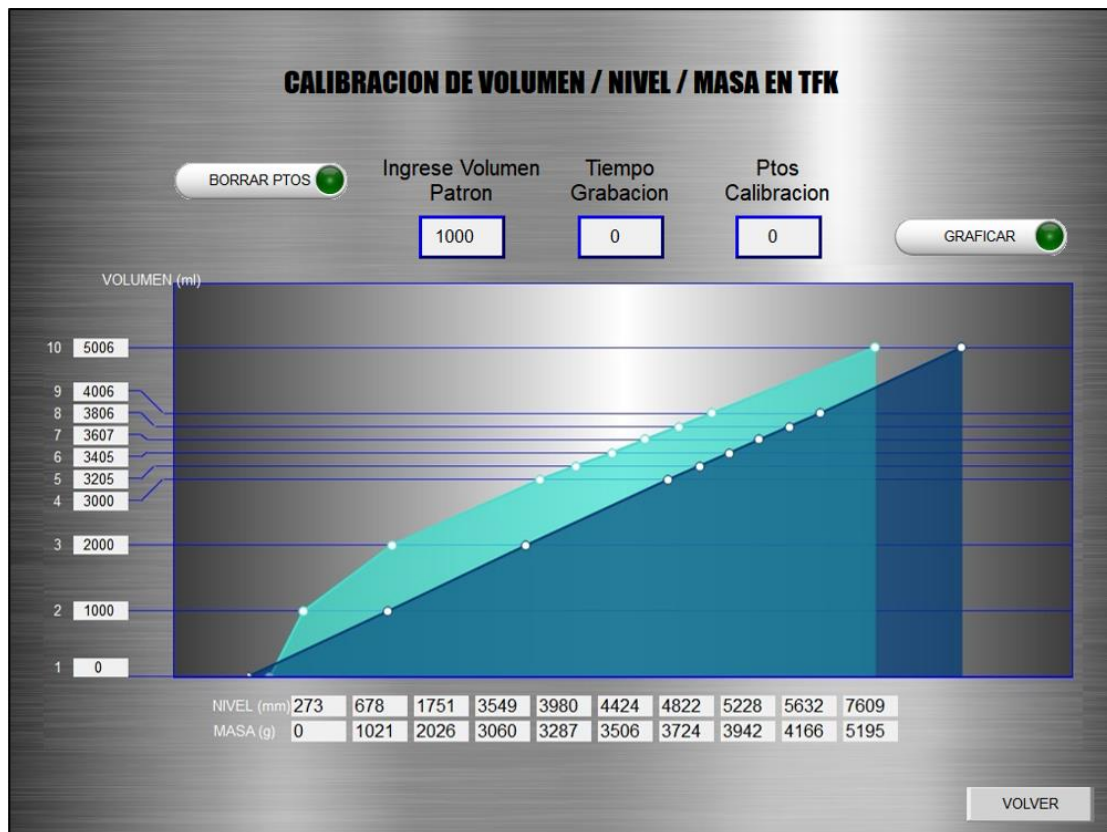


Ilustración 4.25: Gráfica pantalla de calibración

4.2.4 FLUJÓMETRO

4.2.4.1 General

Los controladores de flujo másico *GFC* han sido diseñados para indicar y controlar los volúmenes del flujo de los gases. Se calientan dos devanados sensores de temperatura, diseñados a precisión sobre el tubo sensor y cuando haya flujo, el gas transporta el calor devanado corriente arriba hasta el devanado corriente abajo. La temperatura diferencial que resulta es proporcional al cambio en la resistencia de los devanados sensores. Se generan señales de salida de 0 a 5 [Vcd] y de 4 a 20 [mA], indicando los volúmenes de flujo másico base molecular del gas medido. Los volúmenes de flujo no son afectados por las variaciones de temperatura y presión dentro de los límites establecidos.

4.2.4.2 Información Base

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Precisión	± 1 %
Repetibilidad	± 0,25 % (Escala plana)
Tiempo de respuesta	2 [s]
Temperatura de proceso	0°C ~ 50°C. Solo gases secos
Coefficiente de temperatura	0,15 % de la escala plena/°C
Coefficiente de presión	0,01 % de la escala plena/psi
Óptima presión del gas	25 psig (1,73 bars)
Máx. presión del gas	Máx. 1000 psig (70 bars)
Máx. presión diferencial del gas	50 [psi]
Salida	0-5 Vcd lineal.
Resistencia de bucle	4-20 mA 0-500 Ohms.
Ruido máximo	± 20 [mV]
Conexiones	Conector de compresión ¼"

4.2.4.3 Procedimiento

La calibración del equipo debe ser realizada por técnicos especializados y autorizados por Aalborg. Esto se debe realizar cuando no se cumple la linealidad en la sintonización PID y el valor entregado en pantalla, incluso difiriendo del valor entregado. Aun así, es necesario realizar el ajuste del ZERO del equipo, cuando este entregue valores con el flujo de aire cortado.

Para comenzar se debe cortar el flujo de aire desde la pantalla de control HMI en la botonera virtual ubicada en la zona lateral izquierda de esta (ilustración 4.26).



Ilustración 4.26:
Flujo de aire

Cuando el valor entregado en la pantalla LCD muestra un valor distinto de 0,0 es necesario ajustar el ZERO del equipo. Entonces procedemos a retirar el equipo de su posición y abrir la tapa superior ubicada en la parte trasera.



Ilustración 4.27: Parte Trasera Fluómetro

Utilice un destornillador de precisión para mover el potenciómetro (ilustración 4.27) ajustando el valor en la pantalla LCD a “0,00” o lo más cercano a él (ilustración 4.28). Espere un tiempo para que el valor se estabilice antes de terminar el ajuste.



Ilustración 4.28: Fluómetro Ajustado Correctamente

Si se ha realizado la calibración correctamente la pantalla debe estar estable en el valor “0,00”. Vuelva a abrir el paso de flujo de aire. Corrobore que la variación no supere la centésima de unidad.

4.2.5 TRANSMISOR DE PRESIÓN DE COLUMNA DE FLOTACIÓN / NIVEL DE ESPUMA

4.2.5.1 General

La columna de flotación debe ser calibrada respecto al nivel de fluido de alimentación presente en ella, para este caso es necesario calibrar los transmisores de presión modelo S-11. El transmisor de presión con membrana enrasada ha sido especialmente diseñado para la medición en medios viscosos, pastosos, adhesivos, cristalizantes y con partículas en suspensión. La construcción fue optimizada para permitir una limpieza de la membrana integrada en el proceso, libre de mantenimiento y de errores en medios en continuo cambio. Todas las conexiones a proceso del transmisor de presión con membrana enrasada han sido fabricadas con acero inoxidable, están soldadas por completo y separan el medio del manómetro mediante una junta de unión.

4.2.5.2 Información Base

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Rango de medición	0 – 0.1 [bar]
Señal de salida	4 – 20 [mA]
Tiempo de respuesta	2 [s]
Temperatura de proceso	0°C ~ 50°C. Solo gases secos
Coefficiente de temperatura	0,15 % de la escala plena/°C
Coefficiente de presión	0,01 % de la escala plena/psi
Óptima presión del gas	25 psig (1,73 bars)
Máx. presión del gas	Máx. 1000 psig (70 bars)
Máx. presión diferencial del gas	50 [psi]
Salida	0-5 Vcd lineal.
Resistencia de bucle	4-20 mA 0-500 Ohms.
Ruido máximo	± 20 [mV]
Conexiones	Conector de compresión ¼"

4.2.5.3 Procedimiento

Los transmisores de presión de membrana son un instrumentos altamente robusto y diseñado para no necesitar mantención y/o calibración frecuente. Por lo tanto, para un correcto funcionamiento solo debemos calibrar el nivel de la columna con agua limpia. Para esto nos dirigiremos a la sección “% SÓLIDOS” y en la esquina inferior izquierda ingresaremos a la pantalla de calibraciones generales apretando el botón virtual “GENERALES”. (Ilustración 4.29)



Ilustración 4.29: Sección calibraciones pantalla principal

En el tercer recuadro ubicado en la pantalla de calibraciones generales tendremos dos botones virtuales con los cuales debemos almacenar el valor de la presión presente al estar la columna vacía y la presión en el nivel máximo que puede almacenar agua la columna sin rebasar.

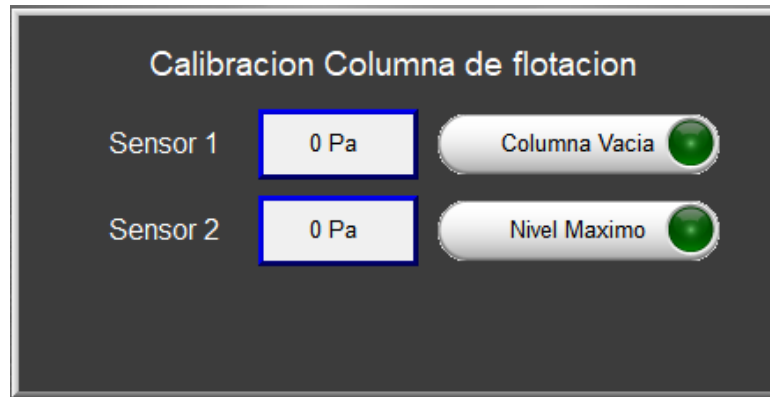


Ilustración 4.30: Sección columna de flotación

Por lo tanto, presione el botón “COLUMNA VACÍA”, asegurándose que no se existe presencia de algún líquido ni agentes externos. Luego llene la columna con agua limpia hasta el nivel máximo sin rebasar el límite y presione el botón “NIVEL MÁXIMO”. La columna y sus respectivos sensores de presión están calibrados.

4.3 SUGERENCIAS DE CONTROL PREVIO A FUNCIONAMIENTO

Las siguientes indicaciones tienen por finalidad asegurar la integridad del equipo y todos sus componentes, verificando una puesta en marcha segura tanto para el equipo como para el operador encargado. Es importante realizar las inspecciones que se listan a continuación antes de iniciar los trabajos previstos para el sistema MPPM.

- Revisión de agitadores y motores servo respectivos. Verificar integridad del equipo, desgaste, estado de rodamientos, limpieza de los rotores y ajuste de RPM según necesidad.
- Revisión de bombas de traspaso y tubos *Masterflex*. Verificar limpieza de cabezales, estado de rodamientos, revisión de desgaste de carbones, limpieza del rotor, limpieza e integridad de tubos conectores, correcta conexión a celdas.
- Revisión de paleteo, eje y motores respectivos. Verificar estado de rodamientos, limpieza de rotor, alineación de eje, inspeccionar posibles roturas de paletas.
- Verificar el estado de celdas de flotación, inspeccionar fisuras o posibles fugas y realizar cambios de placas en las que se requiera.
- Verificar funcionamiento de elementos de medición y control de Ph, aire y agua.
- Verificar conexiones eléctricas y correcto apriete de bornes.
- Verificar el estado de mangueras de traspaso.
- Sopletear tableros, filtros y partes sucias con polvo.
- Probar funcionamiento con condiciones de trabajo y tomar registros de temperatura, velocidad (utilice tacómetro para medir correctas RPM en eje de agitador) y voltaje de alimentación.

4.4 USO DE MINIPLANTA PILOTO DE FLOTACIÓN



ANTES DE LEER EL CAPITULO SIGUIENTE, CON EL FIN DE UTILIZAR CORRECTAMENTE LA MINIPLANTA DE FLOTACIÓN EN CONDICIONES DE SEGURIDAD, CONSULTE LAS NORMATIVAS DE SEGURIDAD DEL APARTADO 2.

4.4.1 Principio de funcionamiento

El molino de bolas tiene un bastidor de alta resistencia fabricado en acero recubierto en pintura epóxica anticorrosiva con una capacidad de molienda diseñada para 10 [kg] de muestra de mineral. El tambor está fabricado de acero inoxidable de 300 [mm] diámetro montado en un eje pivotante diseñada para girar a 90° permitiendo una fácil carga y descarga del molino. La inclinación se realiza de manera manual con el equipo correctamente desenergizado y sin funcionamiento. Se proporciona un carro de descarga de molino, accesorio para facilitar la descarga del molino y transporte de mineral.

El CFM es una unidad autónoma que consiste en una estructura de alta resistencia que soporta 12 máquinas de flotación individuales. Las celdas de flotación, modeladas a partir de la celda de laboratorio Denver D-12, están equipadas con vertederos individuales de control de nivel, labio de desbordamiento de espuma, palas de eliminación de espuma de velocidad variable, impulsor y difusor con controladores de aire y controles de velocidad individuales. Se utilizan pequeñas bombas de transferencia peristáltica para transferir el concentrado y los residuos de una celda a otra. Las celdas pueden disponerse en cualquier combinación de rougher's, scavengers o cleaners según dicte el proceso. Los lavaderos de recogida de espuma se suministran para permitir la recogida de espuma de una, dos o tres celdas. Los lavaderos han sido diseñados para minimizar la cantidad de agua de pulverización necesaria para el transporte de la espuma. Las bombas de traspaso de alta precisión miden la cantidad de agua de lavado para facilitar el cálculo del balance de masas en el circuito.

El tanque de alimentación *Feed Tank* nos permiten conocer de forma instantánea parámetros como concentración de sólidos, densidad, volumen de pulpa, pH de alimentación a celdas. Lo que nos permite de manera automatizada controlar las características de la pulpa antes de ingresar a las celdas de flotación propiamente tal.

El CFM está equipado con 2 controladores de pH como equipo estándar que permite la lectura del pH instantáneo en el *Feed Tank* y un electrodo móvil para la medición en cualquier celda de interés. Posee un sistema de control automático de lechada cal para permitir el control automatizado del pH utilizando cal.

Una bandeja de lavado integral permite una fácil limpieza y recogida de muestras de residuos. Un dispositivo de elevación eléctrico permite elevar los doce mecanismos de las celdas simultáneamente para facilitar el mantenimiento. Toda la máquina está pintada con un acabado duradero para facilitar la limpieza y evitar la oxidación.

En la última etapa se encuentra la columna de flotación fabricada en acrílico de 6 [mm] de espesor y con una altura de 1000 [mm], tiene un control de proceso automatizado por *PLC* a través del mando de control general, controlando la alimentación, bomba de cola y la altura de la espuma, el flujo de aire y el flujo de agua de lavado. Posee 2 sensores de presión para la medición de altura de la pulpa y espuma. El puerto de inyección de alimentación se encuentra en la mitad del largo de la columna aproximadamente a los 500 [mm] desde la base de esta.

Adicionalmente se dispone de un molino de remolienda vertical (tipo *Vertimil*) de 3 1/2" de diámetro fabricado en acero inoxidable con la capacidad de incluirse en un circuito típico de recuperación de concentrado. Controlado de manera digital a través del controlador *PLC* para variar la velocidad de giro del servomotor incorporado y que permite la rotación de los ejes agitadores, en consecuencia y en conjunto con las bolas de 1/4" permiten la remolienda del mineral.

4.4.2 Conexión De Alimentación

Conecte la alimentación eléctrica poniendo los interruptores en posición “ON”, que se encuentran en el tablero de alimentación general. Una señal luminosa de color rojo indicará que el circuito esta energizado, para cada una de las fases. Finalmente accione el interruptor general presente en la puerta del gabinete eléctrico.

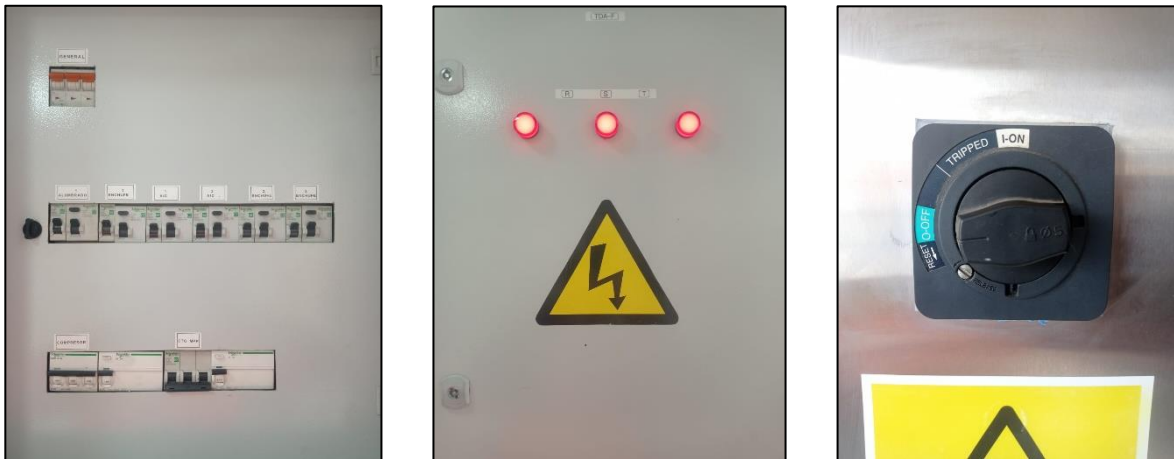


Ilustración 4.31: Interruptores De Encendido

4.4.3 Inicio De Operación

Una vez encendido el sistema, lo primero será verificar que las calibraciones y mantenciones del equipo se encuentren debidamente realizadas. Verifique los procedimientos descritos anteriormente y el manual de mantenimiento que debe estar actualizado según el horómetro presente en pantalla principal.

Antes de la puesta en marcha de la planta, todos los miembros participantes deben tener claras las responsabilidades, la secuencia de eventos y los objetivos de la prueba. Cada uno debe estar familiarizado con todos los aspectos de la CFM, sus capacidades y sus requisitos.

Cumplidos los requerimientos previos proceda a ingresar las propiedades de los agentes involucrados en la pestaña “GENERALES”, en el recuadro “DATOS GENERALES”. Ingrese la densidad del agua de proceso y gravedad específica del mineral a utilizar en la pulpa en sus respectivos recuadros.

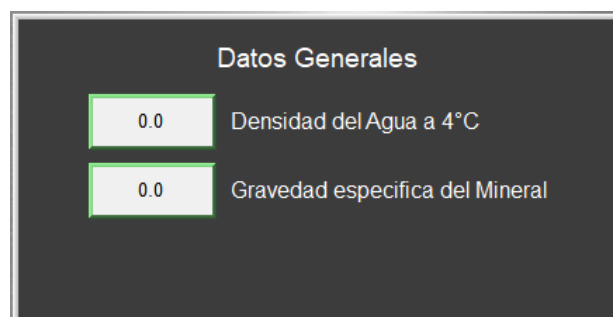


Ilustración 4.32: Datos Generales

Antes de la puesta en marcha, el operario debe preparar una cantidad suficiente de pulpa (con la granulometría correcta de trabajo) y de reactivos (con la concentración necesaria). La máquina debe estar nivelada. Cada celda individual puede llenarse con agua hasta el nivel de trabajo para comenzar, o bien puede encenderse dejando que todas las celdas se llenen a medida que la flotación avanza. La *CFM* utiliza bombas de traspaso peristálticas que pueden funcionar en seco sin degradarse para evitar atascos. Estas bombas deben estar operando antes de que inicie la alimentación. El aire y los reactivos se introducen a niveles mínimos, ajustándose a medida que progresa la flotación. Se encienden las bombas de paleteo. Se observan y controlan cuidadosamente todos los parámetros y se realizan ajustes mientras el circuito se estabiliza.

4.4.3.1 Resumen del procedimiento de arranque

1. Comprobar todas las celdas, que no haya residuos ni ningún objeto que obstruya.
2. Montar las sondas de pH en la *CFM*, verificar apriete y correcta posición de sonda en *FEED TANK*.
3. Asegúrese que todos los recuadros de ingreso de velocidad están ajustados a la velocidad mínima.
4. Verificar presión del inyector de aire y correcta conexión.
5. Ponga en marcha el equipo de *HOLDING TANK*, establezca *RPM* de trabajo.
6. Ingreso de pulpa a *HOLDING TANK*. Utilice bomba de recirculación para evitar el estancamiento.
7. Compruebe que las compuertas de nivel de la parte posterior de las celdas están correctamente ajustadas.
8. Ponga en marcha el equipo general en "*STAR ENGINE*".
9. Ponga en marcha el equipo de control de pH, en pestaña "*CONTROL PH*". Ingrese *SET POINT* requerido.
10. Poner en marcha las bombas, una a una, según sea necesario para la configuración del circuito.
11. Ajustar los flujos de aire de las celdas de trabajo.
12. Poner en marcha la alimentación a *CFM*.
13. Poner en marcha los agitadores cuando las celdas comienzan a llenarse.
14. Poner en marcha las palas de espuma.
15. Iniciar la adición de reactivos.
16. Comprobar la densidad en *FEED TANK* y verificar valores de proceso.
17. Ajustar las compuertas de nivel a su funcionamiento normal o deseado.
18. Poner en marcha molino vertical cuando sea necesario.
19. Poner en marcha control de nivel en columna de flotación.

Una vez ajustados todos los parámetros necesarios, debe transcurrir al menos un tiempo de residencia de flotación rougher antes de tomar las muestras metalúrgicas. La obtención de las muestras adecuadas debe ser tan sencilla como desviar las líneas de pulpa a contenedores de muestras específicos de forma rápida y sin desorden o pérdidas de importancia. Las muestras deben tomarse siempre en el orden inverso al flujo normal de la pulpa (es decir, la muestra de relaves antes del concentrado antes de la alimentación) para minimizar el sesgo de la muestra. Los operarios pueden obtener varias muestras simultáneamente si es necesario. Todos los parámetros deben registrarse antes y después de cada muestreo. No debe suponer nada.

4.4.4 Parada de operación

Una vez finalizado el trabajo puede ser necesaria una recogida cuidadosa de los lodos de alimentación, de concentrado y de relaves restantes para obtener un balance de masas global. Por lo tanto, es esencial la recogida sistemática de todos los productos. Utilizar procedimientos adecuados aceptado para la recogida y posterior procesamiento de todas las muestras obtenidas durante la operación.

Apagar todos los impulsores y lavar todas las bombas y líneas con agua limpia. Levantar los mecanismos de los impulsores y retirar las celdas, lavarlas y limpiarlas. Limpiar y secar todas las superficies según sea necesario para evitar su deterioro.

Asegúrese de que todo el equipo quede disponible y listo para su reutilización.

Deseche los reactivos diluidos según sea necesario. Recoger todos los datos registrados apropiados.

4.4.4.1 Resumen del procedimiento de parada.

1. Apagar control general en "STAR ENGINE".
2. Apagar el sistema de control de pH.
3. Apagar equipo de molino vertical.
4. Apagar equipo de control nivel de columna de flotación.
5. Utilice agua de lavado auxiliar (Manguera disponible al costado) para lavar bombas, líneas, etc. Y reducir densidad en las celdas.
6. Cierre el paso de agua.
7. Cerrar compuertas de nivel
8. Parar los equipos asociados, bombas y otros.
9. Lavar los lavaderos de recepción y equipo en general.
10. Apagar fuente de alimentación.

MANUAL DE MANTENIMIENTO

5 MANUAL DE MANTENIMIENTO

5.1 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y PARTES

5.1.1 Molino De Bolas



Ilustración 5.1: Zona De Molienda

Molino de bolas tipo Bach sostenido por estructura firme de acero que permite modificar su posición en 360° para facilitar la carga y descarga de mineral o bolas. Posee una bandeja de recepción para descarga de bolas además de agujeros para el paso del material hacia la bandeja inferior. La bandeja inferior cuenta con ruedas para el transporte del mineral y/o pulpa hacia la siguiente etapa de procesamiento. Cuenta con botonera de parada de emergencia y sensor inductivo de proximidad para la medición de RPM de giro.

Características principales:

- Dimensiones 302 [mm] de diámetro interior, 360 [mm] alto
- Volumen aproximado 30 litros
- Material cilindro Acero inoxidable
- Montaje en rodamientos y descansos
- Fabricación de estructurado acero SAE1020
- Sin recubrimiento interior
- Sistema de transmisión accionado por piñones y cadena.
- Moto-reductor eléctrico *S/II* de 1 HP 380 [V] ~ 50 [Hz]
- Carga de bolas a necesidad del operario y condiciones de operación
- Pintura epóxica y anticorrosiva
- El molino se encuentra en el interior de un encapsulado acústico de 105 [mm] espesor

5.1.2 Tanque Agitador



Ilustración 5.2: Tanque agitador o "Holding Tank"

Tanque fabricado en acero inoxidable que cuenta con un eje y 2 impulsores diseñados para la homogenización de la pulpa y mantener una suspensión de sólidos eficiente y de forma continua.

Adicionalmente cuenta con una bomba peristáltica de recirculación y se conecta con el tanque de acondicionamiento *Feed Tank*, para el traspaso hacia la siguiente etapa.

Características principales:

- Dimensiones 300 [mm] de diámetro interior, 500 [mm] alto
- Volumen aproximado 35 [L]
- Fabricación de acero inoxidable
- Servo motor *Ye Li 220* [V] ~ 2,6 [A] / 400 [W] 3000 RPM
- Protectores superiores de acrílico
- Rodamiento de descanso para fijación de eje

5.1.3 Feed Tank

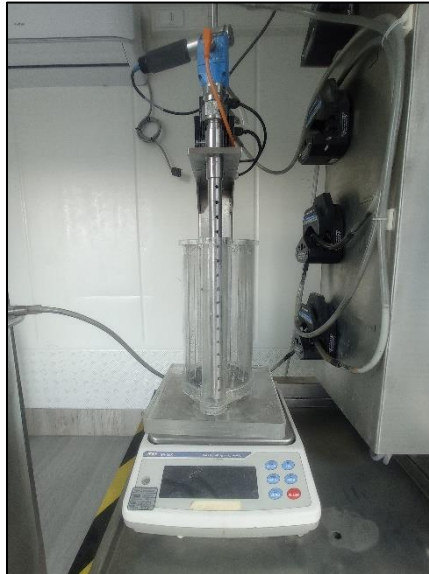


Ilustración 5.3: Feed Tank

Tanque de alimentación fabricado en acrílico montado sobre una balanza de precisión el cual cuenta con un eje e impulsores de agitación, sensor de nivel y electrodo de pH. Está diseñado para acondicionar la pulpa antes del ingreso al proceso de flotación en celdas, modificando la concentración de sólidos y el pH a valores de trabajo requeridos. Este sistema fue diseñado para mejorar el rendimiento y control de las variables de proceso al ingresar a las celdas de flotación.

Características principales:

- Dimensiones 150 [mm] de diámetro interior, 300 [mm] alto
- Volumen aproximado 5 [L]
- Fabricación en acrílico de 5 [mm]
- Eje agitador de 8 [mm] de diámetro, 40 [mm] largo
- Servo motor *Ye Li 220* [V] ~ 2,6 [A] / 400 [W] 3000 RPM
- Balanza digital *AND 21* [Kg] / 5 [g] - tolerancia 0,1 [g]
- Sensor de nivel *SICK* tipo sonda de varilla 200 [mm] – tolerancia ± 5 [mm]
- Electrodo PH *Cole-Parmer* -Tipo selectivo de iones

5.1.4 Compresor De Aire



Ilustración 5.4: Equipo auxiliar - Compresor de aire sin aceite

Compresor de aire sin aceite con un volumen de 100 [L] forma parte de los equipos auxiliares y esta dimensionado para la entrega de un flujo continuo de aire limpio a presión constante para cada una de las celdas.

Características principales:

- Marca SCHULZ - Modelo CSD 18.1/100
- Dimensiones generales 1160x827x425 [mm]
- Cilindro doble de aluminio
- 2 x Motor 220 [V]~50 [Hz] 1,5 [HP] 4 polos
- Presión de operación 6 – 8 [Bar] (87 – 114 [psig])
- Volumen de tanque 100 [L]
- Purgador con válvula de esfera

5.1.5 Secador y Filtro De Aire



Ilustración 5.5: Secador y filtro de aire.

Secador y filtro de aire comprimido dimensionado para asegurar la entrega de un aire sin vapor de agua procurando cuidar los instrumentos de medición involucrados en la distribución de aire, como lo son los flujómetros. Adicionalmente cuenta con filtros de membrana capaces de entregar un aire limpio y libre de polvo o partículas que pudiesen ingresar tanto a equipos en la línea de distribución o a la pulpa propiamente tal y afectar sus condiciones de operación.

Características principales:

- Secador Marca *Atlas Copco* Modelo *SD 1P-7*
- Presión de trabajo 7 [bar] (102 [psi])
- Máx. flujo de entrada 3 [L/s]
- Caída de presión 100 [mBar] (1,5 [psi])
- Conexiones tipo G3/8
- Filtro Marca *Atlas Copco* Modelo *DD9/PD9*
- Filtrante aerosol de aceite y polvo húmedo
- Tecnología de envoltura
- Caída de presión 132 [mBar] (1,9 [psi])

5.1.6 CFM



Ilustración 5.6: Banco de celdas - Máquina de flotación continua

La máquina de flotación continua (CFM) es una unidad que consiste en una estructura de alta resistencia y acero inoxidable en las cubiertas. Que dan soporte a 12 máquinas de flotación individuales. Las celdas de flotación se realizaron a partir de la celda de laboratorio Denver D-12, están equipadas con vertederos individuales de control de nivel, labio de desbordamiento de espuma, palas de eliminación de espuma de velocidad variable, impulsor y difusor con controlador de aire y control de velocidad individuales.

Se utilizan pequeñas bombas de transferencia peristáltica para transferir el concentrado y los residuos de una celda a otra.

Las celdas pueden disponerse en cualquier combinación de Rougher's, Scavengers o Cleaners según dicte el proceso. Los lavaderos de recogida de espuma han sido diseñados para permitir la recogida de espuma de una, dos o tres celdas.

La CFM está equipada con 2 controladores de pH, cuenta con una bomba peristáltica disponible para añadir un sistema de lechada de cal, permitiendo el control automático del pH mediante el uso de cal. En la zona inferior una bandeja de lavado integrada permite una fácil limpieza y recogida de muestras de residuos.

Un dispositivo de elevación electrónico (aparejo eléctrico) permite elevar los doce mecanismos de las celdas simultáneamente para facilitar el mantenimiento. Toda la maquina esta pintada con acabado duradero para facilitar la limpieza y evitar la oxidación.

La máquina de flotación continua automatizada se descompone en 3 subcategorías:

5.1.6.1 Alimentación



Ilustración 5.7: Vista zona lateral izquierda del banco de celdas

En la zona lateral de la bancada de celdas se encuentra la sección de alimentación de pulpa, aquí se encuentran los cabezales de bombas peristálticas para la distribución de pulpa hacia las celdas y lechada de cal, llave de agua de proceso, válvula de paso de aire comprimido. Adicionalmente en esta zona se ubica la pantalla de control *HMI* junto con una botonera de parada de emergencia.

Características principales:

- Llave de paso agua
- Válvula de paso aire
- 4 x Cabezal Bomba peristáltica *Master Flex easy-load II*
- Funcionamiento con 4 rodillos
- Máxima velocidad 600 RPM
- Tubos *L/S* de 15, 24, 35 o 36 (10 mm diámetro)
- 4 x Servo motor Ye Li 220 [V] ~ 2,6 [A] / 400 [W] 3000 RPM

5.1.6.2 Banco De Celdas



Ilustración 5.8: Vista frontal de banco de celdas

En la zona intermedia se encuentra la bancada de celdas de flotación, las cuales están distribuidas en 2 grupos de 6 celdas independientes. Los dispositivos agitadores *Impeller* forman parte de la estructura móvil operada manualmente con el aparejo eléctrico (Tecele) el cual permite la elevación de todo el conjunto a la vez, permitiendo una fácil mantención. Adicionalmente se encuentran los flujómetros que controlan el paso de aire para cada celda de flotación.

Características principales:

- 14 x Servo motor *Ye Li* 220 [V] ~ 2,6 [A] / 400 [W] 3000 RPM
- 12 x Flujómetro *AALBORG* Modelo *GFC17*
- Rango de flujo 0-5 [L/min]
- Caída de presión máxima 75 [mBar]
- Presión máxima 70 bar (1000 [psig])
- 12 x Agitadores *Impeller*
- Material Superior Polipropileno
- Material inferior Robalon
- 12 x Celdas de flotación
- Fabricación de acrílico
- Cubetas de recepción
- 12 x Cabezal Bomba peristáltica *Master Flex easy-load II*
- Funcionamiento con 4 rodillos
- Máxima velocidad 600 RPM
- Tubos L/S de 15, 24, 35 o 36
- 4 x accionadores modulares de velocidad variable *Master Flex L/S*
- Motor 0,075 [kW] (0,1 HP)
- Controlador manual 6 W
- Velocidad de giro 6 - 600 RPM
- Torque 13 kg-cm
- Paletas de caucho

5.1.6.3 Equipo Auxiliar



Ilustración 5.9: Aparejo eléctrico

Equipo encargado de permitir la elevación de la bancada de agitadores para controlar su altura y poseer el espacio necesario para el retiro de equipos para mantención, limpieza o reparación. El dispositivo se encuentra en la zona superior de la estructura al interior de un encapsulado de acero inoxidable con puertas abatibles.

Características principales:

- Aparejo eléctrico *Gladiator Pro* – AP8100-25
- Potencia 220 W
- Velocidad de elevación 12 m/min
- Capacidad de carga 100 Kg

5.1.7 Molino Vertical



Ilustración 5.10: Molino de remolienda

El molino de remolienda se utiliza para la molienda fina hasta el tamaño de micras (o incluso submicras). El molino de remolienda o Vertimil está diseñado para la molienda húmeda continua. Comúnmente utilizado con bolas de acero inoxidable de 6 [mm] es controlado de manera automatizada a través de la acción del servomotor por parte del controlador *PLC*, posee una entrada en la zona inferior y tres niveles alternativos de salida.

Características principales:

- Dimensiones internas 280 [mm] alto, diámetro interior 88,9 [mm]
- Volumen interior 1.7 [L]
- Fabricación en acero inoxidable
- Eje y pasantes agitadores de acero inox.
- Servo motor *Ye Li* 220 Volt ~ 2,6 A / 400 Watts 3000 RPM

5.1.8 Columna De Flotación



Ilustración 5.11: Columna de flotación - Vista frontal

Columna de flotación de laboratorio de 1000 [mm] fabricada en acrílico de 6 [mm] alimentada a través de bomba peristáltica de traspaso, posee una bomba adicional de cola. Se suministra aire a través de un flujómetro independiente e ingresa a través de un generador de burbujas con una presión de trabajo establecida según alimentación general. En la zona inferior se encuentran 2 sensores de presión para la detección de nivel del líquido. El control de proceso se realiza a través del sistema de control de automatización por *PLC*. Se incorpora una bomba de lavado la cual suministra el agua en forma de ducha en la zona superior donde se encuentra la espuma.

Características principales:

- Dimensiones generales 50 [mm] diámetro interior, 1000 [mm] alto, 210 [mm] diámetro superior mayor
- Fabricación en Acrílico 6 [mm]
- Sellos de goma
- Bomba peristáltica *ETRATRON B3-V*
- Rango de Flujo 1 [L/h]
- Rango de presión 3 [Bar] (43 [psi])
- Velocidad de giro 34 RPM
- Flujómetro *AALBORG Modelo GFC17*
- Rango de flujo 0-5 [L/min]
- Caída de presión máxima 75 [mBar]
- Presión máxima 70 [bar] (1000 [psig])
- 2 transmisores de presión *WIKA Modelo S-11*

5.1.9 Panel De Control PLC



Ilustración 5.12: Gabinete de control electrónico.

Gabinetes eléctricos fabricados en chapa de acero laminado en frío, con tratamiento superficial para evitar la oxidación y mejorar la adherencia de la capa de pintura. Pintados con pintura electroestática. Incluye mando de encendido y apagado en la puerta de manera exterior, evitando la necesidad de manipular o abrir los compartimientos. Sistema de ventilación sujeto a termocupla interna para la protección a sobrecalentamientos de los dispositivos.

