



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL AUTOMATIZADO
PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CONCENTRADO
DE MOLIBDENO EN LA SOCIEDAD MINERA FREEPORT PERÚ”

TESIS:
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADA POR:
Bach. NECIOSUP REQUE, Vanesa Aracely.
Bach. QUIÑONES PUÉMAPE, Nathalí Del Rosario.

Lambayeque, Perú
2017



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISION Y CONTROL AUTOMATIZADO
PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCION DE CONCENTRADO
DE MOLIBDENO EN LA SOCIEDAD MINERA FREEPORT PERU”

TESIS

Para Optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Presentada por:

BACH. NECIOSUP REQUE VANESA ARACELY

BACH. QUIÑONES PUÉMAPE NATHALÍ DEL ROSARIO

JURADO CALIFICADOR

Ing. Ramírez Castro Manuel Javier

Presidente

Ing. Oblitas Vera Carlos

Secretario

Ing. Chamán Cabrera Lucía

Vocal

Lambayeque, Perú

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL
AUTOMATIZADO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE
PRODUCCIÓN DE CONCENTRADO DE MOLIBDENO EN LA
SOCIEDAD MINERA FREEPORT PERÚ”**

TESIS

Para Optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Presentada por:

BACH. NECIOSUP REQUE VANESA ARACELY

BACH. QUIÑONES PUÉMAPE NATHALÍ DEL ROSARIO

Aceptada por la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Ing. Ramírez Castro Manuel Javier
PRESIDENTE

Ing. Oblitas Vera Carlos
SECRETARIO

Ing. Chamán Cabyera Lucía
VOCAL

Lambayeque - Perú
2017



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL
AUTOMATIZADO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE
PRODUCCIÓN DE CONCENTRADO DE MOLIBDENO EN LA
SOCIEDAD MINERA FREEPORT PERÚ”**

TESIS

Para Optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Autores:

Bach. Quiñones Puemape Nathalf del Rosario

Bach. Neciosup Requena Vanesa Aracely

Ing. Hugo Chiclayo Padilla
Asesor

Este trabajo de tesis es el producto final del gran esfuerzo realizado todo este tiempo; después de un largo camino recorrido concluimos una de las etapas más importantes de nuestras vidas.

Agradecemos a Dios por ser nuestra guía y fortaleza para lograr nuestras metas; asimismo por permitirnos librar obstáculos para seguir luchando por el presente y por el futuro.

A nuestros padres por ser ejemplo de esfuerzo, constancia, superación y humildad; a nuestros hermanos por el apoyo brindado a diario.

A los docentes que supieron transmitir sus enseñanzas y experiencias en el transcurso de nuestra formación académica a lo largo de nuestra carrera universitaria

LAS AUTORAS

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad a lo estipulado por el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, presentamos a vuestra consideración la tesis titulada:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL AUTOMATIZADO PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CONCENTRADO DE MOLIBDENO EN LA SOCIEDAD MINERA FREEPORT PERÚ”.

Con la finalidad de obtener el Título de Ingeniero Electrónico y esperando constituya una herramienta útil de consulta para quienes se interesen en este tipo de estudio.

Nuestro proyecto de investigación se ha desarrollado de acuerdo a las necesidades de nuestros usuarios, realizando un análisis previo de la problemática existente y aplicando conocimientos, esfuerzos e investigación.

Esperamos haber dado cumplimiento y satisfacción a las expectativas y que este trabajo de investigación sirva de guía o de referencia para el desarrollo de futuras investigaciones.

Lambayeque, Abril del 2017

RESUMEN

El presente trabajo se ha desarrollado en la Sociedad Minera Freeport Perú, en la planta de concentrado de Molibdeno.

Para iniciar el proceso se recibe la pulpa del concentrado de cobre con aproximadamente 46% de sólidos y luego se incrementa el contenido de sólidos a aproximadamente 91% de sólidos. El concentrado es filtrado en dos etapas, luego comprimiendo la capa de sólidos e inyectando aire comprimido a través de la misma para reducir más la humedad, una faja transportadora de descarga alimenta el concentrado filtrado a contenedores o recipientes para concentrados.

El sistema de secado y concentrado tenía deficiencias en lo que respecta al control, teniendo pérdidas en manejo de motores, bombas así como falta de alarmas. Después de analizar la problemática se desarrolla el sistema de automatización que nos permitiría eliminar estos problemas.

El sistema planteado es una Arquitectura de Control Distribuida, con dos niveles definidos el primero de control y el segundo de supervisión. El nivel de control regula las principales variables del proceso, estableciendo lazos de control realimentados y basados en controladores PID. En el nivel de supervisión se ha implementado base de datos, alarmas y generación de gráficas en tiempo real.

ABSTRACT

This present work has developed in the "Sociedad Minera Freeport" Peru, in the concentrate plant of Molibdeno.

The pulp of the copper concentrate is received in order to initiate the process with approximately 46 % of solids and next the contents of solids increases to approximately 91 % of solids. The concentrate is filtered in two stages, next compressing the cake of solids and injecting compressed air through the same to reduce plus the humidity, a belt conveyor of unloading feeds the concentrate filtered to containers or containers for concentrates.

The system of drying and concentrate had deficiencies in regards to control, having problems in handling of motors, bombs as well as deficiency of alarms. The system of automation that would allow us eliminating these problems develops after analyzing the problems.

The presented system is Control's Architecture Distributed, with two defined levels the first one of control and the second one of supervisory. The level of control regulates the main variables of the process, establishing re-nourished and based loops of control in controls PID. Basis of data, alarms and generation of graphs in real time have been implemented in the supervisory level.

INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito implementar una solución de automatización para optimizar el proceso de concentrado de Molibdeno, en las instalaciones de la Sociedad Minera Freeport Perú.

Con la finalidad de lograr una mayor comprensión y entendimiento del trabajo desarrollado en esta tesis, detallaremos a continuación cada uno de los cinco capítulos que la conforman:

Capítulo I: Análisis de la Problemática

En este capítulo se describe la problemática, los objetivos del proyecto tanto el general como los específicos, se plantea la hipótesis como solución del problema.

Capítulo II: Marco Teórico

En este capítulo se definen los principales conceptos de automatización que se utilizarán en el diseño y desarrollo de nuestro proyecto. Se hace mención a los controladores, así como información sobre el proceso de concentración del molibdeno.

Capítulo III: Descripción del Proceso y Determinación de Puntos Críticos de Control

En este capítulo se hace una descripción de todas las etapas del proceso, se determinan los procedimientos y se identifican las variables más críticas por cada una de estas.

Capítulo IV: Diseño del Sistema de Supervisión y Control

En este capítulo se diseñan los lazos de control del sistema, se establece la arquitectura del sistema de control, así mismo se muestran los planos de instrumentación y el software de supervisión. Se utilizan criterios de selección para los instrumentos y equipos del sistema.

Capítulo V: Análisis de Costos

En este capítulo evaluaremos y presentaremos los costos de los equipos y de implementación del proyecto, así mismo se indicará la inversión necesaria y el financiamiento.

Conclusiones y Recomendaciones

Finalmente se detallan las conclusiones y recomendaciones que se han determinado al finalizar el estudio.

INDICE

	Pág.
Agradecimiento	i
Presentación	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Introducción	v
Indice	1
Capítulo I: ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA	
1. Aspectos Informativos	5
1.1 Datos Informativos	5
1.2 Marco Lógico	6
1.2.1 Situación Problemática	6
1.2.2 Antecedentes del Problema	7
1.2.3 Problema	10
1.2.4 Hipótesis	10
1.2.5 Objetivos	10
1.2.6 Justificación e Importancia	11

Capítulo II: MARCO TEÓRICO	
2.1 El Molibdeno	13
2.2 Conceptos de Automatización	20
2.2.1 Tipos de Control	20
2.2.2 Sistemas de Control	21
2.2.3. Control Supervisor	23
2.2.4 Control Distribuido	24
2.2.5 Actuadores	25
Capítulo III: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL	
3. Descripción del Proceso	29
3.1 Generalidades	29
3.2 Proceso Productivo	30
3.3 Puntos Críticos y Lazos de Control	32
3.3.1 Espesamiento del concentrado de Cu-Mo	32
3.3.2 Flotación Rougher y Scavenger de Mo	35
3.3.3 Flotación del primer cleaner de Mo	36
3.3.4 Espesamiento de concentrado de primer cleaner	37
3.3.5 Flotación de Mo en celda columna	38
3.3.6 Flotación Scavenger de limpieza de Mo	39
3.3.7 Filtración de concentrado final	40
3.3.8 Secado y empaque del concentrado final	41

Capítulo IV: DISEÑO DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

4. Arquitectura del Sistema de Control	43
4.1 Funciones necesarias del sistema	45
4.2 Red de comunicación	45
4.3 Planos de instrumentación	46
4.4 Modelamiento de los sistemas y algoritmos de control	62
4.5 Software de supervisión	79
4.6 Criterios de selección de la instrumentación	87
4.7 Selección de equipos e instrumentación	91

Capítulo V: ANÁLISIS DE COSTOS

5.1. Generalidades	102
5.2 Estimación de costos	102
5.3 Inversión y financiamiento	105

Conclusiones	107
--------------	-----

Recomendaciones	108
-----------------	-----

Referencia Bibliográfica	109
--------------------------	-----

Anexos	110
--------	-----

CAPITULO I

ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

1. ASPECTOS INFORMATIVOS.

1.1. Datos Informativos.

1.1.1. Título

DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL AUTOMATIZADO PARA MEJORAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CONCENTRADO DE MOLIBDENO EN LA SOCIEDAD MINERA FREEPORT PERÚ

1.1.2. Personal Investigador

Bach. Quiñones Puémape Nathali del Rosario.

Bach. Neciosup Reque Vanessa Aracely.

1.1.3. Asesor

Hugo Javier Chiclayo Padilla- Ingeniero Electrónico de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

1.1.4. Centro de Investigación

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo; Facultad de Ciencias Físicas Matemáticas; Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.

1.1.5. Área de Investigación

Área de Electrónica Aplicada a la Automatización.

1.1.6. Lugar de Investigación

El Distrito de Uchumayo del departamento de Arequipa.

1.1.7. Beneficiario de la Investigación

La Sociedad Minera Freeport Perú en el distrito de Uchumayo; departamento de Arequipa.

1.2. MARCO LÓGICO

1.2.1. Situación Problemática

El área de Secado y Concentrado recibe la pulpa del concentrado de cobre (relave de la flotación scavenger de moly) con aproximadamente 46% de sólidos y luego se incrementa el contenido de sólidos a aproximadamente 91% de sólidos. El concentrado es filtrado en dos etapas: primero el concentrado de Cu es espesado en el espesador para concentrados de Cu por sedimentación, segundo el underflow del espesador es alimentado a los filtros de presión para concentrados de Cu, los cuales mecánicamente eliminan la humedad bombeando el concentrado hacia los compartimientos del filtro en los cuales el paño de filtro deja pasar el agua mientras se retienen los sólidos. Comprimiendo la capa de sólidos y luego inyectando aire comprimido a través de la misma para reducir más la humedad, una faja transportadora de descarga alimenta el concentrado filtrado a contenedores o recipientes para concentrados instalados en los camiones.

El relave de la flotación scavenger de molibdeno es el concentrado final de cobre, este es muestreado en la planta moly y luego bombeado al espesador de concentrado de Cu. El concentrado de cobre es espesado alrededor de 64% de sólidos con la ayuda del floculante y transferido a los tanques de almacenamiento con agitación.

El sistema de transporte de mineral tiene perdidas en manejo de motores, bombas y desperdicio de materia prima, así como falta de alarmas.

El sistema al no estar automatizado no tiene control ante una posible parada o avería, así como no mantiene la calidad del producto.

La falta de un sistema de seguridad ocasionaría accidentes que afectarían al personal que trabaja en dicha área.

Una supervisión inadecuada no permite generar una base de datos, ni tener un registro histórico de los principales eventos.

1.2.2. Antecedentes del Problema

Se tiene que aclarar que anteriormente no se ha realizado ningún proyecto relacionado al tema en la Sociedad Minera Freeport Perú.

a) Antecedentes Internacionales

TITULO: “MEDICIÓN DE CINÉTICA DE TOSTACIÓN DE CONCENTRADOS DE MOLIBDENITA”

AUTOR: Carlos Hernández Ibañez

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

Universidad de Chile

Chile, 2008

RESUMEN: El presente estudio pretende analizar dos concentrados específicos de molibdenita, con composiciones levemente distintas, que registran una gran diferencia en los resultados operacionales de tostación. Esta diferencia será enfocada desde el punto de vista de los mecanismos de reacción involucrados y las impurezas del concentrado, con la finalidad de determinar las razones que expliquen tal diferencia. Debido a que el componente que presenta diferencias y cantidades significativas entre los concentrados, es el cobre, este estudio se enfocará en determinar la influencia de este elemento sobre la tostación.

TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN EN LA RECUPERACIÓN METALÚRGICA DE MOLIBDENO, PLANTA LAS TÓRTOLAS”

AUTOR: Xiomara Méndez Méndez

Facultad de Ingeniería

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Chile, 2013

RESUMEN: El presente estudio da cuenta del bajo escenario productivo que presenta la Planta Las Tórtolas, División Los Bronces, donde se han alcanzado recuperaciones históricas de cobre y molibdeno de un 74% y 35% respectivamente.

Ante esta situación se llevó a cabo un análisis histórico de leyes de mineral, características mineralógicas y datos operacionales asociados, donde fue posible visualizar que las bajas leyes de cabeza de Molibdeno de alrededor de un 0,011% para el último periodo que comprende los años 2011 y 2012 se encuentran asociadas a la Fase mineralógica Donoso 1, donde a través de un análisis por microscopía dio cuenta de tamaños anormales de ganga asociada y por ende es una de las causas de pérdidas de molibdeno.

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS DE FLOTACIÓN EN PLANTA DE MOLIBDENO”

AUTOR: Mario Peñafiel

Facultad de Ingeniería

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Chile, 2012

RESUMEN: El presente estudio plantea la implementación de Celdas de Flotación en Plantas de Molibdeno, esta situación se llevó a cabo un análisis histórico de leyes de mineral, características mineralógicas y datos operacionales asociados, donde fue posible demostrar cómo afecta la utilización de celdas de flotación en la extracción y concentración de Molibdeno, para así poder reducir las pérdidas de molibdeno en los procesos de tratamiento de minerales.

b) Antecedentes Nacionales

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO EN MOLINOS PARA OPTIMIZAR LA MOLIENDA DEL CIRCUITO DE COBRE EN LA PLANTA CONCENTRADORA DE SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.”

AUTORES: Víctor Chillcce Aquino, Roger Rojas Amaro

Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales

Universidad Nacional del Centro del Perú

Huancayo – Perú, 2012

RESUMEN: La empresa minera SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE SAA., actualmente explota y beneficia minerales de cobre y molibdeno. La molienda es la última etapa en el proceso de conminución de las partículas de minerales, y por lo mismo una molienda óptima es la clave para una buena liberación del mineral incluyendo eficiencia del circuito. En la actualidad esta empresa minera viene realizando trabajos de implementación y poniendo en marcha circuitos pilotos que le permitan mejorar la liberación de las partículas valiosas del mineral y así obtener el tamaño óptimo de liberación, ya que este mejoraría enormemente la calidad de molienda más fina que conllevaría a una mejora en la recuperación en el concentrado de cobre y molibdeno. El proyecto plantea un sistema experto que permita optimizar los procesos de explotación de cobre y molibdeno.

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE GRASA LUBRICANTE DE DISULFURO DE MOLIBDENO PARA EL SECTOR MINERO”

AUTOR: José Antonio Sastre Noboa

Ingeniería Industrial

Universidad de Lima

Perú, 2011

RESUMEN: El presente estudio busca mostrar el potencial que tiene el Perú para brindar un valor agregado a las materias primas que se extraen en el país. Específicamente se trata de la Molibdenita, que es

utilizada como lubricante sólido en aleaciones, grasas y otras aplicaciones, además de proveer de otros subproductos. Cabe destacar que en el Perú, siendo el cuarto productor en el mundo, aún no cuenta con estas plantas para el tratamiento.