Características principales:

Tablero De Control De Pulpa

- PLC Fatek Fbs44mn
- 4 módulos analógicos con 6 entradas análogas Fbs6ad
- 5 módulos salidas analógicas Fbs4da
- 1 módulo salida analógica Fbs2da
- 2 expansiones digitales de salida Fbs8yr
- Fuente de poder 24 V 15 [A]
- Fuente de poder 12 v 16,5 [A]
- Módulo de comunicación Fbscm22
- 8 drivers motores YPV series 040-v(7s-76l) Ye Li Electrics
- Variador de frecuencia WEG cfw500
- Controlador de motor DC 0-24 V
- 4 relés para luces de falla
- 12 automáticos monofásicos 6 [A] y 1 trifásico 10 [A]

Tablero De Agitación

- 3 PLC Fatek Fbs44mn
- 1 PLC Fatek Fbs 20mn
- 3 módulos Fbs412d
- 13 drivers YPV series 040-v(7s-76l) Ye Li Electrics
- Switth ethernet fénix Contac FLswitch 1000
- 14 automáticos 6 [A] y 1 trifásico de 20 [A]

5.2 ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS (A.M.F.E)

El método AMFE consiste en sistematizar el estudio de un proceso, identificar los puntos potenciales de fallo, y elaborar planes de acción para poder combatir los riesgos involucrados. Para esto es importante definir ciertos criterios de clasificación que velarán por la seguridad e integridad de los equipos como también por la seguridad y salud de quienes los operan.

Para poder cuantificar la criticidad del riesgo se determina un factor, al multiplicar los criterios antes mencionados, basado en los fundamentos de evaluación matemática de riesgos.

$$\text{Indice de Prioridad de Riesgo (IPR)} = \text{Gravedad} \times \text{Frecuencia} \times \text{Detectabilidad}$$

En consecuencia, si el valor del IPR es mayor a 100 se debe considerar un fallo crítico que debe ser inspeccionado a la brevedad y considerar prioritario al momento de realizar las respectivas mantenciones preventivas. Adicionalmente, si uno de estos factores (Gravedad, Frecuencia o Detectabilidad) tienen como valor 10, el fallo debe considerarse crítico aun cuando el IPR calculado sea inferior a 100.

Se realiza el estudio AMFE con la finalidad de evidenciar los posibles fallos futuros del sistema y/o componentes, para posteriormente clasificarlos según su rango de importancia o criticidad para el correcto funcionamiento del sistema.

5.2.1 Criterios De Clasificación

Los criterios de clasificación fueron diseñados específicamente para el análisis del sistema MPP y sus componentes asociados.

5.2.1.1 Gravedad

Determina la importancia o severidad del efecto del modo de fallo potencial para el proceso; valora el nivel de consecuencias, con lo que el valor del índice aumenta en función de la degradación de las prestaciones esperadas y los costes de reparación. Este índice solo es posible mejorarlo mediante acciones en el diseño, y no deberían afectarlo los controles o revisiones periódicas de calidad.

Tabla 5.1: Criterios de evaluación de gravedad

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
MUY BAJA Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento y funcionamiento del sistema.	1
BAJA Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo origina un ligero inconveniente al sistema. Probablemente, se pueda apreciar un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia.	2 - 3
MODERADA Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en la operación. El operario observará deterioro en el rendimiento del sistema	4 - 6
ALTA	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema.	7 - 8
MUY ALTA	Tipo de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento con seguridad del proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10.	9 - 10

5.2.1.2 Frecuencia

Es la probabilidad de que una causa potencial de fallo (causa específica) se produzca y de lugar al modo de fallo. Se trata de una evaluación subjetiva que está relacionada al conocimiento y experiencia del personal en base a datos históricos o estadísticos, así como también la información técnica suministrada por el proveedor. La forma de reducir el índice de frecuencia es cambiar el diseño o incrementar y mejorar los sistemas de prevención y/o control que impiden que se produzca la causa del fallo.

Tabla 5.2: Criterios de evaluación de frecuencia

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
MUY BAJA Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
BAJA	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2 - 3
MODERADA	Defecto que aparece ocasionalmente en procesos similares. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4 - 5
ALTA	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado	6 - 8
MUY ALTA	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9 - 10

5.2.1.3 Detectabilidad

Este índice indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, sea detectado con antelación suficiente para evitar daños, a través de los controles actuales existentes a tal fin. Es decir, la capacidad de detectar el fallo antes de que llegue al operario final. Inversamente a los otros índices, cuanto menor sea la capacidad de detección mayor será el índice de detectabilidad y mayor el consiguiente índice de riesgo.

Se hace necesario aquí puntualizar que la detectabilidad no significa control, pues puede haber controles muy eficaces, pero si finalmente el defecto se aprecia tardíamente, ya sea por un error o símil. La detección tendrá un valor alto. Se consideran dos opciones para reducir este índice: Aumentar los controles, lo que supone aumentar el costo o cambiar el diseño para facilitar la detección.

Tabla 5.3: Criterios de evaluación de detectabilidad

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
MUY ALTA	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
ALTA	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2 - 3
MEDIANA	El defecto es detectable a tiempo y posiblemente se detecte en las últimas etapas de control.	4 - 5
PEQUEÑA	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	6 - 8
IMPROBABLE	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final u operario.	9 - 10

5.2.2 Resumen Fallos Críticos

Para facilitar la comprensión y entendimiento de las posibles fallas críticas del sistema se presenta una tabla resumen de todos los modos de falla posibles que según el análisis AMFE realizado tienen una alta tasa de frecuencia, gravedad o son muy complejos de detectar y requieren un trabajo preventivo. Para un mayor detalle consulte la información presente en el anexo, que incluye las matrices para cada componente del sistema MPPM.

Tabla 5.4: Resumen de fallas críticas

SISTEMA	EQUIPO	MODO DE FALLO	EFECTO	CAUSA	IPR	ACCION CORRECTORA PROPUESTA
Molino de bolas	Motor eléctrico	Motor no se pone en marcha	No existe movimiento	Avería mecánica	100	Comprobar giro libremente. Comprobar los cojinetes y el lubricante
				Rotor defectuoso	140	Verificar y realizar mantenimiento correspondiente
		El motor vibra	Desgaste excesivo	Motor no alineado	112	Alinear motor y reductor correctamente
				Cojinetes defectuosos	140	Sustituir cojinetes
		Cojinetes demasiado calientes	Desgaste excesivo y/o funcionamiento defectuoso	Bolas o pista del cojinete dañadas	96	Limpiar a fondo el alojamiento y sustituir el cojinete
	Sistema Piñón - Cadena	Desgaste engrane	Remoción de metal en el adendo del engrane	Lubricación baja o al límite	105	Verificar adecuada lubricación
				Lubricante contaminado	105	Verificar la presencia de partículas abrasivas en el lubricante
		Flujo plástico	Rebordes de altura irregular en los dientes, laminación o escamado.	Cargas de compresión elevadas	96	Comprobar condiciones de diseño
				Vibraciones con cargas intermitentes altas	96	Comprobar condiciones de diseño
		Ruido excesivo	Funcionamiento incorrecto	Desalineación de las ruedas dentadas	128	Alinear ruedas dentadas.
				Tensado incorrecto de cadena	140	Verificar el correcto tensado de la cadena.
				Necesidad de lubricación	168	Aplique lubricante.
	Manto Cilíndrico (Molino)	Fugas	Pérdida de carga de mineral, caída de revestimientos	Rotura o mal apriete de pernos	105	Verificar y corregir apriete de pernos. Reemplazar pernos cortados o con fallas.
				Sellos mal instalados	105	Reemplazar sellos defectuosos

Tanque agitador	Servomotor	Error de retroalimentación	Errores de posición, dirección, velocidad	Pérdida de señal desde el encoder	125	Revisar código de falla en encoder o PLC
		Sobre corriente	Deterioro prematuro	Falta de mantención general	112	Realizar mantención general
		Motor no alcanza velocidad nominal	Funcionamiento defectuoso	Rotor presenta grietas o ranuras	96	Corrobore y repare el rotor
				Bobinado está mal conectado	98	Corrobore y corrija la mala conexión
				Aumento de número de bobinas añadidas durante reparación	98	Reestablezca el número correcto de bobinas
				El motor está sobrecargado	128	Disminuya la carga
		El sonido del motor no es normal	Funcionamiento defectuoso y desgaste prematuro	Falta de lubricación	125	Lubricar correctamente
		Vibración excesiva durante funcionamiento	Funcionamiento defectuoso y desgaste prematuro	Abrasión excesiva en cojinete	100	Corrobore y repare el cojinete
		Cojinete sobrecalentado	Funcionamiento defectuoso y desgaste prematuro	Exceso o falta de lubricante	100	Corrija lubricación según norma
	El eje del motor está doblado			96	Corrija el eje del motor o reemplace rotor	
	Motor sobrecalentado	Desgaste prematuro	Motor sobrecargado	120	Disminuya la carga	
	Soporte con rodamiento	Rodamiento sobrecalentado	Desgaste prematuro	Sellos mal instalados	105	Corrobore apriete, alineación, lubricación y orientación correcta de sellos de soporte
		Ruidos excesivos	Funcionamiento incorrecto y desgaste prematuro	Contaminación	120	Revise caminos de rodadura y elimine contaminantes sólidos. Verifique contaminantes líquidos que reducen la viscosidad del lubricante
				Rozamiento	105	Corrobore sellos. Acomode espaciadores y verifique arandelas de fijación.
		Niveles excesivos de vibración	Funcionamiento incorrecto y desgaste prematuro	Contaminación	96	Revise caminos de rodadura y elimine contaminantes sólidos.
				Daño superficial	120	Revise desgastes abrasivos, muescas en

						camino de rodadura o estriado. Reemplace si es necesario
				Ajustes demasiado flojos	100	Verifique la deformación de los aros y sujeción del soporte a estructura
		Movimiento excesivo del eje	Funcionamiento incorrecto y desgaste prematuro	Soltura	100	Corroborar apriete de aros y rodamiento sobre el eje o soporte
				Daño superficial	96	Revise desgastes abrasivos, muescas en camino de rodadura o estriado. Reemplace si es necesario
				Juego interno en el rodamiento	105	Verifique correcta instalación de rodamiento y controlar el juego axial.
Feed Tank	Balanza digital	Error de estabilidad	La balanza no se estabiliza	Vibraciones, corrientes, cambios de temperatura, electricidad estática y campos magnéticos	112	Corroborar las condiciones de funcionamiento y oprimir la tecla CAL para regresar al módulo de pesaje
		Error de comunicaciones	Pérdida de conexión	Error en el protocolo de comunicación. Conexión interrumpida	112	Confirme el formato, velocidad de baudios y paridad
	Sensor de nivel	Error de montaje	Sensor muestra un nivel elevado pese a que el depósito está vacío	No se ejecutó <i>AutCal.</i>	105	Ejecutar calibración y puesta en marcha.
		El nivel salta en ocasiones a un valor mayor	Defectos en la medición	Suciedad en la zona de la conexión de proceso	112	Limpiar
	Electrodo pH ion selectivo	Lecturas imprecisas	Defectos en la medición	Electrodo contaminado	100	Limpiar electrodo con un papel sin pelusa. Procure no causar acumulación de electricidad estática
CFM	Cabezal bomba peristáltica	El rotor del cabezal no gira, pero si prenden luces piloto	No existe bombeo	Tubo roto que impide movimiento	84	Reemplazar tubo
		El rotor gira, el tubo no está roto, pero no	No existe bombeo	Tubo agotado, desgastado	128	Reemplazar tubo

		bombee el fluido					
		Caudal por debajo del teórico	Funcionamiento deficiente	Obstrucción interior en el tubo	96	Limpiar	
		El tubo del cabezal se desplaza	Funcionamiento deficiente	Instalación del tubo defectuosa	96	Revisar las fijaciones	
	Controlador másico de flujo de aire (Flujómetro)	Lectura de flujo no coincide con el punto de referencia	Funcionamiento deficiente	Presión de gas inadecuada	128	Aplice la presión de gas adecuada	
		No hay respuesta al punto de referencia	Funcionamiento deficiente	Presión de gas inadecuada	128	Aplice la presión de gas adecuada	
				Mal funcionamiento del cable o conector	105	Verifique los cables y todas las conexiones, sustituya si es necesario	
		Calibración desactivada	Mediciones incorrectas	La composición del gas cambió	90	Ver las tablas del factor K en el manual de operación	
	Agitadores (Impeller)	Fisuras	Funcionamiento defectuoso	Desgaste excesivo	112	Si el agitador o alguna de sus partes presentan fisuras, reemplácelos.	
		Ruido excesivo	Funcionamiento defectuoso	Desalineamiento de eje	90	Verifique alineación y corrija	
		Agitador interior no gira	Funcionamiento defectuoso	Agitador trabado	96	Verifique y limpie elementos que obstruyan el giro	
	Celdas de flotación	Fugas	Pérdida de pulpa	Rotura de acrílico	96	Reparar acrílico	
		Fisuras	Desgaste de material	Abrasión	96	Verifique estructura y presencia de fugas, repare o reemplace	
	Equipo auxiliar	Compresor de aire	Motor no arranca	Sin Funcionamiento	Falla en condensador	112	Realice inspección y sustituya condensador
			Compresor no enciende de nuevo	Sin Funcionamiento	Presostato con mecanismo desgastado por actuación.	100	Despresurice el depósito hasta la presión mínima de reencendido del presostato.
			Sobrecalentamiento del bloque compresor	Desgaste prematuro	Elemento filtrante obstruido	120	Revise y sustituya el filtro
Carbonización de la placa de válvula					96	Realice su limpieza	
Nivel de ruido o golpes anormales			Funcionamiento incorrecto y desgaste prematuro	Elementos de ajuste flojos	96	Localícelos y apriételes nuevamente	
Temperatura elevada del aire comprimido			Funcionamiento incorrecto	Elemento filtrante obstruido	120	Revise y sustituya el filtro	
Desgaste prematuro de los			Obsolescencia prematura	Operación en ambiente agresivo	112	No se realizó mantenimiento preventiva a	

		componentes internos de la unidad compresora				tiempo. Proceda a sustituir los componentes dañados
	Tecla de bancada	Vibración excesiva durante funcionamiento	Funcionamiento defectuoso y desgaste prematuro	Abrasión excesiva en cojinete	100	Corrobore y repare el cojinete
	Secador y filtro de aire	Filtración defectuosa	Funcionamiento Incorrecto	Membrana obstruida	96	Realice mantenimiento general
				Purgador defectuoso	105	Revise y sustituya el purgador si es necesario
		Caída de presión	Funcionamiento defectuoso y desgaste prematuro	Vaso de filtro sin mantención	96	Realice mantención pertinente
Molino de remolienda		Atascamiento de bolas	Funcionamiento defectuoso	Acumulación de bolas de tamaño menor	112	Realice un adecuado cribado
		Obstrucción a la salida de pulpa	Flujo incorrecto	Estancamiento	90	Limpie o sustituya los tubos (Verifique concentración de sólidos)
		Rotura pasadores de eje	Funcionamiento deficiente	Pasadores desgastados	105	Realice mantención a pasadores (regularmente cada 2 meses de uso continuo)
Columna de flotación	Ducha de cal	Funcionamiento defectuoso	Caudal excesivo o deficiente.	Estancamiento de lechada	90	Verifique correcta homogenización de lechada
	Transductor de presión	No hay señal de salida	No existe señal	Energía auxiliar ausente o errónea	96	Corregir la corriente auxiliar
		Alcance de señal demasiado pequeño	Medición incorrecta	Daños en la membrana	96	Sustituir instrumento considerando operación
Gabinete de control	Encoder (Driver Servomotor)	Número 4: OH	La máquina se detendrá	La temperatura es superior a 135° en el bobinado del servomotor o superior a 85° en el dissipador de calor del servomotor. Se activa la alarma OH	96	Verifique la temperatura ambiente y las condiciones de ventilación
	PLC	Falla en módulos de Entrada / Salida y dispositivos remotos.	E/S no operativa. No existe señal	E/S quemada por sobrecarga	120	Revisar y reparar módulo. Si es necesario reemplácelo
		Memoria dañada	Interrupción o daño permanente de la memoria	Polvo depositado sobre la placa o humedad ambiente excesiva.	105	Verifique las condiciones de operación

5.3 PROCEDIMIENTO PARA REVISIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS



INFORMACIÓN IMPORTANTE DE SEGURIDAD

La mayoría de los accidentes relacionados con la operación, el mantenimiento o reparación de este equipo se deben a que no se observan las precauciones y reglas básicas de seguridad. Con frecuencia, se puede evitar un accidente si se reconoce una situación que puede ser peligrosa antes de que ocurra el accidente. Todo el personal debe estar alerta a la posibilidad de peligros. Se debe tener la capacitación necesaria, los conocimientos y las herramientas para realizar estas funciones correctamente.

La operación, lubricación, el mantenimiento y la reparación incorrectos de este equipo pueden ser peligrosos y pueden resultar en accidentes graves y mortales.

No opere este equipo ni realice ningún trabajo de lubricación, mantenimiento o reparación hasta que haya leído y entendido toda la información de operación, lubricación, mantenimiento y reparación.

Se proporcionan avisos y advertencias de seguridad en este manual y en el equipo. Si no se presta atención a estas advertencias de peligro, pueden ocurrir lesiones personales y mortales a usted o a otras personas.

La información, las especificaciones y las ilustraciones contenidas en esta publicación se basan en la información disponible en la fecha en que se preparó la publicación. Las especificaciones, los apries de apriete, las presiones, las mediciones, los ajustes, las ilustraciones y otros datos pueden cambiar en cualquier momento. Estos cambios pueden afectar el servicio que se da al producto. Antes de empezar cualquier procedimiento, obtenga la información mas completa y actual posible.

5.3.1 Parada Del Equipo

1. Para realizar cualquier tipo de mantenimiento en cualquiera sea de los componentes del sistema se debe procurar desenergizar todo el módulo desde el tablero de control general de la planta y el panel de control del módulo respectivo. Ambas barreras o protecciones nos permitirán prevenir cualquier descarga eléctrica proveniente de las fuentes de alimentación. No olvide utilizar tarjetas de bloqueo o aviso del estado no operativo del equipo.

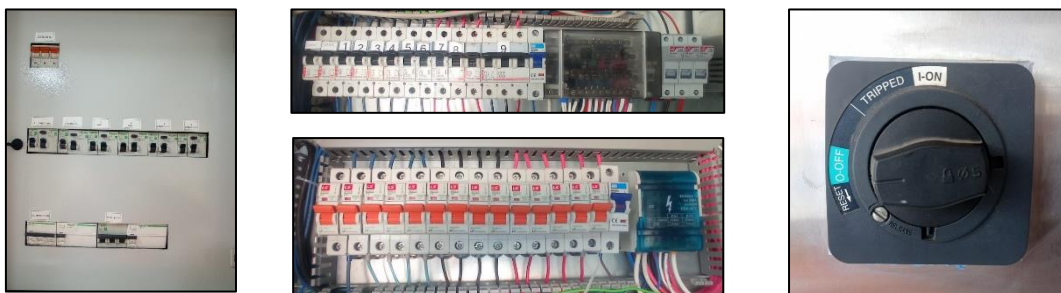


Ilustración 5.13: Controles de poder generales e individuales

5.3.2 Revisión Celdas De Flotación

1. En primera instancia es necesario quitar el soporte trasero que da firmeza a las celdas de flotación con la bancada como aparece en la ilustración 5.14. Cada celda está enumerada y debe conservar su posición una vez devueltas a su lugar.
2. Revisar la placa interior de acero inoxidable, la cual debe estar íntegra y sin fugas especialmente en los tornillos de fijación, se recomienda sellado con silicona si se realiza el reemplazo de esta placa.
3. Inspeccionar que la estructura misma de la celda no tenga fisuras graves, ni fugas en cualquiera de sus uniones o acoples de entrada y salida.
4. Una vez reinstaladas las celdas poner especial cuidado en realizar un correcto apriete del soporte de sujeción a la bancada.



Ilustración 5.14: Celdas de flotación - Vista posterior

5.3.3 Revisión Agitadores De Pulpa

1. Para la revisión de los agitadores de pulpa, debemos inicialmente demarcar la nivelación y alineación de los componentes según su posición espacial. Para no interferir ni cambiar en la configuración ya establecida.
2. Se procede a soltar los pernos de sujeción, acople del eje de agitador interior hacia el servo motor y retirar el tubo de alimentación de aire (ilustración 5.15). Dado esto se retiran ambos equipos y se procede con la mantención.
3. En primera instancia debemos corroborar la integridad de las partes que componen el agitador, verificando que no existan daños físicos y si es así, proceda con el recambio de la pieza.
4. Acto seguido es necesario retirar con cuidado el eje interior, poniendo especial cuidado en los hilos y rodamientos que forman parte estructural de este conjunto. Ya que, dado el contacto directo con la pulpa, es muy probable la presencia de material y suciedades que dificulten la extracción del eje. Utilice lubricantes y elimine la presencia de cualquier tipo de agente externo. No olvide engrasar rodamientos si es necesario.
5. Para la reinstalación de los equipos recuerde la alineación antes marcada y respetar las posiciones respectivas.



Ilustración 5.15: Vista frontal agitador de celda

5.3.4 Revisión De Servo Motores

1. Siempre marcar y enumerar la posición del servomotor a su correspondiente agitador. Realice una marca para alinear de igual forma al momento de reincorporarlo, luego de la mantención en taller.
2. Soltar los pernos de sujeción, el acople con el eje del agitador y soltar con especial cuidado las conexiones del *Encoder* (ilustración 5.17 – 5.16).
3. Inspeccionar estado de los rodamientos interiores, rotor, estator y eliminar posible exceso de suciedad. Engrasar correctamente los componentes que así lo requieran. Si algún componente se encuentra en mal estado, proceda al cambio.
4. Realizar el montaje con el cuidado respectivo y especial atención en conexión de Encoder, alineación y posición respectiva.

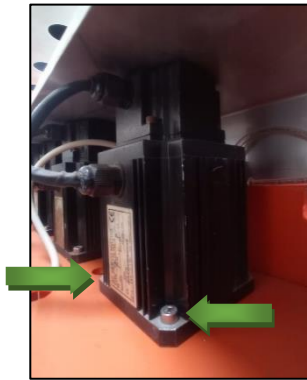


Ilustración 5.17: Sujeción servomotor a bancada móvil



Ilustración 5.16: Acople servomotor a eje

5.3.5 Revisión De Paletas Y Eje

1. De igual que en los procedimientos anteriores, debe demarcar la alineación y posición de los ejes y paletas con el mismo.
2. Una vez retirados los ejes con las paletas, procedemos a revisar los descansos que se deben encontrar correctamente lubricados e íntegros físicamente.
3. Posteriormente se inspecciona cada paleta la cual debe estar completa sin cortes ni fisuras. Si posee algún tipo de imperfecto, debe sustituir la pieza de inmediato.
4. Adicionalmente realice el mantenimiento descrito en el apartado de mantención, para los servos motores utilizados en el movimiento de las paletas.
5. Prestar especial atención de las marcas antes realizadas al momento de reinstalar los componentes.



Ilustración 5.18: Sección paleteo celdas 1-7

5.3.6 Revisión De Bombas De Traspaso

1. En primera instancia se deben desconectar los motores de la alimentación eléctrica, se extraen las mangueras de traspaso y se llevan juntos con los cabezales al taller.
2. Se deben separar los cabezales que se encuentren conectados en serie y proceder con la mantención de cada uno de ellos.
3. Inspeccionar y limpiar cabezales, evaluar el estado de los rodamientos y lubricación de las partes internas.
4. Se deben retirar los pernos de la tapa trasera del cabezal, se recomienda limpiar grasa existente y volver a lubricar cada cierto tiempo determinado según manual técnico.
5. Para el caso de los motores de bomba de traspaso se recomienda marcar las tapas y desarmar.
6. Revisar detenidamente el estado de carbonos, estator, rotor, eje y la limpieza integra de los compartimientos interiores.
7. Una vez limpio, y verificada integridad del equipo. Lubricar y armar según secuencia de las piezas.



Ilustración 5.19: Bomba peristáltica



Ilustración 5.20: Cabezal de bomba peristáltica - Vista de rodamientos interiores

5.3.7 Revisión De Fluómetro De Aire

1. Para la revisión de los flujómetros, debe considerar manipular los equipos con extremo cuidado, dado lo sensible de su funcionamiento.
2. En primera instancia desenrosque los pernos de sujeción, entrada y salida de mangueras y cable de señal del equipo.
3. Inspeccione visualmente las vías de flujo en los extremos de entrada y salida del medidor para detectar cualquier residuo que obstruya el correcto flujo a través del medidor.
4. Retire los posibles residuos con mucho cuidado utilizando pinzas y soplando aire limpio a baja presión.
5. Luego desenrosque el accesorio de entrada. Tenga en cuenta que el elemento de restricción de flujo (RFE) está conectado al adaptador de entrada.
6. El RFE es un divisor de flujo de precisión que divide el flujo de entrada en una proporción fija para el sensor y para las vías de flujo principales.
7. Desmonte con cuidado el RFE de la conexión de entrada. El filtro de 50 micras se hará visible. Empuje esta malla hacia afuera a través de la conexión de entrada.
8. Limpie o sustituya cada una de las piezas retiradas según sea necesario. Si utiliza alcohol para la limpieza deje que se seque antes de volver a montar.
9. Vuelva a instalar con cuidado el RFE y el accesorio de entrada. Evitando que se retuerza y/o deforme el RFE. No apriete en exceso, un apriete excesivo deformará y hará que el RFE sea defectuoso.
10. Siempre considere la recalibración al momento de instalar.
11. Monte el equipo en su posición y reconecte todas sus fijaciones.



Ilustración 5.21: Vista frontal - Controlador de flujo másico

5.3.8 Revisión De Tecla De Bancada

1. El sistema de levante ubicado en la zona superior se accede mediante la apertura de las puertas de acceso posteriores de la bancada.
2. Inspeccione correcto funcionamiento y estado de rodamientos.
3. Lubrique si es necesario y/o limpie suciedad que se pueda encontrar en la superficie.
4. Inspeccione rueda dentada y cremallera, verifique su integridad. Si es necesario reemplace.
5. Para el mantenimiento del motor eléctrico, se recomienda retirar el módulo y realizar mantención en taller.



Ilustración 5.22: Tecla de bancada



Ilustración 5.23: Rueda dentada de bancada móvil



Ilustración 5.24: Rodamiento de apoyo bancada móvil

5.4 PROCEDIMIENTO PARA LIMPIEZA DE CFM

El siguiente procedimiento tiene por finalidad establecer las acciones de limpieza para una correcta parada de equipo, la cual asegurará condiciones óptimas de funcionamiento para la siguiente puesta en marcha.

1. Una vez finalizadas las tareas con material, es necesario limpiar todos los componentes realizando un ciclo de operación con agua limpia. Esta deberá recorrer todos los circuitos posibles, incluyendo las mangueras de traspaso para garantizar la extracción de material desde las mismas.
2. Con la ayuda de un paño húmedo y escobillas de baja abrasión, se debe retirar cualquier rastro o registro de pulpa existente sobre las superficies de contacto. Si aún con el paño húmedo no es posible retirar estas impurezas. Se recomienda el uso de ácido clorhídrico con una disolución del 5% en agua. Para este caso es necesario el uso del *EPP* respectivo para trabajo con ácidos, entre ellos se encuentran; guantes de nitrilo hasta el codo, gafas protectoras. Especialmente requerido para celdas de flotación y agitadores.
3. Para los equipos que utilizan alimentación eléctrica, procure desconectar los equipos y realizar una limpieza individual. Utilice aire comprimido para eliminar el polvo o partículas alojadas en los compartimientos respectivos. Si existe presencia de óxido, retírelo y proceda a pintar la zona con un esmalte antioxidante.
4. Finalmente, para la limpieza del acero inoxidable utilice un paño de microfibra con agua caliente y jabón. En situaciones de manchas rebeldes utilizar esponja limpia. Siempre secar bien la superficie, en caso contrario quedarán marcas en el acero.

5.5 LUBRICACIÓN

La lubricación se debe realizar con la periodicidad necesaria según el uso del equipo, aun así, de manera preventiva se debe inspeccionar el estado de los agentes lubricantes cada 3 meses. Especialmente en equipos de movimientos continuo como rodamientos, cabezales, agitadores, etc. Si es necesario, retire la grasa o lubricante existente y lubrique nuevamente. En rangos generales se debe cumplir esta norma, pueden existir variaciones para algún equipo en particular y será detallada en el procedimiento particular para cada equipo.

5.6 CRONOLOGÍA PARA LABORES DE MANTENIMIENTO

La siguiente tabla indicará la periodicidad con la que se deben realizar las labores de mantenimiento para el sistema completo, indicando la cantidad de horas de funcionamiento programado para cada caso. El sistema automatizado incluye la visualización en pantalla de las horas de funcionamiento de la planta, debemos considerar este valor para realizar la mantención correspondiente.

5.6.1 Molino De Bolas

Equipo	Descripción	Recursos	Periodicidad	Observación
Motor eléctrico (molino)	Revisión nivel de aceite en el reductor	Personal Mantenimiento	240 horas	Cuando la planta se encuentre operativa
	Engrase rodamientos	Personal Mantenimiento	650 horas	Considere hoja de datos del rodamiento
	Lubricación de partes	Personal Mantenimiento	2150 horas / 3 meses	Usar grasa específica para cada caso
	Mantención conexiones eléctrico	Tec. Eléctrico	4300 horas / 6 meses	Reparación, corrección o cambio si es necesario
	Revisar estado de bobinados y limpieza	Tec. Eléctrico	8760 horas / anualmente	Medir la resistencia de aislamiento
	Limpieza del bloque terminal	Personal Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Utilice aire comprimido presión no superior a 2,5 bar
	Lubricación de cadenas	Personal de Mantenimiento	300 horas	Realice la lubricación manual, si la cadena está cubierta con suciedad y residuos, limpie con queroseno y vuelva a lubricar
Sistema Piñón - Cadena	Inspección general de sistema de transmisión	Personal de Mantenimiento	500 horas	Verifique: Lubricación, Tensado, desgaste de dientes y cadena, alineación, fallas generales
	Limpieza descansos	Personal de Mantenimiento	840 horas / Mensual	Limpieza y verificación de lubricación en descansos
Molino	Limpieza sellos y juntas	Personal de mantenimiento	840 horas / Mensual	Revisión de sellos de tapa y limpieza general

5.6.2 Equipo Auxiliar

Secador y filtro de aire	Cambio de filtros y limpieza	Personal de Mantenimiento	de 4000 horas / Caída de presión de 350 mbar	Extracción y cambio de vaso de filtro, membranas y rectifique indicador de servicio
Compresor de aire	Inspección de válvula de retención	Personal de mantenimiento	de 1000 horas / 9 meses	Realice la limpieza si es necesario
	Verifique tiempo de llenado	Personal de mantenimiento	de 1000 horas / 9 meses	Si es mayor a 20% del funcionamiento normal efectúe reemplazo de los anillos
	Calibración general	Personal de mantenimiento	de 8760 horas / anualmente	Realice la calibración del presostato, manómetro y válvula de seguridad
	Inspección y recambio de condensador	Personal de mantenimiento	de 8760 horas / anualmente	Realizar inspección anual y reemplazar cuando este presente fallas

5.6.3 Tanque Agitador

Servo Motor	Revisión conectores de fuerza y señal	Personal de Mantenimiento	de 8760 horas / anualmente	Revisión de correcta conexión y limpieza de conectores
Eje, soporte con rodamiento y aspas	Retiro y revisión de eje, soporte y rodamientos	Personal de mantenimiento	de 8760 horas / anualmente	Desarme y montaje de eje, soporte y rodamientos
	Lubricación de juntas, cojinetes, rodamientos	Personal de mantenimiento	de 640 horas	Lubricación de equipo si se encuentra operativo.
Bomba peristáltica	Revisión de bomba de alimentación y recirculación	Personal de mantenimiento	de 960 horas	Desarme, revisión y limpieza de partes que componen las bombas de recirculación
	Revisión de mangueras	Personal de mantenimiento	de Antes y después de cada operación continua	Revisión de estado de mangueras, realice el recambio si se encuentran defectuosas

5.6.4 Feed Tank

Componentes generales	Mantenimiento general	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Realizar desmontaje para revisión y limpieza de todos los equipos que componen el sistema
Servo Motor	Revisión conectores de fuerza y señal	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Revisión de correcta conexión y limpieza de conectores
Eje, soporte con rodamiento y aspas	Retiro y revisión de eje, soporte y rodamientos	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y montaje de eje, soporte y rodamientos
	Lubricación de juntas, cojinetes, rodamientos	Personal de mantenimiento	640 horas	Lubricación de equipo si se encuentra operativo
Balanza digital	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Verificar condiciones de operación y realizar calibración si es necesario
Sensor de nivel	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarmar, inspeccionar y limpiar todos sus componentes
Electrodo pH	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Inspeccione electrodo y cable. Reemplace ante cualquier imperfecto. Considere vida útil de 1 – 3 años

5.6.5 CFM

Componentes generales	Mantenimiento general	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Realizar desmontaje para revisión y limpieza de todos los equipos que componen el sistema
Servo Motor	Revisión conectores de fuerza y señal	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Revisión de correcta conexión y limpieza de conectores
Agitadores	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y revisión de eje, rodamientos y cuerpos del agitador. Reemplace o repare si esta dañado
Impeller	Revisión de desgaste	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Revisión del desgaste de los Impeller inferiores de los agitadores. Verifique grosor nominal y composición integra. Reemplace si es necesario
Bombas peristálticas de traspaso	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y revisión de cabezales. Cambio de piezas si es necesario.
	Revisión de mangueras	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Revisión de estado de mangueras, realice el recambio si se encuentran defectuosas
Controlador másico de flujo de aire	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Inspección de cables y conector.
Celdas de flotación	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme e inspección de integridad estructural. Reemplace si es necesario
Paletas y ejes	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Inspección de rotación correcta y estado de paletas. Si es necesario reemplácelas
	Revisión descansos	Personal de mantenimiento	640 horas	Inspección, limpieza y lubricación de rodamientos

5.6.6 Molino Vertical

Componentes generales	Mantenimiento general	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Realizar desmontaje para revisión y limpieza de todos los equipos que componen el sistema
Servo Motor	Revisión conectores de fuerza y señal	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Revisión de correcta conexión y limpieza de conectores
Bombas peristálticas de traspaso	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y revisión de cabezales. Cambio de piezas si es necesario.
	Revisión de mangueras	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Revisión de estado de mangueras, realice el recambio si se encuentran defectuosas
Pasadores	Mantenimiento y cambio	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Inspeccionar pasadores y verificar integridad. Reemplazar si presenta alguna anomalía

5.6.7 Columna De Flotación

Componentes generales	Mantenimiento general	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Realizar desmontaje para revisión y limpieza de todos los equipos que componen el sistema
Servo Motor	Revisión conectores de fuerza y señal	Personal de Mantenimiento	8760 horas / anualmente	Revisión de correcta conexión y limpieza de conectores
Bombas peristálticas de traspaso	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y revisión de cabezales. Cambio de piezas si es necesario.
	Revisión de mangueras	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Revisión de estado de mangueras, realice el recambio si se encuentran defectuosas
Bomba de cal	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Desarme y revisión de cabezales. Cambio de piezas si es necesario
	Revisión de mangueras	Personal de mantenimiento	Antes y después de cada operación continua	Revisión de estado de mangueras, realice el recambio si se encuentran defectuosas
Controlador másico de flujo de aire	Mantenimiento general	Personal de mantenimiento	8760 horas / anualmente	Inspección de cables y conector

5.7 STOCK DE REPUESTOS CRÍTICOS

Para asegurar un correcto funcionamiento durante todo el tiempo de operación es necesario considerar los elementos que pudiesen fallar e inutilizar alguno de los componentes o sistemas que componen la MPPM. A modo de prevenir este suceso se determinan los repuestos de componentes críticos de la miniplanta.

- Servo Motor *Ye Li* 220 [V] ~ 2,6 [A] / 400 [W] 3000 RPM
- Controlador másico de flujo de aire (Flujómetro) *AALBORG* Modelo *GFC17*
- Impeller para agitadores (Considere plano de fabricación en Anexo)
- Celdas de flotación (Considera plano de fabricación en Anexo)
- Paletas de barrido de espuma
- Pasadores de eje (pines)
- Tubos *Master Flex* tamaño *L/S* 14,15,16,36 (Códigos ítems # - 06509-14, 6424-15, 96410-16, 06509-36)

FILOSOFÍA DE CONTROL

6 FILOSOFÍA DE CONTROL

Para conseguir un óptimo funcionamiento de los sistemas automatizados involucrados en el control de las variables de proceso, es necesario utilizar un conjunto de decisiones basadas en los conceptos pertinentes que permiten alcanzar los objetivos propuestos como puntos de referencia establecidos. Para verificar su cumplimiento y permitir la versatilidad del equipo es necesario conocer la filosofía utilizada en la programación de estas órdenes de mando.

6.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

6.1.1 Arquitectura

La arquitectura contempla controladores del sistema ubicados en dos paneles generales de control los cuales se interconectan con todos los procesos y subprocesos del sistema, unidos por una red central. Esta a su vez es operada a través de una pantalla HMI y visualizada en una pantalla en la oficina de control.

Se designan controladores para cada área, y eventualmente puede recibir o provocar un algún enclavamiento a otra área. Existen 5 PLCs encargados de controlar gran parte de los equipos y forman parte de la interfase de trabajo con el operador.

- PLC estación 1 controla los primeros 4 agitadores de la máquina de agitación
- PLC estación 2 controla los 4 agitadores siguientes
- PLC estación 3 controla los 4 siguientes
- PLC estación 4 controla paletado n°1 (izquierdo)
- PLC estación 5 control de pulpa y periféricos (flujómetros, sensores, electrodo de pH, bombas de traspaso (*Feed Tank*))

Los controladores se comunican a todos los elementos de campo que incluyen instrumentos análogos, discretos y equipos por comunicaciones que incluyen a su vez motores, sensores, flujómetros, electrodos y otros dispositivos electromecánicos.

6.1.2 Funciones del Sistema

El sistema de control debe satisfacer los siguientes objetivos principales:

- Asegurar que la operación de todas las instalaciones y los requerimientos del proceso se cumplan a cabalidad.
- Facilitar la toma de decisiones y acciones rápidas por parte del operador
- Entregar la capacidad de supervisar, monitorear, controlar y manejar apropiadamente el proceso. Considerando tiempos de respuesta eficientes.
- Brindar la capacidad de detección de alarmas y condiciones de emergencia

6.1.3 Grado de Automatización

El grado de automatización establecido para este sistema es el necesario para que permita una operación continua, eficiente y segura. Proveyendo las herramientas necesarias para un rápido diagnóstico de fallas, control de datos y toma de muestras in situ. La instrumentación en terreno es la adecuada para permitir la operación del proceso, por su parte el sistema de control PLC proveerá las secuencias y algoritmos que permitan la operación y monitoreo pertinente, teniendo siempre en consideración los enclavamientos de seguridad y proceso.

La operación normal de la planta será siempre desde la pantalla HMI ubicada en la esquina superior izquierda del frontis de la planta CFM. Se consideran controladores locales para las bombas de traspaso ubicadas en las zonas anterior y posterior de la bancada de celdas, incluyendo las paradas de emergencias respectivas. Además, se considera la botonera de control manual para el teclé de bancada.

Adicionalmente se contempla el uso de agitadores de control manual para suministro de cal (lechada) e instrumentación de laboratorio para análisis de muestras según requerimientos.

6.2 ESQUEMAS GENERALES DE CONTROL

6.2.1 PLC FATEK Model Fbs

El componente PLC modelos FBs proporcionan un algoritmo matemático PID digitalizado para diferentes aplicaciones, en este caso y para la utilización de sensores que miden las condiciones reales del proceso se considera el control de bucle cerrado.

Para ejemplificar las partes claves de un bucle de control cerrado, se adjunta el diagrama de bloques a continuación:

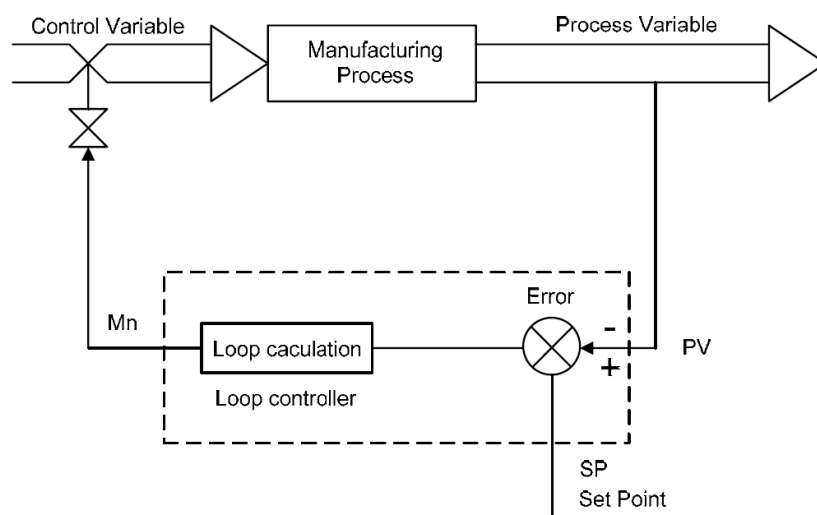


Ilustración 6.1: Lógica bucle cerrado:

Dados los requisitos, el controlador adecuado este sujeto bajo la lógica de operación “Controlador Proporcional Integral Derivativo”

La expresión matemática digitalizada de la instrucción FBs-PLC esta descrita como:

$$Mn = \left(\frac{D4005}{Pb}\right) * (En) + \sum_0^n \left[\left(\frac{D4005}{Pb}\right) * Ki * Ts * En\right] - \left[\left(\frac{D4005}{Pb}\right) * Td * (PV_n - PV_{n-1})/Ts\right] + Bias$$

Donde,

Mn = Salida en el tiempo n.

D4005 = Constante de ganancia, el valor por defecto es 1000. Puede ajustarse entre 1~5000.

Pb = Banda proporcional – Expresión que indica el porcentaje de cambio de error necesario para cambiar el valor máximo de la escala de salida

$$\left(\text{rango} : 1\sim 5000, \text{unidad en } 0,1\%; Kc(\text{gain}) = \frac{D4005}{Pb}\right)$$

Ki = Constante de ajuste integral (Rango: 0~9999, tal que $0,00 \sim 99,99 \frac{\text{Repeticiones}}{\text{minuto}}$)

Td = Constante de ajuste derivativo (Rango: 0~9999, tal que 0,00~99,99 minutos)

PV_n = Variable de proceso at time “n”

PV_{n-1} = Variable de proceso cuando el bucle se resolvió por última vez.

En = La diferencia entre el punto de referencia (SP) y la variable de proceso (PV) en el momento “n”; $E_n = SP - PV_n$.

Ts = intervalo de solución entre cálculos (Rango: 1~3000, unidades en 0,01 s)

Bias = Ajuste de salida (Rango: 0~16383)

6.2.1.1 Sintonización PID

El algoritmo del software FBs-PLC utiliza funciones matemáticas para simular una técnica de control analógica de tres modos (PID) para proporcionar un control digital directo. La técnica de control responde a un error con una señal de salida. La cual es proporcional al error, la integral del error y la tasa de cambio de la variable de proceso. Los algoritmos de control incluyen P, PI, PD y PID, todos ellos con las características de funcionamiento automático/manual, sin funcionamiento automático/manual, transferencias sin balance, protección contra el reajuste y ajuste adaptativo de los términos de ganancia, integral y derivados.

Principios de ajuste de parámetros PID:

- A medida que el ajuste de la banda proporcional (Pb) se hace más pequeño, mayor es la contribución proporcional a la salida. De este modo se puede obtener una reacción de control sensible y rápida. Sin embargo, cuando la banda proporcional es demasiado pequeña, puede causar oscilaciones. Haga todo lo posible para ajustar “Pb” lo más pequeño (pero no hasta el punto de hacer oscilaciones), lo que podría aumentar la reacción del proceso y reducir el error de estado estacionario.
- El valor integral (Ki) puede utilizarse para eliminar el error de estado estacionario. Cuanto mayor sea el número Ki (constante de sintonía integral), mayor será la contribución integral a la salida. Cuando hay un error de estado estacionario, ajuste el “Ki” más grande para disminuir el error. Cuando el “Ki” = 0, el elemento integral no contribuye a la salida. Por ejemplo, si el tiempo reajuste es de 6 min, $K_i = 100/6 = 17$; si el tiempo integral es 5 min, $K_i = 100/5 = 20$.
- Se puede utilizar un elemento derivado para que el proceso sea más suave y no se dispare demasiado. Cuanto mayor sea el número (Td, constante de ajuste derivativo), mayor será la contribución de la derivada a la salida. Cuando hay demasiado sobredisparo, ajuste el “Td” más grande para disminuir la cantidad de sobredisparo. Cuando “Td” = 0, la derivada no contribuye a la salida. Por ejemplo, si el tiempo de la tasa es de 1 minuto, entonces $T_d = 100$, si el tiempo de la tasa es de 2 minutos, entonces $T_d = 200$.
- Ajustando los parámetros PID se puede obtener un excelente control en el lazo.

Para la programación y sintonización del control PID se utilizaron principalmente los siguientes operadores contenidos en la lógica computacional. Estos deben ser las variables de control y comunicación entre la situación física medida, el cálculo PID y su respectivo resultado.

Se describen y detallan a continuación los principales operadores:

Descripción de los operadores SR (Registro de ajuste de bucle):

- **SR+0 - Scaled Process Variable (Variable de proceso escalada):** Este registro es cargado por la instrucción PID cada vez que se resuelve. Un escalado lineal se realiza con el valor de SR+6 utilizando los rangos de ingeniería alto y bajo de SR+4 y SR+5.
- **SR+1 – Setpoint (SP – Punto de referencia):** El usuario debe cargar este registro con el SP deseado que el bucle debe controlar. El SP se introduce en unidades de trabajo, debe ser del rango: $LER \leq SP \leq HER$.
- **SR+2 – High Alarm Limit (HAL – Límite de alarma alta):** el usuario debe cargar este registro con el valor al que la variable del proceso debe ser alarmada como alarma alta (por encima del punto de referencia). Este valor se introduce como el punto de alarma real en unidades de ingeniería y debe estar en el rango: $LER \leq LAL < HAL \leq HER$
- **SR+3 – Low Alarm Limit (LAL – Límite de alarma bajo):** el usuario debe cargar este registro con el valor al que la variable del proceso debe ser alarmada como alarma baja (por debajo del punto de referencia). Este valor se introduce como el punto de alarma real en unidades de ingeniería y debe estar en el rango: $LER \leq LAL < HAL \leq HER$
- **SR+4 – High Engineering Range (HER – Rango de ingeniería alto):** el usuario debe cargar este registro con el valor más alto para el cual el dispositivo de medición tiene un rango. (Por ejemplo, un termopar puede tener un rango de 0 a 500 grados centígrados, resultando en una entrada analógica de 0 a 10V al FBs-PLC (0V=0°C, 10V=500°C); el rango de ingeniería alto es 500, este es el valor introducido en SR+4). El rango de ingeniería alto debe ser: $-9999 < HER \leq 19999$.
- **SR+5 – Low Engineering Range (LER – Rango de ingeniería bajo):** el usuario debe cargar este registro con el valor más bajo para el que el dispositivo de medición está abarcando. El rango de ingeniería bajo debe ser : $-9999 \leq LER \leq LAL < HAL \leq HER$.
- **SR+6 – Raw Analog Measurement (RAM – Medición analógica bruta):** el programa del usuario debe cargar este registro con la variable de proceso (medición). Es el valor que el contenido de la entrada analógica registra (R3840 ~ R3903). Se agrega el offset si es necesario. Debe ser en el rango $0 \leq RAM \leq 16380$ si la entrada analógica es de 14 bits, pero con una resolución válida de 12 bits, y $0 \leq RAM \leq 16383$ si la entrada analógica es de 14 bits y una resolución válida de 14 bits. La resolución de la entrada analógica puede ser definida por el registro D4004, donde D4004=0, significa formato de 14 bits, pero resolución válida de 12 bits; D4004=1, significa formato de 14 bits y resolución válida de 14 bits.
- **SR+7 – Offset of Process Variable (OPV – ajuste de la variable de proceso):** el usuario debe cargar este registro con el valor que se describe a continuación; OPV debe ser 0 si la señal analógica bruta y el intervalo de medición del módulo de entrada analógica son todos 0 ~ 20mA, no hay pérdida de la resolución de la medición; OPV debe ser 3276 si la señal analógica bruta es de 4 ~ 20 mA pero el intervalo de medición del módulo de entrada es de 0 ~ 20 mA, existirá poca pérdida de la resolución de medición. ($16383 * 4 / 20 = 3276$). El rango debe ser $0 \leq OPV \leq 16383$.
- Cuando la configuración mencionada anteriormente es errónea, no realizará la operación PID y la se indicará a la salida la señal "ERR".

Descripción de los operadores OR:

- **OR:** Registro de salida, este registro es cargado directamente por el usuario mientras el bucle está en modo de operación manual. En cambio, mientras el bucle está en modo de funcionamiento automático, este registro es cargado por la instrucción PID cada vez que se resuelve. Es igual a Mn (salida del bucle de control) en la ecuación de aproximación digital. Debe ser del rango: $0 \leq OR \leq 16383$.

Descripción de los operandos PR (Parámetros del bucle):

- **PR+0 – Proportional Band (Pb – Banda proporcional):** el usuario debe cargar este registro con la constante proporcional deseada. La constante proporcional se introduce como un valor entre 1 y 5000, donde cuanto menor sea el número, mayor será la contribución proporcional. (Esto se debe a que la ecuación utiliza D4005 dividido por Pb). Debe ser el rango: $1 \leq Pb \leq 5000$, la unidad está en 0,1%. Kc (ganancia) = D4005/Pb; el valor por defecto de D4005 es 1000, y su rango es $1 \leq D4005 \leq 5000$.
- **PR+1 – Integral tuning Constant (Ki – Constante integral de ajuste):** el usuario puede cargar este registro para añadir una acción integral al cálculo. El valor introducido está en “Repeticiones/minuto” y se introduce como un número entre 0 y 9999. (El rango real es de 00,00 a 99,99 repeticiones/minuto).
- **PR+2 – Rate Time Constant (Td – Constante de tasa de tiempo):** El usuario puede cargar este registro para añadir una acción derivada al cálculo. El valor se introduce en minutos y entre 0 y 9999. (el rango real es de 0,00 a 99,99 minutos). Cuanto mayor sea el número, mayor será la contribución derivativa a la salida.
- **PR+3 – BIAS:** El usuario puede cargar este registro si se desea añadir un sesgo a la salida cuando se utiliza el control PI o PID. Se debe utilizar un sesgo cuando se ejecuta un control sólo proporcional. El sesgo se introduce como un valor entre 0 y 16383, y se añade directamente a la salida calculada. El sesgo no es necesario para la mayoría de las aplicaciones y puede dejarse en 0. Generalmente está en el rango entre $0 \leq Bias \leq 16383$.
- **PR+4 – High Integral Wind_up Limit (HIWL – Límite integral alto de subida):** El usuario debe cargar este registro con el valor de subida a partir del cual el bucle debe entrar en el modo “anti-reinicio”. El reajuste del bucle consiste en resolver la aproximación digital del valor integral. Para la mayoría de las aplicaciones debe fijarse en 16383. Debe ser del rango $1 \leq HIWL \leq 16383$.
- **PR+5 – Low Integral Wind_up Limit (LIWL – Límite integral bajo de subida):** el usuario debe cargar este registro con el valor de salida a partir del cual el bucle debe entrar al modo “anti-reinicio”. Funciona de la misma manera que PR+4. Para la mayoría de las aplicaciones debe ser ajustado a 0. Debe estar en el rango: $0 \leq LIWL \leq 16383$.
- **PR+6 – PID Method:** 0 = Método PID estándar – 1 = Método de sobre impulso mínimo; se prefiere el método 0 porque la mayoría de las aplicaciones utilizan el control PI ($Td=0$). El usuario puede probar el método 1 cuando utiliza el control PID y el resultado no es estable.
- Cuando la configuración mencionada anteriormente es errónea, no realizará la operación PID y la se indicará a la salida la señal “ERR”.

6.2.2 Sistema de Visualización HMI

Para el control preciso y visualización de variables se incorpora en el sistema una pantalla controladora HMI WEINTEK MT8151X de 15" (Touchscreen). Permitiendo la correcta comunicación entre la orden ejecutada por el usuario, controlador PLC correspondiente al mecanismo accionado y actuador o equipo de trabajo. Los detalles técnicos de la pantalla se describen a continuación en la Tabla 6.1.



Ilustración 6.2: Pantalla HMI WEINTEK MT8151X 15"

Tabla 6.1: Características técnicas pantalla HMI

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Pantalla	15.0"
Brillo	350 [cd/m ²]
Contraste	500:1
Resolución	1024 x 768
Panel Táctil	Tipo Resistivo 4 hilos
I/O Port	COM1 (RS-232, RS-485 2W/4W) COM2 (RS-232) COM3 (RS-232, RS-485 2W) 1 ETHERNET PORT (A0/100 Base T)
Entrada de video	NTSC/PAL
USB Host	2 USB 2.0
Procesador	X86 500 Mhz
Almacenamiento	256 D.O.M
DRAM	S56MB DDR-400Mhz
Alimentación	24±10% VCD
Consumo de energía	1,6 A
Sistema operativo	EB8000 V4.1.0

La pantalla HMI se comunica con las estaciones Fatek FBs a través del protocolo de comunicación ETHERNET el cual está instalado en cada módulo PLC. Para acceder a cada equipo es necesario un enrutador el cual se encarga de interconectar las redes y establecer la mejor ruta para enviar este “paquete datos” al dispositivo de destino.

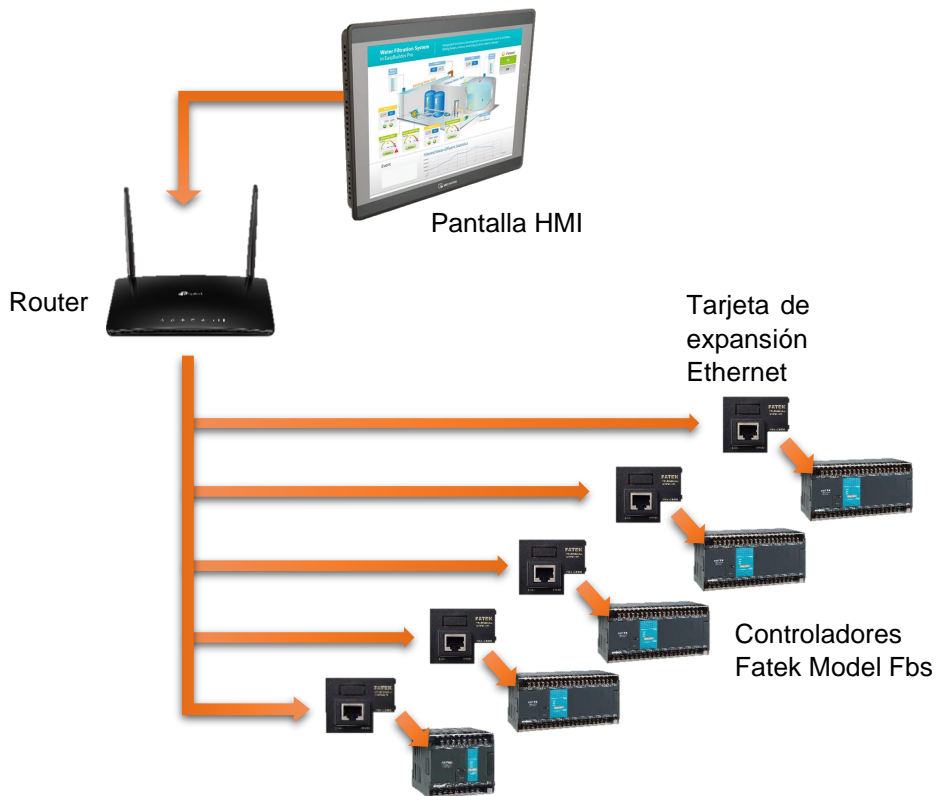


Ilustración 6.3: Lazo de control de pantalla HMI

En los accesos directos de la pantalla de control HMI se puede acceder a la configuración de las variables PID involucrados en el control de las variables de proceso para este sistema. A continuación, se presenta una pantalla tipo, cada uno de estos registros se encuentra detallado en el apartado 6.2.1.1 Sintonización PID:

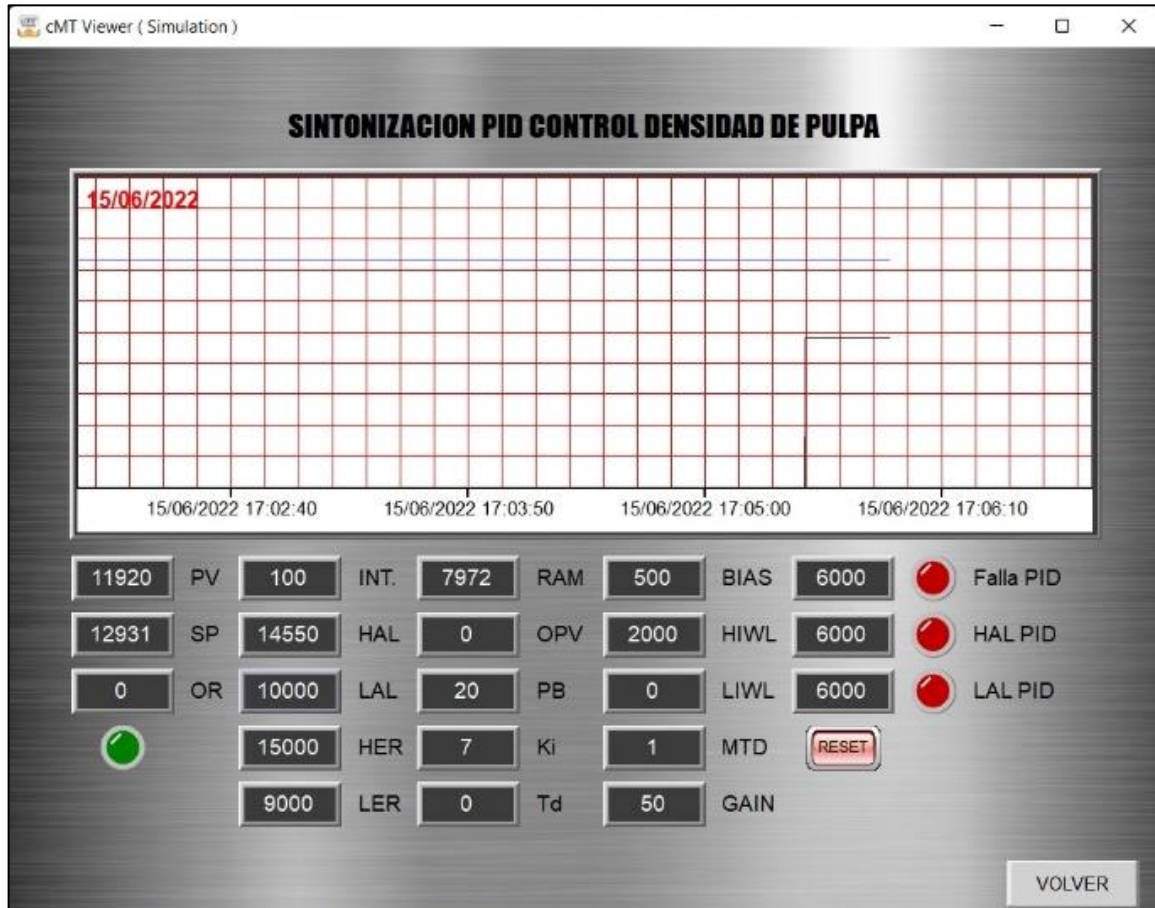


Ilustración 6.4: Sintonización PID Control densidad de pulpa

6.2.3 Sistema Servomotor YE LI YBL7S – Driver YPV Series

El servomotor o precisamente servomecanismo no son en realidad una clase específica de motor, sino una combinación de piezas específicas, que incluyen un motor y son adecuado para su uso en sistemas de control de bucle cerrado. Un servomecanismo nos permite un control preciso en términos de posición angular, aceleración y velocidad. La señal de control es la entrada, ya sea analógica o digital, que representa el comando de posición final para el eje.

Por otro lado, el encoder sirve como sensor, proporcionando retroalimentación de velocidad y posición. La posición final es informada al driver controlador y se compara con la entrada de posición final, condicionando así su movimiento a la posición correcta.

Este tipo de servomotor junto al control PID, presente en la comunicación con el PLC, nos permiten llevar a la posición, velocidad deseada de forma rápida y segura. Por lo tanto, para la implementación del conjunto de servomotores que permiten la rotación de los agitadores en el banco de celdas se consideran los equipos y configuración de comunicación detallada a continuación:

Tabla 6.2: Características técnicas de equipos involucrados

EQUIPO	MODELO	ESPECIFICACIONES	FUNCIÓN
Pantalla HMI Weintek	MT – 8151x	15” – Touchscreen	Recibir y transmitir instrucciones de operador
Tarjeta de Expansión Ethernet Fatek	FBs-CBES	Expansión Ethernet, Medidas 46x49x30 [mm]	Permite la conexión a través de protocolo Ethernet utilizando alimentación de la misma placa
Controlador PLC Fatek	FBs-44mn	4 salidas de alta velocidad HSPWM Puertos de comunicación (RS232, RS 485, USB, Ethernet)	Referencia/Feedback de velocidad y posición con salidas/entradas diferenciales de voltaje entre -5/+5 VDC
Módulo analógico Fatek	FBs-4A2D	4 entradas 2 salidas 0-10 VDC	Referencia de torque, feedback de consumo de energía en Amperes.
Driver YPV	YPV Series 040	Driver 400 W	Controlador que conecta las señales entre Servomotor y PLC
Servomotor Ye Li	YBL7s	3000 RPM 400 [W] 2.6 [A] 3.8 [Nm]	Actuador rotativo que permite control de velocidad y rotación de agitadores

La pantalla HMI envía la señal indicada por el operador a través de su panel táctil hacia la tarjeta de expansión Ethernet, la cual intercomunica con el controlador central quien esta interconectado con el módulo analógico. Este módulo permite la conexión del Driver YPV, actuador necesario para procesar y controlar las señales provenientes del servomotor, de esta forma podemos controlar de forma precisa la velocidad, dirección, pulso, falla, partida y parada de marcha.

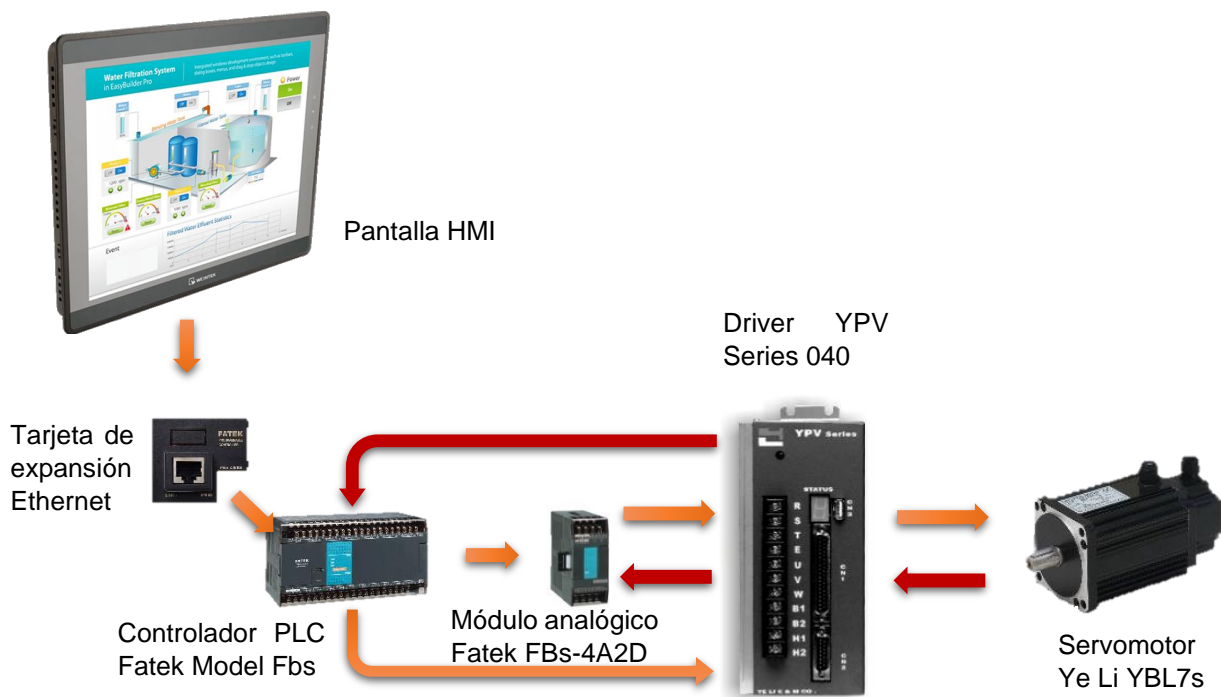


Ilustración 6.5: Lazo de control servomotor - driver YPV

6.2.4 Controlador de flujo másico Aalborg GFC 17

Los controladores de flujo másico térmico, modelo GFC, han sido diseñados para indicar y controlar los volúmenes de flujo predeterminados de los gases de trabajo. El diseño robusto, en combinación con su precisión de grado instrumentación, ofrece un medio versátil y económico para el control del flujo.

Para la medición y control del flujo se utilizan dos trayectos de flujo laminares. Uno es el conducto de flujo primario y en el otro se encuentran dos devanados sensores de temperatura, diseñados a precisión sobre el tubo sensor y cuando haya flujo, el gas transporta el calor desde el devanado corriente arriba hasta el devanado corriente abajo. La temperatura diferencial que resulta es proporcional al cambio en la resistencia de los devanados sensores. Así se usa un puente de Wheatstone para monitorear la gradiente de resistencia dependiente en la temperatura de los devanados sensores, la cual es linealmente proporcional a la relación de flujo instantánea. (Ilustración XX)

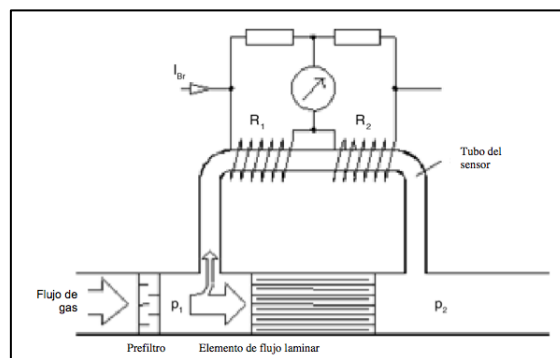


Ilustración 6.6: Diagrama de funcionamiento

Tabla 6.3: Características técnicas controlador de flujo másico

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Precisión	±1.0% (Rango 0-100%)
Repetibilidad	±0.25% de escala plena
Tiempo de respuesta	2 seg.
Coefficiente de temperatura	0.15% de escala plena/°C
Coefficiente de presión	0.01% de la escala plena/psi (0.07 bars)
Optima presión del gas	25 psig (1.73 bars)
Máxima presión del gas	1000 psig (70 bars)
Relación de eficiencia	40:1
Máx. presión diferencial del gas	50 psig
Temperatura de gas y del ambiente	0-50°C (Gas), -10-50°C(Ambiente)
Señal de salida	0-5 Vcd Lineal. Impedancia de carga 1000 Ohms min. Resistencia de bucle de 4-20 mA 0-500 Ohms. Ruido máximo ±20mV.
Conectores	Conector de compresión 1/4"
Alimentación	12 Vcd – 650 mA
Cumplimiento de normas CE	EN 55011, clase 1; Clase B, EN 50082-1

El controlador másico de flujo posee una señal de salida de 0-5 Vcd lineal, por lo tanto, es necesaria su interconexión con un módulo analógico para el procesamiento de sus señales y enviar las acciones necesarias de vuelta al flujómetro. El controlador PLC recibe la orden desde la pantalla HMI a través de la comunicación Ethernet y la entrega al módulo analógico.

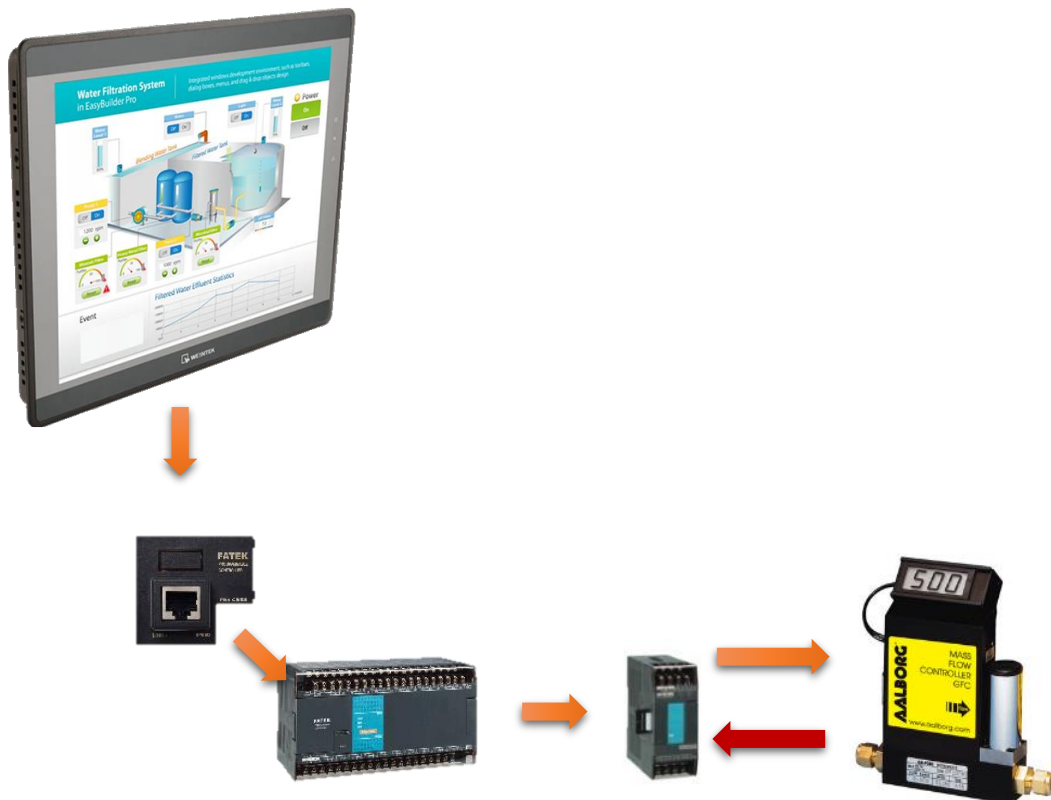


Ilustración 6.7: Lazo de control Flujómetro Aalborg

6.3 LAZOS DE CONTROL REGULATORIO

Los lazos de control regulatorio hacen referencia a todos los tipos de comunicación en bucle cerrado que nos permiten controlar las variables de proceso, compensando las perturbaciones de variación rápida afectando en menor medida la variable controlada principalmente. Esto nos permite mejorar la estabilidad de las variables de proceso. Este proceso se ve representado como se muestra en la figura XX y se encuentra presente en el control de las principales variables de afectan nuestro sistema de control. Se detallarán cada uno de ellos en base al diagrama principal.

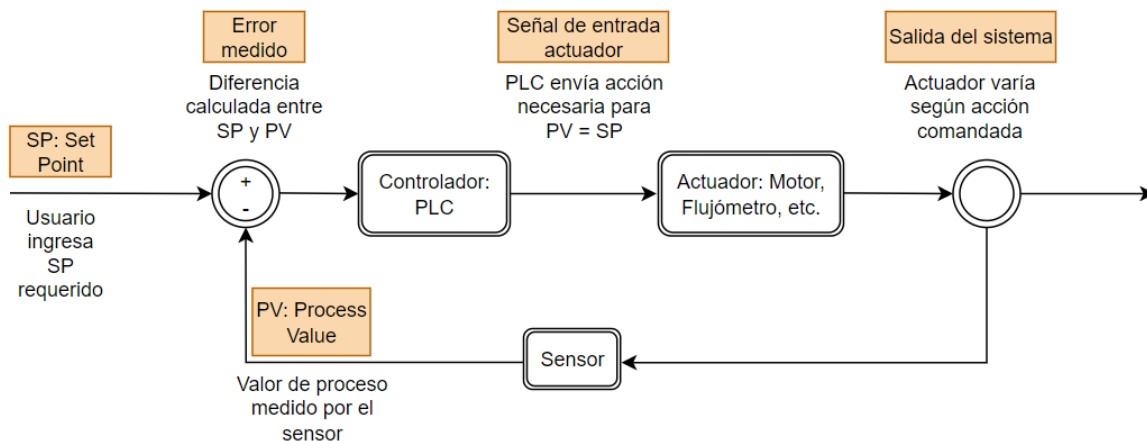


Ilustración 6.8: Diagrama de bucle cerrado

Para el preciso control y funcionamiento de las variables de proceso involucradas en el sistema se consideran los siguientes lazos de control regulatorio:

6.3.1 Volumen de Control (Nivel en Feed Tank)

El volumen de control hace referencia al valor instantáneo contenido en el FEED TANK en el momento t , el cual debe ser preciso, estable y con la capacidad de volver a su valor establecido ante cualquier perturbación en los flujos de entrada y salida del sistema. Una vez calibrado, el valor instantáneo de volumen se ingresa como PV al bloque PID este a través de su lógica proporcional integral y derivativa determina el valor de salida ajustando la velocidad de la bomba RPM_F_FTK.