Por lo tanto, la grasa lubricante con molibdeno es utilizada en máquinas con alta fricción o altas temperaturas. Además, hay máquinas en las que solamente se puede utilizar este tipo de grasa por los altos niveles de fricción que presentan. En otros países se consume esta grasa, con distinto porcentaje de disulfuro, en diversos equipos, como armas, vehículos, entre otros. En nuestro país, las empresas mineras nacionales se encuentran en constante crecimiento y generan altos índices de producción, lo que hace necesario que mantengan sus equipos en el mejor estado posible, para lo cual consumen más grasa.

1.2.3. Problema

¿El Diseño de un Sistema de Supervisión y Control del Proceso de Producción de Concentrado de Molibdeno en la Sociedad Minera Freeport Perú, permitirá mejorar dicho proceso?

1.2.4. Hipótesis

Si se diseña un Sistema de Supervisión y Control del Proceso de Producción de Concentrado de Molibdeno en la Sociedad Minera Freeport Perú, mejoraremos dicho proceso.

1.2.5. Objetivos.

1.2.5.1. Objetivo General.

Diseñar un Sistema que Controle y Supervise en tiempo real el proceso de Producción del Concentrado de Molibdeno para así mejorar el rendimiento de la planta Moly en la Sociedad Minera Freeport Perú.

1.2.5.2. Objetivos Específicos.

- ✓ Diseñar el sistema de control necesario para la automatización.
- ✓ Desarrollar los algoritmos de control necesarios para el proyecto.
- ✓ Realizar la selección adecuada de equipos e instrumentos para el proyecto.
- ✓ Desarrollar el software de supervisión que contenga reportes y alarmas, así como una base de datos.
- ✓ Calcular los costos necesarios para la implementación.

1.2.6. Justificación e Importancia del Proyecto.

Para una Empresa Industrial cuyo rubro tiende a satisfacer a un público consumidor, la productividad es un parámetro muy importante dado que está relacionado con la eficiencia de la misma. Sin embargo para satisfacer a los clientes no basta la eficiencia, se requiere además de otro factor importante como es la calidad.

Una producción eficiente y un producto de calidad garantizan el futuro de una empresa industrial. La eficiencia en la producción no es algo sencillo de entender, requiere de un sentido más amplio, como la obtención de un producto de calidad en un tiempo razonable y un bajo costo de producción.

Si bien es cierto que la inversión en automatización es inicialmente alta, también es cierto que la optimización que trae consigo el control y automatización de procesos industriales produce beneficios que justifica el proyecto:

- a. Se obtiene una reducción en el consumo de energía al optimizar los procesos.
- b. Se reduce el uso de la mano de obra y la operación de máquinas con alta influencia manual, que al final reducen la confianza y aumentan el riesgo de accidentes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El Molibdeno

2.1.1. Reseña histórica del Molibdeno

En 1778 Carl Wilhelm Scheele hizo reaccionar el mineral molibdenita (MoS_2) con ácido nítrico obteniendo un compuesto con propiedades ácidas al que llamó "acidum molibdenae".

Luego Hjelm aisló el metal impuro mediante la reducción del anterior compuesto con carbono en 1782, después usándolo como agente aleante.

De esta forma en 1894 Schneider Electric hizo la primera armadura de placas de acero de molibdeno, utilizándose en la 1ª Guerra Mundial en la mayoría de las empresas

En el siglo XIX, el molibdeno era un elemento de laboratorio sin uso económicamente práctico alguno. Sin embargo, como consecuencia de diversos experimentos realizados, se mostró que el molibdeno era un buen sustituto del tungsteno en diversas aleaciones con el acero. No obstante, recién a inicios del siglo XX, cuando la tecnología empezaba a hacer posible la extracción de cantidades suficientes, surgió el interés comercial por explotar el metal.

2.1.2. Definición de Molibdeno

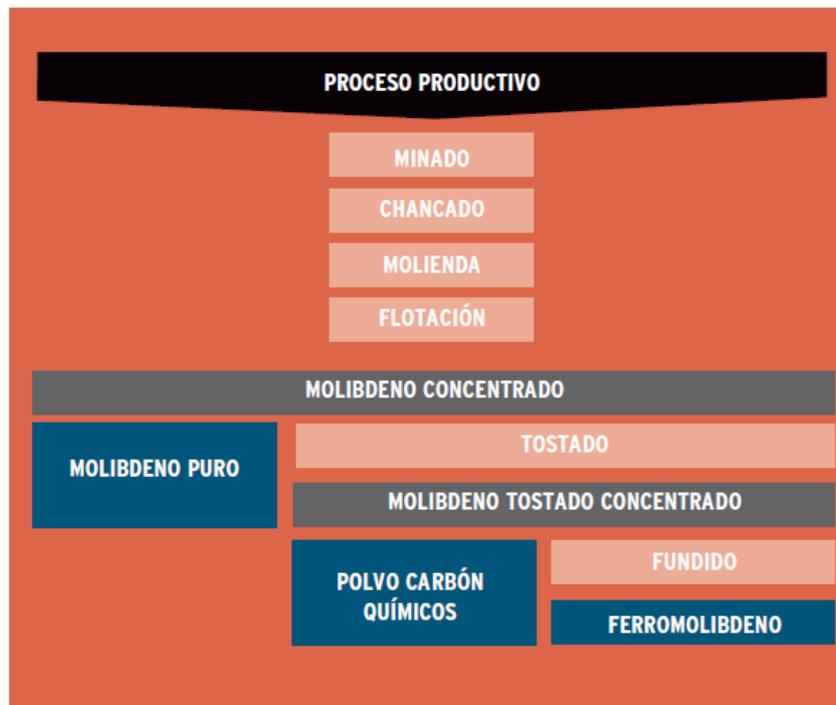
La palabra molibdeno proviene del griego "molybdos" que quiere decir "como el plomo", puesto que era confundido con este elemento.

El molibdeno es un metal esencial desde el punto de vista biológico y se utiliza sobre todo en aceros aleados. Es un metal de color gris plateado, que no existe en estado puro en la naturaleza, por lo que generalmente se encuentra asociado a otros elementos, como es el caso de los minerales sulfurados, de los cuales también se obtiene el cobre, sin embargo la molibdenita (MoS_2) es el mineral con mayor contenido de molibdeno.

Así, es común que el molibdeno sea considerado un subproducto de una operación de extracción de cobre. Es un metal que se usa como materia prima para obtener aleaciones, entre la que destacan los aceros más resistentes. Alrededor de las dos terceras partes de este metal se usa para ese fin.

Este metal plateado tiene el sexto punto de fusión más alto de cualquier elemento. El molibdeno no se produce como el metal libre en la naturaleza, sino en varios estados de oxidación en los minerales. Industrialmente, los compuestos de molibdeno se emplean en aplicaciones de alta presión y alta temperatura, como pigmentos y catalizadores.

Sus características principales son durabilidad, resistencia y capacidad para soportar corrosión agresiva y altas temperaturas.



FUENTE: INTERNATIONAL MOLYBDENUM ASSOCIATION.

2.1.3. Características Físicas

- ✓ Estado sólido
- ✓ Color blanco plateado
- ✓ Densidad: 10280 kg/m³ g/mol.
- ✓ Punto de fusión: 2896 K
- ✓ Punto de ebullición: 4912 K

2.1.4. Características Químicas

- ✓ Electronegatividad: 1,8 en la escala de Pauling
- ✓ Masa atómica de 95,94 g/mol.
- ✓ No reacciona con oxígeno o agua a temperatura ambiente.
- ✓ A temperaturas elevadas, se forma el óxido de molibdeno (VI):
(VI): $2 \text{ Mo} + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ MoO}_3$
- ✓ El óxido de molibdeno (VI) es soluble en bases y contribuye en la formación (MoO_4^{2-}) de molibdatos

2.1.5. Propiedades del Molibdeno

El molibdeno, el elemento número 42 de la tabla periódica, se encuentra en segunda serie de transición de la tabla, en el Grupo 6A entre cromo y tungsteno.

Tiene una de las temperaturas de fusión más altos de todos los elementos, sin embargo, a diferencia de la mayoría de los otros metales de alto punto de fusión, su densidad es sólo un 25% mayor que el hierro de. Su coeficiente de expansión térmica es la más baja de los materiales de ingeniería, mientras que su conductividad térmica es superior a todos menos un puñado de elementos.

Propiedades de molibdeno	
Número atómico	42
Peso atomico	95.96
Estructura cristalina	Centrada en el cuerpo cúbico (BCC)
Constante de red	$a = 3,1470 \text{ \AA}$
Densidad	$10,22 \text{ g / cm}^3$
Temperatura de fusión	$2623 \text{ }^\circ \text{C}$
Coefficiente de expansión termal	$4,8 \times 10^{-6} / \text{K a } 25 \text{ }^\circ \text{C}$
Conductividad térmica	$138 \text{ W / m K a } 20 \text{ }^\circ \text{C}$

Cuando se añade a los hierros de acero y fundición, molibdeno mejora la fuerza, la capacidad de endurecimiento, soldabilidad, tenacidad, resistencia a temperatura elevada y resistencia a la corrosión. En las aleaciones a base de níquel, se mejora la resistencia tanto a la corrosión y deformación de fluencia a alta temperatura.

Aleaciones a base de molibdeno tienen una combinación única de propiedades, incluyendo una alta resistencia a temperaturas elevadas, alta conductividad térmica y eléctrica, y baja expansión térmica. El molibdeno metal y sus aleaciones son la primera elección en muchas aplicaciones especializadas exigentes.

2.1.6. Aplicaciones del Molibdeno

El molibdeno en las plantas es imprescindible para la síntesis de los aminoácidos a partir del nitrógeno absorbido; en las leguminosas su presencia es fundamental para la fijación del nitrógeno atmosférico; las necesidades de las plantas son mínimas, pero hay que tener precaución en las aplicaciones porque es tóxico en concentraciones muy pequeñas; el melón y la coliflor son los cultivos más sensibles a las carencias.

En el suelo, el molibdeno es el único microelemento cuya carencia se acentúa en suelos ácidos, en cuyo caso la carencia desaparece con un encalado. La presencia de fósforo en el suelo provoca la liberación de molibdeno asimilable.

Aproximadamente las dos terceras partes del molibdeno consumido se emplean en aleaciones.

El uso del molibdeno se remonta a la Primera Guerra Mundial, cuando hubo una fuerte demanda de wolframio, que lo hizo escasear, y se necesitaban aceros muy resistentes. El molibdeno se utiliza pues en aleaciones de alta resistencia y que soporten temperaturas y corrosiones sumamente altas. Estas aleaciones se usan en la construcción y en piezas de aviones y automóviles.

El molibdeno se usa también como catalizador en la industria petrolera. En concreto, es útil para la eliminación de azufre.

Además, el molibdeno se emplea en distintos pigmentos (con un color anaranjado), para pinturas, tintes, plásticos y compuestos de caucho. El disulfuro de molibdeno (MoS_2) es un buen lubricante por sí mismo y brinda propiedades de tolerancia de presiones extremas a los lubricantes al reaccionar con el metal, de manera que se forma una capa cristalina en la superficie de éste. Gracias a ello, el contacto metal-metal, destructivo a largo plazo, se reduce al mínimo y se puede emplear a altas temperaturas.

El molibdeno se emplea en determinadas aplicaciones electrónicas, como

en las capas de metal conductoras en los transistores TFT (Thin Film Transistor).

2.1.7. El Molibdeno en el Perú

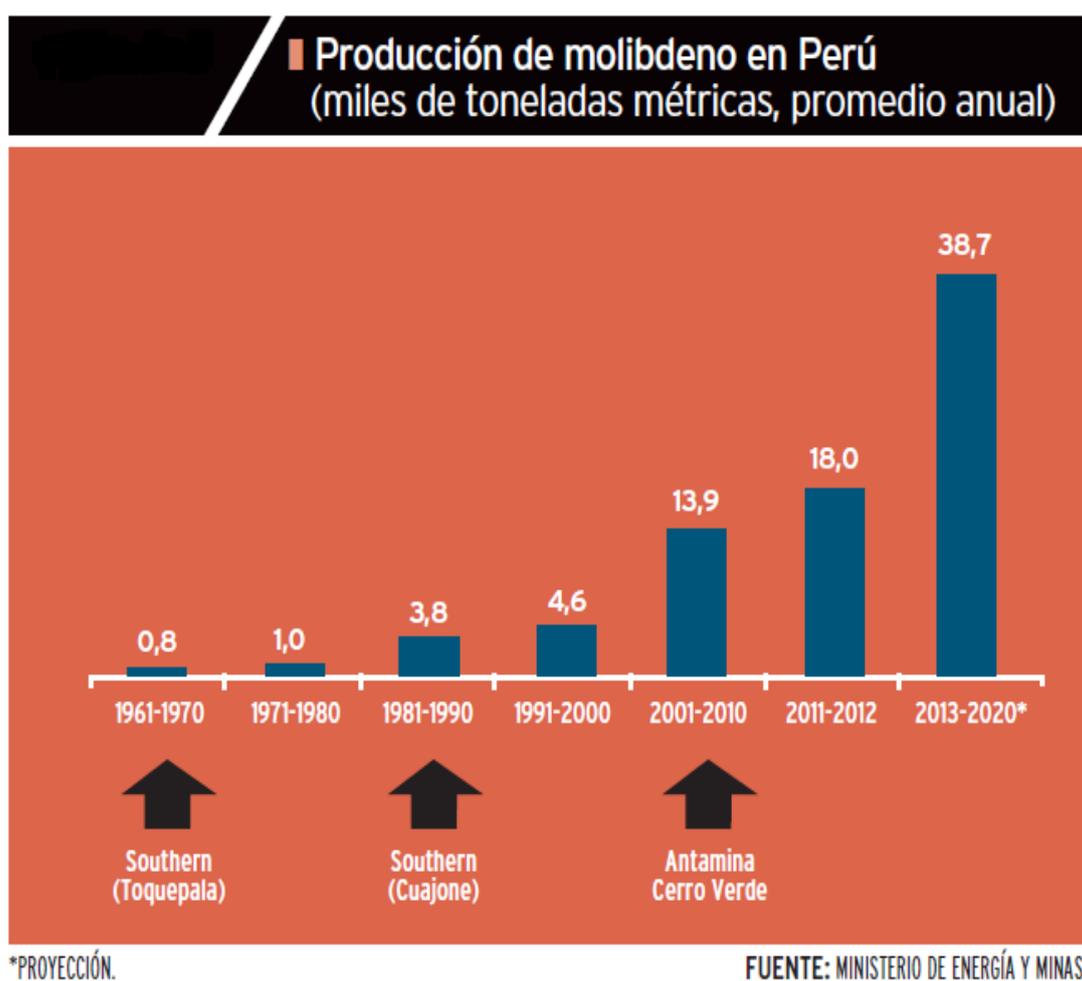
La historia del molibdeno en Perú está asociada al inicio de las grandes operaciones cupríferas en la década de los 60, cuando Southern pone en operaciones la mina Toquepala en Tacna, con una capacidad de producción inicial de 46 mil toneladas por día de mineral de cobre. Ello permitió producir un promedio de mil toneladas de molibdeno anuales. Posteriormente, en 1976, la inauguración del complejo minero Cuajone en Moquegua, con una capacidad de producción de 58 mil toneladas de cobre por día, permitió al país alcanzar un nivel de producción de casi 5 mil toneladas anuales de molibdeno.

El crecimiento acelerado en la producción nacional de este metal se concentró a partir de la década pasada, gracias a las ampliaciones de Cuajone (1999) y Toquepala (2002), así como al inicio de operaciones de Antamina (2001) y Cerro Verde (2007). Ello permitió que, entre 2000 y 2012, la producción anual de molibdeno pase de 7 mil a 17 mil toneladas métricas, y que junto a la mayor cotización, las exportaciones de este metal pasaran de US\$ 33 millones en 2000 a US\$ 435 millones en 2012, con un pico de más de US\$ 1 000 millones en 2005. Actualmente son tres las empresas productoras de molibdeno: Southern (44%), Antamina (33%) y Cerro Verde (23%).