La bomba tiene una velocidad mínima para evitar el embancamiento de pulpa en las mangueras lo que implica:

- que si no existe alimentación desde FEEDTANK hacia CFM el FEEDTANK se terminará rebalsando, esto solo ocurre en caso de fallas de bomba de alimentación a la CFM (FALLA_F_CFM).
- Si no existe alimentación desde HOLDING TANK hacia el FEEDTANK (bomba SON_F_FTK) el FEEDTANK se terminará vaciando.

El sistema tiene incorporado una alarma de proceso (Baliza de color azul) la cual se activará ante 3 posibles sucesos:

1. Error de PID (Valor ingresado incorrectamente)
2. Activación HAL ($PV > SP$). Si se mantiene esta condición durante 6 [min] (tiempo modificable) se activa la señal de alarma. (Umbral 500 [ml])

3. Activación LAL (PV<SP). Si se mantiene esta condición durante 6 [min] (tiempo modificable) se activa la señal de alarma. (Umbral 500 [ml])

6.3.2 Columna de Flotación

En la columna de flotación se incorporaron 2 transductores de presión de membrana capaces de medir la presión diferencial en 2 alturas seleccionadas convenientemente, con la finalidad de obtener el nivel de espuma presente en ella. Para esta situación se utiliza en siguiente sistema de ecuaciones:

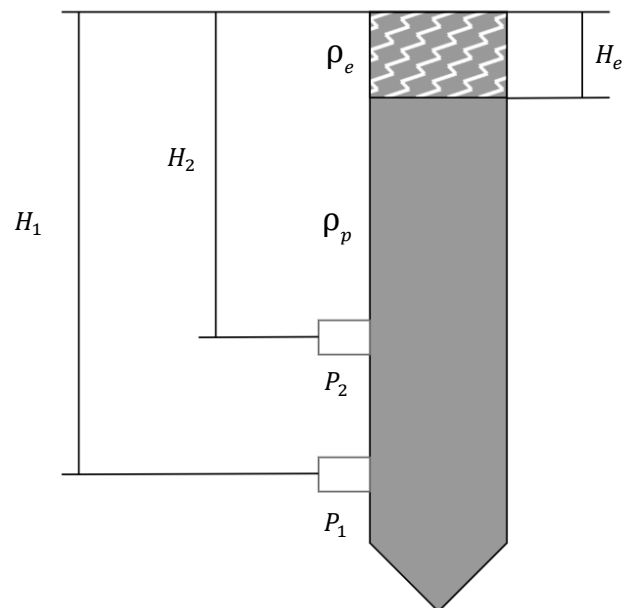
$$P_1 = (H_1 - H_e)\rho_p g + H_e \rho_e g$$

$$P_2 = (H_2 - H_e)\rho_p g + H_e \rho_e g$$

$$\rho_p = \frac{P_1 - P_2}{(H_1 - H_2)g}$$

Por lo tanto, se tiene que

$$H_e = \frac{H_1 \rho_p - P_1}{(\rho_p - \rho_e)g}$$



La variable correspondiente a la altura obtenida anteriormente H_e que comprende del borde superior de la columna hasta el límite superior de la pulpa, calculada en mmH₂O se ingresa como PV al bloque PID, este a través de su lógica proporcional integral y derivativa determina el valor de salida ajustando la velocidad de la bomba de cola RPM_{LC_C}F. La bomba tiene una velocidad mínima para evitar el embancamiento de pulpa en las mangueras. Lo que implica que si no existe alimentación de pulpa hacia la columna esta se terminara vaciando.

El sistema tiene incorporado una alarma de proceso (Baliza de color VERDE) la cual se activará ante 3 posibles sucesos:

1. Error de PID (Valor ingresado incorrectamente)
2. Activación HAL (PV>SP). Si se mantiene esta condición durante 6 [min] (tiempo modificable) se activa la señal de alarma. (Umbral 2% SP)
3. Activación LAL (PV<SP). Si se mantiene esta condición durante 6 [min] (tiempo modificable) se activa la señal de alarma. (Umbral 2% SP)

6.3.3 Porcentaje de Sólidos

El porcentaje de sólidos es una de las principales variables de proceso que son de interés controlar e identificar en el sistema. Para este objetivo es necesario una correcta calibración como se indica en el apartado "CALIBRACIÓN".

El operador debe ingresar el valor deseado de porcentaje de sólidos que alimentará las celdas de flotación en CFM, con este valor se calcula la densidad de pulpa (Densidad de referencia) que ingresará al PID como SET POINT. El correcto cálculo de esta variable depende del ingreso de datos de gravedad específica del agua y gravedad específica de sólidos en el apartado de "CALIBRACIÓN GENERALES".

La densidad instantánea se obtiene a través de la masa y el volumen instantáneo en el FEED TANK. Este valor de densidad se ingresa como PV al bloque PID, este a través de su lógica proporcional integral y derivativa determina el valor de salida y ajusta la velocidad de la bomba de adicción de agua RPM_WF_FTK. Como es agua de proceso considerada como densidad 1, esta nos permitirá disminuir la densidad en la pulpa, más nunca aumentar.

El sistema tiene incorporado una alarma de proceso (Baliza de color ROJO) la cual se activará ante 3 posibles sucesos:

1. Error de PID (Valor ingresado incorrectamente)
2. Activación HAL ($PV > SP$). Si se mantiene esta condición durante 6 [min] (tiempo modificable) se activa la señal de alarma. (Umbral 2% SP)
3. Activación LAL ($PV < SP$). Si se mantiene esta condición durante 6 [min] (tiempo modificable) se activa la señal de alarma. (Umbral 2% SP)

6.3.4 pH Feed Tank

Una vez calibrado los electrodos de pH (lazo 4-20 mA) se debe realizar la calibración digital en pantalla HMI "CALIBRACIONES GENERALES". Controles de pH dependen de "STAR ENGINE" para habilitar su posible funcionamiento.

El operador ingresa el valor de pH deseado (SET POINT). Es necesario considerar que el formato de ingreso debe contener los siguientes dígitos como se muestra en el ejemplo: pH 7 = pH 7.00, pH 10.5 = pH 10.50. La señal de pH (FB_PH_FTK) ingresa como PV al bloque PID, este a través de su lógica proporcional integral y derivativa determina el valor de salida ajustando la velocidad de la bomba de adicción de lechada de cal RPM_PH_FTK. Entonces entre el valor de pH establecido y el valor medido se adiciona lechada de cal para regular este valor. La lechada de cal debe ser preparada con una concentración entre un 5% y 10%, ya que como esta bomba no está operativa todo el tiempo de funcionamiento, puede embancarse el líquido en las manqeras.

Acá se mide el pH en la salida del FEED TANK hacia la CFM, con un electrodo ubicado en la zona superior del Feed Tank.

El sistema tiene incorporado una alarma de proceso (Baliza de color AMARILLO) la cual se activará ante 3 posibles sucesos:

1. Error de PID (Valor ingresado incorrectamente)
2. Activación HAL ($PV > SP$). Si se mantiene esta condición durante 6 [min] (tiempo modificable) se activa la señal de alarma. (Umbral 0.5 pH)
3. Activación LAL ($PV < SP$). Si se mantiene esta condición durante 6 [min] (tiempo modificable) se activa la señal de alarma. (Umbral 0.5 pH)

6.3.5 pH CFM

Una vez calibrado los electrodos de pH, este valor se ingresa como PV al bloque PID, este a través de su lógica proporcional integral y derivativa determina el valor de salida y se ajusta la velocidad de la bomba de adición de lechada de cal SON_PH_CFM. Por lo tanto, entre el valor de ph establecido y el valor medido se adiciona lechada de cal para regular la alcalinidad. La lechada de cal debe ser preparada con una concentración entre un 5% y 10%, ya que como esta bomba no está operativa todo el tiempo de funcionamiento, puede embancarse el líquido en las manqueras.

Acá se mide el pH en la celda de flotación que se considere de interés CFM, con un sensor electrodo portátil y disponible para realizar la medición en cualquier celda de interés. Control y medición se deben realizar en la misma celda, considerando la adición de cal a esta misma.

El sistema tiene incorporado una alarma de proceso (Baliza de color AMARILLO) la cual se activará ante 3 posibles sucesos:

1. Error de PID (Valor ingresado incorrectamente)
2. Activación HAL (PV>SP). Si se mantiene esta condición durante 6 [min] (tiempo modificable) se activa la señal de alarma. (Umbral 0.5 pH)
3. Activación LAL (PV<SP). Si se mantiene esta condición durante 6 [min] (tiempo modificable) se activa la señal de alarma. (Umbral 0.5 pH)

6.4 MODOS DE OPERACIÓN

Se describen de forma genérica los modos de operación de los equipos existentes, sus elementos de control, tipos de comandos y elementos de accionamiento finales para cada caso. Para el caso del sistema general el modo de operación es local comandado a través de instrucciones establecidas en la pantalla HMI y sus diferentes pantallas.

6.4.1 Motor Eléctrico (Molino Bulk)

Posee un MODO DE OPERACIÓN MANUAL con DETENCIÓN PROGRAMADA accionado mediante comandos dispuestos en pantalla de control HMI sección "REMOLIENDA". Incluye partida y parada, regulador de velocidad RPM, regulador de tiempo de funcionamiento

- Comandos locales
 - Parada de emergencia
 - Partir/parar local
- Comandos en pantalla HMI
 - Botonera virtual partir/parar
 - Selector tiempo de funcionamiento
 - Señalización de tiempo en operación
 - Señalización de funcionamiento
 - Selector velocidad de giro RPM
 - Señalización de velocidad de giro instantánea
 - Señalización de parada de emergencia local
 - Señalización de falla

6.4.2 Servomotor (Tanque acondicionador)

Posee un MODO DE OPERACIÓN MANUAL accionado mediante comando dispuesto en pantalla de control HMI sección “% SOLIDO”, Incluye partida y parada, regulador de velocidad RPM, botonera “RESET” de fallas.

- Comandos locales
 - No posee
- Comandos en pantalla HMI
 - Botonera virtual Partir/Parar
 - Selector de velocidad de funcionamiento RPM
 - Señalización de funcionamiento
 - Señalización de velocidad de giro instantánea
 - Señalización de alerta de falla
 - Botonera virtual “RESET” de fallas

6.4.3 Feed Tank

Posee un MODO DE OPERACIÓN AUTOMATICA accionado mediante comando de partida general de equipo CFM en pantalla de control HMI sección “% SOLIDO”, incluye ingreso de porcentaje de sólidos, velocidad de giro RPM para bomba de traspaso y agitación.

- Comandos locales
 - Parada de emergencia
- Comandos en pantalla HMI
 - Selector de velocidad de funcionamiento RPM servomotor agitación
 - Señalización de velocidad de giro instantánea agitación
 - Alerta de falla servomotor de agitación
 - Señalización de flujo de agua proceso (porcentaje)
 - Señalización de funcionamiento agua de proceso
 - Alerta de fallas en flujo de agua de proceso
 - Botonera virtual “RESET” de fallas en flujo agua de proceso
 - Señalización de funcionamiento flujo de pulpa
 - Señalización de flujo de pulpa desde acondicionador a Feed Tank (L/min)
 - Alerta de fallas en flujo de pulpa
 - Botonera virtual “RESET” de fallas en flujo de pulpa a Feed Tank
 - Selector de concentración de sólidos (CP Referencia)
 - Señalización de densidad de pulpa (dP Referencia)
 - Señalización de volumen de pulpa (VP instantáneo)
 - Señalización de masa de pulpa (Masa instantáneo)
 - Señalización de concentración de sólidos (CP instantáneo)
 - Señalización de densidad de pulpa (dP instantáneo)
 - Selector de velocidad de giro bomba de traspaso pulpa desde Feed Tank a CFM
 - Señalización de flujo de pulpa desde Feed Tank a CFM (mL/min)
 - Señalización de PH instantáneo de pulpa en Feed Tank
 - Señalización de nivel de pulpa en Feed Tank

6.4.4 Control pH (Feed Tank / CFM)

Pestaña de selección llamada “CONTROL PH”, diseñada para controlar el set point de pH en el Feed Tank y CFM. Presenta gráficos de referencia para la variación del pH en el tiempo, quedando registrado en memoria del equipo. Adicionalmente se considera la posibilidad de sintonía para un nivel usuario “programador”.

6.4.4.1 Control pH Feed Tank

- Comandos locales
 - No posee
- Comandos en pantalla HMI
 - Botonera virtual partir/parar
 - Señalización de funcionamiento lectura pH
 - Selector de Set Point pH Feed Tank
 - Señalización de pH instantáneo Feed Tank
 - Botonera virtual “RESET” falla lectura pH
 - Gráfico pH Feed Tank en el tiempo

6.4.4.2 Control pH CFM

- Comandos locales
 - No posee
- Comandos en pantalla HMI
 - Botonera virtual partir/parar
 - Señalización de funcionamiento lectura pH
 - Selector de Set Point pH CFM
 - Señalización de pH instantáneo CFM
 - Botonera virtual “RESET” falla lectura pH
 - Gráfico pH CFM en el tiempo

Para la visualización del pH en la bancada de celdas se cuenta con un espacio en la pestaña “ROUGHER” y “SCAVENGER” en el cual se puede ingresar el set point y visualizar el valor medido.

- Comandos en pantalla HMI
 - Selector Set Point pH de bancada
 - Señalización de pH instantáneo

6.4.5 Servomotores (Agitadores)

Posee un MODO DE OPERACIÓN MANUAL accionados mediante comando de partida de forma independiente. Están organizados en dos grupos, el primer grupo de agitadores de la celda 1 al 6 se encuentran en la pestaña llamada "ROUGHER" y el segundo grupo del 7 al 12 se encuentran en la pestaña denominada "SCAVENGER".

- Comandos locales
 - No posee
- Comandos en pantalla HMI
 - Botonera virtual partir/parar
 - Señalización de falla motor agitador
 - Botonera virtual "RESET" de falla
 - Selector Set Point velocidad de giro RPM agitadores

6.4.6 Paleteo

Posee una MODO DE OPERACIÓN MANUAL accionado mediante comando de partida de forma independiente para cada grupo de celdas. Las primeras seis paletas correspondientes a las celdas 1 a la 6, se encuentra en la pestaña "ROUGHER" y el segundo grupo del 7 al 12 se encuentran en la pestaña denominada "SCAVENGER".

- Comandos locales
 - No posee
- Comandos en pantalla HMI
 - Botonera virtual partir/parar
 - Señalización de falla motor paleteo
 - Botonera virtual "RESET" de falla
 - Selector Set Point velocidad de giro RPM paleteo

6.4.7 Control de Flujo Másico de aire en Celdas

Posee un MODO DE OPERACIÓN AUTOMATICA que se inicia junto con la partida general, se puede establecer el flujo másico de aire para cada celda de manera independiente. Esta organizado en dos grupos, los primeros 6 flujómetros correspondientes de la celda 1 a la 6 están ubicados en la pestaña "ROUGHER", para los siguientes seis flujómetros correspondientes a las celdas 7 a la 12 se encuentran en la pestaña "SCAVENGER".

- Control local
 - No posee
- Control en pantalla HMI
 - Selector de Flujo másico de aire

6.4.8 Molino de Remolienda (Vertimil)

Posee un MODO DE OPERACIÓN MANUAL operado a través de comandos virtuales en pantalla HMI en la ventana "REMOLIENDA". Tiene la capacidad de controlar los RPM de funcionamiento y graficar en línea la potencia suministrada al equipo.

- Control local
 - No posee
- Control en pantalla HMI
 - Botonera virtual partir/parar
 - Señalización de funcionamiento
 - Botonera virtual "RESET" de falla
 - Selector Set Point velocidad de giro RPM molino
 - Señalización de RPM instantáneo
 - Gráfico de potencia instantánea molino vertimil

6.4.9 Columna de Flotación

Posee un MODO DE OPERACIÓN MANUAL operado a través de comandos virtuales en pantalla HMI en la ventana "COLUMNA". Se presentan los valores de proceso como densidad de pulpa y flujo de aire. Además, considera la inspección del funcionamiento del motor de cola.

- Control local
 - No posee
- Control en pantalla HMI
 - Botonera virtual partir/parar
 - Selector Set Point altura en mm de pulpa
 - Señalización de valor de proceso en mm de pulpa
 - Selector de flujo de aire columna L/s
 - Gráfico de variable de proceso (altura) en el tiempo.
 - Selector de flujo de agua de lavado (rango 0-100%)
 - Señalización funcionamiento motor de cola
 - Botonera virtual "RESET" de falla

6.5 MODOS DE DETENCIÓN

Los modos de detención comprenden cualquier suceso o acción necesaria para que el sistema MPPM interrumpa sus funciones, ya sea de manera premeditada o por alguna falla inesperada. Los modos de detención presentes en el sistema son:

- Parada de emergencia general
- Parada de emergencia local molino
- Parada local virtual equipos
- Parada "STAR ENGINE" (incluye Feed Tank, pH, Bomba de pulpa)

6.6 CONTROL DE PROCESO

6.6.1 Molienda

6.6.1.1 Límite de batería

Comprende a los equipos e instrumentos ubicados en la zona de molienda desde el molino bulk hasta su salida en la bandeja de recepción.

6.6.1.2 Equipos principales

- Molino de bolas
- Motor reductor eléctrico
- Variador de frecuencia
- Sistema Piñón – Cadena
- Estructura de acero y bandeja de recepción

6.6.1.3 Instrumentos principales

Instrumento	Tag	Descripción
Sensor inductivo de proximidad	PLS_R_BULK	Sensor inductivo PL-4N que permite la medición de velocidad de giro del molino
Variador de frecuencia	SP_R_BULK	Identificación de variador para modificar velocidad de motor
	MON_BULK	Partida / Parada de molino
Controlador PLC	SN5	Identificación controlador PLC
Botoneras de emergencia	E_STOP_BULK	Identificación parada de emergencia local
	E_STOP_MPP	Identificación parada de emergencia global

6.6.1.4 Estrategias de control

El sistema de molienda será operado con el objeto de moler el mineral suficiente y generar la pulpa de proceso para cumplir con los planes de producción de la planta. El molino esta provisto de un reductor eléctrico controlado a través del dispositivo PLC, posee un sistema piñón - cadena para la transmisión al eje de rotación del molino.

La zona de molienda posee una estrategia de control tal que le permite variar la velocidad de giro mediante el ingreso de las RPM por parte del usuario, además del tiempo de funcionamiento en el formato de [minutos: segundos]. La velocidad se varía a través del variador de frecuencia y se rectifica el valor de velocidad midiendo las RPM de la rueda dentada en el sistema piñón – cadena con el sensor de inductivo de proximidad. El tiempo es controlado en pantalla mediante un indicador de “Tiempo de molienda” y se corrobora el tiempo restante en la pestaña “Tiempo en ejecución”, el cual posee un led indicador verde que se mantendrá prendido mientras el molino funcione. Su lógica de protección es implementada a través del controlador PLC y se conectan con el cableado de cobre entre ellos.

6.6.1.5 Secuencia de operación

Paso	Condición / Descripción	Delay	Acción / Comentario
1	<p>Verifique condiciones de molino antes de iniciar la marcha:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Botonera de parada de emergencia local desactivada • Botonera de parada de emergencia global desactivada • Transmisión piñón – cadena sin objetos obstructivos 	No	<ul style="list-style-type: none"> • Energizar planta MPPM • Energizar zona de molienda • Seleccionar SET POINT de velocidad (considere relación porcentual en función de las RPM)
2	<p>Inicio de operación: En primera instancia las labores deben ser realizadas manualmente</p>	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Ingreso de mineral, bolas y agua según procedimientos que correspondan (Procedimiento a cargo de operarios de manera manual)
3	<p>Inicio de operación: correspondiente al inicio de labores automatizadas</p>	No	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer tiempo de funcionamiento de molino. • Verificar SET POINT de velocidad.
4	Partida	No	<ul style="list-style-type: none"> • Presionar botonera de partida para iniciar la operación (Dirección M110 en control de pulpas) • Una señal verde indicará su correcto funcionamiento
5	Parada	Tiempo establecido	<p>La parada del motor se realizará cumplida una de estas condiciones, cualquiera ocurra primero:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fin del tiempo establecido • Accionar parada de emergencia local (E_STOP_BULK) • Accionar parada de emergencia global (E_STOP_MPP) • Accionar botonera ON / OFF (MON_BULK)

6.6.2 Admisión y Acondicionamiento de pulpa

6.6.2.1 Límite de batería

La admisión y acondicionamiento de pulpa comprende el proceso desde que ingresa la pulpa de trabajo al tanque acondicionador (HOLDING TANK), este proceso puede ser realizado de manera manual o con una bomba auxiliar. Seguido consideramos el traspaso hacia el tanque de alimentación a CFM (FEED TANK), incluyendo las bombas peristálticas necesarias para este proceso y sus respectivos equipos utilizados para medir las diferentes variables de proceso involucradas.

6.6.2.2 Equipos principales

- Tanque acero inoxidable *Holding tank*
- Agitadores y eje agitación *Holding tank*
- Servomotor de agitación *Holding tank*
- Tanque acrílico *Feed Tank*
- Agitadores y eje agitación *Feed Tank*
- Sensor de nivel
- Bombas peristálticas de traspaso
- Electrodo de pH
- Balanza de precisión
- Bomba peristáltica auxiliar de recirculación *Holding Tank*

6.6.2.3 Instrumentos principales

Instrumento	Tag	Descripción
Servo Motor Holding Tank	SON_A_HTK	Identificación de Servo motor de Holding Tank
	FALLA_A_AC	Falla Servo motor
	SON_A_AC	Partida de motor
	RPM_A_AC	Velocidad de giro (RPM)
Servo Motor Feed Tank	SON_A_FTK	Identificación de Servo motor de Feed Tank
	FALLA_A_FTK	Falla servo motor
	SON_A_FTK	Partida de motor
	RPM_A_FTK	Velocidad de giro (RPM)
Electrodo pH	FB_PH_FTK.Z	Identificación de electrodo pH
	SON_PH_FTK	Activar medición de pH
	FALLA_PH_FTK	Falla en electrodo de pH
	SP_PH_FTK	Set Point de pH
Sensor de nivel	FB_LVL_FTK.Z	Identificación del sensor de nivel
Balanza de precisión	MASS_R_FTK	Identificación de balanza de precisión (masa relativa)
Bomba peristáltica Feed Tank a CFM	SON_F_CFM	Identificación de bomba peristáltica
	PLS_F_CFM	Pulso
	DIR_F_CFM	Dirección
	RPM_F_CFM	Velocidad
Bomba peristáltica Holding Tank a Feed Tank	SON_F_FTK	Identificación de bomba peristáltica
	FALLA_F_FTK	Falla de bomba
	RPM_F_CFM	Velocidad (determinada por PID Control de volumen)
	SON_WF_FTK	Identificación de bomba peristáltica

Bomba peristáltica agua a Feed Tank	FALLA_WF_FTK	Falla de bomba
	RPM_WF_FTK	Velocidad (determinada por PID Control de sólidos en Feed Tank)
Controlador PLC	SN5	Identificación controlador PLC

6.6.2.4 Estrategias de control

La admisión de pulpa al HOLDING TANK generalmente se realizará de manera manual o de forma asistida mediante la utilización de bombas de traspaso según consideraciones del operario. Su funcionamiento es de manera independiente y solo depende de la parada de emergencia global, su accionamiento se realiza a través de la botonera virtual en la pantalla de control HMI, con la posibilidad de regular su velocidad en RPM. Este estará encargado de mantener la pulpa de trabajo en agitación, homogenizada y evitando la segregación y el estancamiento del material particulado.

El proceso continua con el traspaso de la pulpa hacia el FEED TANK, recipiente de 5 [L] aproximadamente fabricado en acrílico, diseñado para acondicionar la pulpa previo al traspaso al banco de celdas de la CFM. En esta etapa se podrá controlar la concentración de solidos el cual no debe ser superior a 5% del valor de trabajo deseado para operar en las celdas de flotación. Los agitadores, sensor de nivel y balanza de precisión tienen una partida automática anclada al lazo de control general del sistema, el cual se acciona mediante el botón “STAR ENGINE” en la pantalla HMI. El control de porcentaje de solidos se realiza mediante el cálculo de la densidad instantánea de la pulpa de proceso, la cual es obtenida de la masa presente en el instante “t” y el volumen presente según indica el sensor de nivel y la configuración geométrica invariable del recipiente. Se adicionará agua de proceso para acerca el valor de proceso PV al SP establecido.

El acondicionamiento de la alcalinidad de la pulpa se realiza mediante la adición de una lechada de cal previamente preparada, generalmente se debe considerar una proporción entre el 5 % – 10%, esto con el fin de evitar el estancamiento de la lechada en las tuberías de traspaso. Luego de regular el SP deseado de pH en la pulpa, el lazo de control regulatorio determinará la cantidad de lechada que ingresará al FEED TANK para regular su pH.

Cuando los parámetros de control sean los adecuados y se mantengan estables en el tiempo se considera el traspaso de esta pulpa hacia la primera celda de la CFM mediante las bombas de traspaso peristálticas.

6.6.2.5 Secuencia de operación

Paso	Condición / Descripción	Delay	Acción / Comentario
1	<ul style="list-style-type: none"> SON_A_AC debe estar en estado lógico OFF E_STOP_MPP debe estar en estado lógico OFF Verifique condiciones físicas 	No	Para iniciar es necesario energizar todo el sistema en el tablero eléctrico y panel de control PLC.
2	Realizar calibración de equipos según procedimientos detallados.	N/A	Calibrar los siguientes equipos: <ul style="list-style-type: none"> MASS_R_FTK FB_LVL_FTK.Z FB_PH_FTK.Z Nivel / Volumen / Masa (FEED TANK) Nota: Verifique si es necesario calibrar columna de flotación (FB_P1_CF / FB_P2_CF)
3	Ingreso datos generales	No	Ingresar densidad del agua y gravedad específica del mineral en pestaña "GENERALES" <ul style="list-style-type: none"> Densidad se almacena en dispositivo "Control Pulpas", Dirección: R248 Gravedad específica se almacena en dispositivo "Control Pulpas", Dirección: R245
4	Inicio de operación	No	Inicio de agitación y funcionamiento de servo motor "SON_A_FTK" luego de presionar el botón virtual "STAR ENGINE" perteneciente a dispositivo "Control Pulpas" dirección: M0.
5	Selector de velocidad de agitación	No	Se establece un recuadro para leer y escribir velocidad de giro de motor agitación en FEED TANK "SON_A_FTK", se utilizan direcciones diferentes para cada caso, pero pertenecen al mismo dispositivo "Control Pulpas". <ul style="list-style-type: none"> Leer R96 Escribir R72
6	Parada	No	La parada del sistema se realizará cumplida una de estas condiciones, cualquiera ocurra primero: <ul style="list-style-type: none"> Presionar botonera virtual "STAR ENGINE" DIRECCIÓN: M0 Activación de parada de emergencia E_STOP_MPP

6.6.3 Banco de celdas de flotación (CFM)

6.6.3.1 Límite de batería

El proceso de flotación propiamente tal se realiza en el área del banco de celdas de flotación, este comienza desde el ingreso de la pulpa a la primera celda que se encuentra seguido al FEED TANK y su paso a través de una de las 11 celdas contiguas que forman parte de las diferentes etapas; *rougher*, *scavenger* o *cleaner*. Adicionalmente, para permitir el flujo del fluido se cuenta con bombas de traspaso peristálticas, las cuales no son parte del proceso automatizado y deben ser operadas manualmente. Cada una de las celdas posee un agitador (Impeller) para permitir la correcta homogenización de la pulpa, y un flujómetro particular que permite el ingreso controlado del aire para producir las burbujas necesarias. Se considera el control de pH en celda con un electrodo móvil que permite ser insertado en cualquiera de estas.

6.6.3.2 Equipos principales

- Agitadores de pulpa – Impeller
- Servomotores para agitadores
- Teclé de bancada
- Bombas peristálticas de traspaso
- Selectores manuales de bombas de traspaso
- Servomotores de paleteo
- Bomba ingreso cal
- Flujómetros de aire
- Celdas de flotación acrílico
- Paletas de flotación caucho
- Motor paleteo

6.6.3.3 Instrumentos principales

Instrumento	Tag	
	Entrada	Set Point
Flujómetro de aire celda 1	FB_FMLT_1Z	SP HMI FLMT-1
Flujómetro de aire celda 2	FB_FMLT_2Z	SP HMI FLMT-2
Flujómetro de aire celda 3	FB_FMLT_3Z	SP HMI FLMT-3
Flujómetro de aire celda 4	FB_FMLT_4Z	SP HMI FLMT-4
Flujómetro de aire celda 5	FB_FMLT_5Z	SP HMI FLMT-5
Flujómetro de aire celda 6	FB_FMLT_6Z	SP HMI FLMT-6
Flujómetro de aire celda 7	FB_FMLT_7Z	SP HMI FLMT-7
Flujómetro de aire celda 8	FB_FMLT_8Z	SP HMI FLMT-8
Flujómetro de aire celda 9	FB_FMLT_9Z	SP HMI FLMT-9
Flujómetro de aire celda 10	FB_FMLT_10Z	SP HMI FLMT-10
Flujómetro de aire celda 11	FB_FMLT_11Z	SP HMI FLMT-11
Flujómetro de aire celda 12	FB_FMLT_12Z	SP HMI FLMT-12

Instrumento	Tag				
	On / Off	Velocidad	Falla	Pulso	Dirección
Motor agitador celda 1	SON_A1_CFM	RPM_A1_CFM	FALLA_A1_CFM	PLS_A1_CFM	DIR_A1_CFM
Motor agitador celda 2	SON_A2_CFM	RPM_A2_CFM	FALLA_A2_CFM	PLS_A2_CFM	DIR_A2_CFM
Motor agitador celda 3	SON_A3_CFM	RPM_A3_CFM	FALLA_A3_CFM	PLS_A3_CFM	DIR_A3_CFM
Motor agitador celda 4	SON_A4_CFM	RPM_A4_CFM	FALLA_A4_CFM	PLS_A4_CFM	DIR_A4_CFM
Motor agitador celda 5	SON_A5_CFM	RPM_A5_CFM	FALLA_A5_CFM	PLS_A5_CFM	DIR_A5_CFM
Motor agitador celda 6	SON_A6_CFM	RPM_A6_CFM	FALLA_A6_CFM	PLS_A6_CFM	DIR_A6_CFM
Motor agitador celda 7	SON_A7_CFM	RPM_A7_CFM	FALLA_A7_CFM	PLS_A7_CFM	DIR_A7_CFM
Motor agitador celda 8	SON_A8_CFM	RPM_A8_CFM	FALLA_A8_CFM	PLS_A8_CFM	DIR_A8_CFM
Motor agitador celda 9	SON_A9_CFM	RPM_A9_CFM	FALLA_A9_CFM	PLS_A9_CFM	DIR_A9_CFM
Motor agitador celda 10	SON_A10_CFM	RPM_A10_CFM	FALLA_A10_CFM	PLS_A10_CFM	DIR_A10_CFM
Motor agitador celda 11	SON_A11_CFM	RPM_A11_CFM	FALLA_A11_CFM	PLS_A11_CFM	DIR_A11_CFM
Motor agitador celda 12	SON_A12_CFM	RPM_A12_CFM	FALLA_A12_CFM	PLS_A12_CFM	DIR_A12_CFM

Instrumento	Tag				
	On / Off	Velocidad	Falla	Pulso	Dirección
Motor Paleteo celdas 1 - 6	SON_R_PLTO N°1	RPM_R_PLTO N°1	FALLA_R_PLTO N°1	PLS_R_PLTO N°1	DIR_R_PLTO N°1
Motor Paleteo celdas 7 - 12	SON_R_PLTO N°2	RPM_R_PLTO N°2	FALLA_R_PLTO N°2	PLS_R_PLTO N°2	DIR_R_PLTO N°2

Instrumento	Tag	Descripción
Bomba adición de cal	SON_PH_CFM	Identificación de bomba peristáltica de adición de cal
	FALLA_PH_CFM	Falla bomba peristáltica
	RPM_PH_CFM	Velocidad de giro (RPM)
Electrodo pH celdas	FB_PH_CFM.Z	Identificación de transmisor de electrodo pH
	SON_PH_CFM	Partida de medición
	FALLA_PH_CFM	Falla en la medición
	SP_PH_CFM	Set Point
Controladores PLC	SN5	Controlador N°5
	SN4	Controlador N°4
	SN3	Controlador N°3
	SN2	Controlador N°2
	SN1	Controlador N°1

6.6.3.4 Estrategias de control

El circuito por realizar entre las diferentes etapas de flotación está a cargo del operario, quien previamente deberá realizar las conexiones adecuadas a su configuración. El traspaso se realizará mediante bombas peristálticas con controladores manuales para su velocidad y sentido de giro. En esta sección se utilizan todos los controladores PLC que, junto con sus lazos de control regulatorio, se encargan de igualar los valores de proceso al *set point* establecido, con una precisión, rapidez y efectividad suficiente para permitir las pruebas de laboratorio fiables.

Generalmente la primera celda de agitación se utiliza como celda de reacondicionamiento, en la cual se inspecciona el burbujeo, agitación y recolección de espuma, antes de extender el proceso hacia las demás celdas contiguas. Por esta razón cada celda tiene la capacidad de funcionar por separado controlando las RPM de giro de agitación y la cantidad de aire a ingresar. Se deben ingresar los parámetros deseados y dar inicio con un botón virtual situado en la pantalla HMI y diferenciado para cada Impeller. La recolección de espuma esta encargada del paleteo en dos grupos; desde el 1 - 6 y de 7 - 12. Ambos poseen un botón diferenciado para el inicio de su marcha.

6.6.3.5 Secuencia de operación

Paso	Condición / Descripción	Delay	Acción / Comentario
1	<p>Active bomba peristáltica de traspaso desde FEED TANK hacia CFM</p> <ul style="list-style-type: none"> SON_F_CFM estado lógico ON Regular manualmente altura de compuerta trasera 	No	<p>Inicio de traspaso a primera celda de flotación, generalmente se utilizará para estudiar el comportamiento de la pulpa, burbujas y espuma, antes de continuar al ciclo completo.</p>
2	<p>Inicio de operación controlada</p> <ul style="list-style-type: none"> Establecer RPM (RPM_A1_CFM) de giro agitador 1 (SON_A1_CFM) Establecer Set point (SP HMI FLMT-1) para Flujo de aire (FB_FMLT_1Z) celda 1 Utilizar control manual de tecla de bancada para posicionar agitadores 	No	<p>Active el funcionamiento del agitador de la celda 1, flujómetro de celda 1, paleteo sección 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> SON_A1_CFM estado lógico ON FB_FMLT_1Z estado lógico ON SON_R_PLTO N°1 estado lógico ON
3	<p>Inicio de operación continua. Considere la disposición de bandejas receptoras de espuma según configuración deseada</p>	No	<p>Inicio de funcionamiento Bombas peristálticas de traspaso, bajo las siguientes consideraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Bombas de control manual Se recomienda establecer todas en su velocidad máxima Sentido de giro de bombas según corresponda
4	<p>Inicio de operación agitadores y flujo de aire de las celdas a ocupar, siendo N el número correspondiente a la celda N.</p> <ul style="list-style-type: none"> Establecer RPM (RPM_AN_CFM) Establecer Set point (SP HMI FLMT-N) para flujo de aire (FB_FMLT_NZ) 	No	<p>Active el funcionamiento de los agitadores de las celdas N, flujómetros de celdas N, paleteo sección 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> SON_AN_CFM estado lógico ON FB_FMLT_NZ estado lógico ON SON_R_PLTO N°2 estado lógico ON
5	Parada	No	<p>La parada del sistema se realizará cumplida una de estas condiciones, cualquiera ocurra primero:</p> <ul style="list-style-type: none"> Presionar botonera virtual "STAR ENGINE" DIRECCIÓN: M0 Activación de parada de emergencia E_STOP_MPP

6.6.4 Remolienda (molino vertimil)

6.6.4.1 Límite de batería

El proceso de remolienda comprende desde el ingreso de la pulpa de las celdas de flotación al molino vertical para terminar su proceso de remolienda y volver a la celda de flotación correspondiente con la ayuda de una bomba de traspaso peristáltica.

6.6.4.2 Equipos principales

- Molino de remolienda
- Servomotor de giro
- Bolas de acero 1/4" (6 mm)
- Eje y pasadores de agitación

6.6.4.3 Instrumentos principales

Instrumento	Tag	Descripción
Servomotor	S_ON_VTML	Inicio e identificación de servomotor
	PLS_R_VTML	Pulso servomotor
	RPM_VTML	Velocidad de giro (RPM)
	DIR_R_VTML	Dirección
	FALLA_R_VTML	Falla de servomotor

6.6.4.4 Estrategias de control

La estrategia de control del molino de remolienda es de manera autónoma e independiente del proceso general de las celdas. El operario establece las RPM de funcionamiento y de inicio a la operación, antes debe procurar ingresar el gramaje correcto de bolas de acero y establecer las interconexiones de salida y entrada de pulpa. El sistema de control posee una alarma de falla por sobrecarga que protegerá el servomotor de giro ante algún atascamiento o desperfecto, evitando el sobrecalentamiento del embobinado. En la pantalla de control debe presionar el botón virtual "RESET" antes de reiniciar su marcha.

6.6.4.5 Secuencia de operación

Paso	Condición / Descripción	Delay	Acción / Comentario
1	<p>Verifique alineación de agitadores antes de ingreso de pulpa, los siguientes valores lógicos se deben cumplir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • S_ON_VTML estado lógico OFF • Dirección R75 debe estar en cero (Ingreso de SP RPM) • Dirección R75 debe estar en cero (Valor de PV RPM) 	No	<p>Se deben ingresar la velocidad de giro en RPM del motor de agitación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • RPM_VTML = velocidad de giro <p>Presione la botonera virtual ON / OFF para dar inicio al giro</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dirección M16 estado lógico ON

	<ul style="list-style-type: none"> Realice un doble toque en zona de grafico “Potencia de molino vertical”, para centrar la medición. 		
2	<p>Operación controlada</p> <ul style="list-style-type: none"> Indicador verde permanecerá en estado lógico ON – Dirección Y14 	No	El gráfico “Potencia molino vertical” nos entregará el cambio de potencia en el tiempo, utilizada por el operario para comprender el proceso de molienda.
3	Parada de operación		<p>El sistema se detendrá ocurrida cualquiera de las siguientes situaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Accionar parada de emergencia global (E_STOP_MPP) Accionar botonera ON / OFF (S_ON_VTML) Dirección M16 estado lógico OFF

6.6.5 Columna de flotación

6.6.5.1 Límite de batería

La zona de columna de flotación da comienzo desde el ingreso de la pulpa a través de una bomba de traspaso peristáltica pasando por la columna y reingresando la pulpa de interés hacia las celdas de flotación, terminando su proceso por la salida del relave.

6.6.5.2 Equipos principales

- BOMBA DE COLA
- SENSOR DE PRESION 1
- SENSOR DE PRESION 2
- BOMBA DE LAVADO

6.6.5.3 Instrumentos principales

Instrumento	Tag	Descripción
Servomotor de bomba de cola	SON_LC_CF	Inicio e identificación de servomotor
	RPM_LC_CF	Velocidad de giro (RPM, Determinada por PID "Control de nivel")
	SP_LC_CF	Set Point de nivel (Desde el borde superior de columna hasta altura de interfase)
	FALLA_LC_CF	Falla de servomotor
Transductor de presión 1	FB_P1_CF	Identificación de transductor de presión 1
Transductor de presión 2	FB_P2_CF	Identificación de transductor de presión 2
Bomba peristáltica de lavado	BON_WW_CF	Identificación de bomba
	SP_WW_CF	Set Point

6.6.5.4 Estrategias de control

La estrategia de control utilizada en la columna de flotación comprende la utilización de dos sensores transductores de presión ubicados a una distancia de 15 [cm] entre ellos, los cuales se utilizan para identificar el nivel de espuma existente en la columna en el instante t. Conocida la diferencia de presión se obtiene la altura que corresponde al PV en nuestro PID de control.

El operador ingresa el SET POINT del nivel de interfase y el algoritmo PID determina la velocidad de la bomba de cola para establecer un nivel de espuma que se requiera, bajo la siguiente lógica:

- Si $PV > SP$ la bomba aumenta su velocidad proporcionalmente.
- Si $PV < SP$ la bomba disminuye su velocidad proporcionalmente.
- Si $PV = SP$ la bomba mantiene un flujo mínimo constante, para evitar el embancamiento de mangueras. (Por lo tanto, si no hay ingreso constante de mineral, la columna terminará vaciándose)

6.6.5.5 Secuencia de operación

Paso	Condición / Descripción	Delay	Acción / Comentario
1	<p>Verifique alineación de agitadores antes de ingreso de pulpa, los siguientes valores lógicos se deben cumplir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • S_ON_VTML estado lógico OFF • Dirección R75 debe estar en cero (Ingreso de SP RPM) • Dirección R75 debe estar en cero (Valor de PV RPM) • Realice un doble toque en zona de gráfico "Potencia de molino vertical", para centrar la medición. 	No	<p>Se deben ingresar la velocidad de giro en RPM del motor de agitación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • RPM_VTML = velocidad de giro <p>Presione la botonera virtual ON / OFF para dar inicio al giro</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dirección M16 estado lógico ON
2	<p>Operación controlada</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indicador verde permanecerá en estado lógico ON – Dirección Y14 	No	<p>El gráfico "Potencia molino vertical" nos entregará el cambio de potencia en el tiempo, utilizada por el operario para comprender el proceso de molienda.</p>
3	Parada de operación		<p>El sistema se detendrá ocurrida cualquiera de las siguientes situaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accionar parada de emergencia global (E_STOP_MPP) • Accionar botonera ON / OFF (S_ON_VTML) Dirección M16 estado lógico OFF

ANEXOS

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)										
ELEMENTO / FUNCIÓN	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL				ACCIÓN CORRECTORA PROPUESTA	RESPONSABLE
		MODOS DE FALLO	EFECTO	CAUSA	G	F	D	IPR		
1. MOLIENDA										
Motor Eléctrico	1.1	Motor no se pone en marcha	No existe movimiento	Fusibles dañados	7	2	3	42	Sustituir los fusibles por otro similar y de las dimensiones correctas	Personal de mantenimiento
				Sobrecarga	8	2	4	64	Comprobar y restablecer los interruptores	Personal de mantenimiento
				Potencia disponible insuficiente	7	2	3	42	Comprobar si la potencia corresponde a la indicada en la placa del motor	Personal de mantenimiento
				Conexiones incorrectas o interrumpidas	8	2	4	64	Comprobar que las conexiones estén de acuerdo con el esquema de conexión del motor	Personal de mantenimiento
				Avería mecánica	5	4	5	100	Comprobar giro libremente. Comprobar los cojinetes y el lubricante	Personal de mantenimiento
				Rotor defectuoso	7	4	5	140	Verificar si existen barras o anillos rotos	Personal de mantenimiento
				Motor sobrecargado	7	3	3	63	Reducir la carga	Operario
	1.2	Motor no alcanza velocidad nominal	Funcionamiento defectuoso	Conexiones incorrectas	7	3	3	63	Una fase podría estar abierta. Comprobar conexión	Personal de mantenimiento
				Sobrecarga	7	3	3	63	Reducir la carga	Operario
				Tensión demasiado baja	7	3	4	84	Asegúrese de que el motor se alimenta con la correcta tensión de placa	Personal de mantenimiento

				Circuito abierto	7	3	4	84	Fusibles dañados, comprobar interruptores y relés	Personal de mantenimiento
	1.3	Rotación invertida	Sentido de giro incorrecto	Secuencia de fases errónea	2	2	1	4	Invertir dos fases	Personal de mantenimiento
	1.4	El motor vibra	Desgaste excesivo	Motor no alineado	7	4	4	112	Alinear motor	Personal de mantenimiento
				Cimentación débil	4	2	3	24	Reforzar cimentación	Personal de mantenimiento
				Junta no equilibrada	4	3	2	24	Equilibrar la junta	Personal de mantenimiento
				Máquina acoplada desequilibrada	7	4	2	56	Equilibrar la máquina acoplada	Personal de mantenimiento
				Cojinetes defectuosos	7	5	4	140	Sustituir cojinetes	Personal de mantenimiento
				Masas de equilibrio flojas	7	3	2	42	Equilibrar el rotor	Personal de mantenimiento
				Motor equilibrado de modo distinto a la junta	7	3	3	63	Equilibrar la junta o el motor	Personal de mantenimiento
				Motor trifásico que funciona con una sola fase	7	3	4	84	Comprobar las fases	Personal de mantenimiento
				Holgura excesiva	7	3	2	42	Sustituir el cojinete	Personal de mantenimiento
	1.5	Ruidos anómalos	Ruidos percibidos durante el funcionamiento,	El impulsor roza con la cubierta	8	2	2	32	Eliminar el contacto	Personal de mantenimiento
				Soporte flojo	6	3	3	54	Apretar los tornillos correspondientes	Personal de mantenimiento

			evidenciando posible falla	Entrehierro no uniforme	6	2	3	36	Comprobar y corregir la alineación de los cojinetes	Personal de mantenimiento
				Rotor no equilibrado	6	2	4	48	Equilibrar rotor	Personal de mantenimiento
	1.6	Cojinetes demasiado calientes	Desgaste excesivo y/o funcionamiento defectuoso	Árbol doblado o agrietado	8	3	3	72	Enderezar o sustituir el eje	Personal de mantenimiento
				Poleas demasiado lejos del tope del eje	4	3	3	36	Acercar la polea al tope del eje	Personal de mantenimiento
				Diámetro de polea demasiado pequeño	6	1	3	18	Usar poleas más grandes	Personal de mantenimiento
				Alineación incorrecta	6	3	4	72	Corregir la alineación del motor y de la máquina acoplada	Personal de mantenimiento
				Sobrecarga del cojinete	7	3	3	63	Comprobar la alineación del motor y de la máquina acoplada	Personal de mantenimiento
Bolas o pista del cojinete dañadas	8	4	3	96	Limpiar a fondo el alojamiento y sustituir el cojinete	Personal de mantenimiento				
Sistema Piñón - Cadena	1.7	Desgaste engrane	Remoción de metal en el adendo	Lubricación baja o al límite	5	7	3	105	Verificar adecuada lubricación	Personal de mantenimiento
				Lubricante contaminado	5	7	3	105	Verificar la presencia de partículas abrasivas en el lubricante	Personal de mantenimiento
				Cargas de vibración demasiado altas	7	5	2	70	Corroborar nivel de vibraciones del sistema	Personal de mantenimiento
	1.8	Fatiga superficial	Grietas en la superficie o cerca de ella	Esfuerzos repetitivos	8	3	3	72	Comprobar condiciones de diseño	Personal de mantenimiento

	1.9	Flujo plástico	Rebordes de altura irregular en los dientes, laminación o escamado.	Cargas de compresión elevadas	8	4	3	96	Comprobar condiciones de diseño	Personal de mantenimiento
				Vibraciones con cargas intermitentes altas	8	4	3	96	Comprobar condiciones de diseño	Personal de mantenimiento
	1.10	Rotura de dientes	Inhabilita el correcto funcionamiento del sistema	Sobrecargas	9	3	3	81	Disminuir cargas	Personal de mantenimiento
				Fatiga	9	3	3	81	Corroborar existencia de grietas y/o fisuras	Personal de mantenimiento
	1.11	Ruido excesivo	Funcionamiento incorrecto	Desalineación de las ruedas dentadas	8	4	4	128	Alinear ruedas dentadas	Personal de mantenimiento
				Tensado incorrecto de cadena	7	5	4	140	Verificar el correcto tensado de la cadena	Personal de mantenimiento
				Necesidad de lubricación	6	7	4	168	Aplique lubricante	Personal de mantenimiento
				Cadena seleccionada con un paso muy grande para la velocidad	7	4	3	84	Revise condiciones de diseño y rectifique paso adecuado	Personal de mantenimiento
				Ruedas con un bajo número de dientes	7	4	3	84	Revise condiciones de diseño y rectifique dientes adecuados	Personal de mantenimiento
	Manto Cilíndrico (Molino)	1.12	Fugas	Pérdida de carga de mineral, caída de revestimientos	Rotura o mal apriete de pernos	7	5	3	105	Verificar y corregir apriete de pernos. Reemplazar pernos cortados o con fallas
Sellos mal instalados					7	5	3	105	Reemplazar sellos defectuosos	Personal de mantenimiento

		Ruidos anormales	Desgaste prematuro y excesivo de revestimientos, rotura de bolas	Bajo nivel de carga mineral y nivel de bolas normal / Alto nivel de bolas, nivel de carga normal	6	5	3	90	Controlar nivel de carga de mineral para mantener proporción óptima. Controlar nivel de bolas óptimo para mantener proporción óptima	Operario
--	--	------------------	--	--	---	---	---	----	--	----------

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)										
ELEMENTO / FUNCIÓN	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL				ACCIÓN CORRECTORA PROPUESTA	RESPONSABLE
		MODOS DE FALLO	EFECTO	CAUSA	G	F	D	IPR		
2. TANQUE AGITADOR										
SERVOMOTOR	2.1	Motor no funciona	No existe movimiento	No hay electricidad	3	3	3	27	Verifique contactor y fuente de alimentación	Personal de mantenimiento
				Error de cableado de la unidad	3	3	4	36	Verifique conexiones de alimentación	Personal de mantenimiento
				Depuración defectuosa	4	4	5	80	Depurar correctamente la unidad y sus contactores	Personal de mantenimiento
	2.2	Error de retroalimentación	Errores de posición, dirección, velocidad	Pérdida de señal desde el <i>encoder</i>	5	5	5	125	Revisar código de falla en <i>encoder</i> o PLC	Operario
	2.3	Sobre corriente	Deterioro prematuro	Acoples desalineados	7	3	3	63	Alinear acoples de ejes	Personal de mantenimiento
				Falta de mantención general	7	4	4	112	Realizar mantención general	Personal de mantenimiento
				Sobrecarga	7	4	3	84	Revisar atascamientos u objetos obturadores	Personal de mantenimiento
	2.4	Motor no gira	No existe movimiento	Contacto del circuito de alimentación esta suelto	4	3	4	48	Ajuste tornillos y repare la mala conexión de los terminales. Verifique con multímetro.	Personal de mantenimiento
				Carga elevada	5	3	4	60	Elimine la carga o corrobore y solucione posible falla mecánica	Operario

				Voltaje de alimentación bajo	5	4	4	80	Corrobore y corrija la mala conexión	Personal de mantenimiento
				Cojinete atascado	5	4	4	80	Repare el cojinete	Personal de mantenimiento
	2.5	Motor no alcanza velocidad nominal	Funcionamiento defectuoso	Voltaje de alimentación bajo	5	4	4	80	Verifique voltaje de alimentación y mejore las condiciones	Personal de mantenimiento
				Conexión de motor incorrecta	6	3	4	72	Corrobore y corrija la mala conexión	Personal de mantenimiento
				Rotor presenta grietas o ranuras	8	2	6	96	Corrobore y repare el rotor	Personal de mantenimiento
				Bobinado está mal conectado	7	2	7	98	Corrobore y corrija la mala conexión	Personal de mantenimiento
				Aumento de numero de bobinas añadidas durante reparación	7	2	7	98	Reestablezca el número correcto de bobinas	Personal de mantenimiento
				El motor esta sobrecargado	8	4	4	128	Disminuya la carga	Operario
	2.6	El sonido del motor no es normal	Funcionamiento defectuoso y desgaste prematuro	Impuertas o abrasión en zona de lubricante	4	4	5	80	Cambio o limpie el cojinete	Personal de mantenimiento
				Falta de lubricación	5	5	5	125	Lubricar correctamente	Personal de mantenimiento

				Tensión muy alta o desbalance de tensión	5	3	4	60	Corrobore y ajuste la tensión de alimentación	Personal de mantenimiento
2.7	Vibración excesiva durante funcionamiento	Funcionamiento defectuoso y desgaste prematuro	Abrasión excesiva en cojinete	5	4	5	100	Corrobore y repare el cojinete	Personal de mantenimiento	
			Rotor desbalanceado	7	4	3	84	Corrija el balance	Personal de mantenimiento	
			Eje de rotación doblado	8	3	3	72	Rectifique o cambie eje	Personal de mantenimiento	
2.8	Cojinete sobrecalentado	Funcionamiento defectuoso y desgaste prematuro	Exceso o falta de lubricante	5	5	4	100	Corrija lubricación según norma	Personal de mantenimiento	
			Impuertas o abrasión en zona de lubricante	4	4	5	80	Realizar cambio de lubricante	Personal de mantenimiento	
			Anillos descentrados	5	3	4	60	Corrija ensamble de cojinete	Personal de mantenimiento	
			Selección de cojinete muy suelto o muy ajustado	5	2	5	50	Cambie por un nuevo cojinete	Personal de mantenimiento	
			El eje del motor está doblado	8	3	4	96	Corrija el eje del motor o reemplace rotor	Personal de mantenimiento	
2.9	Motor sobrecalentado	Desgaste prematuro	Tensión muy alta o desbalance de tensión	8	3	3	72	Regule el voltaje de alimentación	Personal de mantenimiento	
			Motor sobrecargado	8	5	3	120	Disminuya la carga	Personal de mantenimiento	

				Ausencia de alguna fase	7	3	3	63	Restaurar la operación de las 3 fases	Personal de mantenimiento
				Alta temperatura ambiente, suciedad o bloqueo de ingreso de aire	5	4	4	80	Limpie el motor y enfríe la temperatura ambiente	Operario
SOPORTE CON RODAMIENTO	2.10	Rodamiento sobrecalentado	Desgaste prematuro	Falta o exceso de lubricación	6	5	3	90	Realice lubricación correcta según norma	Personal de mantenimiento
				Sellos mal instalados	7	3	5	105	Corrobore apriete, alineación, lubricación y orientación correcta de sellos de soporte	Personal de mantenimiento
				Juego insuficiente en la operación	7	3	4	84	Redimensione el ajuste del eje o soporte	Personal de mantenimiento
				Carga incorrecta	7	4	3	84	Verifique las cargas, desalineación y posición del rodamiento.	Operario
	2.11	Ruidos excesivos	Funcionamiento incorrecto y desgaste prematuro	Contacto metal - metal	7	3	4	84	Verifique deslizamiento de elementos rodantes y lubricación	Personal de mantenimiento
				Contaminación	6	4	5	120	Revise caminos de rodadura y elimine contaminantes sólidos. Verifique contaminantes líquidos que reducen la viscosidad del lubricante	Personal de mantenimiento

				Ajustes demasiado flojos	5	3	4	60	Verifique la deformación de los aros y sujeción del soporte a estructura	Personal de mantenimiento
				Daño superficial	6	5	3	90	Revise desgastes abrasivos, muescas en camino de rodadura o estriado. Reemplace si es necesario	Personal de mantenimiento
				Rozamiento	7	5	3	105	Corrobore sellos. Acomode espaciadores y verifique arandelas de fijación	Personal de mantenimiento
	2.12	Niveles excesivos de vibración	Funcionamiento incorrecto y desgaste prematuro	Contacto metal - metal	7	3	4	84	Comprobar el correcto deslizamiento de elementos rodantes	Personal de mantenimiento
				Contaminación	6	4	4	96	Revise caminos de rodadura y elimine contaminantes sólidos. Verifique contaminantes líquidos que reducen la viscosidad del lubricante	Personal de mantenimiento
				Daño superficial	6	5	4	120	Revise desgastes abrasivos, muescas en camino de rodadura o estriado. Reemplace si es necesario	Personal de mantenimiento

				Ajustes demasiado flojos	5	5	4	100	Verifique la deformación de los aros y sujeción del soporte a estructura	Personal de mantenimiento
	2.13	Movimiento excesivo del eje	Funcionamiento incorrecto y desgaste prematuro	Soltura	5	4	5	100	Corroborar apriete de aros y rodamiento sobre el eje o soporte	Personal de mantenimiento
Daño superficial				6	4	4	96	Revise desgastes abrasivos, muescas en camino de rodadura o estriado. Reemplace si es necesario	Personal de mantenimiento	
Juego interno en el rodamiento				7	3	5	105	Verifique correcta instalación de rodamiento y controlar el juego axial	Personal de mantenimiento	

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)										
ELEMENTO / FUNCIÓN	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL				ACCIÓN CORRECTORA PROPUESTA	RESPONSABLE
		MODOS DE FALLO	EFECTO	CAUSA	G	F	D	IPR		
3. FEED TANK										
Tanque Acondicionador	3.1	Fugas	Pérdida de pulpa	Rotura de acrílico	7	4	2	56	Reparar acrílico	Personal de mantenimiento
				Rebalse del contenido	7	2	1	14	Verificar y controlar flujo de entrada de pulpa	Operario
Balanza Digital	3.2	Error de estabilidad	La balanza no se estabiliza	Vibraciones, corrientes, cambios de temperatura, electricidad estática y campos magnéticos	7	4	4	112	Corroborar las condiciones de funcionamiento y oprimir la tecla CAL para regresar al módulo de pesaje	Operario
	3.3	Error de peso de calibración	Balanza no se puede calibrar	Peso de calibración demasiado pesado o liviano	3	2	2	12	Confirme el peso de calibración. Oprima la tecla CAL para volver al módulo de pesaje	Operario
	3.4	Error de sobrecarga	Deterioro del equipo	Se colocó una muestra que excede la capacidad de pesaje de la balanza	7	3	2	42	Quite la muestra de la bandeja.	Operario
	3.5	Error de comunicaciones	Pérdida de conexión	Error en el protocolo de comunicación. Conexión interrumpida	4	7	4	112	Confirme el formato, velocidad de baudios y paridad	Personal de mantenimiento
	3.6	Auto calibración	Posibles errores en la medición	Descalibración a causa de cambios en la temperatura ambiente	6	2	4	48	Verificar si el indicador parpadea. Si la balanza no se usa mientras el indicador parpadea, la balanza está haciendo su auto calibración	Operario

Sensor de Nivel	3.7	Error de montaje	Sensor muestra un nivel elevado pese a que el depósito está vacío	No se ejecutó <i>AutCal.</i>	7	3	5	105	Ejecutar calibración y puesta en marcha.	Operario
	3.8	El valor del nivel fluctúa	Error de medición	Superficie del fluido no estable	3	3	3	27	Activar el filtrado	Operario
	3.9	El valor del nivel es mayor que la longitud de la sonda	Error de medición	Se parametrizó un offset en el valor del nivel	5	2	3	30	Adaptar el offset	Operario
				Parametrización incorrecta en la longitud de la sonda	6	2	3	36	Adaptar la longitud de la sonda	Operario
	3.10	El nivel salta en ocasiones a un valor mayor	Defectos en la medición	Suciedad en la zona de la conexión de proceso	7	4	4	112	Limpiar	Operario
				La bola de pulverización o la entrada mojan la sonda con fluido por encima de la superficie del fluido	5	3	3	45	Prestar atención a las condiciones de montaje. Parametrizar el filtro de plausibilidad <i>MaxCoL</i>	Operario
				Condiciones del entorno modificadas frente a la situación en el proceso <i>AutCal.</i>	3	3	4	36	Ejecutar de nuevo la calibración y puesta en marcha	Operario
				Formación intensa de espuma	2	2	1	4	Ejecutar la puesta en marcha con espuma	Operario

				TrsHld (Límite de la señal de interferencia) demasiado bajo seleccionado, el algoritmo de eco detecta reflexiones por interferencias (parásitos)	4	2	6	48	Aumentar <i>TrsHld</i> .	Operario
	3.11	El nivel salta en ocasiones a 0 [mm].	Mediciones interrumpidas	<i>TrsHld</i> demasiado alto seleccionado	2	2	6	24	Ejecutar la puesta en marcha ampliada	Operario
				Formación intensa de espuma	2	3	3	18	Ejecutar la puesta en marcha con espuma	Operario
Electrodo pH Ion Selectivo	3.12	Lecturas erróneas	Defectos en la medición	Presencia de contaminantes en unión	5	4	3	60	Limpiar la unión utilizando una solución de limpieza específica según aplicación.	Personal de mantenimiento
				Membrana sucia	6	3	3	54	Limpiar el electrodo de forma regular con una solución específica según aplicación	Operario
				Membrana seca	5	4	3	60	Rehidrate la membrana sumergiéndola en una solución de almacenamiento 2 - 3 horas.	Operario
				Electrolito agotado o contaminado	6	2	5	60	Llenar completamente el electrodo con electrolito (según referencia del electrodo) y en caso de contaminación, vaciar totalmente el electrolito interno y llenarlo con uno nuevo.	Operario
				Muestras con bajas conductividad	4	4	6	96	Use un electrodo que tenga aun índice de flujo de unión alto o agregue KCl de alta pureza para aumentar la conductividad	Operario

				Electrodo contaminado	5	4	5	100	Limpiar electrodo con un papel sin pelusa. Procure no causar acumulación de electricidad estática	Personal de mantenimiento
	3.13	Lecturas imprecisas	Defectos en la medición	Calibración incorrecta	3	4	5	60	Enjuagar el electrodo con agua destilada entre los tampones de calibración para evitar contaminación cruzada	Operario
				Calibrar y medir en diferentes temperaturas	3	5	5	75	Usar un medidor que tenga compensación de temperatura automática, o calibra y mida a la misma temperatura.	Operario

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)										
ELEMENTO / FUNCIÓN	FALL O N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL				ACCIÓN CORRECTORA PROPUESTA	RESPONSABLE
		MODOS DE FALLO	EFECTO	CAUSA	G	F	D	IPR		
4.CFM										
Cabezal Bomba Peristáltica	4.1	El rotor del cabezal no gira, pero si prenden luces piloto	No existe bombeo	Tubo roto que impide movimiento	7	4	3	84	Reemplazar tubo	Personal de mantenimiento
				Motor defectuoso	8	2	4	64	Realizar inspección y mantención a motor impulsor	Personal de mantenimiento
	4.2	El rotor gira, el tubo no está roto, pero no bombea el fluido	No existe bombeo	Tubo agotado, desgastado	8	4	4	128	Reemplazar tubo	Personal de mantenimiento
				Pared de tubo insuficiente	4	3	5	60	Instalar tubo adecuado	Personal de mantenimiento
				Depósito de alimentación vacío	3	2	2	12	Cargar el depósito	Personal de mantenimiento
				Incompatibilidad química del tubo	4	3	5	60	Elegir el tubo adecuado	Personal de mantenimiento
	4.3	Caudal por debajo del teórico	Funcionamiento deficiente	Viscosidad alta	3	2	6	36	Usar tubo de mayor diámetro	Personal de mantenimiento
				Circuito de bombeo excesivo	3	2	5	30	Acortar el circuito	Personal de mantenimiento
				Obstrucción interior en el tubo	4	4	6	96	Limpiar	Personal de mantenimiento
				Pared del tubo insuficiente	3	2	5	30	Instalar tubo adecuado	Personal de mantenimiento

				Alta contrapresión de descarga	3	2	5	30	Bajar contrapresión	Personal de mantenimiento			
				Incompatibilidad química del tubo	3	2	5	30	Elegir el tubo adecuado	Personal de mantenimiento			
				4.4	El tubo del cabezal se desplaza	Funcionamiento deficiente	Diámetro del tubo pequeño	4	2	5	40	Elegir el tubo adecuado	Personal de mantenimiento
							Instalación del tubo defectuosa	6	4	4	96	Revisar las fijaciones	Personal de mantenimiento
Controlador Másico de Flujo de Aire (Flujómetro)	4.5	No hay salida o lectura	Funcionamiento incorrecto	Sin alimentación	3	3	2	18	Comprobar la conexión de la fuente de alimentación	Personal de mantenimiento			
				Pantalla del filtro obstruida en la entrada	7	2	5	70	Limpiar o desmontar para eliminar impedimentos o sustituir	Personal de mantenimiento			
				Tubo de sensor ocluido	4	3	4	48	Limpiar o desmontar para eliminar los impedimentos, o reemplazar equipo	Personal de mantenimiento			
				Defecto de la placa de circuito impreso (PCB)	7	2	3	42	Reemplazar equipo	Personal de mantenimiento			
				Ajuste de válvula incorrecto	3	4	3	36	Reajuste válvula	Personal de mantenimiento			
	4.6	Lectura de flujo no coincide con el	Funcionamiento deficiente	Presión de gas inadecuada	8	4	4	128	Aplique la presión de gas adecuada	Operario			

	punto de referencia		Pantalla del filtro obstruida en la entrada	7	2	5	70	Limpiar o desmontar para eliminar impedimentos o sustituir	Personal de mantenimiento
			bucle de tierra	3	3	7	63	Señal y alimentación comunes son diferentes	Personal de mantenimiento
4.7	No hay respuesta al punto de referencia	Funcionamiento deficiente	Presión de gas inadecuada	8	4	4	128	Aplice la presión de gas adecuada	Operario
			Mal funcionamiento del cable o conector	7	3	5	105	Verifique los cables y todas las conexiones, sustituya si es necesario	Personal de mantenimiento
			El punto de referencia es demasiado bajo (<2% de la escala completa)	2	2	6	24	Reajuste el punto de referencia o desactive el 2% de la función de corte	Personal de mantenimiento
			Ajuste de válvula incorrecto	3	4	3	36	Reajuste válvula	Personal de mantenimiento
4.8	Lectura de cero inestable o inexistente	Funcionamiento deficiente	Fuga de gas	4	4	3	48	Localizar y corregir fuga	Personal de mantenimiento
			placa defectuosa	7	2	3	42	Reemplazar equipo	Personal de mantenimiento
			Ajuste de válvula incorrecto	3	4	3	36	Reajuste válvula	Personal de mantenimiento
4.9	Condición de flujo máxima en condición de "No flujo" o con la válvula cerrada	Funcionamiento deficiente	Sensor defectuoso	7	2	3	42	Reemplazar equipo	Personal de mantenimiento
			Fuga de gas	4	4	3	48	Localizar y corregir fuga	Personal de mantenimiento

				Ajuste de válvula incorrecto	3	3	4	36	Reajuste válvula	Personal de mantenimiento
4.10	Calibración desactivada	Mediciones incorrectas	El gas medido no es el mismo que con el que fue calibrado	3	2	4	24	Utilizar la calibración ajustada	Personal de mantenimiento	
			La composición del gas cambió	5	3	6	90	Ver las tablas del factor K en el manual de operación	Personal de mantenimiento	
			Fuga de gas	4	4	4	64	Localizar y corregir fuga	Personal de mantenimiento	
			Placa defectuosa	7	3	4	84	Reemplazar equipo	Personal de mantenimiento	
			RFE sucio	4	3	6	72	Limpiar o desmontar para eliminar los impedimentos	Personal de mantenimiento	
			Tubo de sensor ocluido	7	2	4	56	Limpiar o desmontar para eliminar los impedimentos, o sustituir equipo	Personal de mantenimiento	
			Pantalla del filtro obstruida en la entrada	2	2	6	24	Limpiar o desmontar para eliminar impedimentos o sustituir	Personal de mantenimiento	
			El transductor no está montado correctamente	2	2	4	16	Comprobar si hay alguna inclinación o cambio en el montaje del transductor; generalmente, las unidades se calibran para instalación horizontal	Personal de mantenimiento	
4.11	La válvula GFC no funciona en posición abierta	Funcionamiento deficiente	Ajuste de válvula incorrecto	3	4	6	72	Reajuste válvula	Personal de mantenimiento	
			placa defectuosa	7	2	3	42	Reemplazar equipo	Personal de mantenimiento	

				Mal funcionamiento del cable o conector	5	2	6	60	Verifique los cables y todas las conexiones, sustituya si es necesario	Personal de mantenimiento
				La presión diferencial es demasiado alta	7	2	5	70	Disminuir la presión hasta el nivel correcto	Personal de mantenimiento
				Presión de entrada insuficiente	3	2	5	30	Ajustar presión apropiadamente	Personal de mantenimiento
	4.12	La válvula GFC no funciona en posición cerrada	Funcionamiento deficiente	Ajuste de válvula incorrecto	3			0	Reajuste válvula	Personal de mantenimiento
				Placa defectuosa	7	2	3	42	Reemplazar equipo	Personal de mantenimiento
				Mal funcionamiento del cable o conector	5	2	6	60	Verifique los cables y todas las conexiones, sustituya si es necesario	Personal de mantenimiento
				Orificio obstruido	3	4	6	72	Desmontar para eliminar impedimentos o sustituir	Personal de mantenimiento
	Agitadores	4.13	Fisuras	Funcionamiento defectuoso	Desgaste excesivo	7	4	4	112	Si el agitador o alguna de sus partes presentan fisuras, reemplácelos
4.14		Ruido excesivo	Funcionamiento deficiente	Desalineamiento de eje	6	5	3	90	Verifique alineación y corrija	Personal de mantenimiento
				Rodamientos defectuosos	7	4	3	84	Verifique cojinetes interiores y rectifique	Personal de mantenimiento
4.15		Agitador interior no gira	Funcionamiento deficiente	Agitador trabado	8	3	4	96	Verifique y limpie elementos que obstruyan el giro	Personal de mantenimiento
				Motor defectuoso	8	3	3	72	Verifique el correcto funcionamiento del motor	Personal de mantenimiento

CELDA DE FLOTACIÓN	4.16	Fugas	Pérdida de pulpa	Rotura de acrílico	8	4	3	96	Reparar acrílico	Personal de mantenimiento
				Fugas en acoples	8	3	3	72	Verifique rotura de acoples y/o hilos, repare o reemplace.	Personal de mantenimiento
				Rebalse del contenido	4	4	2	32	Verificar y controlar flujo de entrada de pulpa	Personal de mantenimiento
4.17	Fisuras	Desgaste de material	Abrasión	8	4	3	96	Verifique estructura y presencia de fugas, repare o reemplace	Personal de mantenimiento	
PALETAS Y EJES	4.18	Fisuras y/o quiebres de paletas	Desgaste de material	Abrasión	7	4	3	84	Inspeccione y recambie paletas desgastadas	Personal de mantenimiento
				Soportes sueltos	4	6	3	72	Inspeccione y apriete soportes flojos de las paletas	Personal de mantenimiento
	4.19	Paleteo irregular	Funcionamiento defectuoso	Desalineamiento de eje	7	3	3	63	Rectifique el eje o cambie	Personal de mantenimiento
				Funcionamiento o irregular del motor	8	3	2	48	Verifique condiciones de operación del servo motor	Operario
				Descansos con fricción, ruido o temperatura excesiva	8	2	5	80	Verifique el correcto giro de rodamientos con eje. Rectifique si es necesario	Personal de mantenimiento

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)										
ELEMENTO / FUNCIÓN	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL				ACCIÓN CORRECTORA PROPUESTA	RESPONSABLE
		MODOS DE FALLO	EFECTO	CAUSA	G	F	D	IPR		
5.EQUIPO AUXILIAR										
Compresor De Aire	5.1	Motor no arranca	Sin Funcionamiento	Caída o falta de tensión en la red eléctrica	3	4	4	48	Verifique la instalación y/o aguarde a que se establezca la red	Personal de mantenimiento
				Motor eléctrico dañado	8	2	4	64	Realice mantención y/o reparación del motor	Personal de mantenimiento
				Correa muy estirada	2	5	5	50	Estírela de acuerdo al procedimiento	Personal de mantenimiento
				Válvula de retención no veda debido a la presencia de impurezas	3	2	7	42	Realice mantención y/o reparación de la válvula	Personal de mantenimiento
				Protector térmico se activó	2	4	3	24	Espere a que el motor se enfríe para armar de nuevo manualmente el protector, presionando su botón.	Personal de mantenimiento
				Falla en condensador	7	4	4	112	Realice inspección y sustituya condensador	Personal de mantenimiento
				Tanque o caja de agua lleno de aire/agua	1	6	2	12	El motor eléctrico arrancará una vez que la presión/volumen del tanque disminuya.	Personal de mantenimiento