No obstante, desde hace algún tiempo investigadores peruanos están desarrollando un proyecto para reducir el contenido de azufre en el petróleo crudo extraído aplicando compuestos metálicos dentro de los cuales está el molibdeno. De esta forma, se está buscando darle un mayor valor agregado industrial como catalizador con fines de contribuir a la limpieza del medio ambiente.

Actualmente, nuestro país cuenta con una cartera de proyectos de inversión que bordean los US\$ 53 mil millones, siendo los proyectos cupríferos los que representan una mayor participación, con US\$ 35 mil millones, de los cuales US\$ 22 mil millones se relacionan directamente

con unidades que también presentan contenido de molibdeno como Toromocho, las Bambas, Quellaveco, Los Chancas. De entrar en operaciones estos proyectos para el año 2021, el Perú podría alcanzar una producción de 50 mil TM, lo que se reflejaría, a precios actuales, en un valor de exportaciones de casi US\$ 1 300 millones, tres veces el valor de 2012.



2.2. Conceptos de Automatización

La tecnología de control y automatización industrial permite el manejo de los procesos productivos a través de una variable grande de controladores, específicamente diseñados para tales propósitos, o mediante dispositivos de propósito general como pueden ser las computadoras personales.

El estudio de los sistemas de control es de importancia, debido a que las características dinámicas de la respuesta de los procesos dependen sustancialmente tanto del controlador como del sistema que se use para el control del proceso.

2.2.1. Tipos de Control

El objetivo de los controladores es tomar decisiones acerca de la manera en que se maneja la variable manipulada para mantener la variable que se controla en el punto de control.

La forma como el controlador automático produce la señal de control (determinada por el error), se denomina acción de control.

La acción de control describe la manera en que se establecen las acciones correctivas de un sistema de control, con relación a la desviación o error entre la magnitud medida y la magnitud de valor deseado (set point).

Los controladores automáticos industriales pueden clasificarse de acuerdo a su modo de control. Los modos de control asociados a un controlador son:

a) Control Todo o nada (de dos posiciones)

También denominado "on - off", es el modo de control más simple y se denomina así porque el actuador se encuentra en alguna de las dos posiciones, abierto o cerrado. El elemento final de control se mueve rápidamente entre una de las posiciones mencionadas, para un valor único de la variable controlada.

b) Control Proporcional + Integral + Derivativo (PID)

Este controlador tiene las ventajas de cada una de las tres siguientes acciones de control individuales:

- a) El componente de acción proporcional corrige el elemento de control final por cantidad proporcional a la desviación de la variable con respecto al punto de consigna.
- b) El componente de acción integral corrige el elemento de control final a una razón proporcional a la desviación.
- c) El componente de acción derivativo corrige el elemento de control final a una cantidad proporcional a la razón de cambio (velocidad) de la variable controlada.

La elección de uno y otro modo de control depende básicamente de las características dinámicas del proceso que se considere o que se desea controlar ya que cada uno de los modos de control indicados posee características inherentes bien definidas, También depende de consideraciones de tipo económico, precisión de control requerida, velocidad de respuesta del proceso, seguridad del personal de operaciones y del equipo de proceso.

2.2.2. Sistemas de Control

Un sistema de control es una combinación de componentes o conjunto de elementos de arreglo flexible que actuando en conjunto cumple el objetivo de realizar un determinado control.

Para todo sistema de control se debe establecer la selección del elemento sensor, del controlador y del control final. Un buen sistema de control debe seguir estrechamente las señales de entrada, pero no debe ser sensible a ruidos o variaciones de parámetros externos, tener presente el tiempo muerto, ya que es lo peor que puede suceder en cualquier sistema de control.

a) Sistemas de Control de Lazo Abierto

En este sistema la salida no tiene efecto sobre la acción de control, por lo que no se compara la salida con la entrada de referencia; por eso el controlador no realiza ninguna función relativa a cómo mantener la variable controlada en el punto de control.

En consecuencia, para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación prefija. Así, la precisión del sistema depende de la calibración y precisión del equipo. Este sistema no detecta ni corrige las perturbaciones.

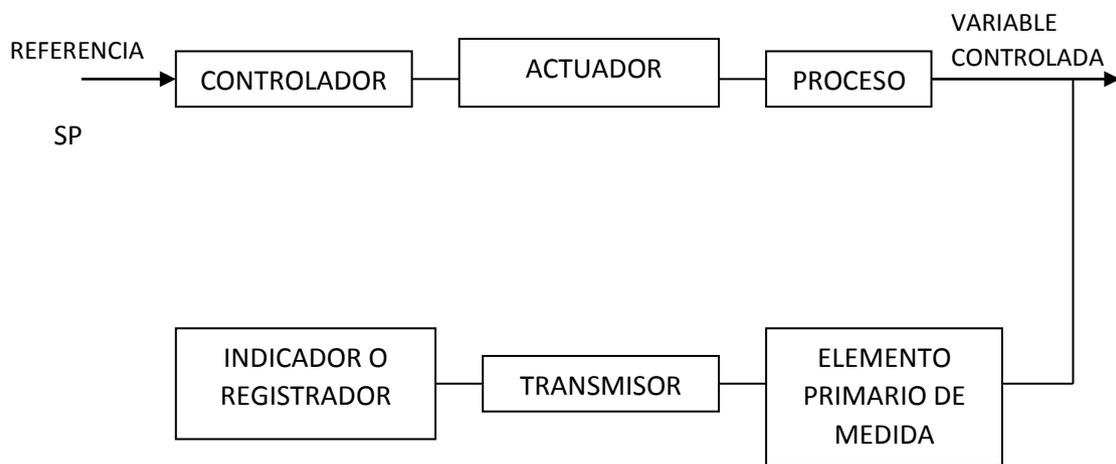


Figura 1. Sistema de Control de Lazo Abierto

b) Sistema de Control de Lazo Cerrado

Con frecuencia se llama así a los sistemas de control con retroalimentación donde la señal de salida tiene un efecto directo sobre la señal de control. Su ventaja consiste en corregir los efectos de las perturbaciones tanto internas como externas, logrando que el error estacionario sea cero o muy cercano a cero.

Su desventaja está en que únicamente puede compensar la perturbación hasta que la variable controlada se ha desviado del punto de control, esto es, la perturbación se debe propagar por todo el proceso antes de que pueda ser corregida.

Los equipos no requieren tener una gran precisión, pero se debe tener en cuenta la estabilidad, por su tendencia a sobre corregir errores que pueden producir oscilaciones de amplitud constante o variable.

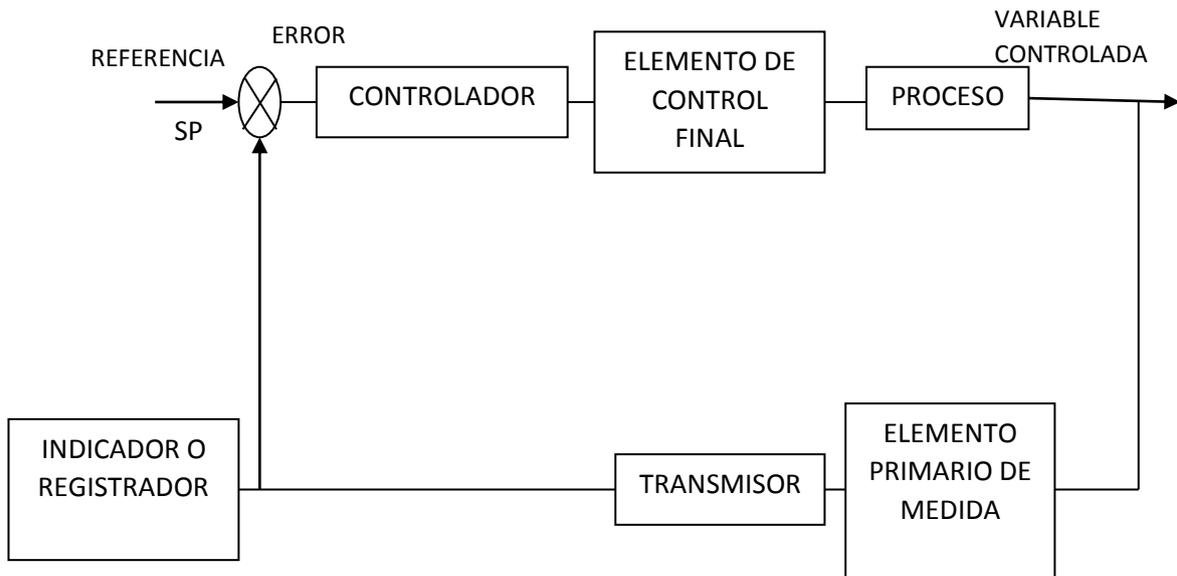


Figura 2. Sistema de Control de Lazo Cerrado

2.2.3. Control Supervisor

Para alcanzar la máxima seguridad de funcionamiento y lograr la optimización idónea del proceso, el computador podría determinar los puntos de consigna más convenientes en cada instante, aplicarlos a los lazos de control situados dentro del propio computador o bien en el exterior en controladores individuales. Este tipo de control recibe el nombre de “control de puntos de consigna” o SPC (set point control), o bien control supervisor. Dentro del control supervisor se usa el termino SCADA (supervisory control and data acquisition) significando el uso de un ordenador huésped (host) que usa los datos transmitidos desde el campo y presenta los resultados al operador para que inicie alguna

acción de control y utiliza unidades remotas de transmisión situadas a largas distancias del ordenador.

Poco a poco, las funciones aportadas por los sistemas SCADA se han hecho semejantes al control distribuido y la única diferencia reside en el tipo de circuito. SCADA transmite las señales a través de circuitos de baja velocidad y poco fiables para la integridad de los datos (líneas telefónicas y radio), mientras que el control distribuido lo hace mediante circuitos locales de alta velocidad y seguridad de transmisión.

2.2.4. Control Distribuido.

El ordenador personal también incorporado al control distribuido permite la visualización de las señales de múltiples transmisores, el diagnóstico de cada lazo de transmisión, el acceso a los datos básicos de calibración y a los datos de configuración de los transmisores.

El controlador multifunción que, al utilizar en su programación un lenguaje de alto nivel, se asemeja a un ordenador personal, proporciona funciones de control lógico que permiten regular un proceso discontinuo (batch control), y el manejo de procesos complejos, en los que el controlador básico está limitado.

La estación del operador proporciona la comunicación con todas las señales de la planta para el operador de proceso, el ingeniero de proceso y el técnico de mantenimiento. La presentación de la información a cada uno de ellos, se realiza mediante programas de operación.

Las alarmas son importantes en el control de procesos. Existen alarmas de alto y bajo valor de la variable, alarma de desviación entre el punto de consigna y la variable controlada, alarmas de tendencia que actúan si la variación de la variable excede de un valor prefijado, alarmas de estado de la señal de entrada o de salida etc.

El control distribuido tiene una seguridad mejorada con relación a los sistemas convencionales de control. Cabe pues afirmar que los sistemas de control distribuido se han consolidado en el mercado como los sistemas ideales de control.

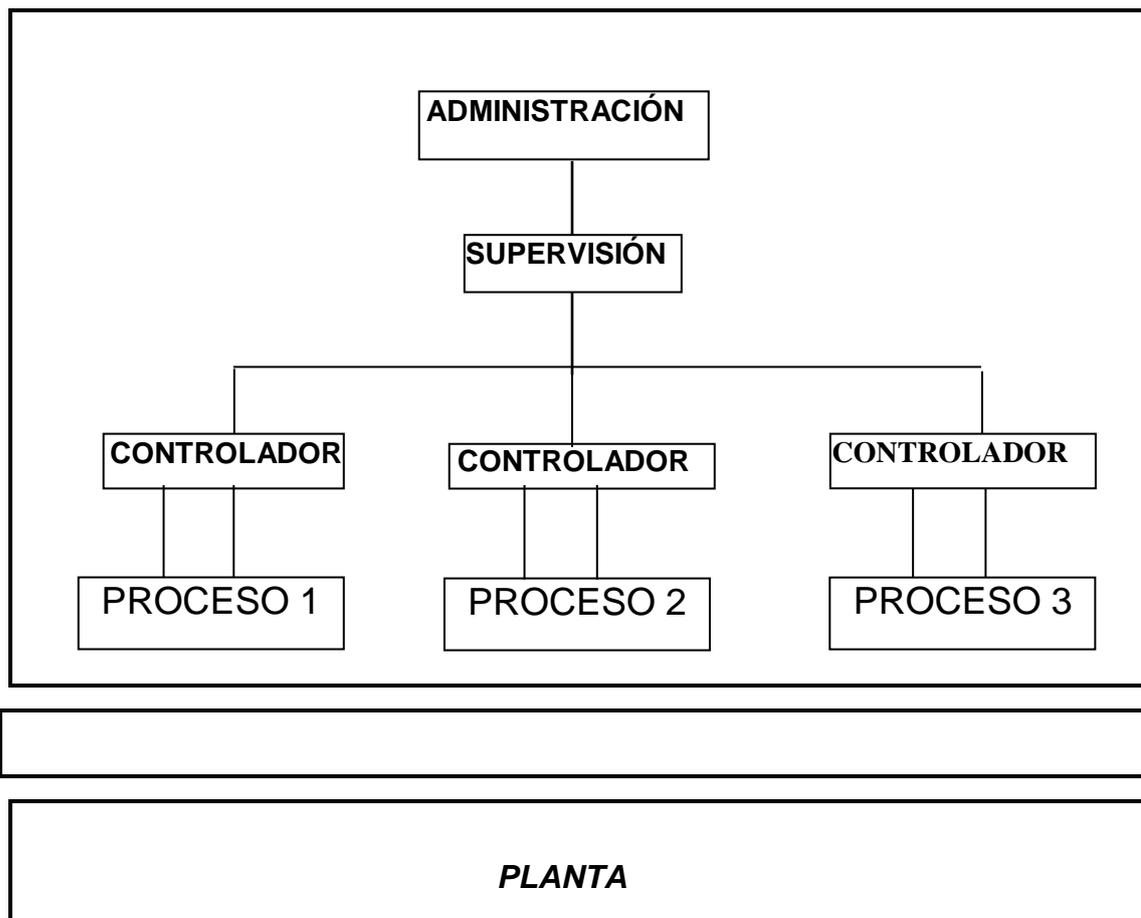


Figura 3. Sistema de Control Distribuido

2.2.5. ACTUADORES

Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas.

Existen tres tipos de actuadores:

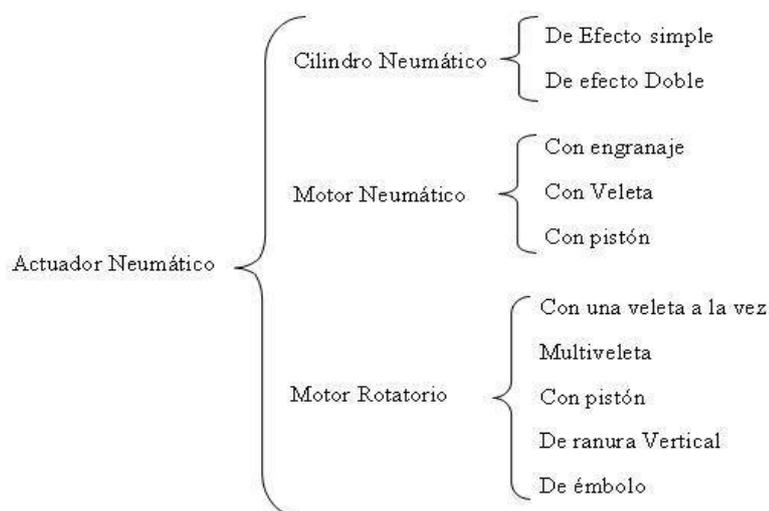
- Hidráulicos
- Neumáticos
- Eléctricos

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren demasiado equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en los robots. Los servomotores CA sin escobillas se utilizaran en el futuro como actuadores de posicionamiento preciso debido a la demanda de funcionamiento sin tantas horas de mantenimiento.

a) Actuadores Neumáticos

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Se clasifican de la siguiente manera:





Cilindro Neumático



Motor Neumático

b) Actuadores Eléctricos

La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo se requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador.