5.2	Compresor no enciende de nuevo	Sin Funcionamiento	Presostato con mecanismo desgastado por actuación.	4	5	5	100	Despresurice el depósito hasta la presión mínima de reencendido del presostato.	Personal de mantenimiento
5.3	Sobrecalentamiento del motor eléctrico y del enchufe.	Desperfecto prematuro	Red eléctrica sub-dimensionada	7	2	4	56	Evalúe las condiciones eléctricas	Personal de mantenimiento
5.4	Presión del depósito se eleva rápidamente o arranques muy frecuentes (lo normal es alrededor de 6 por hora)	Funcionamiento incorrecto y desgaste prematuro	Exceso de agua en el depósito de aire	7	4	3	84	Drene el depósito a través del purgado. Puede instalar un purgador electrónico.	Personal de mantenimiento
5.5	Sobrecalentamiento del bloque compresor	Desgaste prematuro	Temperatura ambiente elevada (sobre 40°C)	7	3	3	63	Mejore las condiciones de trabajo y verifique que los sistemas de extracción de aire sean adecuados	Personal de mantenimiento
			Sentido de rotación incorrecto	8	2	5	80	Revisar el procedimiento de arranque inicial	Operario
			Demanda del sistema encima de la capacidad del compresor	7	2	3	42	Redimensione el compresor si es necesario	Personal de mantenimiento
			Elemento filtrante obstruido	8	3	5	120	Revise y sustituya el filtro	Personal de mantenimiento
			Carbonización de la placa de válvula	8	2	6	96	Realice su limpieza	Personal de mantenimiento

	5.6	Nivel de ruido o golpes anormales	Funcionamiento incorrecto y desgaste prematuro	Elementos de ajuste flojos	8	4	3	96	Localícelos y apriételos nuevamente	Personal de mantenimiento
	5.7	Temperatura elevada del aire comprimido	Funcionamiento incorrecto	Acumulación de polvo sobre el compresor	3	5	2	30	Limpie el compresor externamente	Personal de mantenimiento
				Temperatura ambiente elevada (sobre 40°C)	7	3	3	63	Mejore las condiciones de trabajo y verifique que los sistemas de extracción de aire sean adecuados	Personal de mantenimiento
				Elemento filtrante obstruido	8	3	5	120	Revise y sustituya el filtro	Personal de mantenimiento
	5.8	Desgaste prematuro de los componentes internos de la unidad compresora	Obsolescencia prematura	Operación en ambiente agresivo	7	4	4	112	No se realizó mantención preventiva a tiempo. Proceda a sustituir los componentes dañados	Personal de mantenimiento
	5.9	Motor eléctrico/compresor funcionan ininterrumpidamente	Desgaste prematuro	Demanda del sistema encima de la capacidad del compresor	7	2	3	42	Redimensione el compresor si es necesario	Personal de mantenimiento
				Conexión eléctrica incorrecta				0	Verifique la instalación y conexión eléctrica	Personal de mantenimiento
Tecele De Bancada	5.10	Motor no funciona	No existe movimiento	No hay electricidad	3	3	3	27	Verifique contactor y fuente de alimentación	Personal de mantenimiento
				Error de cableado de la unidad	3	3	4	36	Verifique conexiones de alimentación	Personal de mantenimiento

	5.11	Motor no gira	No existe movimiento	Contacto del circuito de alimentación esta suelto	4	3	4	48	Ajuste tornillos y repare la mala conexión de los terminales. Verifique con multímetro.	Personal de mantenimiento
				Voltaje de alimentación bajo	5	4	4	80	Corrobore y corrija la mala conexión	Personal de mantenimiento
				Cojinete atascado	5	4	4	80	Repare el cojinete	Personal de mantenimiento
	5.12	Vibración excesiva durante funcionamiento	Funcionamiento defectuoso y desgaste prematuro	Abrasión excesiva en cojinete	5	4	5	100	Corrobore y repare el cojinete	Personal de mantenimiento
				Rotor desbalanceado	7	4	3	84	Corrija el balance	Personal de mantenimiento
				Eje de rotación doblado	8	3	3	72	Rectifique o cambie eje	Personal de mantenimiento
SECADOR Y FILTRO DE AIRE	5.13	Filtración defectuosa	Funcionamiento Incorrecto	No filtra sólidos	8	2	5	80	Realice mantención y/o cambio de filtros	Personal de mantenimiento
				No filtra Aceite	8	2	5	80	Realice mantención y/o cambio de filtros	Personal de mantenimiento
				No filtra Agua	8	2	5	80	Realice mantención y/o cambio de filtros	Personal de mantenimiento
				Membrana obstruida	8	3	4	96	Realice mantención general	Personal de mantenimiento
				Purgador defectuoso	7	3	5	105	Revise y sustituya el purgador si es necesario	Personal de mantenimiento

				Concentración de aceite, agua o sólidos excesiva en aire de entrada	7	2	4	56	Verifique compresor de aire en alimentación	Personal de mantenimiento
	5.14	Caída de presión	Funcionamiento defectuoso y desgaste prematuro	Brida defectuosa	7	4	3	84	Revise y sustituya si es necesario	Personal de mantenimiento
				Vaso de filtro sin mantención	4	6	4	96	Realice mantención pertinente	Personal de mantenimiento
				Drenaje obstruido	7	4	3	84	Revise dispositivo de drenaje	Personal de mantenimiento

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)											
ELEMENTO / FUNCIÓN	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL				ACCIÓN CORRECTORA PROPUESTA	RESPONSABLE	
		MODOS DE FALLO	EFECTO	CAUSA	G	F	D	IPR			
6. MOLINO VERTICAL											
Molino	6.1	Atascamiento de bolas	Funcionamiento defectuoso	Bolas de tamaño inapropiado	5	2	4	40	Verifique que las condiciones de operación sean las óptimas	Operario	
				Cantidad excesiva de bolas	5	3	3	45	Recalcule la cantidad de bolas a ingresar	Operario	
				Acumulación de bolas de tamaño menor	7	4	4	112	Realice un adecuado cribado	Personal de mantenimiento	
				Velocidad de giro muy alta	7	3	4	84	Recalcule la velocidad dada las condiciones de operación	Operario	
	6.2	Obstrucción a la salida de pulpa	Flujo incorrecto	Bomba de traspaso	5	4	2	40	Verifique el correcto funcionamiento de las bombas peristálticas	Operario	
				Obstrucción interior en el tubo	6	4	3	72	Limpie o sustituya los tubos	Personal de mantenimiento	
				Estancamiento	5	6	3	90	Limpie o sustituya los tubos (Verifique concentración de sólidos)	Operario	

	6.3	Rotura pasadores de eje	Funcionamiento deficiente	Pasadores desgastados	7	5	3	105	Realice mantención a pasadores (regularmente cada 2 meses de uso continuo)	Personal de mantenimiento
--	-----	-------------------------	---------------------------	-----------------------	---	---	---	-----	--	---------------------------

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)										
ELEMENTO / FUNCIÓN	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL				ACCIÓN CORRECTORA PROPUESTA	RESPONSABLE
		MODOS DE FALLO	EFECTO	CAUSA	G	F	D	IPR		
7. COLUMNA DE FLOTACIÓN										
Estructura De Acrílico	7.1	Fugas	Pérdida de pulpa	Rotura de acrílico	6	3	3	54	Verifique y repare o reemplace	Personal de mantenimiento
				Rebalse de contenido	4	5	3	60	Verifique condiciones de operación	Operario
				Fisuras en la estructura	6	2	6	72	Verifique y repare o reemplace	Personal de mantenimiento
				Sellos o juntas incorrectas	6	3	4	72	Verifique y repare o reemplace	Personal de mantenimiento
Ducha De Cal	7.2	Funcionamiento defectuoso	No hay salida de lechada (cal)	Extrusores obstruidos	4	4	3	48	Inspeccione y realice mantenimiento a extrusor	Personal de mantenimiento
				Estancamiento de lechada	4	3	3	36	Verifique correcta homogenización de lechada	Operario
			Caudal excesivo o deficiente.	Funcionamiento incorrecto de bomba de cal	4	3	3	36	Revise bomba peristáltica	Personal de mantenimiento
				Estancamiento de lechada	5	6	3	90	Verifique correcta homogenización de lechada	Operario

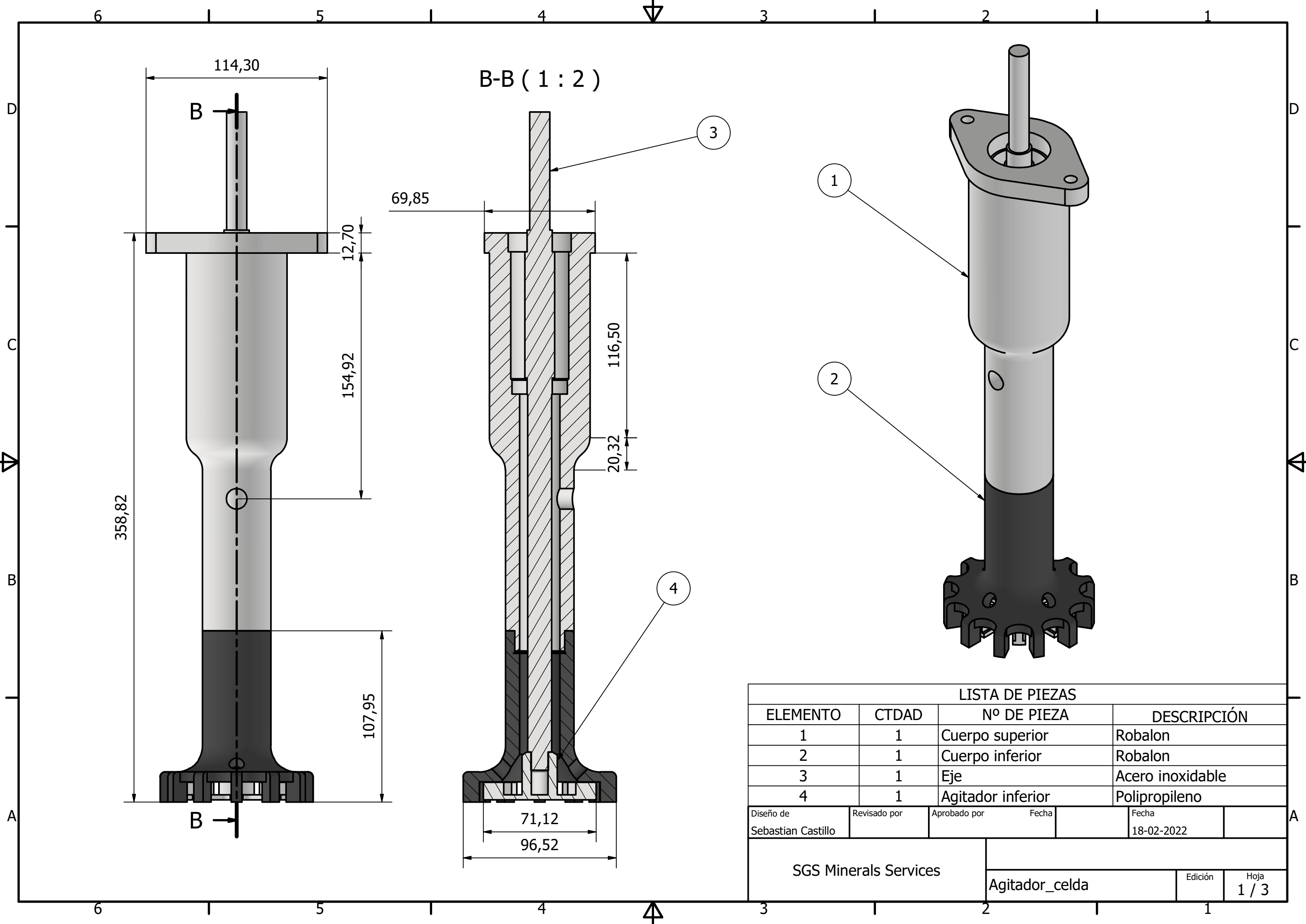
Transductor De Presión	7.3	No hay señal de salida	No existe señal	Cable roto	7	3	3	63	Comprobar el paso de energía	Personal de mantenimiento
				Energía auxiliar ausente o errónea	4	4	6	96	Corregir la corriente auxiliar	Personal de mantenimiento
			Señal de salida errónea	Fallo en cableado	5	2	3	30	Corregir cableado según manual	Personal de mantenimiento
		Señal de salida no varía con el cambio de presión	Medición incorrecta	Sobrecarga mecánica por sobrepresión	7	3	4	84	Sustituir instrumento considerando operación	Personal de mantenimiento
		Alcance de señal demasiado pequeño	Medición incorrecta	Sobrecarga mecánica por sobrepresión	7	3	4	84	Sustituir instrumento considerando operación	Personal de mantenimiento
				Daños en la membrana	8	3	4	96	Sustituir instrumento considerando operación	Personal de mantenimiento
				Junta dañada o sucia, no conectada correctamente o vueltas de rosca torcidas	7	3	4	84	Limpia la junta/superficie, reemplazar la junta.	Personal de mantenimiento
		Span de señal oscilante/impreciso	Señal de salida errónea	Fuentes de interferencias CEM en el entorno.	4	2	8	64	Blindar el instrumento; blindaje de cable; quitar la fuente de interferencias.	Personal de mantenimiento

				Temperaturas de uso excesivas o insuficientes.	4	2	3	24	Observar las temperaturas admisibles	Personal de mantenimiento
				Instrumentos no conectados a tierra	3	5	4	60	Conectar a tierra el instrumento	Personal de mantenimiento
		Desviación de señal de punto cero.	Señal de salida errónea	Temperaturas de uso excesivas o insuficientes.	4	2	3	24	Observar las temperaturas admisibles	Personal de mantenimiento
				Posición de montaje diferente	2	4	3	24	Corregir punto cero	Personal de mantenimiento
				Límite de presión de sobrecarga excedido	4	3	5	60	Sustituir instrumento considerando operación	Personal de mantenimiento

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (A.M.F.E.)										
ELEMENTO / FUNCIÓN	FALLO N°	FALLOS POTENCIALES			ESTADO ACTUAL				ACCIÓN CORRECTORA PROPUESTA	RESPONSABLE
		MODOS DE FALLO	EFECTO	CAUSA	G	F	D	IPR		
8. GABINETE DE CONTROL										
Encoder	8.1	Número 1: OC	La máquina se detendrá	Presencia de una corriente instantánea anormalmente grande. Se activa la alarma OC.	7	4	3	84	Verifique si la carga supera el valor nominal, si algún componente del circuito principal está dañado y si la salida está en cortocircuito.	Operario
	8.2	Número 2: OV	La máquina se detendrá	Alta tensión anormal en el bus DC debido a una inercia de carga demasiado pesada o a la ruptura dinámica. Se activa la alarma OV	7	4	3	84	Comprobar si la inercia de la carga supera las especificaciones de diseño y considere una resistencia de frenado regenerativa adicional.	Operario
	8.3	Número 3: OL	La máquina se detendrá	Carga nominal superior al 150% durante un minuto. Se activa la alarma OL	8	3	3	72	Verifique y modifique la condición de sobrecarga	Operario
	8.4	Número 4: OH	La máquina se detendrá	La temperatura es superior a 135° en el bobinado del servomotor o superior a 85° en el disipador de calor del servomotor. Se activa la alarma OH	8	4	3	96	Verifique la temperatura ambiente y las condiciones de ventilación	Operario
	8.5	Número 5: OS	La máquina se detendrá	Aumento de más del 120% de la velocidad nominal del servomotor. Se activa la alarma OS	7	4	3	84	Comprobar si la orden de velocidad es superior al valor permitido o la carga supera la especificación.	Operario

	8.6	Número 6: EE	La máquina se detendrá	Presencia de un cableado del Encoder roto o incorrecto en las señales de retroalimentación de UVW. Se activa la alarma EE.	6	3	3	54	Consulte el diagrama de cableado y compruebe de nuevo el cableado.	Operario
	8.7	Número 7: PF	La máquina se detendrá	Presencia de una tensión inferior a 240V DC. Se activa la alarma PF	7	3	4	84	Compruebe si la tensión de la red de AC es demasiado baja o si el condensador de filtrado del circuito principal está dañado.	Operario
	8.8	Número 8: RESET	La máquina se reiniciará	El sistema de control del servomotor se está reiniciando	2	2	3	12	El sistema se iniciará de nuevo después de que la alarma se borre.	Operario
	8.9	Número 9: OVF	La máquina se detendrá	Se presenta un exceso de error en el seguimiento de la posición.	5	4	3	60	Compruebe si la carga está por encima de la especificación o si la frecuencia del comando de impulso de posición es demasiado alta	Operario
PLC	8.10	Falla en módulos de Entrada / Salida y dispositivos remotos.	E/S no operativa. No existe señal	E/S quemada por sobrecarga	8	3	5	120	Revisar y reparar módulo. Si es necesario reemplácelo	Personal de mantenimiento
				Relés dañados	8	3	3	72	Revisar y reparar módulo. Si es necesario reemplácelo	Personal de mantenimiento
	8.11	Fallas de puesta a tierra	Interferencia en señal	Mala o pobre conexión a tierra	6	3	4	72	Revise y asegure continuidad con el <i>tester</i> , mida un valor de resistencia inferior a 5 [ohms].	Personal de mantenimiento

				Existencia de transitorios eléctricos inducidos	4	3	3	36	Revise y procure separar la tierra electrónica de la de potencia.	Personal de mantenimiento
8.12	Interferencia en señal	Señal de salida errónea	Existencia de interferencia electromagnéticas o de radiofrecuencia	5	3	3	45	Blindar el instrumento; blindaje de cable; quitar la fuente de interferencias.	Personal de mantenimiento	
			Cercanía con variadores de frecuencia, fuentes <i>switching</i> .	5	4	3	60	Separar tierras, usar cables mallados, separar tendidos de potencia de los de control.	Personal de mantenimiento	
8.13	Memoria dañada	Interrupción o daño permanente de la memoria	Polvo depositado sobre la placa o humedad ambiente excesiva.	7	5	3	105	Verifique las condiciones de operación	Operario	
			Temperatura fuera del rango de operación	8	5	2	80	Verifique la temperatura ambiente y las condiciones de ventilación	Operario	
8.14	Puertos de comunicación dañados	Puertos de comunicación quemados	Sobretensión	7	3	3	63	Verifique la correcta instalación de cables de red industriales	Personal de mantenimiento	

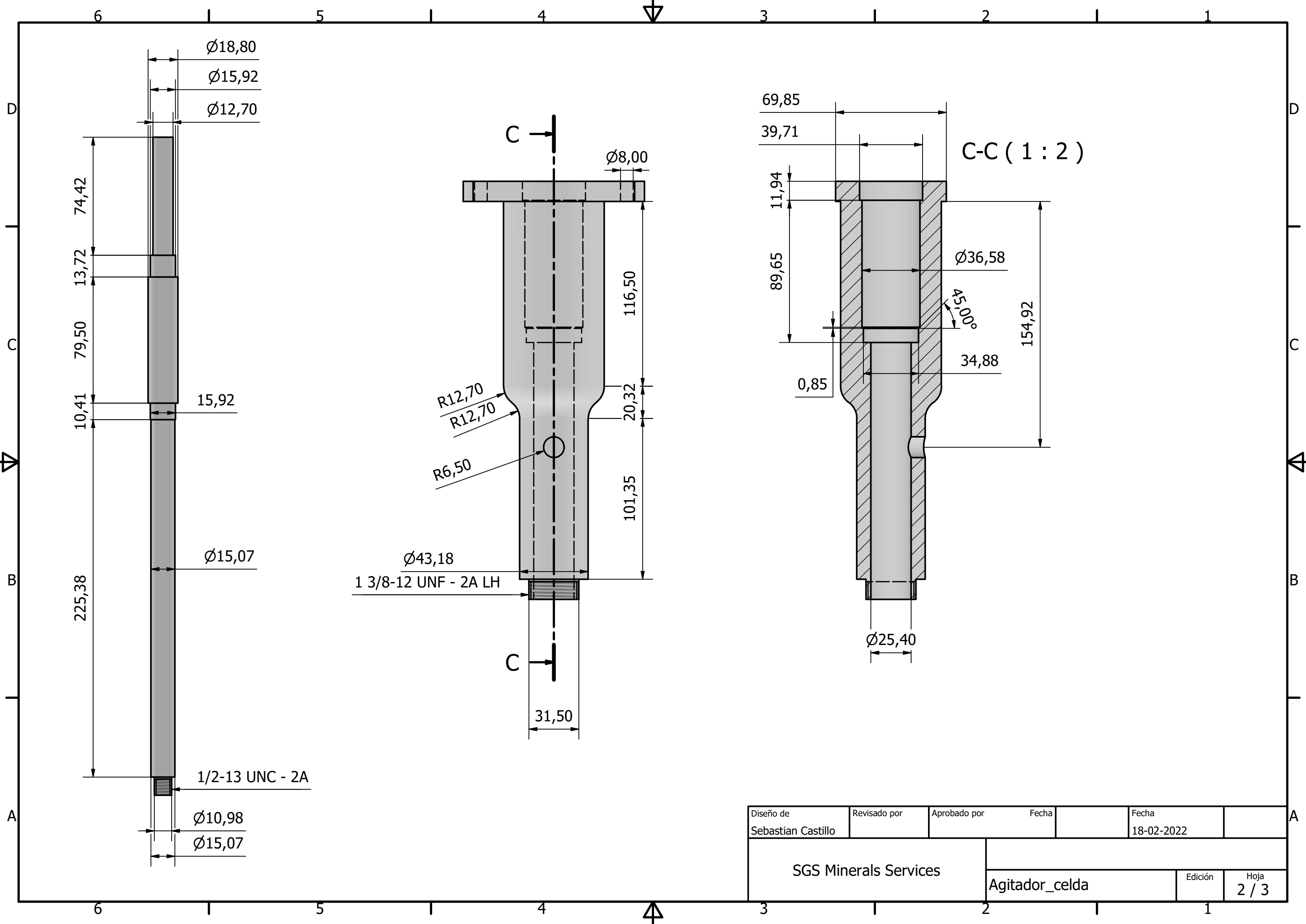


B-B (1 : 2)

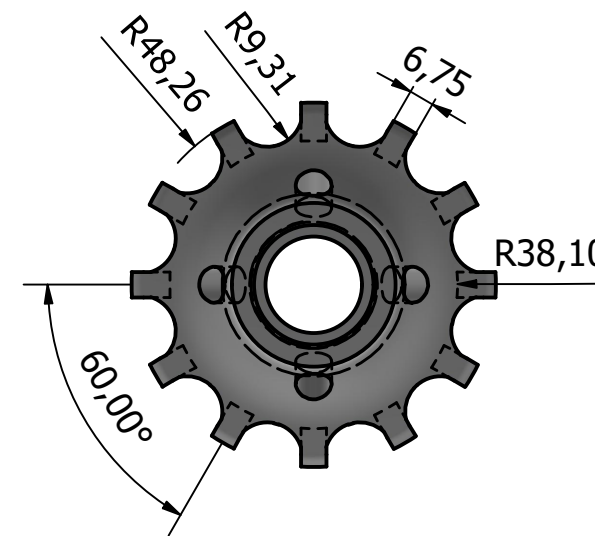
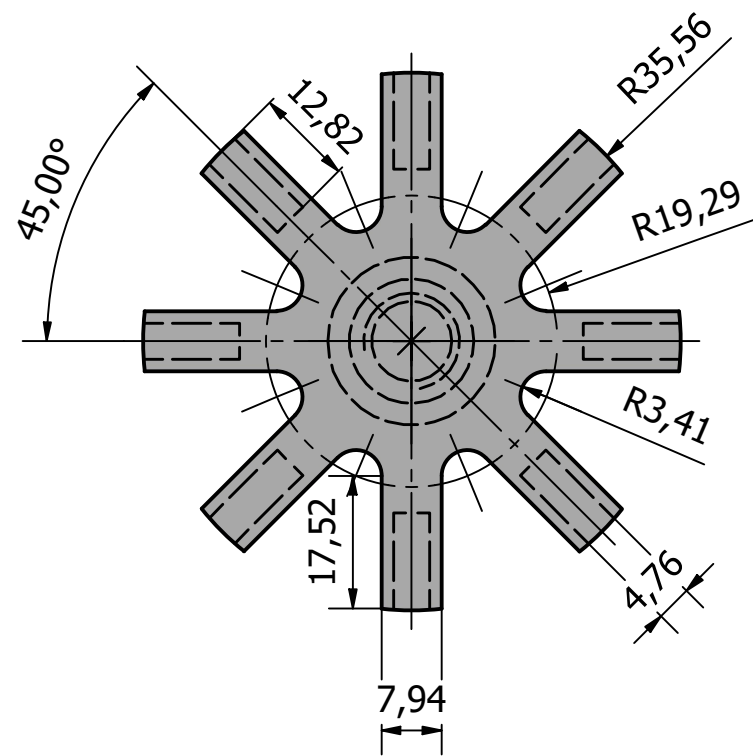
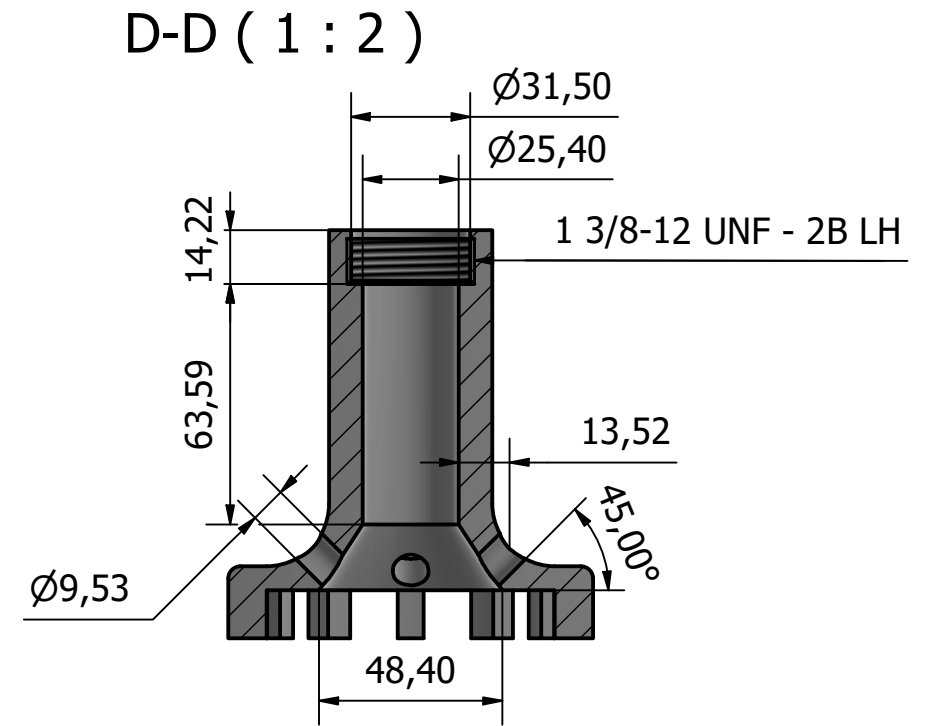
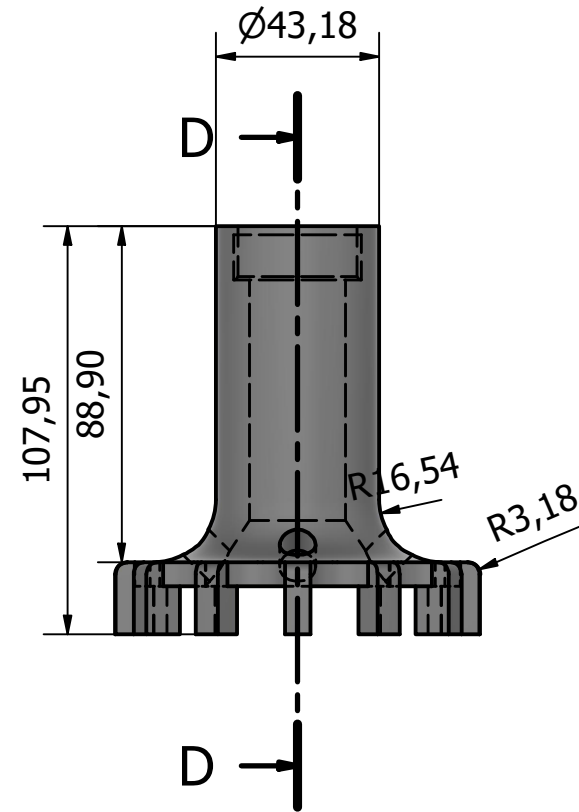
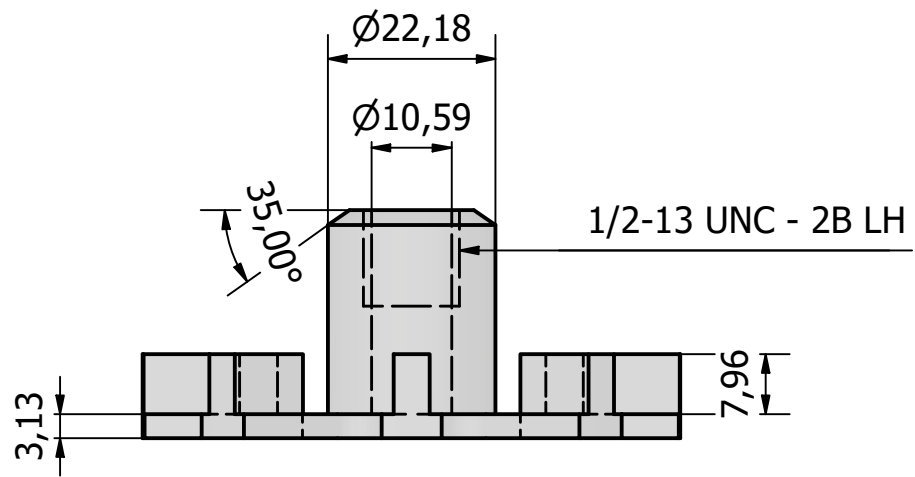
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Cuerpo superior	Robalon
2	1	Cuerpo inferior	Robalon
3	1	Eje	Acero inoxidable
4	1	Agitador inferior	Polipropileno

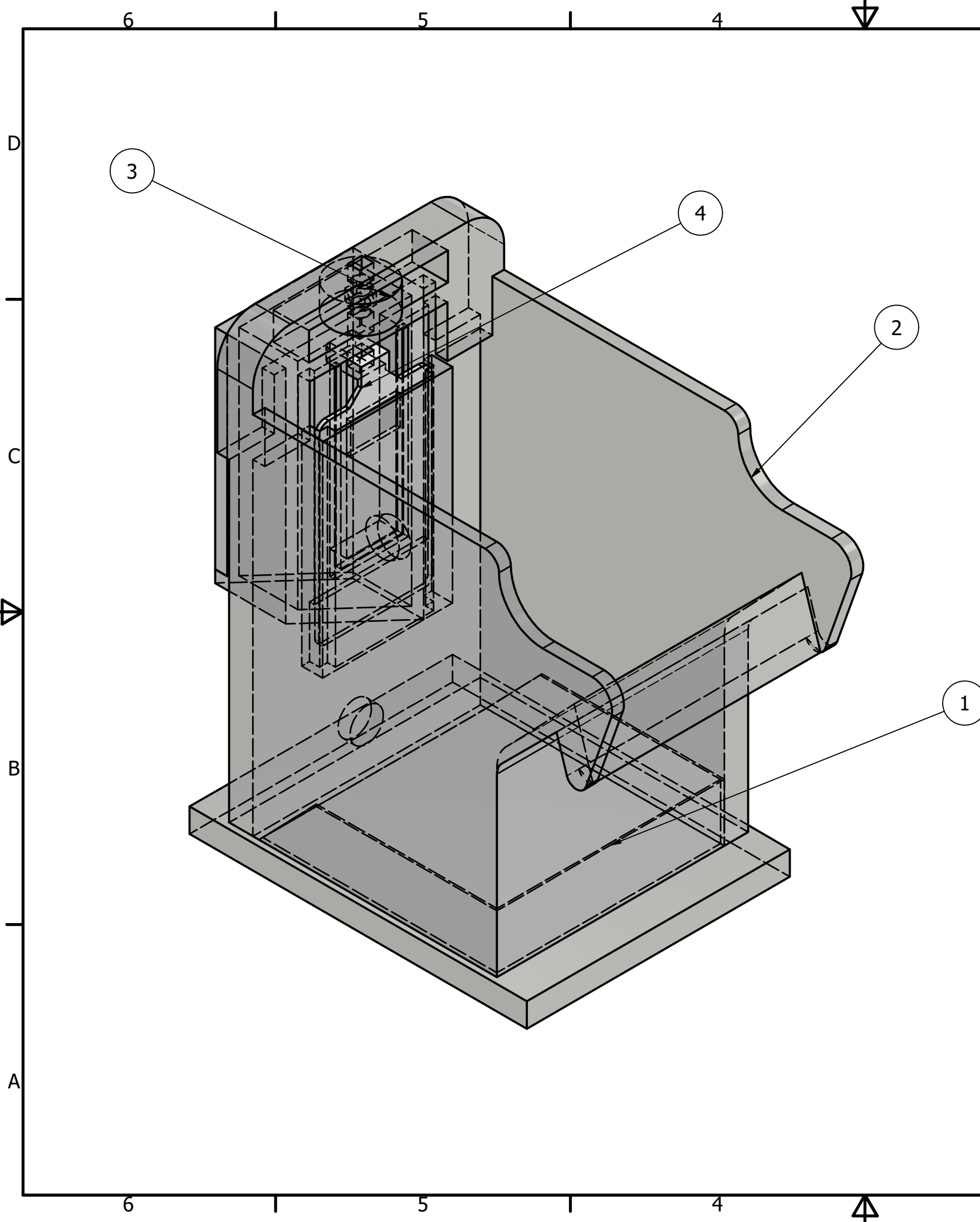
Diseño de Sebastian Castillo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 18-02-2022
---------------------------------	--------------	--------------	-------	---------------------



Diseño de Sebastian Castillo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 18-02-2022
SGS Minerals Services			Agitador_celda	Edición Hoja 2 / 3