Existe una gran cantidad de modelos y es fácil utilizarlos con motores eléctricos estandarizados según la aplicación. En la mayoría de los casos es necesario utilizar reductores, debido a que los motores son de operación continua.

CAPÍTULO III

**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y
DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS
DE CONTROL**

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

3.1. Generalidades

Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. (SMCV) opera una mina de cobre ubicada en la concesión minera Cerro Verde 1, 2 y 3 en el distrito de Uchumayo, provincia, departamento y región de Arequipa, a 2 750 metros sobre el nivel del mar, a 27 kilómetros distante de la ciudad de Arequipa por la vía de acceso existente.

Como parte de los planes de expansión de Cerro Verde, SMCV ha decidido llevar a cabo el Proyecto Sulfuros Primarios (PSP) que involucra el desarrollo de nuevas instalaciones de proceso, infraestructura y operaciones auxiliares que permitirán explotar económicamente sus reservas mineras constituidas por sulfuros primarios.

Para el PSP, SMCV cuenta con un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) aprobado en setiembre de 2004.

El EIA del PSP considera el suministro de agua desde el río Chili hacia el asiento minero a través de un sistema de bombeo y conducción el cual abastecerá toda la demanda de agua fresca del proyecto y de las operaciones actuales de hasta 1 200 lt/seg.

El agua del río Chili contiene gran cantidad de sólidos que deben ser previamente removidos para cumplir con la calidad mínima adecuada para el proyecto. Para tal fin, SMCV debe implementar un sistema que permita separar los sólidos antes de bombear el agua fresca a la mina. Se estima que este sistema generará en promedio 0,61 m³/h de lodos o sólidos, los mismos que se prevén serán dispuestos de manera ambientalmente segura en el depósito de relaves del PSP.

3.2. Proceso Productivo

El circuito de molibdeno, o la planta Moly, se usa para extraer el molibdeno del concentrado cobre-molibdeno producido por el circuito de flotación de cobre, el molibdeno se presenta en la forma de molibdenita de mineral sulfurado (MoS_2). El producto final de la planta Moly es un concentrado de Moly empacado en bolsas grandes para su embarque y de una pulpa de concentrado de cobre final. La planta Moly es una operación integral y consta de varias unidades de operación.

La separación del cobre del molibdeno se logra usando varias etapas de flotación. Una sustancia química (hidrosulfuro de sodio, NaSH) es agregada, la cual deprime la flotación del mineral de cobre sulfurado pero no afecta a la flotación del molibdeno. A pesar de que la molibdenita (MoS_2) es por naturaleza flotable, su cinética es relativamente lenta. La cinética de la flotación del cobre es mucho más rápida.

Las colas de cada etapa es retornada a un punto anterior dentro del circuito permitiendo oportunidades adicionales para la recuperación del molibdeno, y la depresión del cobre y de los insolubles permitiendo que las cargas circulantes de Moly se acumulen en el circuito. Estas cargas circulantes altas de Moly son decisivas para el éxito del proceso de separación Cobre-Moly porque estas permiten que el Moly “desplace” a la flotación de los minerales de cobre e insolubles y obliga a que estos minerales de cobre e insolubles se dirijan hacia la corriente de colas.

El espesador de Cu-Mo es alimentado con el concentrado producido en la planta de flotación de Cu así como las colas del circuito de flotación 1er cleaner de Mo y el concentrado producido por el circuito de flotación rougher scavenger de Mo. La pulpa espesada es muestreada y analizada, antes de fluir hacia el tanque de acondicionamiento por agitación donde el depresor del cobre es agregado (NaHS).

El tanque acondicionador alimenta al circuito de flotación rougher. La flotación rougher produce un concentrado de baja ley de molibdeno pero con moderada recuperación. El cobre no se deprime fácilmente por lo tanto varias etapas de flotación son necesarias para alcanzar una alta ley de molibdeno y la recuperación diseñada.

El concentrado rougher es muestreado y analizado antes de ser alimentado al tanque acondicionador del 1er cleaner. El circuito de 1er cleaner es usado para un mejoramiento posterior de la ley. La corriente de colas de las celdas rougher alimentan al circuito rougher scavenger. El concentrado producido por el circuito rougher scavenger es bombeado nuevamente al espesador Cu-Mo para su recirculación en el circuito rougher. Similarmente, las colas del circuito 1er cleaner son bombeadas al espesador y recirculadas para un mejoramiento en la recuperación. La corriente de colas que se descarga del circuito rougher scavenger es el relave final del circuito de molibdeno, es decir el concentrado final de Cu después de la extracción de molibdeno.

El tanque acondicionador del 1er cleaner también colecta la corriente de colas desde el circuito cleaner scavenger aguas abajo. Además, el colector moly es agregado a este tanque de agitación para incrementar la eficiencia de la flotación. El concentrado producido por el circuito del 1er cleaner es espesado junto con el concentrado scavenger del cleaner para mejorar las condiciones de flotación en las etapas de limpieza en las celdas columna aguas abajo.

La pulpa espesada es procesada a través de cinco etapas de flotación cleaner en celdas columna para maximizar la ley y producir el concentrado final de molibdeno. El concentrado de cada etapa de celda columna es bombeado a la alimentación de la siguiente etapa, mientras que las colas se unen a la alimentación de la etapa anterior. Las colas del 2do cleaner (la celda columna más grande) son bombeadas al circuito de flotación cleaner-scavenger para mejorar la recuperación total.

La pulpa de concentrado final de molibdeno producida por el 6to cleaner (la última y más pequeña de las cinco celdas columna) es bombeada hacia un filtro a presión de placas de membranas serpenteantes para el filtrado. El concentrado filtrado de aproximadamente 7% de humedad es alimentado al secador de concentrado para una posterior reducción de la humedad. El contenido final de humedad es de aproximadamente 3%. El concentrado seco es descargado en una tolva de almacenamiento. La tolva de

almacenamiento alimenta al sistema de empaque donde el concentrado de molibdeno secado es empacado en bolsas grandes.

La planta Moly es una sección integral y consta de varias unidades de operación. La planta puede dividirse en ocho áreas mayores distintas, según como sigue:

1. Espesamiento de concentrado de Cu-Mo
2. Flotación Rougher y Rougher Scavenger de Mo
3. Flotación 1er Cleaner de Mo
4. Espesamiento de concentrado de 1er Cleaner de Mo
5. Flotación de Mo en Celda Columna – Celdas Columna 2da hasta 6ta
6. Flotación Scavenger de Limpieza de Mo
7. Filtración de concentrado final
8. Secado y empaque del concentrado final

El análisis de las variables del proceso, dividido de acuerdo a las áreas indicadas, nos permitirá establecer los puntos críticos de control y diseñar el sistema de automatización.

3.3. Puntos críticos y lazos de control.

3.3.1. Espesamiento del concentrado de Cu-Mo.

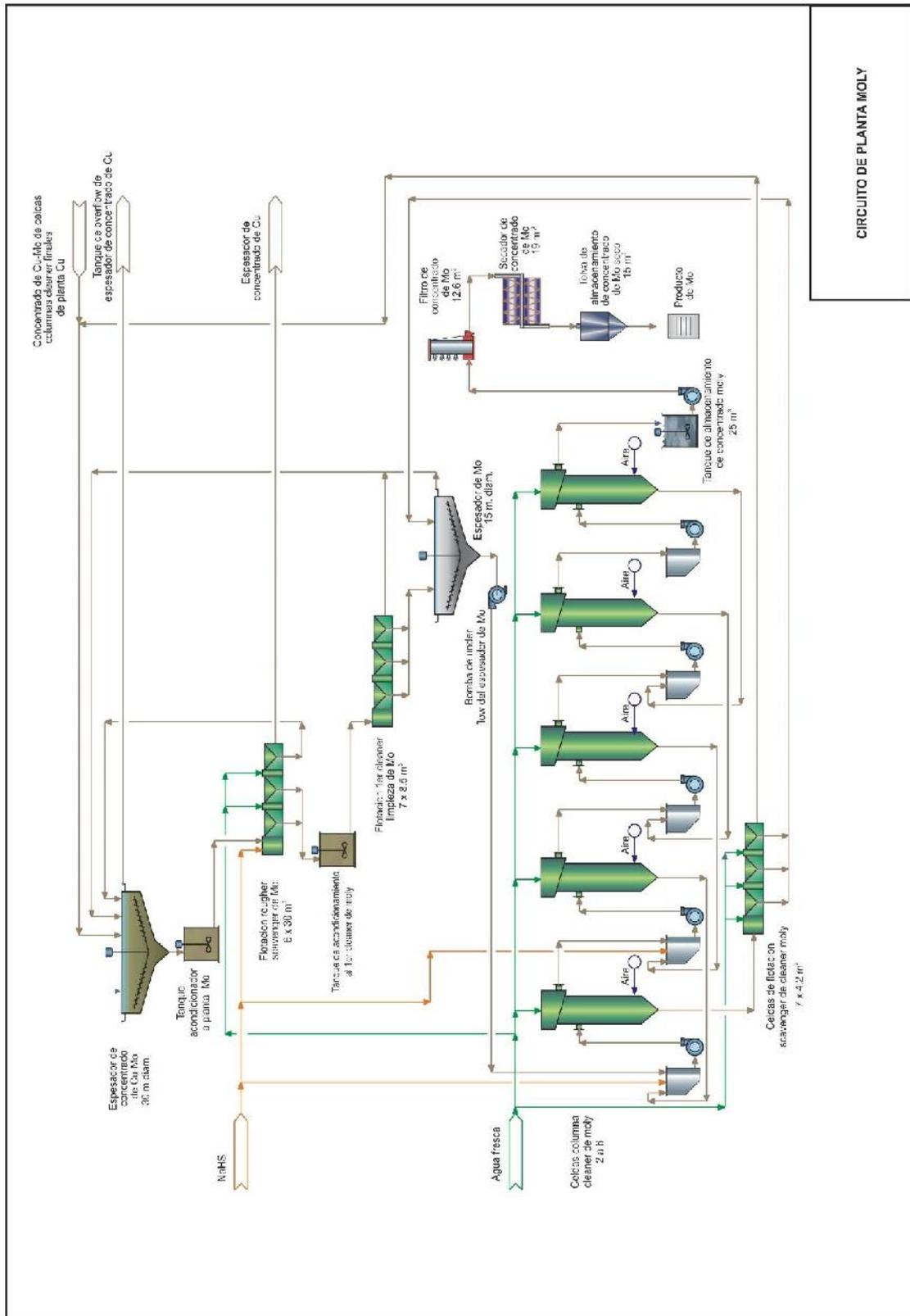
La unidad de operación de espesamiento del concentrado Cu-Mo consta del cajón de alimentación al espesador del concentrado Cu-Mo. El cajón de alimentación del espesador colecta el concentrado producido en la planta de flotación de Cu, las colas del circuito de flotación del 1er cleaner de Mo, y el concentrado producido por el circuito de flotación

rougher scavenger de Mo. Este cajón de alimentación también recibe toda la descarga de las bombas sumidero de la flotación rougher de Mo, del área de las bombas sumidero de NaHS, y de las bombas para derrames del área del espesador de concentrado Cu-Mo. Además, se dispone de agua por aspersión para la supresión de espumas y agua de proceso para la dilución.

Los sólidos sedimentados son rastrillados hacia el cono de descarga central para ser extraídos. Las partículas sobrenadantes (agua clarificada) rebosan en un deflector ubicado alrededor del perímetro del tanque y fluye al tanque de overflow del espesador del concentrado de cobre para su reutilización en el agua de proceso.

A continuación listaremos las principales variables de esta etapa:

- ✓ El nivel del tanque espesado.
- ✓ La densidad de la mezcla.
- ✓ La adición de los insumos que se utilizan para el proceso de espesamiento.
- ✓ El control de la apertura y cierre de las válvulas, así como el funcionamiento de las bombas.



CIRCUITO DE PLANTA MOLY

3.3.2. Flotación Rougher y Scavenger de Mo

El tanque acondicionador tiene una capacidad de 56.5 m³ y está equipado con un agitador. Este tanque proporciona un tiempo de acondicionamiento de aproximadamente 15 minutos. El NaHS es agregado al tanque acondicionador como un depresor del cobre.

La flotación del mineral por espumas es un proceso selectivo para separar los minerales valiosos de la ganga. En flotación, las burbujas de aire atrapadas producidas por la agitación mecánica de la pulpa son usadas para flotar las partículas de mineral, a través de la adherencia, en la superficie de las celdas para su recuperación.

Para el circuito rougher y scavenger/rougher de Mo, un total de seis celdas mecánicas de 30m³ son instaladas en una sola fila. Estas celdas mecánicas son tanques regulares equipados con un montaje de accionamiento y un rotor-dispersador que suministra el mezclado y aireación. Las celdas y otros componentes del circuito de flotación están cubiertas para capturar y reciclar el aire de las burbujas de flotación. Este aire reciclado es conducido dentro del mecanismo y distribuido a través de la pulpa en forma de burbujas que se adhieren por sí mismas a las partículas para la flotación. El flujo de aire inducido proporciona una aireación eficiente con un mecanismo simple. Las etapas de flotación rougher-scavenger y de primera limpieza están equipadas con celdas mecánicas de flotación cubiertas para minimizar el contacto con el aire, reduciendo así el consumo de NaHS. El NaHS se consume parcialmente por una reacción con el oxígeno del aire.

A continuación listaremos las principales variables de esta etapa:

- Los niveles de las celdas de flotación.
- El agitador del acondicionador.
- El control de los rotores dispersadores.
- El control del ingreso de agua fresca.
- El control de la apertura y cierre de las válvulas.

3.3.3 Flotación del primer cleaner de Mo

Las celdas cleaner se usan para incrementar la ley del concentrado final desechando más y más las partículas sin molibdeno (principalmente mineral de cobre) en cada etapa. El tiempo de retención típico total es mayor que aquel que corresponde para la flotación rougher.

El tanque acondicionador del 1er cleaner de Mo tiene una capacidad de 56.5 m³ el cual proporciona un tiempo de acondicionamiento de aproximadamente 21 minutos. El NaHS y el colector de Moly se agregan al tanque. El NaHS reacciona con las partículas del mineral de cobre para suprimir su flotación en las siguientes etapas. El colector adicional de Moly de preferencia se adhiere a las partículas de Moly que puedan haber perdido algo de su recubrimiento de colector o a superficies recientemente formadas resultantes de la abrasión entre partículas. Los relaves del scavenger de cleaner son también bombeados al tanque acondicionador del 1er cleaner de molibdeno. La pulpa de overflow del acondicionador se alimenta al circuito de flotación de primera limpieza.

Para el circuito del 1er cleaner de Mo, un total de siete celdas cleaner de 8.5 m³ son instaladas en una sola fila con celdas instaladas en un arreglo de bancos 2+2+3. Similarmente a las celdas rougher, estas celdas mecánicas son tanques rectangulares equipados con un mecanismo de accionamiento y rotor dispersor que suministra mezclado y aireación. Las celdas de primera limpieza también están cubiertas para minimizar el contacto con el aire del ambiente, reduciendo así el consumo de NaHS. El aire inducido es sacado desde el espacio de aire localizado en la parte superior de las celdas cubiertas y es distribuido por toda la pulpa en forma de burbujas que se adhieren por si solas a las partículas para la flotación. El flujo de aire inducido suministra una aireación eficiente con un mecanismo simple. Cada banco de celdas tiene un cajón de alimentación y un cajón de descarga.

A continuación listaremos las principales variables de esta etapa:

- ✓ Los niveles de las celdas de flotación.
- ✓ El agitador del acondicionador.

- ✓ El control de los rotores dispersadores.
- ✓ El control de la apertura y cierre de las válvulas.

3.3.4 Espesamiento de concentrado de primer cleaner de Mo

La bomba para el concentrado Scavenger de limpieza de Mo, transfiere el concentrado combinado del primer cleaner y scavenger de limpieza colectados en el cajón de bombas del concentrado scavenger de la primera limpieza de Mo hacia el cajón de alimentación del espesador del primer cleaner de Mo. Este cajón de alimentación también recibe toda descarga proveniente de la bomba sumidero de la celda columna de flotación de Mo y el flujo de la bomba para agua de retorno del distribuidor de filtración. Además, se dispone del agua de proceso para la dilución.

El espesador del concentrado del 1er cleaner de Mo es un espesador convencional, y se usa para incrementar la densidad de la pulpa de concentrados combinados y por lo tanto para preparar la alimentación para la celda columna de flotación del 2do cleaner de Mo. Este opera con los mismos principios que se describieron anteriormente para el espesador Cu-Mo. Esto se logra alimentando a través del ducto de alimentación del espesador ubicado en el centro del tanque de acero elevado y permitiendo la sedimentación de los sólidos. Los sólidos sedimentan por gravedad y son rastrillados hacia el cono de descarga central para su extracción. Los rastrillos se levantan o bajan por acción del mecanismo del espesador.

A continuación listaremos las principales variables de esta etapa:

- ✓ El nivel del tanque espesador
- ✓ La densidad de la mezcla
- ✓ La adición de agua para supresión de espuma
- ✓ El control de la apertura y cierre de las válvulas, así como el funcionamiento de las bombas.

3.3.5 Flotación de Mo en celda columna

La flotación en celda columna se basa en el mismo principio de operación que las celdas mecánicas de flotación (convencionales). Este es un proceso selectivo para separar los minerales valiosos de la ganga, en el cual las partículas de minerales de interés se adhieren a las burbujas de aire y son transportadas por la espuma fuera de las celdas. La principal diferencia de la flotación convencional es que en la flotación convencional las burbujas no son generadas por la agitación mecánica.

Las celdas columna de flotación utilizan aire comprimido (gas) el cual se introduce en la pulpa mediante unos inyectores. Estos generalmente producen burbujas mucho más finas que en las celdas mecánicas, lo cual es beneficioso para recuperar partículas finas. Además, los tanques-celdas columna son mucho más altos que los tanques convencionales; las celdas columna también utilizan un ratio más pequeño área de superficie/ volumen el cual promueve la estabilidad de la espuma y la altura de la espuma. Otra característica importante de las celdas columna es el uso del agua de lavado para eliminar las impurezas que quedan atrapadas en la espuma.

La ausencia de una agitación intensa en la pulpa facilita la selectividad y permite la recuperación de partículas finas. El sistema de inyección de aire permite un control adecuado y la generación de burbujas más pequeñas y más uniformes que en la flotación convencional. El agua de lavado agregada a la parte superior de la espuma genera una acción de lavado en contra corriente que tiende a obligar a las partículas no flotantes físicamente atrapadas a descender hacia la corriente de colas de la celda columna.

La pulpa del underflow del espesador de Mo se procesa a través de cinco etapas de flotación de limpieza en celdas columna en serie para producir un concentrado final de molibdeno.

A continuación listaremos las principales variables de esta etapa:

- ✓ El nivel en las celdas columna
- ✓ El control de inyección de aire
- ✓ La adición de agua a través de los rociadores
- ✓ El control de la apertura y cierre de las válvulas, así como el funcionamiento de las bombas de recirculación.

3.3.6 Flotación Scavenger de Limpieza de Mo

El circuito de flotación cleaner-scavenger se usa para mejorar aún más la recuperación. Similar al circuito de 1er cleaner del Mo pero con la salvedad de que consta de celdas mecánicas más pequeñas, un total de siete celdas de 4.25 m³ son dispuestas en una sola fila con celdas instaladas con un arreglo de bancos de 2+2+3. Estas celdas mecánicas son también tanques rectangulares equipados con un montaje de accionamiento y un rotor dispersor que suministra el mezclado y la aireación. El aire de flotación es extraído del espacio de aire de la parte superior de las celdas cubiertas y es distribuido por toda la pulpa en la forma de burbujas que se adhieren por sí solas a las partículas para la flotación. El flujo de aire inducido proporciona una aireación eficiente con un mecanismo simple. Un tubo de aspiración cilíndrico y el fondo falso de la celda promueven la circulación y suspensión de sólidos. La etapa de flotación cleaner-scavenger está también equipada con celdas mecánicas de flotación cubiertas para minimizar el contacto con el aire del ambiente, reduciendo así el consumo del NaHS.

Cada banco de celdas tiene un cajón de alimentación y un cajón de descarga.

El concentrado de las celdas cleaner-scavenger fluye por gravedad hacia el cajón de bombas del concentrado cleaner scavenger de Mo, junto con el concentrado del circuito del 1er cleaner. El relave de la flotación cleaner-scavenger fluye por gravedad al cajón de bombas de relaves cleaner-scavenger de Mo. Una bomba de relaves cleaner-scavenger de Mo transfiere la pulpa de relaves nuevamente hacia el tanque acondicionador del 1er cleaner de Mo.

A continuación listaremos las principales variables de esta etapa:

- ✓ Los niveles de las celdas de flotación
- ✓ El control de los rotores dispersadores
- ✓ El control del ingreso de agua fresca
- ✓ El control de la apertura y cierre de las válvulas, así como el funcionamiento de las bombas.

3.3.7 Filtración de concentrado final

El concentrado final de molibdeno de la celda columna de flotación del sexto cleaner fluye por gravedad a través de su sistema hacia el tanque agitador de almacenamiento del concentrado de Mo con una capacidad de 25 m³.

El tanque de almacenamiento está equipado con un mezclador para evitar la sedimentación de los sólidos. Este tanque se usa como un tanque de compensación ya que el filtro aguas abajo opera en ciclos por lotes. Cuando se colecta suficiente material en el tanque, este concentrado es bombeado hacia el filtro de secado para concentrado de Mo.

El filtro a presión automática es un filtro de membranas con placas empotradas en el cual los compartimientos están dispuestos horizontalmente. El filtro está equipado con ocho placas de filtro individuales, cada una con un área de filtración de 1.6 m² por un solo lado. Las placas horizontales están apiladas sobre la parte superior de otra para proporcionar un área total de filtración de 12.6 m². El paquete de placas se abre y cierra por medio de cilindros hidráulicos. En la posición cerrada las placas forman compartimientos sellados quedando en el medio el paño del filtro. La pulpa de concentrado se bombea simultáneamente a todos los compartimientos a través de la distribución múltiple y tuberías. Después de formarse un queque, este es compactado por un ciclo de prensado por diafragma, y posteriormente se sopla aire a través del queque para reducir más aún el contenido de humedad del queque de sólidos.

Después del ciclo de secado, el paquete de placas es empujado hacia afuera, descargando completamente los queques dentro de la tolva para concentrados filtrados de Mo. El agua del filtrado se descarga dentro del tanque para agua de lavado retornada del distribuidor del filtrado de Mo.

A continuación listaremos las principales variables de esta etapa:

- ✓ El agitador del tanque de almacenamiento
- ✓ La humedad del queque de sólidos
- ✓ El control del accionamiento de la compuerta
- ✓ La activación de los pistones de compresión del filtro
- ✓ El control de la apertura y cierre de las válvulas.

3.3.8 Secado y empaque del concentrado final

El concentrado secado con aproximadamente 7% de humedad es alimentado al secador de concentrado de Mo por medio del alimentador de tornillo. El secador de tornillo de calor indirecto de 19 m² seca el concentrado de molibdeno hasta su contenido final de humedad de aproximadamente 3%. El aire caliente es distribuido a través de los tornillos del secador y de la capa externa, el cual proporciona un calentamiento controlado para secar el concentrado a medida que los tornillos lo conducen a través del secador. El concentrado secado es descargado a 80°C dentro de la tolva de 15 m³ para almacenar concentrados secados de Mo. Este secador está equipado con un lavador por vía húmeda para tratar los gases de salida del secador.

El sistema de empaquetamiento del concentrado Moly es usado para cargar el concentrado final de Mo procedente de la tolva de almacenamiento para concentrado secado de Mo, y para empacar el concentrado en contenedores independientes. El sistema consiste de un armazón, brazos sujetadores regulables para tamaños variables de bolsas, para su fácil movilidad, un llenador, una base accesible para el elevador con paletas y un sistema integrado de pesaje de piso.

A continuación listaremos las principales variables de esta etapa:

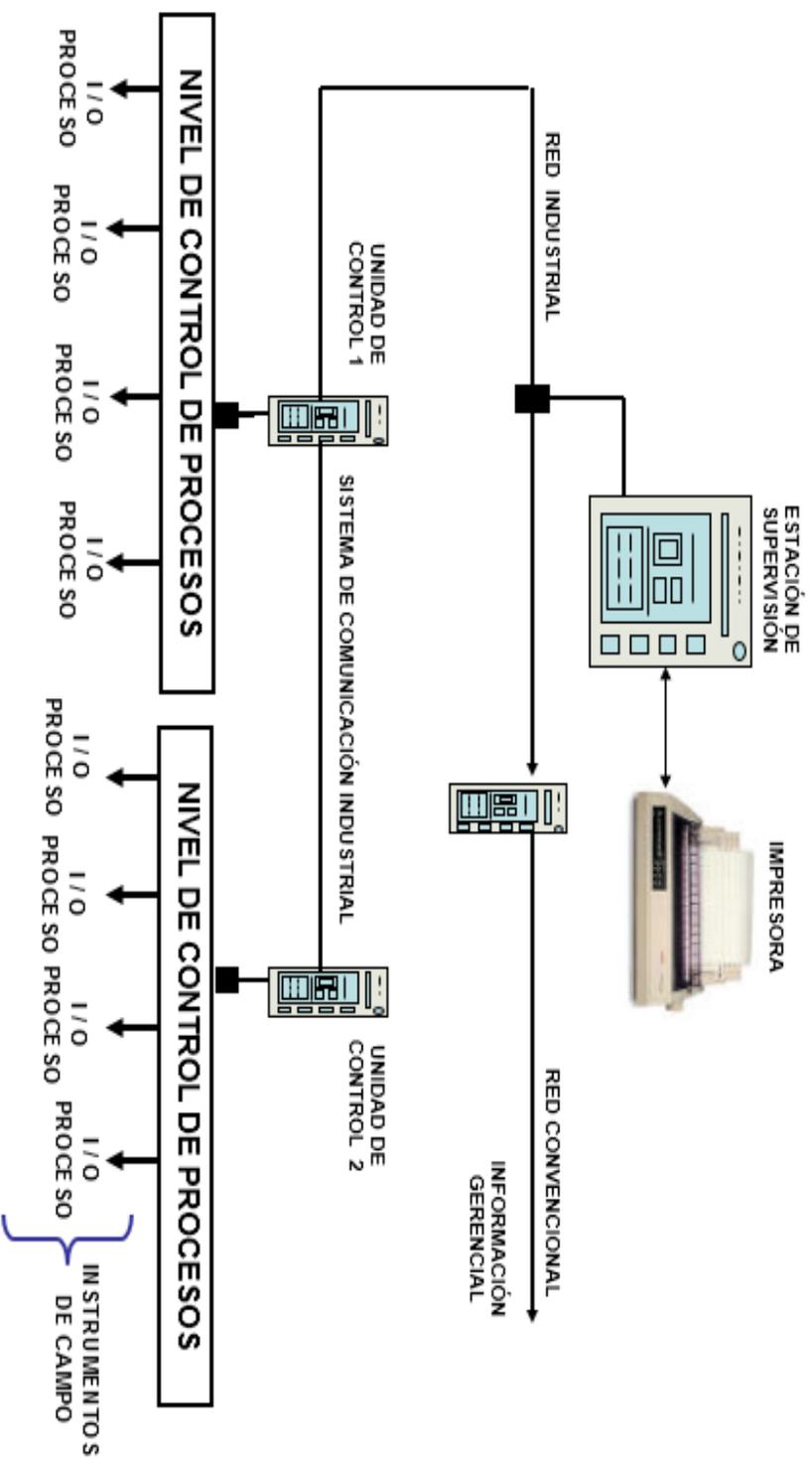
- ✓ La temperatura del secador
- ✓ El nivel y temperatura del concentrado en la tolva
- ✓ El accionamiento de la compuerta para llenado
- ✓ El control de los motores del secador
- ✓ El control del peso del producto final.

CAPÍTULO IV
DISEÑO DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

4. Arquitectura del sistema de control

Basados en la condición de que el controlador adecuado para la aplicación de nuestro proyecto es un Controlador Lógico Programable, por la cantidad de variables y de áreas, tendremos dos Unidades de Control con módulos de entrada y salida de acuerdo al tipo de señal a manejar. El primero controlará las cuatro primeras áreas y el segundo las otras cuatro áreas finales, estableciéndose una red de comunicación entre los dos PLCs, además de un nivel de Supervisión. Por lo cual la arquitectura elegida será la de un sistema distribuido incluyendo la posibilidad de un nivel gerencial.

ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL



4.1. Funciones necesarias del sistema con el operador

La unidad de control de proceso tomará la información o lectura de los instrumentos de campo, que estarán en interface con el operador en una central de supervisión. Para lo cual sus funciones básicas estarán referidas a:

1. Implementar una interface hombre-máquina que permita mostrar la información en la forma más conveniente al operador.
2. Administración y mantenimiento de una base de datos, que incluya la información sobre las características de todos los puntos (TAG), medición, control y mando.
3. Adquisición de información dada por los instrumentos de campo. Asimismo, será el responsable de administrar las secuencias de mando a distancia.
4. Implementar las funciones de protección requeridas a un nivel de software.
5. Procesar las señales de alarma, llamando la atención de manera conveniente al operador cuando estas ocurran.
6. Generación de reportes periódicos de los puntos (TAG) y gráficas en tiempo real.