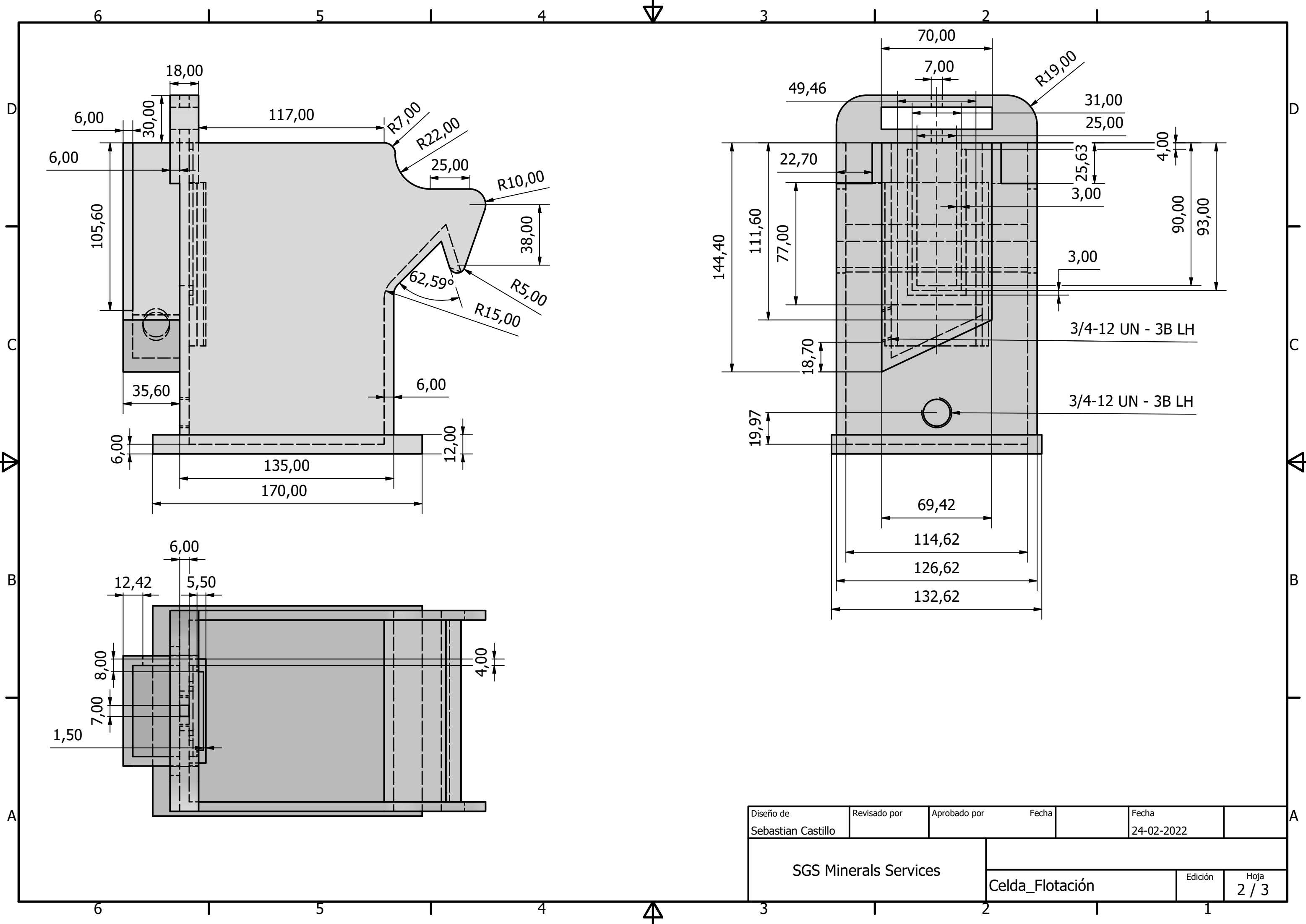


Diseño de Sebastian Castillo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 18-02-2022
SGS Minerals Services			Agitador_celda	Edición Hoja 3 / 3

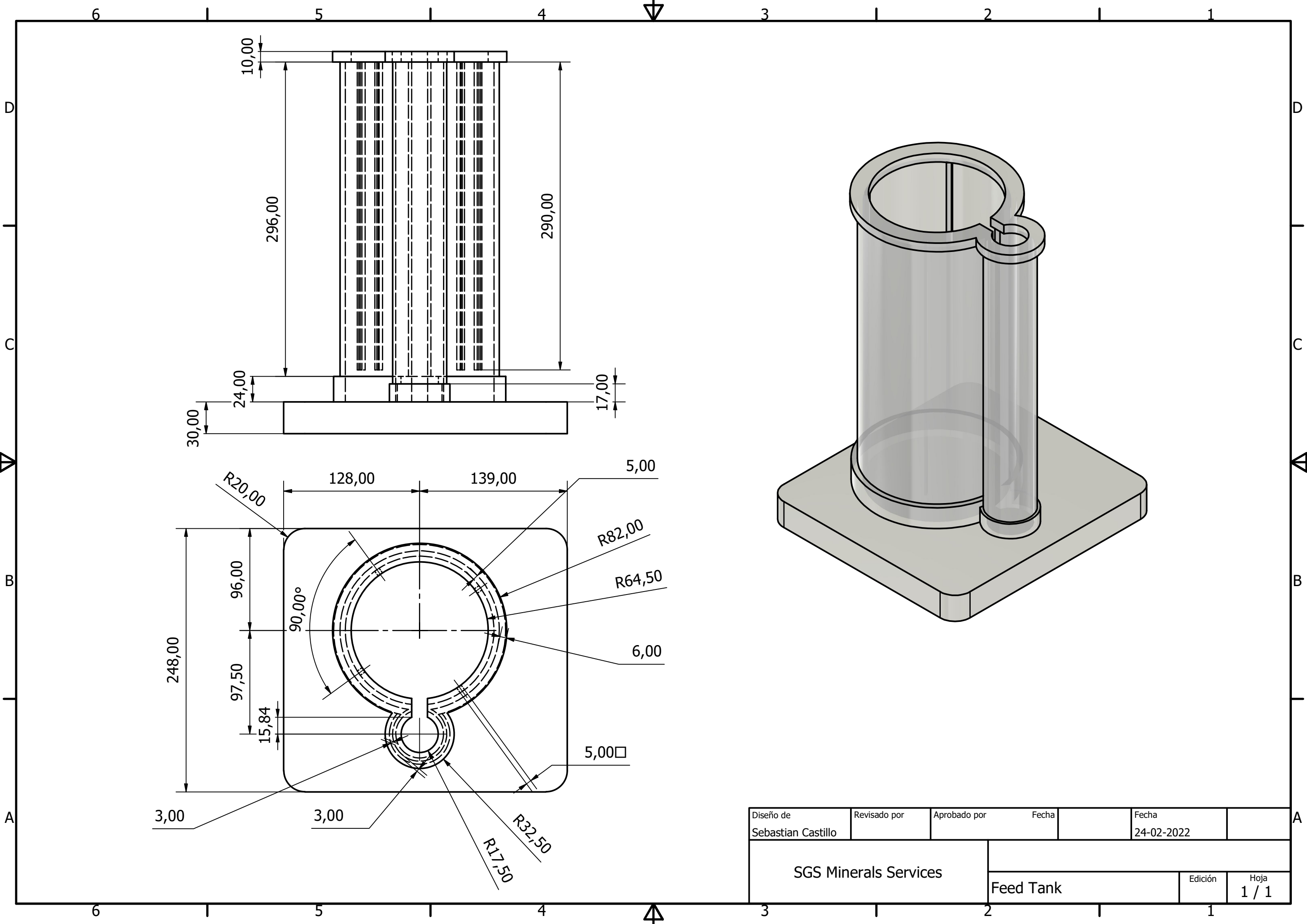


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Placa interior	Acero inoxidable
2	1	Cuerpo acrilico	Acrílico
3	1	Rueda	Acrílico
4	1	Puerta	Acrílico

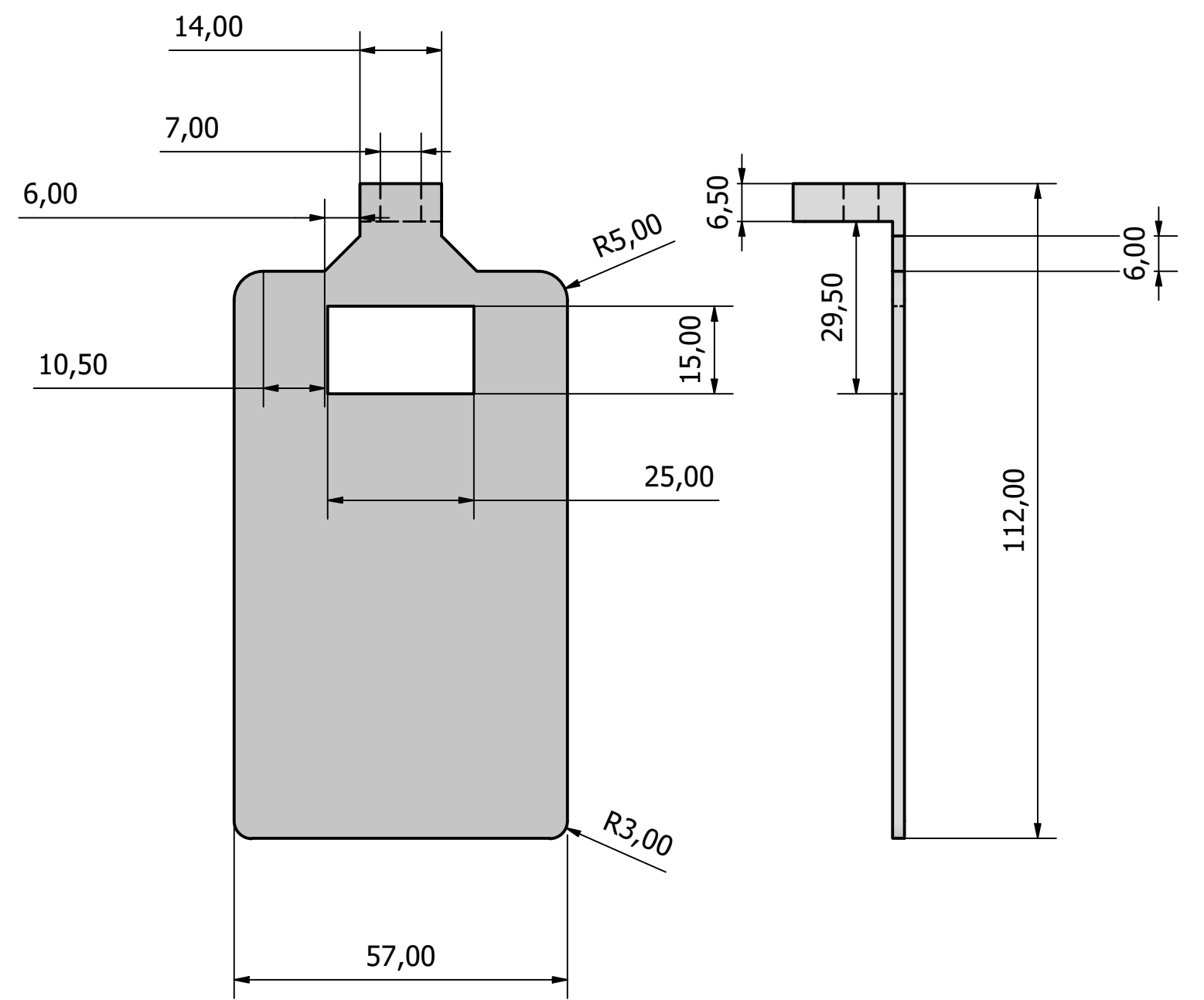
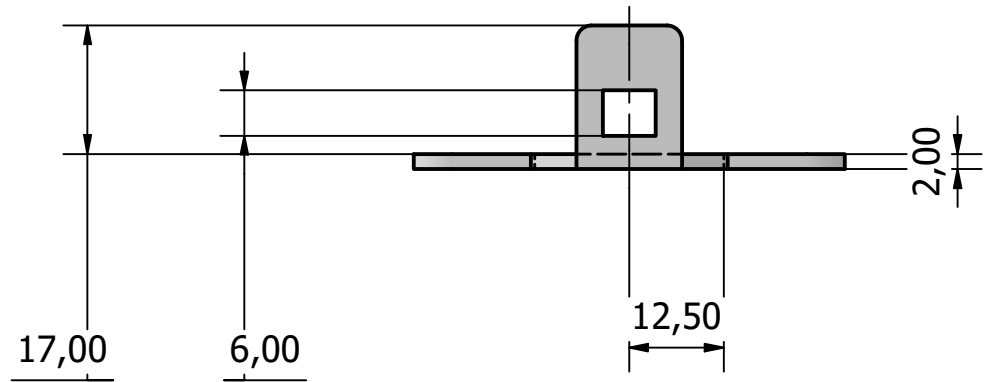
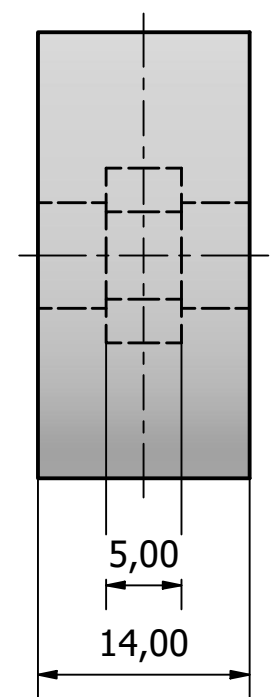
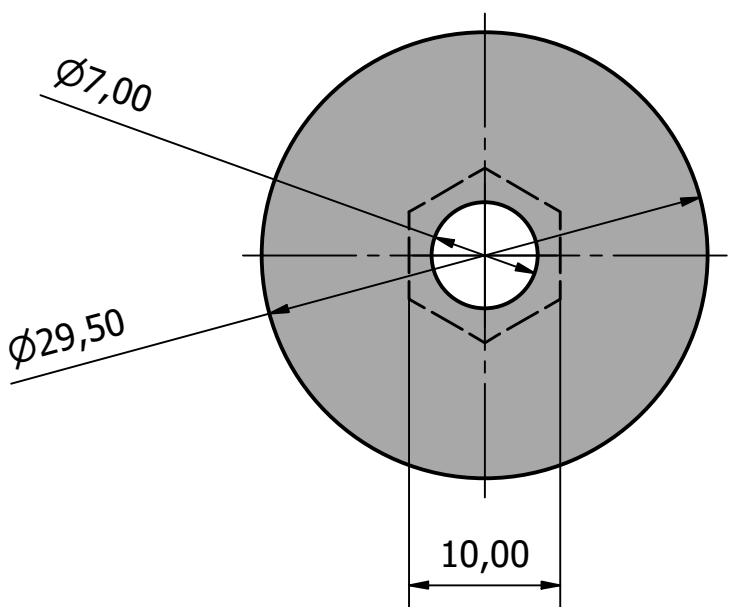
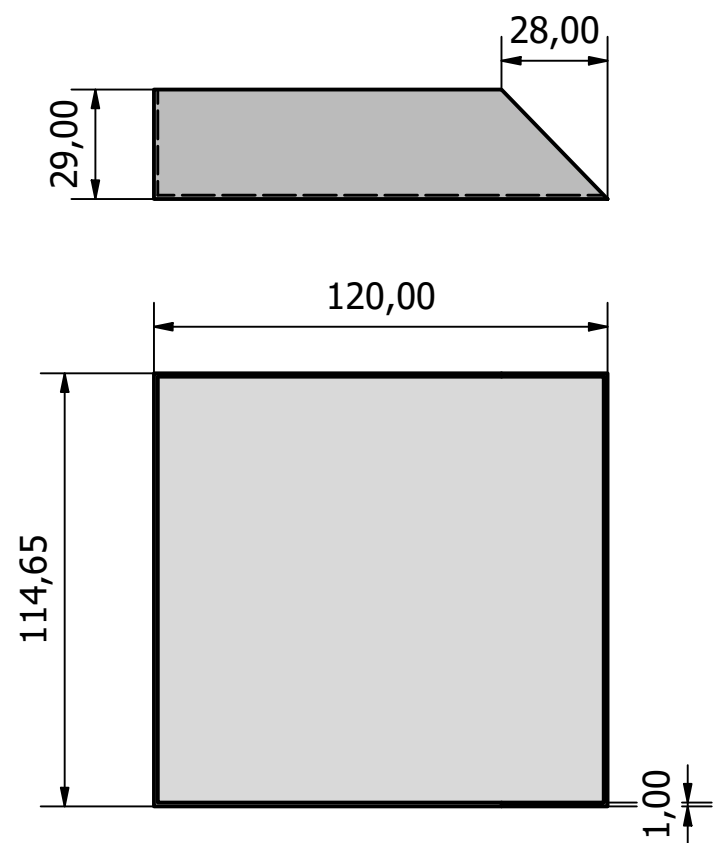
Diseño de Sebastian Castillo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 24-02-2022
SGS Minerals Services			Celda_Flotación	Edición 1 / 3



Diseño de Sebastian Castillo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 24-02-2022
SGS Minerals Services			Celda_Flotación	Edición Hoja 2 / 3



Diseño de Sebastian Castillo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 24-02-2022	
SGS Minerals Services			Feed Tank		
			Edición	Hoja 1 / 1	

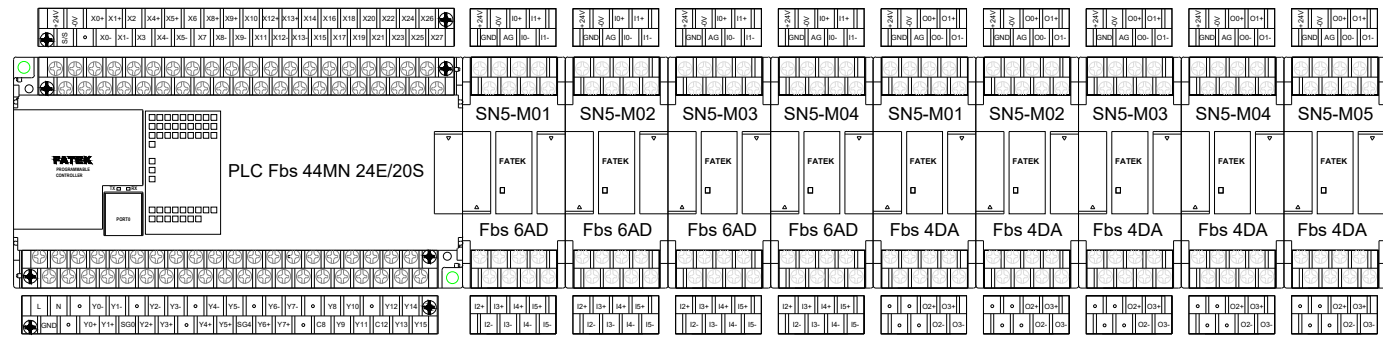


Diseño de Sebastian Castillo	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 24-02-2022	
SGS Minerals Services			Celda_Flotación	Edición	Hoja 3 / 3

A

PLC N°5 Agitadores Pulpa SN5

B



PLC Fbs 44MN 24E/20S SN5

Entradas Digitales

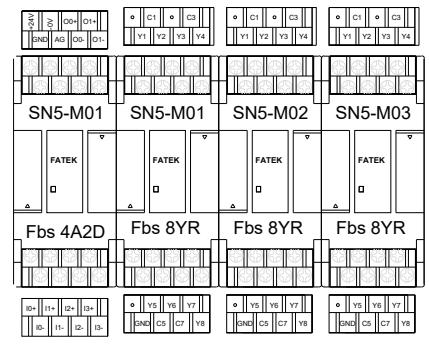
- (S/S) Referencia 0v
(X0+) Pulso Agitador FTK (PLS_A_FTK)
(X0-) Pulso Agitador FTK (PLS_A_FTK)
(X1+) Direccion Agitador FTK (DIR_A_FTK)
(X1-) Direccion Agitador FTK (DIR_A_FTK)
(X2) Falla Agitador FTK (FALLA_A_FTK)
(X3) Parada de emergencia(E_STOP)
(X4+) Pulso Alimentacion CFM (PLS_F_CFM)
(X4-) Pulso Alimentacion CFM (PLS_F_CFM)
(X5+) Direccion Alimentacion CFM (DIR_F_CFM)
(X5-) Direccion Alimentacion CFM (DIR_F_CFM)
(X6) Falla Alimentacion CFM (FALLA_F_CFM)
(X7) Pulso RPM M. Bulk (PLS_R_BULK)
(X8+) Pulso Paleteo n°2 (PLS_R_PLTO N°2)
(X8-) Pulso Paleteo n°2 (PLS_R_PLTO N°2)
(X9+) Direccion Paleteo n°2 (DIR_R_PLTO N°2)
(X9-) Direccion Paleteo n°2 (DIR_R_PLTO N°2)
(X10) Falla Paleteo n°2 (FALLA_R_PLTO N°2)
(X11) Parada de emergencia M. Bulk (E.STOP_BULK)
(X12+) Pulso VTML (PLS_R_VTML)
(X12-) Pulso VTML (PLS_R_VTML)
(X13+) Direccion VTML (DIR_R_VTML)
(X13-) Direccion VTML (DIR_R_VTML)
(X14) Falla VTML (FALLA_R_VTML)
(X15) Falla Alimentacion FTK (FALLA_A_FTK)
(X16) Falla Ph FTK (FALLA_PH_FTK)
(X17) Falla Ph CFM (FALLA_PH_CFM)
(X18) Falla Control nivel Columna Flotacion (FALLA_LC_CF)
(X19) Falla Agitador Holding Tank (FALLA_A_HTK)
(X20) Falla Alimentacion Agua FTK (FALLA_WF_FTK)
(X21) Falla M. Bulk (FALLA_BULK) EN VDF.
(X22) Estado M0A Compresor (EST_CMPSPR)
(X23) Falla Compresor (FALLA_CMPSPR)
(X24) Vacante
(X25) Vacante
(X26) Vacante
(X27) Vacante

Salidas Digitales

- (Y0+) Pulso Agitador FTK (PLS_A_FTK)
(Y0-) Pulso Agitador FTK (PLS_A_FTK)
(Y1+) Direccion Agitador FTK (DIR_A_FTK)
(Y1-) Direccion Agitador FTK (DIR_A_FTK)
(SG0) Vacante
(Y2+) Pulso Alimentacion CFM (PLS_F_CFM)
(Y2-) Pulso Alimentacion CFM (PLS_F_CFM)
(Y3+) Direccion Alimentacion CFM (DIR_F_CFM)
(Y3-) Direccion Alimentacion CFM (DIR_F_CFM)
(Y4+) Pulso Paleteo n°2 (PLS_R_PLTO N°2)
(Y4-) Pulso Paleteo n°2 (PLS_R_PLTO N°2)
(Y5+) Direccion Paleteo n°2 (DIR_R_PLTO N°2)
(Y5-) Direccion Paleteo n°2 (DIR_R_PLTO N°2)
(SG4) Vacante
(Y6+) Pulso VTML (PLS_R_VTML)
(Y6-) Pulso VTML (PLS_R_VTML)
(Y7+) Direccion VTML (DIR_R_VTML)
(Y7-) Direccion VTML (DIR_R_VTML)
(C8) Comun
(Y8) Servo On Agitador FTK (SON_A_FTK)
(Y9) Reset Agitador FTK (RST_A_FTK)
(Y10) Servo On Alimentacion CFM (SON_F_CFM)
(Y11) Reset Alimentacion CFM (RST_F_CFM)
(C12) Comun
(Y12) Servo On Paleteo n°2 (SON_R_PLTEO N°2)
(Y13) Reset Paleteo n°2 (RST_R_PLTEO N°2)
(Y14) Servo On VTML (SON_R_VTML)
(Y15) Reset VTML (RST_R_VTML)

Nomenclatura table with 17 items including Agitador FTK, Alimentacion CFM, Revolucion Paleteo, Direccion VTML, Alimentacion FTK, Ph CFM, Control nivel Columna Flotacion, Agitador Acondicionador, Alimentacion Agua FTK, Revolucion M. Bulk, Bomba lavado, Servo Reset, Set point, Feedack, Flujometro, Servo On, Servo Reset, Set point, Feedack, Flujometro, Servo On Alimentacion CFM, Reset Alimentacion CFM, Servo On Paleteo n°2, Servo On VTML, Reset Paleteo n°2, Servo On VTML, Reset VTML.

C



D

E

Fbs 6AD SN5

A/I M01

- (10+) Feedback FLMT n°1(FB_FLMT_1) 4 - 20mA.
(10-) Feedback FLMT n°1(FB_FLMT_1) 4 - 20mA.
(11+) Feedback FLMT n°2(FB_FLMT_2) 4 - 20mA.
(11-) Feedback FLMT n°2(FB_FLMT_2) 4 - 20mA.
(12+) Feedback FLMT n°3(FB_FLMT_3) 4 - 20mA.
(12-) Feedback FLMT n°3(FB_FLMT_3) 4 - 20mA.
(13+) Feedback FLMT n°4(FB_FLMT_4) 4 - 20mA.
(13-) Feedback FLMT n°4(FB_FLMT_4) 4 - 20mA.
(14+) Feedback FLMT n°5(FB_FLMT_5) 4 - 20mA.
(14-) Feedback FLMT n°5(FB_FLMT_5) 4 - 20mA.
(15+) Feedback FLMT n°6(FB_FLMT_6) 4 - 20mA.
(15-) Feedback FLMT n°6(FB_FLMT_6) 4 - 20mA.

A/I M02

- (10+) Feedback FLMT n°7(FB_FLMT_7) 4 - 20mA.
(10-) Feedback FLMT n°7(FB_FLMT_7) 4 - 20mA.
(11+) Feedback FLMT n°8(FB_FLMT_8) 4 - 20mA.
(11-) Feedback FLMT n°8(FB_FLMT_8) 4 - 20mA.
(12+) Feedback FLMT n°9(FB_FLMT_9) 4 - 20mA.
(12-) Feedback FLMT n°9(FB_FLMT_9) 4 - 20mA.
(13+) Feedback FLMT n°10(FB_FLMT_10) 4 - 20mA.
(13-) Feedback FLMT n°10(FB_FLMT_10) 4 - 20mA.
(14+) Feedback FLMT n°11(FB_FLMT_11) 4 - 20mA.
(14-) Feedback FLMT n°11(FB_FLMT_11) 4 - 20mA.
(15+) Feedback FLMT n°12(FB_FLMT_12) 4 - 20mA.
(15-) Feedback FLMT n°12(FB_FLMT_12) 4 - 20mA.

A/I M03

- (10+) Feedback FLMT n°13(FB_FLMT_13) 4 - 20mA.
(10-) Feedback FLMT n°13(FB_FLMT_13) 4 - 20mA.
(11+) Sensor Radar nivel FTK (SRD_L_FTK) 4 - 20mA.
(11-) Sensor Radar nivel FTK (SRD_L_FTK) 4 - 20mA.
(12+) Feedback Sensor Ph FTK (FB_PH_FTK) 4 - 20mA.
(12-) Feedback Sensor Ph FTK (FB_PH_FTK) 4 - 20mA.
(13+) Feedback Sensor Ph CFM (FB_PH_CFM) 4 - 20mA.
(13-) Feedback Sensor Ph CFM (FB_PH_CFM) 4 - 20mA.
(14+) Sensor Membrana Rasante Presion 1 (SMR_P1_CF) 4 - 20mA.
(14-) Sensor Membrana Rasante Presion 1 (SMR_P1_CF) 4 - 20mA.
(15+) Sensor Membrana Rasante Presion 2 (SMR_P2_CF) 4 - 20mA.
(15-) Sensor Membrana Rasante Presion 2 (SMR_P2_CF) 4 - 20mA.

A/I M04

- (10+) Feedback Agitador FTK (FB_A_FTK) 0 - 10V.
(10-) Feedback Agitador FTK (FB_A_FTK) 0 - 10V.
(11+) Feedback Alimentacion CFM (FB_F_CFM) 0 - 10V.
(11-) Feedback Alimentacion CFM (FB_F_CFM) 0 - 10V.
(12+) Feedback Paleteo n°2(FB_R_PLTO2) 0 - 10V.
(12-) Feedback Paleteo n°2(FB_R_PLTO2) 0 - 10V.
(13+) Feedback VTML(FB_R_VTML) 0 - 10V.
(13-) Feedback VTML(FB_R_VTML) 0 - 10V.
(14+) Feedback Alimentacion FTK(FB_F_FTK) 0 - 10V.
(14-) Feedback Alimentacion FTK(FB_F_FTK) 0 - 10V.
(15+) Feedback Agitador Holding Tank (FB_A_HTK) 0 - 10V.
(15-) Feedback Agitador Holding Tank (FB_A_HTK) 0 - 10V.

F

Fbs 4DA SN5

A/O M01

- (O0+) Set point FLMT n°1 (SP_FLMT_1) 4 - 20mA.
(O0-) Set point FLMT n°1 (SP_FLMT_1) 4 - 20mA.
(O1+) Set point FLMT n°2 (SP_FLMT_2) 4 - 20mA.
(O1-) Set point FLMT n°2 (SP_FLMT_2) 4 - 20mA.
(AG) Vacante
(O2+) Set point FLMT n°3 (SP_FLMT_3) 4 - 20mA.
(O2-) Set point FLMT n°3 (SP_FLMT_3) 4 - 20mA.
(O3+) Set point FLMT n°4 (SP_FLMT_4) 4 - 20mA.
(O3-) Set point FLMT n°4 (SP_FLMT_4) 4 - 20mA.

A/O M02

- (O0+) Set point FLMT n°5 (SP_FLMT_5) 4 - 20mA.
(O0-) Set point FLMT n°5 (SP_FLMT_5) 4 - 20mA.
(O1+) Set point FLMT n°6 (SP_FLMT_6) 4 - 20mA.
(O1-) Set point FLMT n°6 (SP_FLMT_6) 4 - 20mA.
(AG) Vacante
(O2+) Set point FLMT n°7 (SP_FLMT_7) 4 - 20mA.
(O2-) Set point FLMT n°7 (SP_FLMT_7) 4 - 20mA.
(O3+) Set point FLMT n°8 (SP_FLMT_8) 4 - 20mA.
(O3-) Set point FLMT n°8 (SP_FLMT_8) 4 - 20mA.

A/O M03

- (O0+) Set point FLMT n°9 (SP_FLMT_9) 4 - 20mA.
(O0-) Set point FLMT n°9 (SP_FLMT_9) 4 - 20mA.
(O1+) Set point FLMT n°10 (SP_FLMT_10) 4 - 20mA.
(O1-) Set point FLMT n°10 (SP_FLMT_10) 4 - 20mA.
(AG) Vacante
(O2+) Set point FLMT n°11 (SP_FLMT_11) 4 - 20mA.
(O2-) Set point FLMT n°11 (SP_FLMT_11) 4 - 20mA.
(O3+) Set point FLMT n°12 (SP_FLMT_12) 4 - 20mA.
(O3-) Set point FLMT n°12 (SP_FLMT_12) 4 - 20mA.

A/O M04

- (O0+) Set point FLMT n°13 (SP_FLMT_13) 4 - 20mA.
(O0-) Set point FLMT n°13 (SP_FLMT_13) 4 - 20mA.
(O1+) Set point Bba Lavado (SP_WW_CF)
(O1-) Set point Bba Lavado (SP_WW_CF)
(AG) Vacante
(O2+) Set point Alimentacion FTK (SP_F_FTK) 0 - 10V.
(O2-) Set point Alimentacion FTK (SP_F_FTK) 0 - 10V.
(O3+) Set point Ph FTK (SP_PH_FTK) 4 - 20mA.
(O3-) Set point Ph FTK (SP_PH_FTK) 4 - 20mA.

A/O M05

- (O0+) Set point Ph CFM (SP_PH_CFM) 4 - 20mA.
(O0-) Set point Ph CFM (SP_PH_CFM) 4 - 20mA.
(O1+) Set point Control nivel columna flotacion (SP_LC_CF) 0 - 10V.
(O1-) Set point Control nivel columna flotacion (SP_LC_CF) 0 - 10V.
(AG) Vacante
(O2+) Set point Agitador Holding Tank (SP_A_HTK) 0 - 10V.
(O2-) Set point Agitador Holding Tank (SP_A_HTK) 0 - 10V.
(O3+) Set point Alimentacion agua FTK (SP_WF_FTK) 0 - 10V.
(O3-) Set point Alimentacion agua FTK (SP_WF_FTK) 0 - 10V.