4.2. Red de comunicación

La comunicación local deberá ser a través de un protocolo industrial propio del equipo que permitirá:

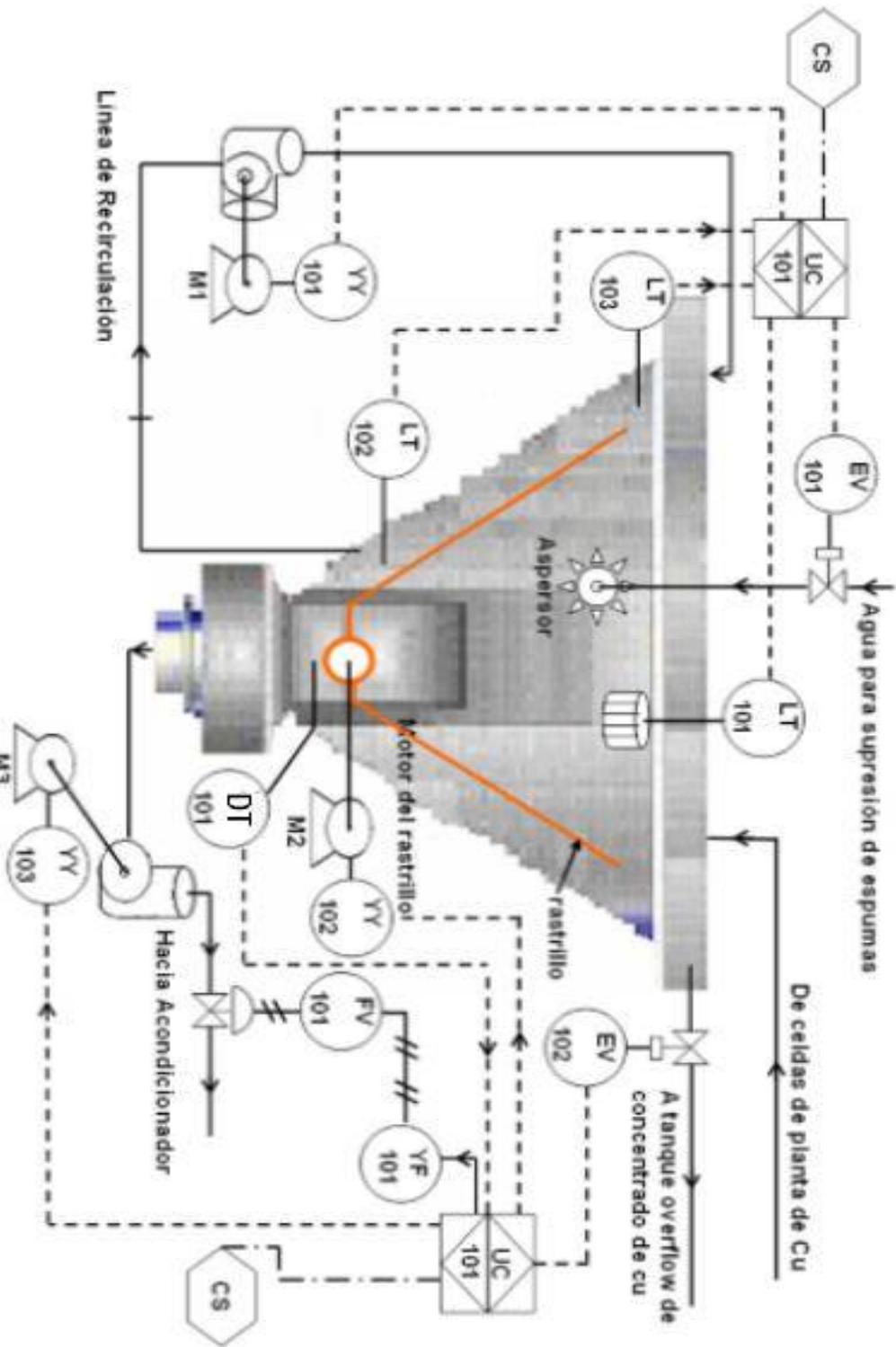
1. Transferencia de datos entre controladores y el computador de la central de supervisión.
2. Programación de los controladores.
3. Activación/desactivación de los programas de aplicación desde el nivel de supervisión.

4.3. Planos de instrumentación

A continuación se mostrarán los planos de instrumentación del sistema, en ellos se detallan los equipos existentes, así como los instrumentos y controles necesarios para el proyecto.

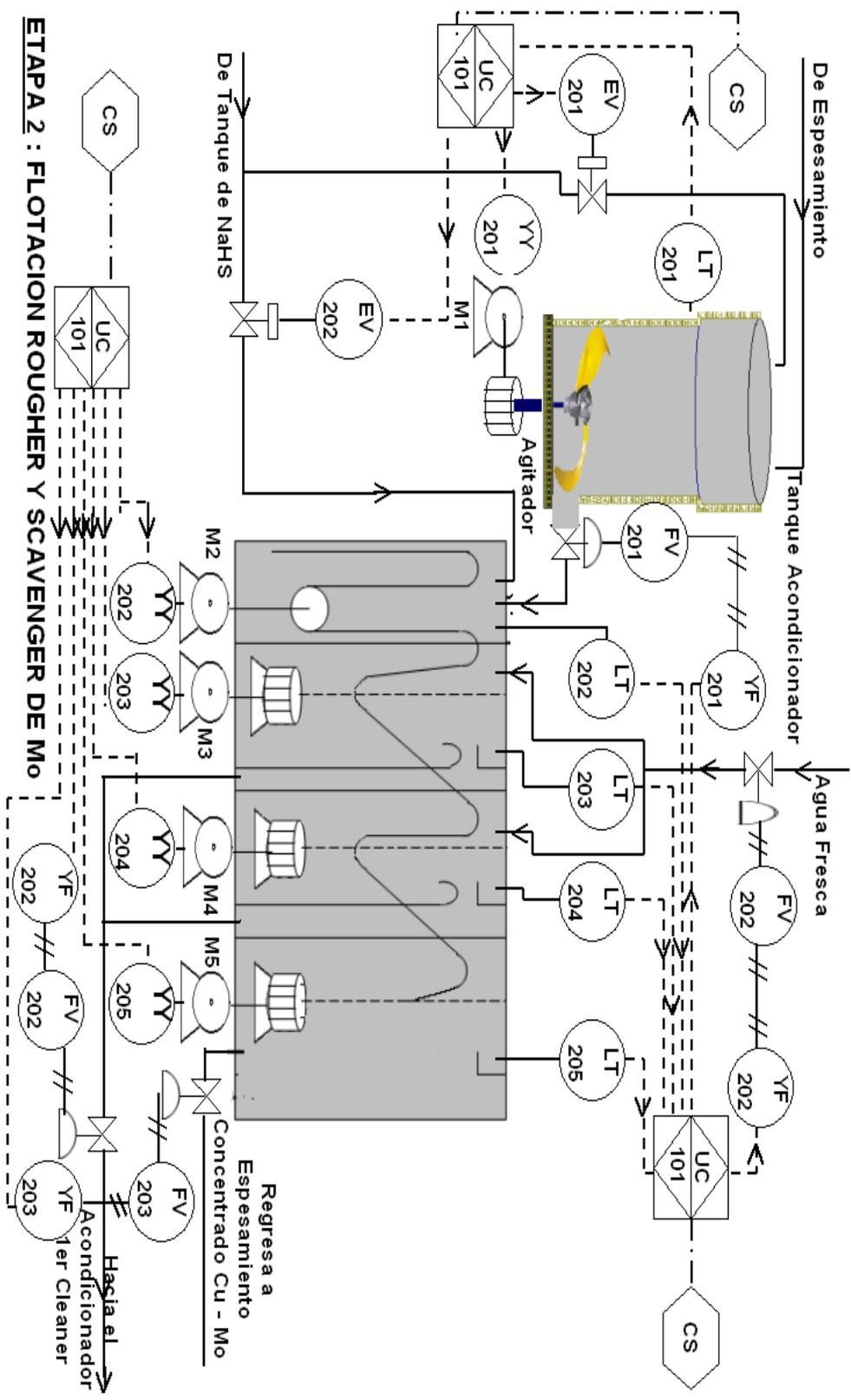
Estos planos se han diseñado y desarrollado en función de las etapas en que se ha dividido el proyecto:

- ✓ El primer plano referenciado a la Etapa 1 Espesamiento de Concentrado de Cu-Mo.
- ✓ El segundo plano referenciado a la Etapa 2 Flotación Rougher y Scavenger de Mo.
- ✓ El tercer plano referenciado a la Etapa 3 Flotación 1er Cleaner de Mo.
- ✓ El cuarto plano referenciado a la Etapa 4 Espesamiento de Concentrado de 1er cleaner de Mo.
- ✓ El quinto plano referenciado a la Etapa 5 Flotación de Mo en Celda Columna.
- ✓ El sexto plano referenciado a la Etapa 6 Flotación Scavenger de limpieza de Mo.
- ✓ El séptimo plano referenciado a la Etapa 7 Filtración de Concentrado Final.
- ✓ El octavo plano referenciado a la Etapa 8 Secado y Empacado Final.



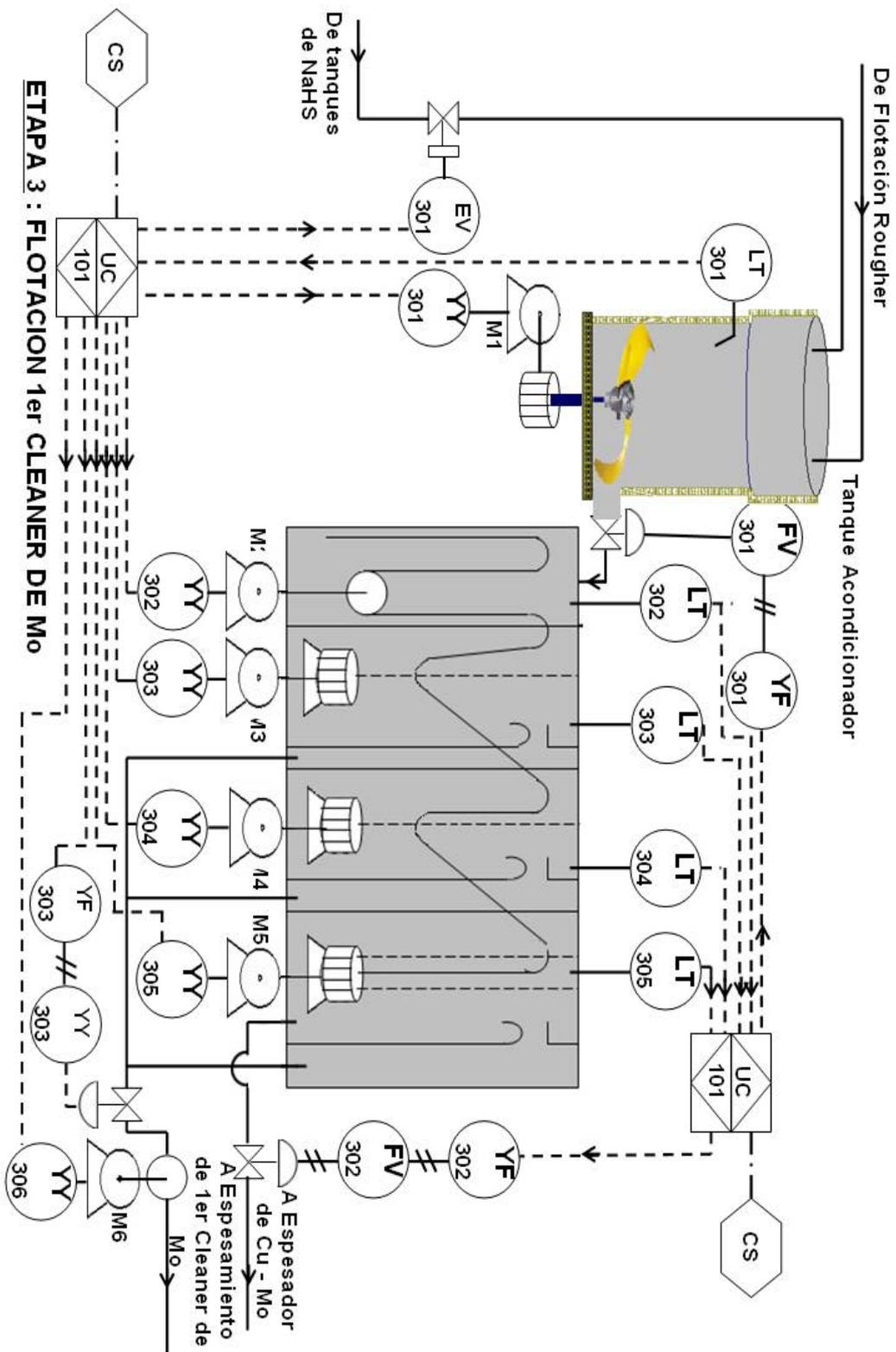
ETAPA 1 : ESPESAMIENTO DE CONCENTRACION DE Cu - Mo

FV101	Válvula neumática de flujo, salida de tanque de espesamiento hacia Acondicionador
EV101	Válvula solenoide de ingreso de agua, para supresión de espuma en tanque de espesamiento
EV102	Válvula solenoide de salida a tanque overflow de condensado
DT101	Sensor de densidad de la mezcla del tanque de espesamiento
YF101	Acondicionador neumático, convertidor corriente/presión de válvula neumática de flujo FV101
LT101	Sensor de nivel proporcional del tanque de espesamiento
LT102	Sensor de nivel mínimo del tanque de espesamiento
LT103	Sensor de nivel máximo del tanque de espesamiento
YY101	Contactador de motobomba de recirculación
YY102	Arrancador de estado sólido para motor de rastrillo de tanque de espesamiento
YY103	Contactador de motobomba de salida de tanque de espesamiento
UC101	Controlador PLC ubicado en tablero
CS100	Unidad de Supervisión en PC de oficina

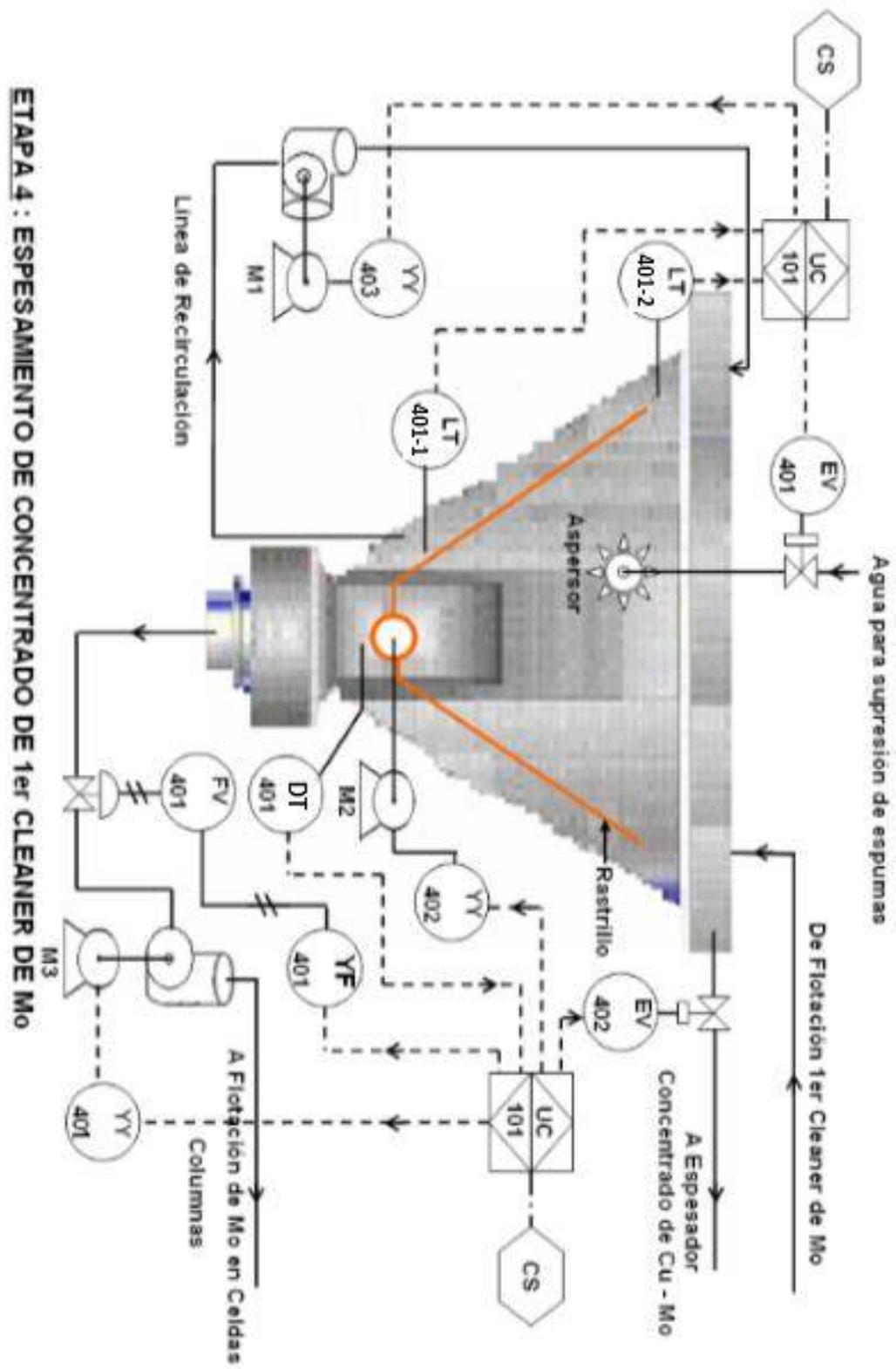


ETAPA 2 : FLOTACION ROUGHER Y SCAVENGER DE Mo

FV201	Válvula neumática de flujo, salida de tanque acondicionador
FV202	Válvula neumática de flujo, salida hacia el primer cleaner
FV203	Válvula neumática de flujo, salida de regreso a concentrado
EV201	Válvula solenoide de ingreso a tanque acondicionador
EV202	Válvula solenoide de ingreso a tanques de flotación
YF201	Acondicionador neumático, convertidor corriente/presión de válvula neumática de flujo FV201
YF202	Acondicionador neumático, convertidor corriente/presión de válvula neumática de flujo FV202
YF203	Acondicionador neumático, convertidor corriente/presión de válvula neumática de flujo FV203
LT201	Sensor de nivel proporcional del tanque acondicionador
LT202 a LT205	Sensores de nivel de tanques de flotación
YY201	Arrancador de estado sólido para motor de agitador de tanque acondicionador
YY202 a YY205	Contactores de motores de agitadores mecánicos de tanques de flotación
UC101	Controlador PLC ubicado en tablero
CS100	Unidad de Supervisión en PC de oficina

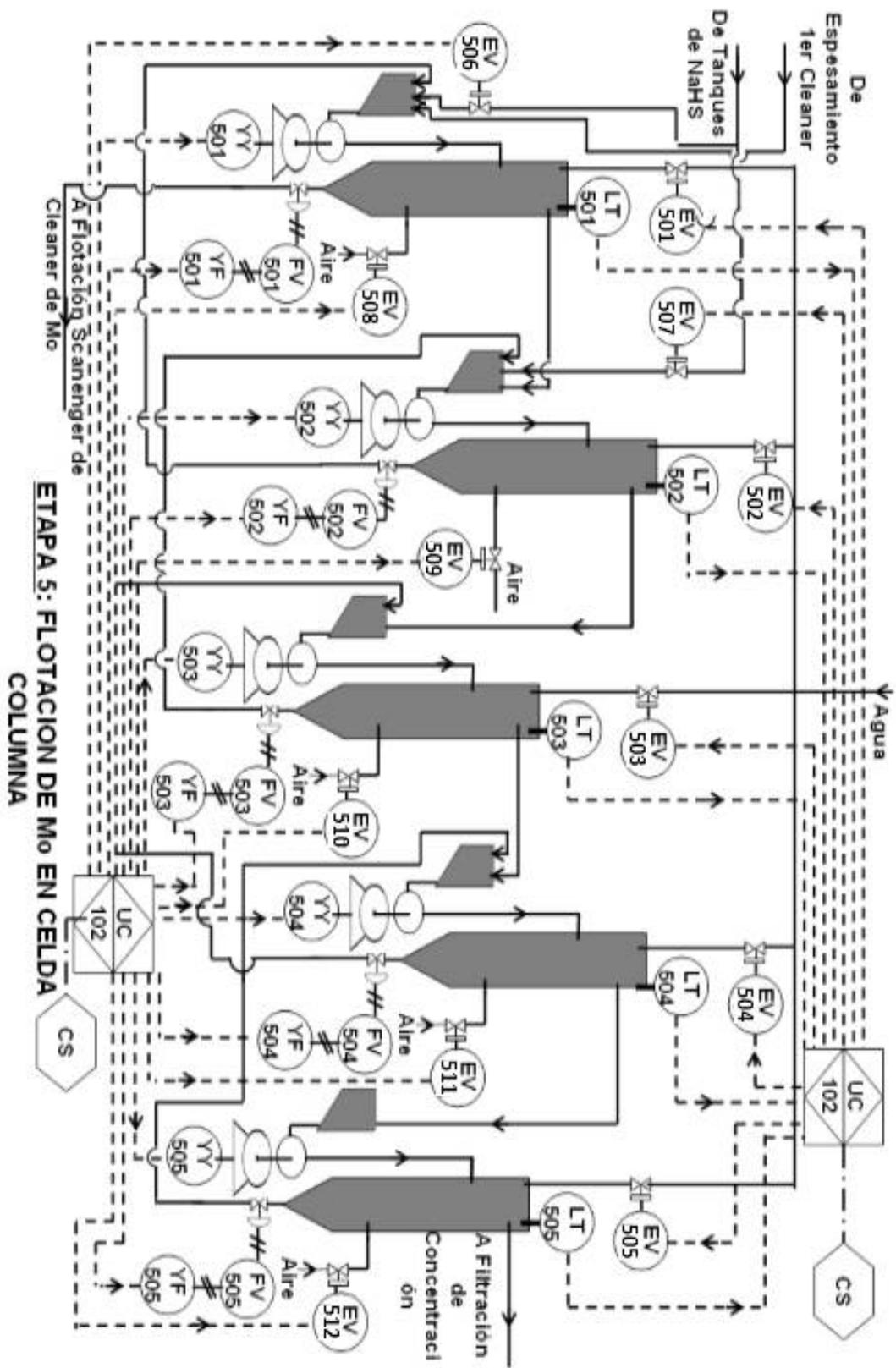


FV301	Válvula neumática de flujo, salida de tanque acondicionador
FV302	Válvula neumática de flujo, salida a espesador de Cu
FV303	Válvula neumática de flujo, salida hacia el primer cleaner
EV301	Válvula solenoide de ingreso a tanque acondicionador
YF301	Acondicionador neumático, convertidor corriente/presión de válvula neumática de flujo FV301
YF302	Acondicionador neumático, convertidor corriente/presión de válvula neumática de flujo FV302
YF303	Acondicionador neumático, convertidor corriente/presión de válvula neumática de flujo FV303
LT301	Sensor de nivel proporcional del tanque acondicionador
LT302 a LT305	Sensores de nivel de tanques de flotación
YY301	Arrancador de estado sólido para motor de agitador de tanque acondicionador
YY302 a YY305	Contactores de motores de agitadores mecánicos de tanques de flotación
YY306	Contactador de motor de bomba de salida a espesamiento de 1er cleaner de Mo
UC101	Controlador PLC ubicado en tablero
CS100	Unidad de Supervisión en PC de oficina

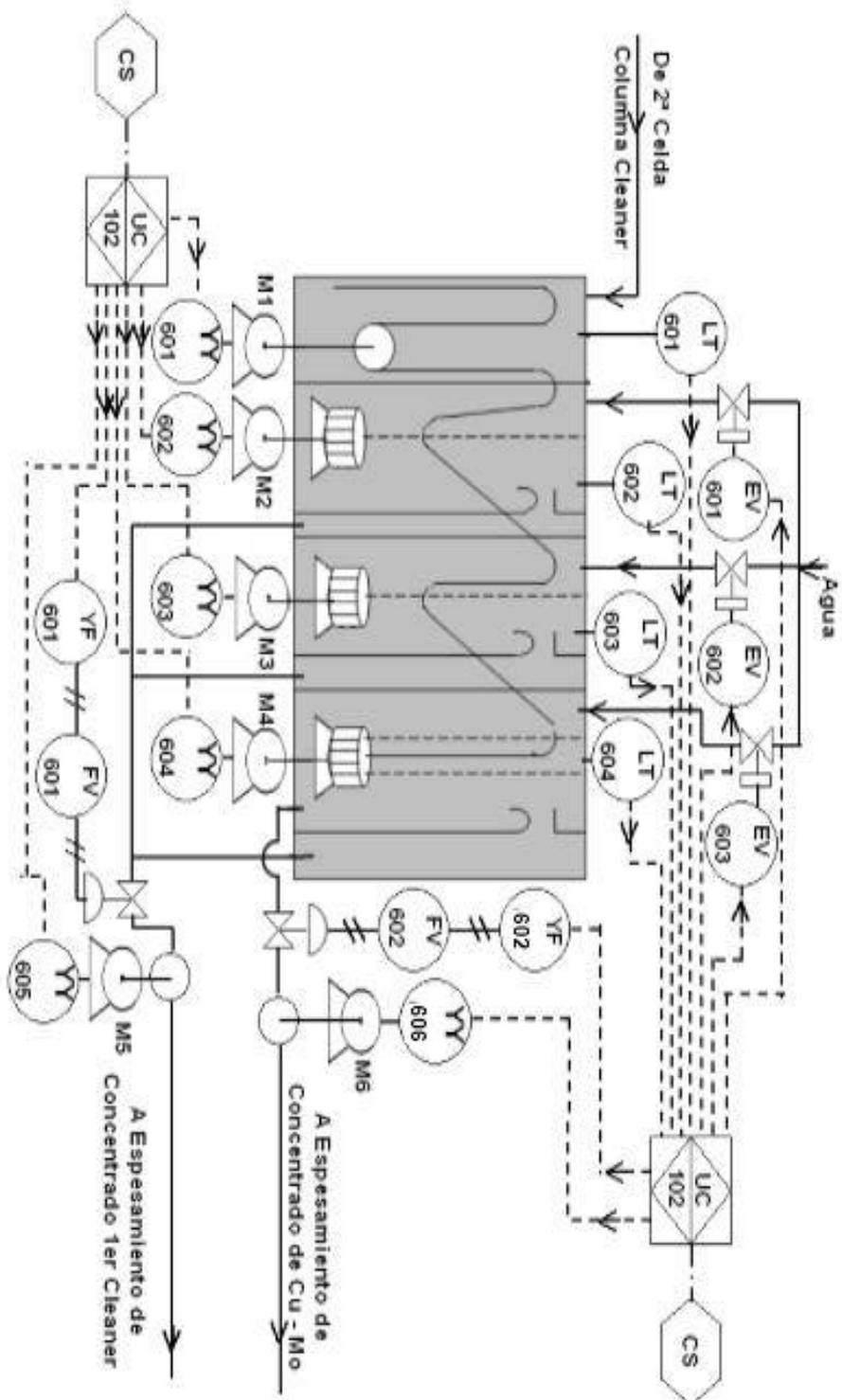


ETAPA 4 : ESPESAMIENTO DE CONCENTRADO DE 1er CLEANER DE MO

FV401	Válvula neumática de flujo, salida de tanque de espesamiento hacia flotación
EV401	Válvula solenoide de ingreso de agua, para supresión de espuma en tanque de espesamiento
EV402	Válvula solenoide de salida a tanque espesador de concentrado
DT401	Sensor de densidad de la mezcla del tanque de espesamiento
YF401	Acondicionador neumático, convertidor corriente/presión de válvula neumática de flujo FV401
LT401-2	Sensor de nivel mínimo del tanque de espesamiento
LT401-1	Sensor de nivel máximo del tanque de espesamiento
YY401	Contactador de motobomba de salida a flotación de Mo
YY402	Arrancador de estado sólido para motor de rastrillo de tanque de espesamiento
YY403	Contactador de motobomba de recirculación de tanque de espesamiento
UC101	Controlador PLC ubicado en tablero
CS100	Unidad de Supervisión en PC de oficina

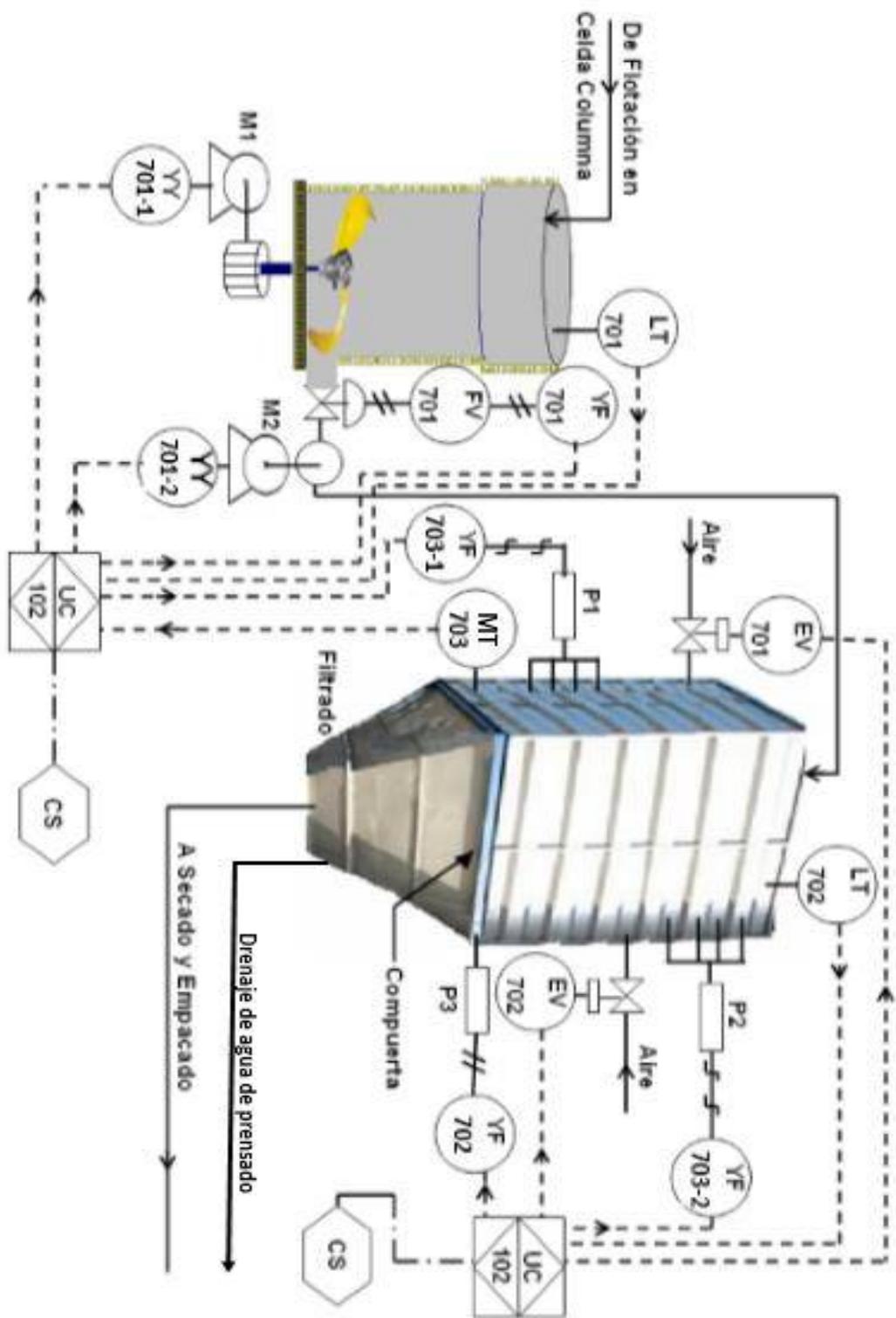


FV501 a FV505	Válvulas neumáticas de flujo, salidas de celdas columna
EV501 a EV505	Válvulas solenoide de ingreso de agua para supresión de espuma a celdas columna
EV506 y EV507	Válvulas solenoide de ingreso de NaHS
EV508 a EV512	Válvulas solenoide de ingreso de aire de agitadores neumáticos a celdas columna
YF501 a YF505	Acondicionadores neumáticos, convertidores corriente/presión de válvulas neumáticas de flujo FV501 a FV505
LT501 a LT505	Sensores de nivel de celdas columna
YY501 a YY505	Contactores de motores de bombas de trasvase de celdas columna
UC102	Controlador PLC ubicado en tablero
CS100	Unidad de Supervisión en PC de oficina