G

Fbs 4A2D SN5

A/O M01

- (O0+) Set point RPM VDF (SP_R_BULK) 0 - 10V.
(O0-) Set point RPM VDF (SP_R_BULK) 0 - 10V.
(O1+) Vacante
(O1-) Vacante
(AG) Vacante

A/I M01

- (10+) T. Presion Compresor (TP_CMPSPR) 4 - 20mA.
(10-) T. Presion Compresor (TP_CMPSPR) 4 - 20mA.
(11+) Vacante
(11-) Vacante
(12+) Vacante
(12-) Vacante
(13+) Vacante
(13-) Vacante

Fbs 8YR SN5

Y M01

- (Y1) Servo On Alimentacion FTK (SON_F_FTK) (Y16).
(Y2) Reset Alimentacion FTK (RST_F_FTK) (Y17).
(C1) Comun 24VDC
(Y3) Servo On Ph FTK (SON_PH_FTK) (Y18).
(Y4) Reset Ph FTK (RST_PH_FTK) (Y19).
(C3) Comun 24VDC
(Y5) Servo On Ph CFM (SON_PH_CFM) (Y20).
(Y6) Reset Ph CFM (RST_PH_CFM) (Y21).
(C5) Comun 24VDC
(Y7) Servo On Control nivel columna flotacion (SON_LC_CF) (Y22).
(Y8) Reset Control nivel columna flotacion (RST_LC_CF) (Y23).
(C7) Comun 24VDC

Y M02

- (Y1) Servo On Agitador Holding Tank (SON_A_HTK) (Y24).
(Y2) Reset Agitador Holding Tank (RST_A_HTK) (Y25).
(C1) Comun 24VDC
(Y3) Servo On Alimentacion agua FTK (SON_WF_FTK) (Y26).
(Y4) Reset Alimentacion agua FTK (RST_WF_FTK) (Y27).
(C3) Comun 24VDC
(Y5) ON Bba Lavado (BON_WW_CF) (Y28).
(Y6) ON M. Bulk (MON_R_BULK) (Y29).
(C5) Comun 24VDC
(Y7) Funcionamiento Compresor (FTO_CMPSPR) (Y30).
(Y8) Vacante
(C7) Comun 24VDC

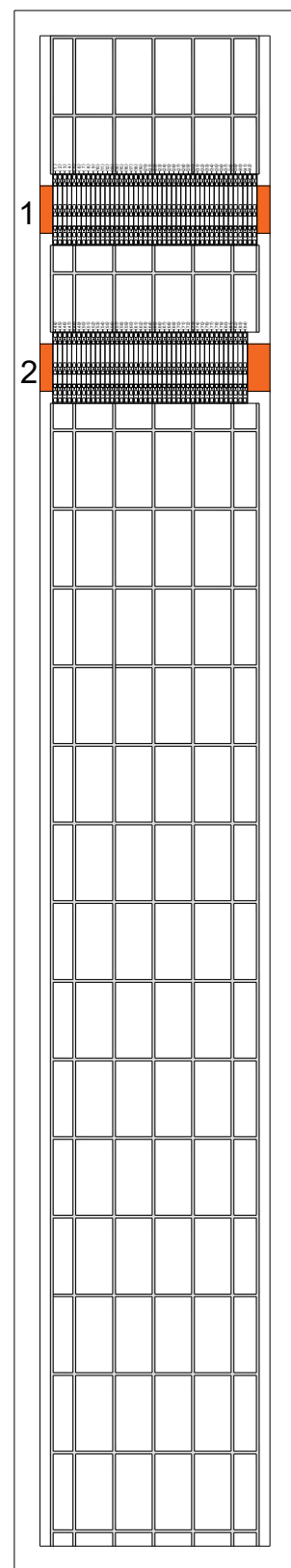
Y M03

- (Y1) Baliza Falla Control Volumen pulpa (BLZA_FC_VP) (Y32).
(Y2) Baliza Falla Control Porcentaje solido (BLZA_FC_PS) (Y33).
(C1) Comun 220V
(Y3) Baliza Falla Control PH (BLZA_FC_PH) (Y34).
(Y4) Baliza Falla Control Columna Flotacion (BLZA_FC_CF) (Y35).
(C3) Comun 220V
(Y5) Vacante
(Y6) Vacante
(C5) Vacante
(Y7) Vacante
(Y8) Vacante
(C7) Vacante

H

INGENIERIA EN AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL
Dacem CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES
JOSE SANTOS GONZALEZ #0828, LA GRANJA, SANTIAGO. CONTACTO: +56 9 98028805 CORREO: PROYECTOS@DACEM.CL WWW.DACEM.CL
PROYECTO: MPPM
TABLERO: PLC N°5 AGITADORES PULPA DIBUJÓ: C.DIAZ REVISÓ: N/A APROBÓ: N/A
CONTENIDO: A3 LÁMINA: 5 DE 5 FECHA EMISIÓN: 14/06/2022
N°SERIE: N/A ESCALA: S/E REVISIÓN: N/A

BORNERAS DE CONEXION TABLERO LATERAL



1			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) Servo Drive Agitador 1 "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) Servo Drive Agitador 1 "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) Servo Drive Agitador 1 "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) Servo Drive Agitador 2 "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) Servo Drive Agitador 2 "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) Servo Drive Agitador 2 "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(7) Servo Drive Agitador 3 "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(8) Servo Drive Agitador 3 "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(9) Servo Drive Agitador 3 "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(10) Servo Drive Agitador 4 "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(11) Servo Drive Agitador 4 "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(12) Servo Drive Agitador 4 "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(13) Servo Drive Agitador 5 "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(14) Servo Drive Agitador 5 "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(15) Servo Drive Agitador 5 "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(16) Servo Drive Agitador 6 "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(17) Servo Drive Agitador 6 "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(18) Servo Drive Agitador 6 "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(19) Servo Drive Agitador 7 "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(20) Servo Drive Agitador 7 "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(21) Servo Drive Agitador 7 "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(22) Servo Drive Agitador 8 "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(23) Servo Drive Agitador 8 "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(24) Servo Drive Agitador 8 "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(25) Servo Drive Agitador 9 "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(26) Servo Drive Agitador 9 "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(27) Servo Drive Agitador 9 "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(28) Servo Drive Agitador 10 "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(29) Servo Drive Agitador 10 "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(30) Servo Drive Agitador 10 "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(31) Servo Drive Agitador 11 "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(32) Servo Drive Agitador 11 "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(33) Servo Drive Agitador 11 "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(34) Servo Drive Agitador 12 "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(35) Servo Drive Agitador 12 "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(36) Servo Drive Agitador 12 "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(37) Servo Drive Agitador 13 Paleteo Rougher "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(38) Servo Drive Agitador 13 Paleteo Rougher "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(39) Servo Drive Agitador 13 Paleteo Rougher "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(40) Servo Drive Agitador 14 Paleteo Scavenger "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(41) Servo Drive Agitador 14 Paleteo Scavenger "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(42) Servo Drive Agitador 14 Paleteo Scavenger "H2", "W"

2			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(44) Servo Drive Agitador Agitador Feed Tank "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(45) Servo Drive Agitador Agitador Feed Tank "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(46) Servo Drive Agitador Agitador Feed Tank "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(47) Servo Drive Agitador Alimentacion CFM "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(48) Servo Drive Agitador Alimentacion CFM "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(49) Servo Drive Agitador Alimentacion CFM "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(50) Servo Drive Agitador VTML "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(51) Servo Drive Agitador VTML "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(52) Servo Drive Agitador VTML "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(53) Servo Drive Agitador Alimentacion Feed Tank "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(54) Servo Drive Agitador Alimentacion Feed Tank "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(55) Servo Drive Agitador Alimentacion Feed Tank "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(56) Servo Drive Agitador PH Feed Tank "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(57) Servo Drive Agitador PH Feed Tank "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(58) Servo Drive Agitador PH Feed Tank "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(59) Servo Drive Agitador PH Feed CFM "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(60) Servo Drive Agitador PH Feed CFM "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(61) Servo Drive Agitador PH Feed CFM "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(62) Servo Drive Agitador Cola columna "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(63) Servo Drive Agitador Cola columna "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(64) Servo Drive Agitador Cola columna "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(65) Servo Drive Agitador A. HTK "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(66) Servo Drive Agitador A. HTK "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(67) Servo Drive Agitador A. HTK "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(68) Servo Drive Agitador Bomba A. agua FTK "E", "U"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(69) Servo Drive Agitador Bomba A. agua FTK "H1", "V"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(70) Servo Drive Agitador Bomba A. agua FTK "H2", "W"
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(71) 0VDC / P. Emergencia
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(72) +24VDC / P. Emergencia
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(73) GND
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(74) Vacio
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(75) SMR_Presion 1 NEGRO/ SMR_Presion 2 ROJO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(76) SMR_Presion 1 BLANCO/ SMR_Presion 2 VERDE
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(77) Vacio
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(78) Bomba de Lavado GND/+24VDC
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(79) Bomba de Lavado 0VDC
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(80) Sensor Ph FTK BLANCO/ NEGRO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(81) Sensor Ph CFM ROJO/ VERDE
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(82) VACANTE
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(83) VACANTE
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(84) Sensor Radar Nivel FTK
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(85) Sensor Radar Nivel FTK
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(86) Sensor Radar Nivel FTK
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(87) VACANTE



Dacem
CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES

INGENIERIA EN AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL

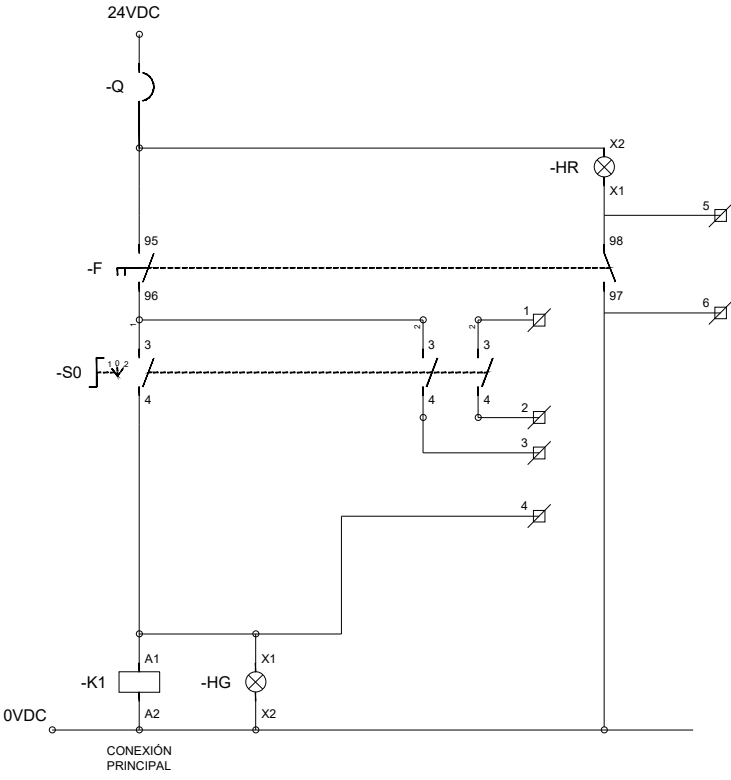
JOSE SANTOS GONZALEZ #0828,
LA GRANJA, SANTIAGO.
CONTACTO: +56 9 98028805
CORREO: PROYECTOS@DACEM.CL
WWW.DACEM.CL

PROYECTO:
MPPM

TABLERO: BORNERA CONEXION TAB. LATERAL	DIBUJÓ: C.DIAZ
	REVISÓ: N/A
	APROBÓ: N/A

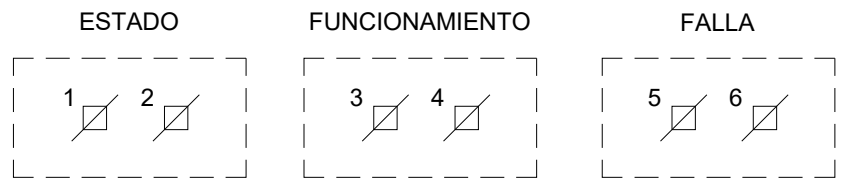
CONTENIDO: A3	LÁMINA: 2 DE 2	FECHA EMISIÓN: 14/06/2022
N°SERIE: N/A	ESCALA: S/E	REVISIÓN: N/A

**DIAGRAMA DE CONTROL
PARTIDA DIRECTA
COMPRESOR SGS**

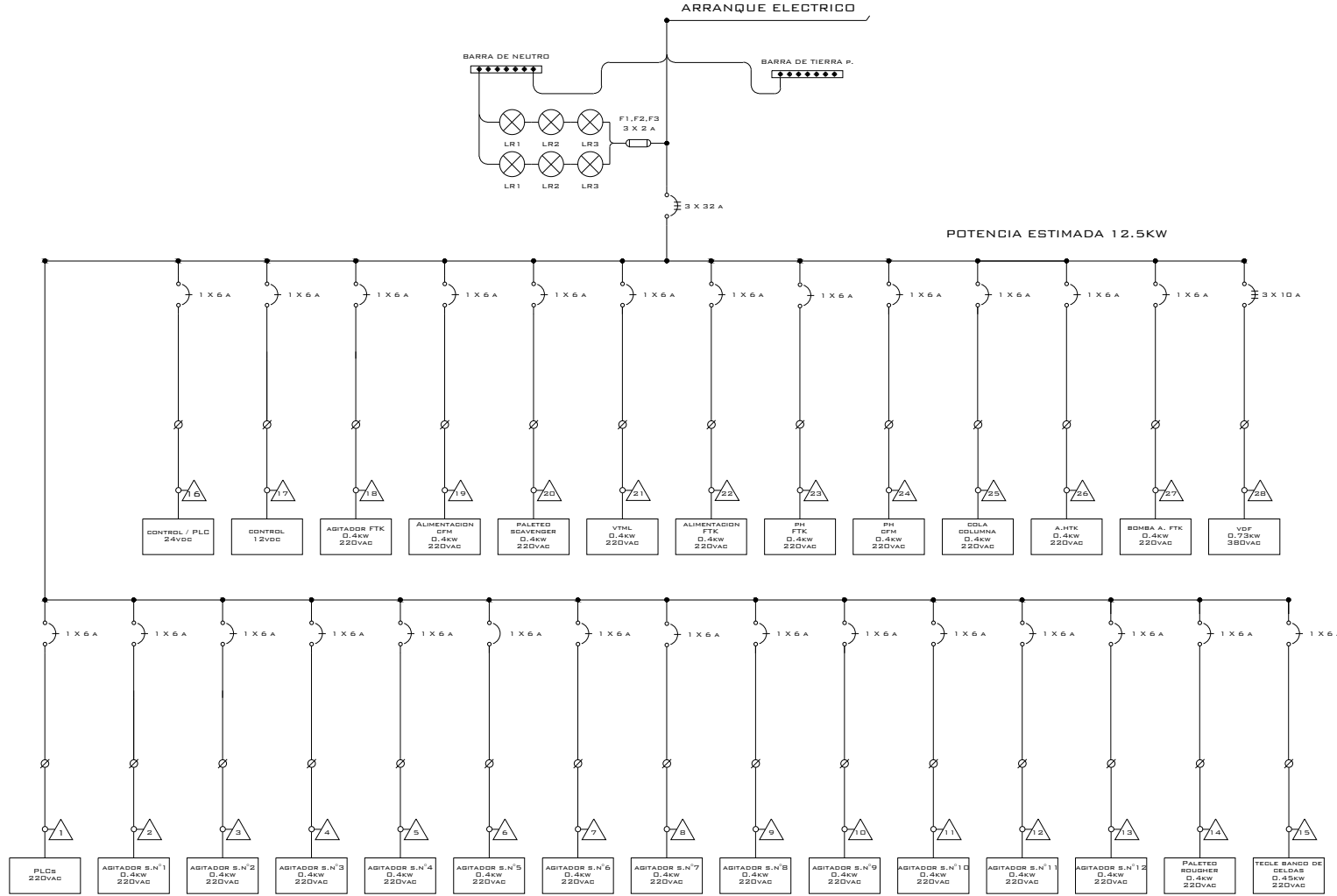


NOMENCLATURA





- Q: PROTECCIÓN CONTROL
- F: RELÉ TÉRMICO
- S0: SELECTOR DE 3 POSICIONES CON RETENCIÓN
- K1: CONTACTOR PRINCIPAL
- HG: LÁMPARA VERDE FUNCIONAMIENTO
- HR: LÁMPARA ROJA FALLA




 INGENIERIA EN AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL		JOSE SANTOS GONZALEZ #0828, LA GRANJA, SANTIAGO. CONTACTO: +56 9 98028805 CORREO: PROYECTOS@DACEM.CL WWW.DACEM.CL	
		PROYECTO: MPPM	
TABLERO: DIAGRAMA DE CONTROL COMPRESOR		DIBUJÓ: C.DIAZ REVISÓ: NZ7A APROBÓ: N/A	
CONTENIDO: A3	LÁMINA: 1 DE 1	FECHA EMISIÓN: 14/06/2022	
N°SERIE: N/A	ESCALA: S/E	REVISIÓN: N/A	



SIMBOLOGIA

-  DISYUNTOR TRIFASICO
-  DISYUNTOR MONOFASICO
-  FUSIBLE DE CARTUCHO 2 A / 220 VAC
-  PILOTO LED 220 VAC

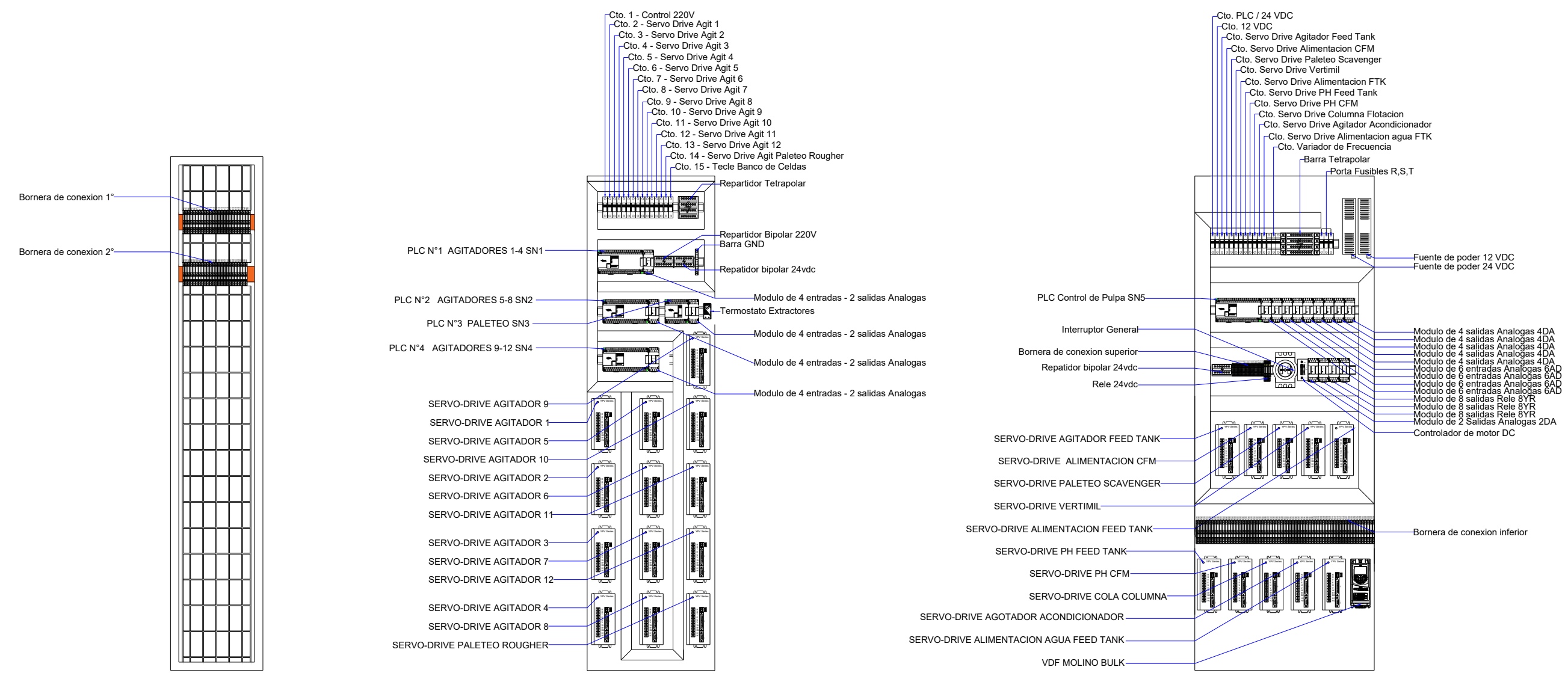


INGENIERIA EN AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL

JOSE SANTOS GONZALEZ #0828, LA GRANJA, SANTIAGO.
CONTACTO: +56 9 98028805
CORREO: PROYECTOS@DACEM.CL
WWW.DACEM.CL

PROYECTO: MPPM		
TABLERO: DIAGRAMA UNILINEAL MPPM		DIBUJÓ: C.DIAZ
		REVISÓ: N/A
		APROBÓ: N/A
CONTENIDO: A3	LÁMINA: 1 DE 1	FECHA EMISIÓN: 14/06/2022
N°SERIE: N/A	ESCALA: S/E	REVISIÓN: N/A

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE TABLEROS MPPM



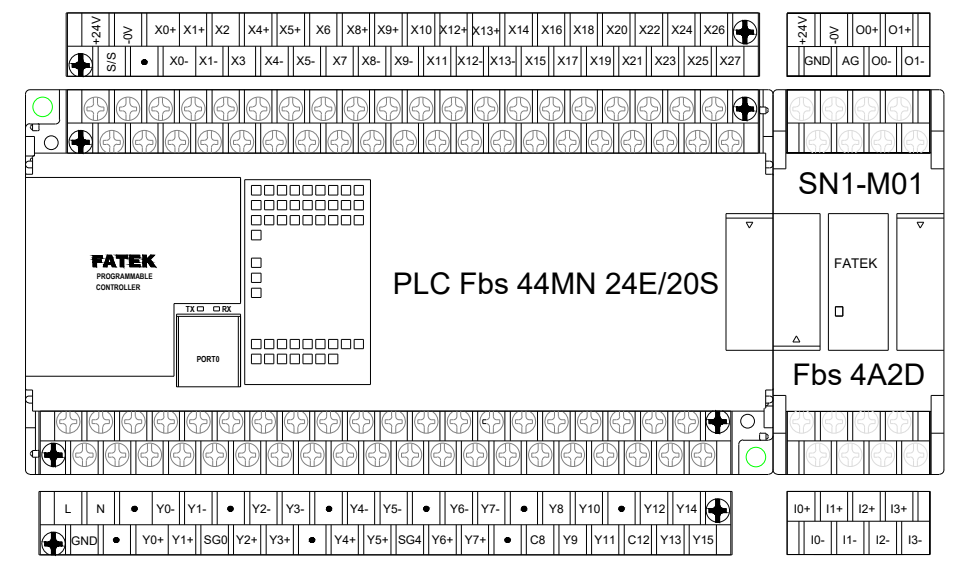
INGENIERIA EN AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL

Dacem
CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES

JOSE SANTOS GONZALEZ #0828,
LA GRANJA, SANTIAGO.
CONTACTO: +56 9 98028805
CORREO: PROYECTOS@DACEM.CL
WWW.DACEM.CL

PROYECTO:		
MPPM		
TABLERO:	DIBUJÓ: C.DIAZ	
DIAGRAMA ESQUEMATICO TABLEROS	REVISÓ: N/A	
	APROBÓ: N/A	
CONTENIDO:	LÁMINA:	FECHA EMISIÓN:
A3	1 DE 1	14/06/2022
N°SERIE: N/A	ESCALA: S/E	REVISIÓN: N/A

PLC N°1 Agitadores 1-4



Fbs 4A2D SN1

- A/I M01**
- (I0+) Feedback 0-10v } Agitador n°1
 - (I0-) Feedback 0-10v }
 - (I1+) Feedback 0-10v } Agitador n°2
 - (I1-) Feedback 0-10v }
 - (I2+) Feedback 0-10v } Agitador n°3
 - (I2-) Feedback 0-10v }
 - (I3+) Feedback 0-10v } Agitador n°4
 - (I3-) Feedback 0-10v }

PLC Fbs 44MN 24E/20S

Entradas Digitales

- (S/S) Referencia 0v
- (X0+) Pulso } Agitador n°1
- (X0-) Pulso }
- (X1+) Direccion }
- (X1-) Direccion }
- (X2) Falla Agitador n°1
- (X3) Parada de emergencia
- (X4+) Pulso } Agitador n°2
- (X4-) Pulso }
- (X5+) Direccion }
- (X5-) Direccion }
- (X6) Falla Agitador n°2
- (X7) Vacante
- (X8+) Pulso } Agitador n°3
- (X8-) Pulso }
- (X9+) Direccion }
- (X9-) Direccion }
- (X10) Falla Agitador n°3
- (X11) Vacante
- (X12+) Pulso } Agitador n°4
- (X12-) Pulso }
- (X13+) Direccion }
- (X13-) Direccion }
- (X14) Falla Agitador n°4
- (X15) Vacante
- (X16) Vacante
- (X17) Vacante
- (X18) Vacante
- (X19) Vacante
- (X20) Vacante
- (X21) Vacante
- (X22) Vacante
- (X23) Vacante
- (X24) Vacante
- (X25) Vacante
- (X26) Vacante
- (X27) Vacante

Salidas Digitales

- (Y0+) Pulso } Agitador n°1
- (Y0-) Pulso }
- (Y1+) Direccion }
- (Y1-) Direccion }
- (SG0) Vacante
- (Y2+) Pulso } Agitador n°2
- (Y2-) Pulso }
- (Y3+) Direccion }
- (Y3-) Direccion }
- (Y4+) Pulso } Agitador n°3
- (Y4-) Pulso }
- (Y5+) Direccion }
- (Y5-) Direccion }
- (SG4) Vacante
- (Y6+) Pulso } Agitador n°4
- (Y6-) Pulso }
- (Y7+) Direccion }
- (Y7-) Direccion }
- (C8) Comun
- (Y8) Servo On } Agitador n°1
- (Y9) Servo Reset }
- (Y10) Servo On } Agitador n°2
- (Y11) Servo Reset }
- (C12) Comun
- (Y12) Servo On } Agitador n°3
- (Y13) Servo Reset }
- (Y14) Servo On } Agitador n°4
- (Y15) Servo Reset }

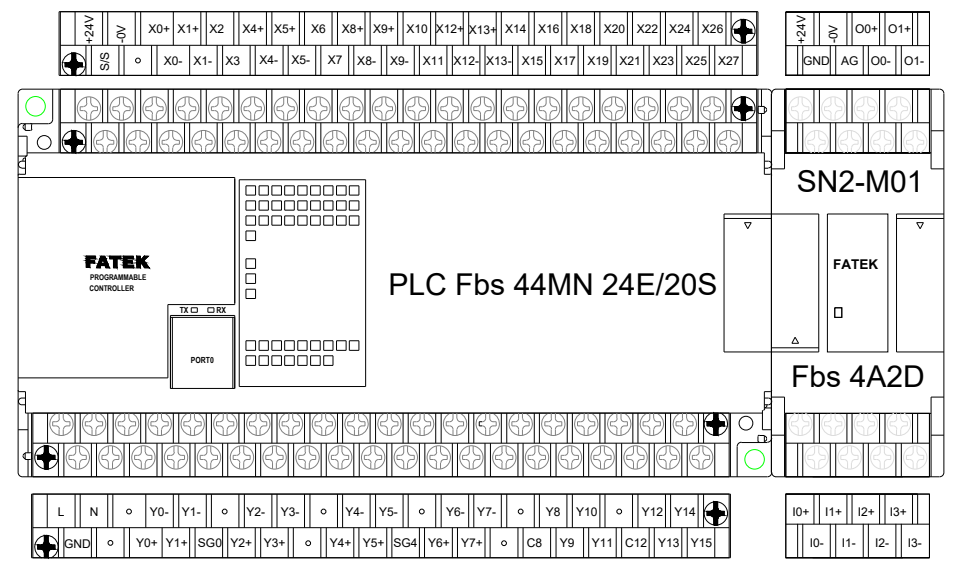
**INGENIERIA EN AUTOMATIZACION
Y CONTROL INDUSTRIAL**

JOSE SANTOS GONZALEZ #0828,
LA GRANJA, SANTIAGO.
CONTACTO: +56 9 98028805
CORREO: PROYECTOS@DACEM.CL
WWW.DACEM.CL

PROYECTO: MPPM

TABLERO: PLC N°1 AGITADORES 1-4	DIBUJÓ: C.DIAZ
	REVISÓ: N/A
	APROBÓ: N/A
CONTENIDO: A3	LÁMINA: 1 DE 5
N°SERIE: N/A	ESCALA: S/E
	FECHA EMISIÓN: 14/06/2022
	REVISIÓN: N/A

PLC N°2 Agitadores 5-9 SN2



Fbs 4A2D SN2

A/I M01

- (I0+) Feedback 0-10v } Agitador n°5
- (I0-) Feedback 0-10v }
- (I1+) Feedback 0-10v } Agitador n°6
- (I1-) Feedback 0-10v }
- (I2+) Feedback 0-10v } Agitador n°7
- (I2-) Feedback 0-10v }
- (I3+) Feedback 0-10v } Agitador n°8
- (I3-) Feedback 0-10v }

PLC Fbs 44MN 24E/20S

Entradas Digitales

- (S/S) Referencia 0v
- (X0+) Pulso } Agitador n°5
- (X0-) Pulso }
- (X1+) Direccion } Agitador n°6
- (X1-) Direccion }
- (X2) Falla Agitador n°5
- (X3) Parada de emergencia
- (X4+) Pulso } Agitador n°6
- (X4-) Pulso }
- (X5+) Direccion } Agitador n°7
- (X5-) Direccion }
- (X6) Falla Agitador n°6
- (X7) Vacante
- (X8+) Pulso } Agitador n°7
- (X8-) Pulso }
- (X9+) Direccion } Agitador n°8
- (X9-) Direccion }
- (X10) Falla Agitador n°7
- (X11) Vacante
- (X12+) Pulso } Agitador n°8
- (X12-) Pulso }
- (X13+) Direccion } Agitador n°8
- (X13-) Direccion }
- (X14) Falla Agitador n°8
- (X15) Vacante
- (X16) Vacante
- (X17) Vacante
- (X18) Vacante
- (X19) Vacante
- (X20) Vacante
- (X21) Vacante
- (X22) Vacante
- (X23) Vacante
- (X24) Vacante
- (X25) Vacante
- (X26) Vacante
- (X27) Vacante

Salidas Digitales

- (Y0+) Pulso } Agitador n°5
- (Y0-) Pulso }
- (Y1+) Direccion } Agitador n°6
- (Y1-) Direccion }
- (Y2+) Pulso } Agitador n°6
- (Y2-) Pulso }
- (Y3+) Direccion } Agitador n°7
- (Y3-) Direccion }
- (Y4+) Pulso } Agitador n°7
- (Y4-) Pulso }
- (Y5+) Direccion } Agitador n°8
- (Y5-) Direccion }
- (Y6+) Pulso } Agitador n°8
- (Y6-) Pulso }
- (Y7+) Direccion } Agitador n°8
- (Y7-) Direccion }
- (C8) Comun
- (Y8) Servo On } Agitador n°5
- (Y9) Servo Reset }
- (Y10) Servo On } Agitador n°6
- (Y11) Servo Reset }
- (C12) Comun
- (Y12) Servo On } Agitador n°7
- (Y13) Servo Reset }
- (Y14) Servo On } Agitador n°8
- (Y15) Servo Reset }



**INGENIERIA EN AUTOMATIZACION
Y CONTROL INDUSTRIAL**

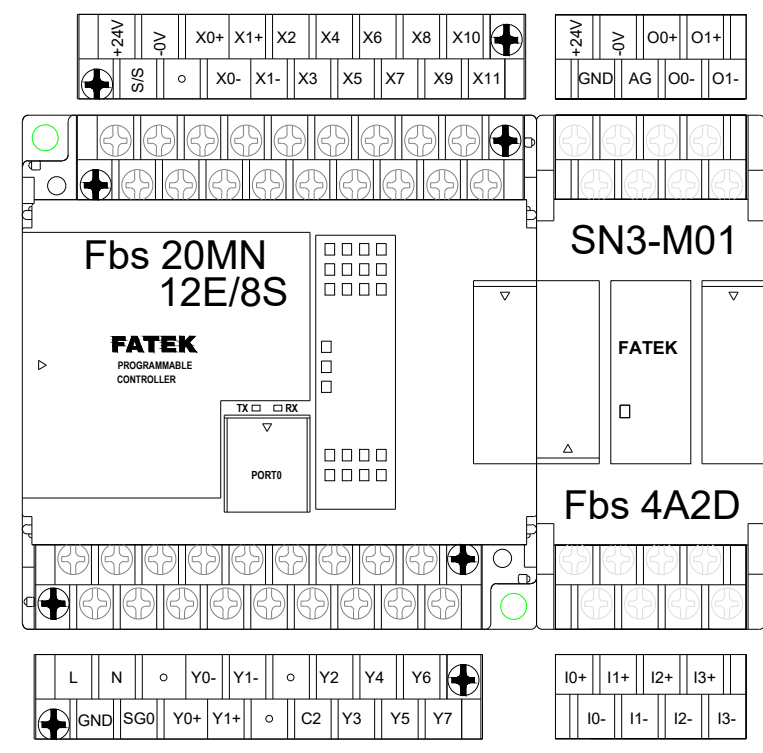
JOSE SANTOS GONZALEZ #0828,
LA GRANJA, SANTIAGO.
CONTACTO: +56 9 98028805
CORREO: PROYECTOS@DACEM.CL
WWW.DACEM.CL

PROYECTO: MPPM

TABLERO: PLC N°2 AGITADORES 5 -8	DIBUJÓ: C.DIAZ
	REVISÓ: N/A
	APROBÓ: N/A
CONTENIDO: A3	LÁMINA: 2 DE 5
N°SERIE: N/A	ESCALA: S/E
	FECHA EMISIÓN: 14/06/2022
	REVISIÓN: N/A

PLC N°3 Paleteo SN3

PLC Fbs 20MN 12E/8S



Entradas Digitales

- (S/S) Referencia 0v
- (X0+) Pulso
- (X0-) Pulso
- (X1+) Direccion
- (X1-) Direccion
- (X2) Falla Agitador n°13
- (X3) Parada de emergencia
- (X4+) Vacante
- (X4-) Vacante
- (X5+) Vacante
- (X5-) Vacante
- (X6) Vacante
- (X7) Vacante
- (X8+) Vacante
- (X8-) Vacante
- (X9+) Vacante
- (X9-) Vacante
- (X10) Vacante
- (X11) Vacante

Salidas Digitales

- (Y0+) Pulso
- (Y0-) Pulso
- (Y1+) Direccion
- (Y1-) Direccion
- (C2) Comun
- (Y2) Servo On
- (Y3) Servo Rst
- (Y4) Vacante
- (Y5) Vacante
- (Y6) Vacante
- (Y7) Vacante

Fbs 4A2D SN3

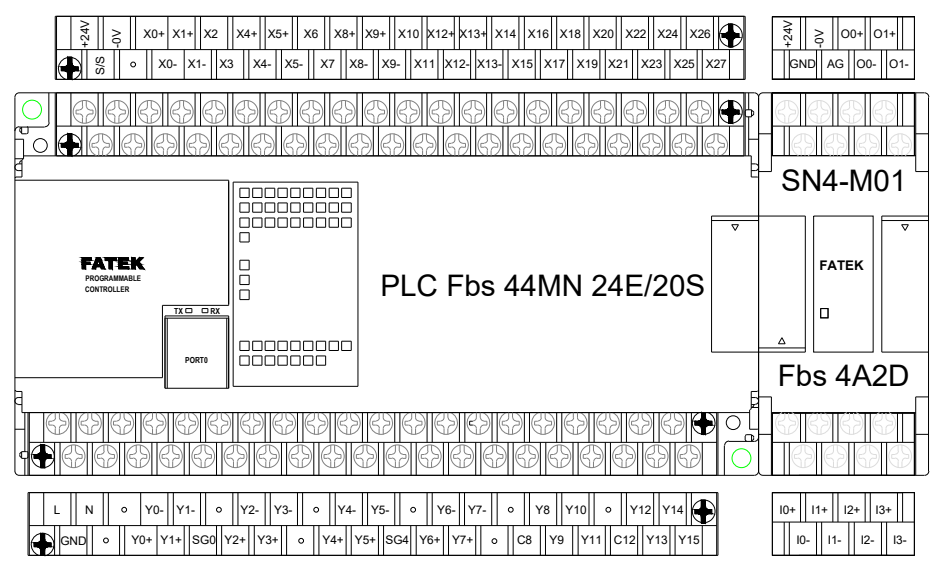
A/I M01

- (I0+) Feedback 0-10v
- (I0-) Feedback 0-10v
- (I1+) Vacante
- (I1-) Vacante

 INGENIERIA EN AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL		JOSE SANTOS GONZALEZ #0828, LA GRANJA, SANTIAGO. CONTACTO: +56 9 98028805 CORREO: PROYECTOS@DACEM.CL WWW.DACEM.CL	
		PROYECTO: MPPM	
TABLERO: PLCN°3 PALETEO		DIBUJÓ: C.DIAZ REVISÓ: N/A APROBÓ: N/A	
CONTENIDO: A3	LÁMINA: 3 DE 5	FECHA EMISIÓN: 14/06/2022	
N°SERIE: N/A	ESCALA: S/E	REVISIÓN: N/A	

PLC N°4 Agitadores 9-12 SN4

PLC Fbs 44MN 24E/20S



Fbs 4A2D SN4

A/I M01

- (I0+) Feedback 0-10v } Agitador n°9
- (I0-) Feedback 0-10v }
- (I1+) Feedback 0-10v } Agitador n°10
- (I1-) Feedback 0-10v }
- (I2+) Feedback 0-10v } Agitador n°11
- (I2-) Feedback 0-10v }
- (I3+) Feedback 0-10v } Agitador n°12
- (I3-) Feedback 0-10v }

Entradas Digitales

- (S/S) Referencia 0v
- (X0+) Pulso } Agitador n°9
- (X0-) Pulso }
- (X1+) Direccion } Agitador n°9
- (X1-) Direccion }
- (X2) Falla Agitador n°9
- (X3) Parada de emergencia
- (X4+) Pulso } Agitador n°10
- (X4-) Pulso }
- (X5+) Direccion } Agitador n°10
- (X5-) Direccion }
- (X6) Falla Agitador n°10
- (X7) Vacante
- (X8+) Pulso } Agitador n°11
- (X8-) Pulso }
- (X9+) Direccion } Agitador n°11
- (X9-) Direccion }
- (X10) Falla Agitador n°11
- (X11) Disponible
- (X12+) Pulso } Agitador n°12
- (X12-) Pulso }
- (X13+) Direccion } Agitador n°12
- (X13-) Direccion }
- (X14) Falla Agitador n°12
- (X15) Vacante
- (X16) Vacante
- (X17) Vacante
- (X18) Vacante
- (X19) Vacante
- (X20) Vacante
- (X21) Vacante
- (X22) Vacante
- (X23) Vacante
- (X24) Vacante
- (X25) Vacante
- (X26) Vacante
- (X27) Vacante

Salidas Digitales

- (Y0+) Pulso } Agitador n°9
- (Y0-) Pulso }
- (Y1+) Direccion } Agitador n°9
- (Y1-) Direccion }
- (SG0) Vacante
- (Y2+) Pulso } Agitador n°10
- (Y2-) Pulso }
- (Y3+) Direccion } Agitador n°10
- (Y3-) Direccion }
- (Y4+) Pulso } Agitador n°11
- (Y4-) Pulso }
- (Y5+) Direccion } Agitador n°11
- (Y5-) Direccion }
- (SG4) Vacante
- (Y6+) Pulso } Agitador n°12
- (Y6-) Pulso }
- (Y7+) Direccion } Agitador n°12
- (Y7-) Direccion }
- (C8) Comun
- (Y8) Servo On } Agitador n°9
- (Y9) Servo Reset }
- (Y10) Servo On } Agitador n°10
- (Y11) Servo Reset }
- (C12) Comun
- (Y12) Servo On } Agitador n°11
- (Y13) Servo Reset }
- (Y14) Servo On } Agitador n°12
- (Y15) Servo Reset }

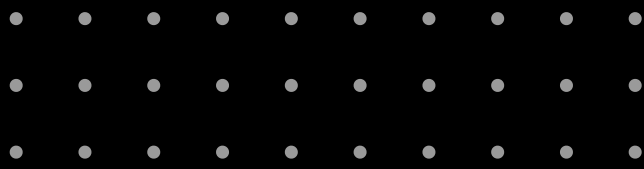


**INGENIERIA EN AUTOMATIZACION
Y CONTROL INDUSTRIAL**

JOSE SANTOS GONZALEZ #0828,
LA GRANJA, SANTIAGO.
CONTACTO: +56 9 98028805
CORREO: PROYECTOS@DACEM.CL
WWW.DACEM.CL

PROYECTO: MPPM

TABLERO: PLC N°4 AGITADORES 9-12	DIBUJÓ: C.DIAZ
	REVISÓ: N/A
	APROBÓ: N/A
CONTENIDO: A3	LÁMINA: 4 DE 5
N°SERIE: N/A	ESCALA: S/E
	FECHA EMISIÓN: 14/06/2022
	REVISIÓN: N/A



SGS