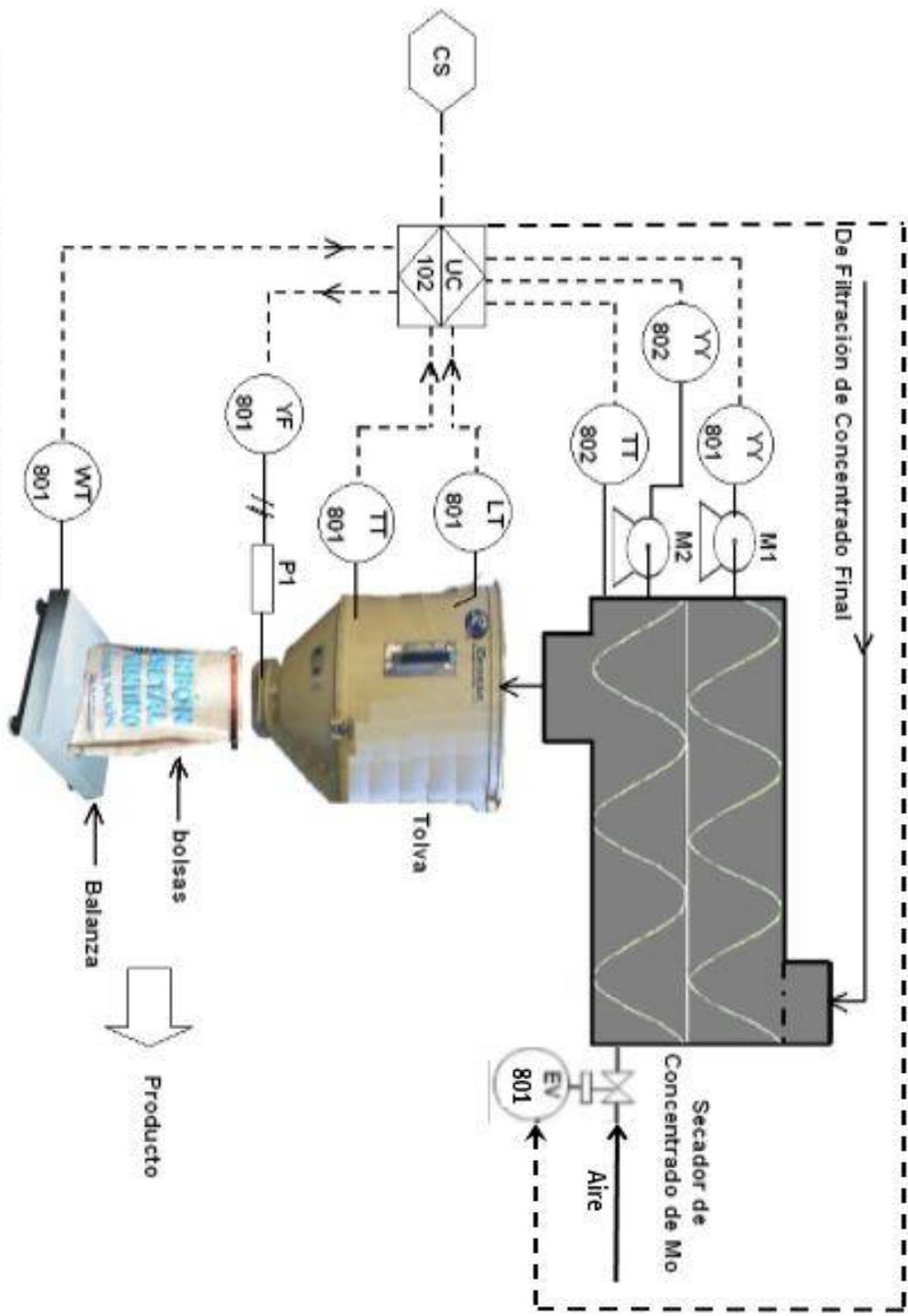
ETAPA 6 : FLOTACION SCAVENGER DE LIMPIEZA DE MO

FV601	Válvula neumática de flujo, salida a espesamiento de concentrado de 1er cleaner
FV602	Válvula neumática de flujo, salida a espesamiento de concentrado de Cu
EV601 a EV603	Válvulas solenoide de ingreso de agua para supresión de espuma
YF601	Acondicionador neumático, convertidor corriente/presión de válvula neumática de flujo FV601
YF602	Acondicionador neumático, convertidor corriente/presión de válvula neumática de flujo FV602
LT601 a LT604	Sensores de nivel de tanques de flotación
YY601 a YY604	Contactores de motores de agitadores mecánicos de tanques de flotación
YY605	Contactador de motor de bomba de salida a espesamiento de 1er cleaner de Mo
YY606	Contactador de motor de bomba de salida a espesamiento de Cu
UC102	Controlador PLC ubicado en tablero
CS100	Unidad de Supervisión en PC de oficina



ETAPA 7 : FILTRACION DE CONCENTRADO FINAL

FV701	Válvula neumática de flujo, salida de tanque acondicionador
EV701 y EV702	Válvulas solenoide de ingreso de aire para secado
MT703	Sensor de humedad del tanque de filtrado
YF701	Acondicionador neumático, convertidor corriente/presión de válvula neumática de flujo FV701
LT701	Sensor de nivel del tanque acondicionador
LT702	Sensor de nivel del tanque de filtrado
YY701-1	Contactador de motor de agitador de tanque acondicionador
YY701-2	Contactador de motor de bomba de salida de tanque acondicionador
YF702	Electroválvula de pistón neumático de compuerta de tanque filtrador
YF703-1 y YF703-2	Electroválvulas de pistones hidráulicos de sistema de compresión
UC102	Controlador PLC ubicado en tablero
CS100	Unidad de Supervisión en PC de oficina



ETAPA 8 : SECADO Y EMPACADO FINAL

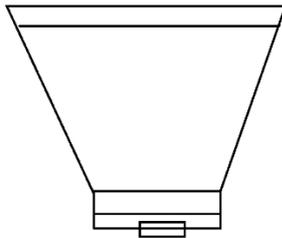
LT801	Sensor de nivel de tolva de producto final
TT801	Sensor de temperatura de tolva de producto final
TT802	Sensor de temperatura de secador final
WT801	Sensor de peso de balanza de bolsas de producto final
EV801	Válvula solenoide ingreso de aire caliente
YF801	Electroválvula de pistón neumático de compuerta de tolva
YY801 y YY802	Contactores de motores de tornillos de secador final
UC102	Controlador PLC ubicado en tablero
CS100	Unidad de Supervisión en PC de oficina

4.4 Modelamiento de los Sistemas y Algoritmos de Control

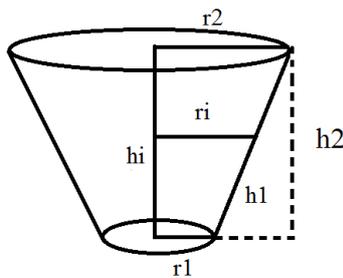
Se realizará el modelamiento de los lazos de control de las variables identificadas anteriormente, para ello nos basaremos en fórmulas matemáticas.

MODELO MATEMÁTICO PARA UN TANQUE CÓNICO

Se puede asumir que la figura geométrica que se aproxima es un tanque de cono es:



Un tanque que tiene forma cónica, se puede representar gráficamente en función de alturas y radios:



Por lo que se puede relacionar los radios y alturas generados:

$$\frac{r - r_i}{h - h_i} = \frac{r_2 - r_1}{h_2 - h_1}$$
$$r = r_i + (h - h_i) \frac{(r_2 - r_1)}{(h_2 - h_1)}$$

Para un tanque de cono se tienen las siguientes fórmulas de área y volumen:

$$A_L = \pi(r_1 + r_2)$$

$$\text{Vol} = h\pi(r_2^2 + r_1^2 + r_1 \cdot r_2)$$

Por lo que el volumen instantáneo en función del tiempo será:

$$\text{Vol}(t) = \frac{dh}{dt} \pi(r_t^2 + r_1^2 + r_t \cdot r_1)$$

Además se sabe que el volumen está variando proporcionalmente al caudal de entrada; por lo que:

$$\text{Vol}(t) \propto qi_t$$

Luego:

$$kr \cdot qi_t = \frac{\partial h}{\partial y} \pi (r_t^2 + r_1^2 + r_t \cdot r_1) \dots\dots\dots (1)$$

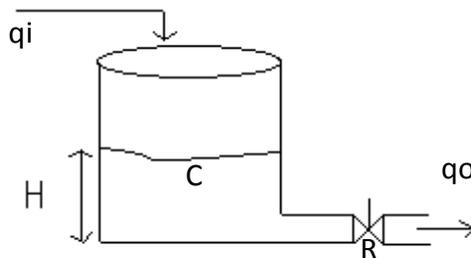
Por condiciones iniciales de tanque vacío tenemos

$$\frac{r-ri}{h-hi} = \frac{r2-r1}{h2-h1} \dots\dots\dots (2)$$

Reemplazando (2) en (1), aplicando Laplace y despejando se obtiene:

$$\frac{H(s)}{Qi(s)} = \frac{\pi(r2-r1)}{(h2-h1)S} \chi \left(\frac{r1(h2-h1)+h1(r2-r1)}{(h2-h1)} \right)^3$$

Para el modelo del tanque mostrado



Del gráfico se deduce que el volumen es:

$$\text{Vol}(t) = C \frac{dH}{dZ}$$

Además el volumen varía en función del caudal que ingresa:

$$\text{Vol}(t) = qi(t) - qo(t)$$

$$\text{Luego: } \text{Vol}(t) = q_i(t) - q_o(t) = C \frac{dH}{dt}$$

Además $q_o = \frac{H}{R}$ R es la resistencia hidráulica de la válvula de salida

Remplazando en (1), aplicando Laplace y despejando:

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R}{1+SRC}$$

Luego de analizar asumiendo que tenemos un caudal de entrada, se obtiene:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{\pi(r_2 - r_1)}{(h_2 - h_1)s} \times \left(\frac{r_1(h_2 - h_1) + h_1(r_2 - r_1)}{(h_2 - h_1)} \right)^3$$

Donde:

H = altura de tanque

Q = Caudal de entrada

r1 = radio menor del tanque

r2 = radio mayor del tanque

h1 = altura en función del radio menor

h2 = altura en función del radio mayor

ETAPA1: Espesamiento de Concentración de Cu-Mo

a) Control de Nivel

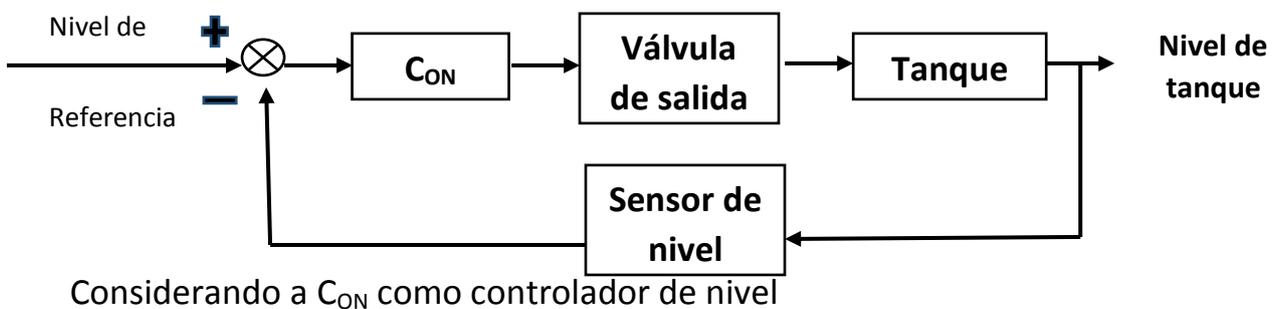
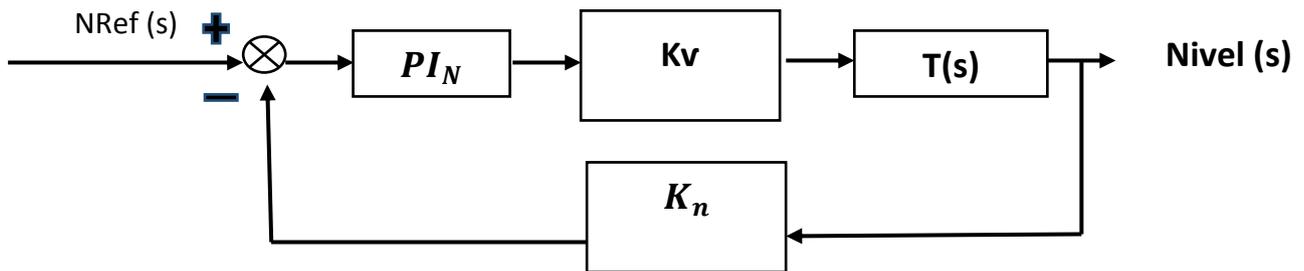


Diagrama de bloques



Donde:

K_v = constante de relación de la válvula.

K_n = Constante de relación del sensor de nivel

$T(s)$ = función de transferencia de tanque cónico

Función de transferencia

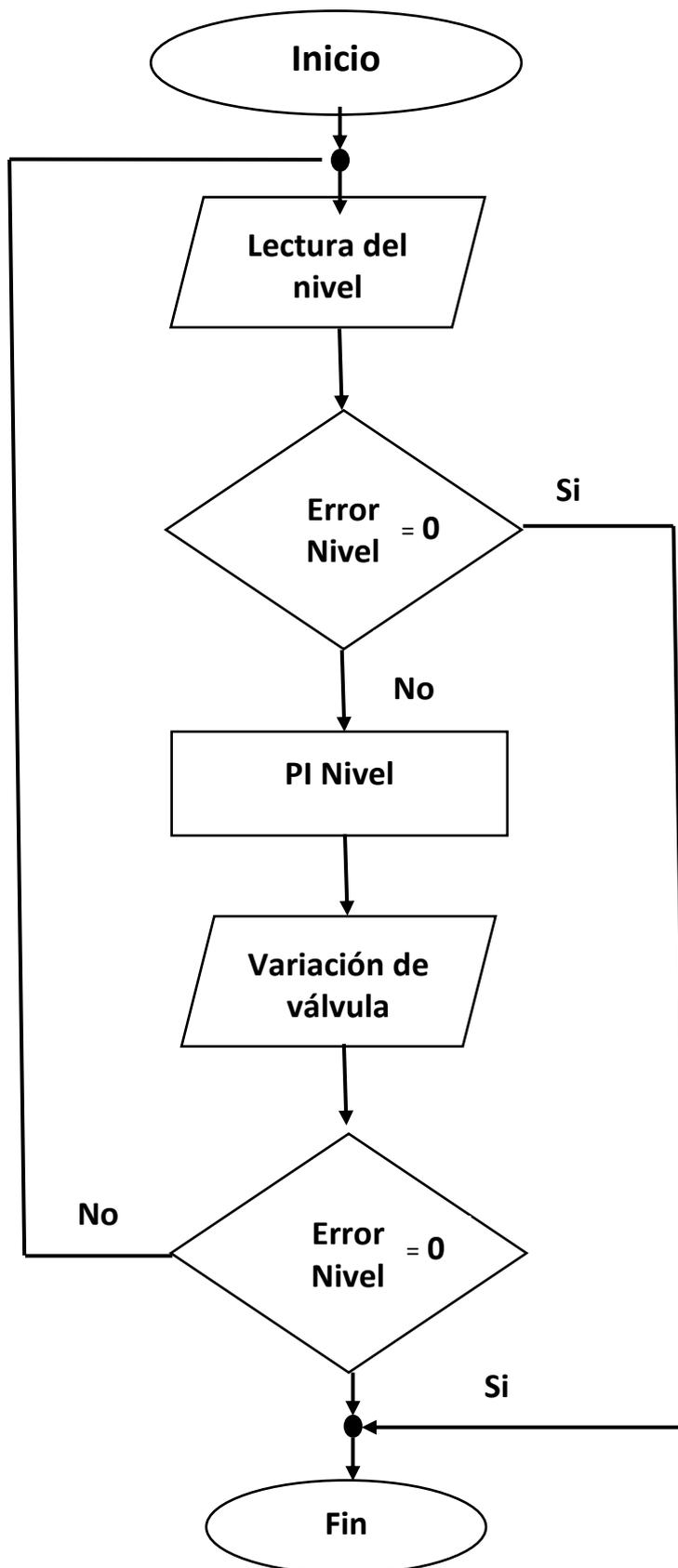
$$\frac{Nivel(s)}{NRef(s)} = \frac{PI_N(K_v)(T(s))}{1+(k_n)(PI_N)(K_v)(T(s))}$$

Donde:

$$T(s) = \frac{\pi(r_2-r_1)}{(h_2-h_1)s} \chi\left(\frac{r_1(h_2-h_1)+h_1(r_2-r_1)}{(h_2-h_1)}\right)^3$$

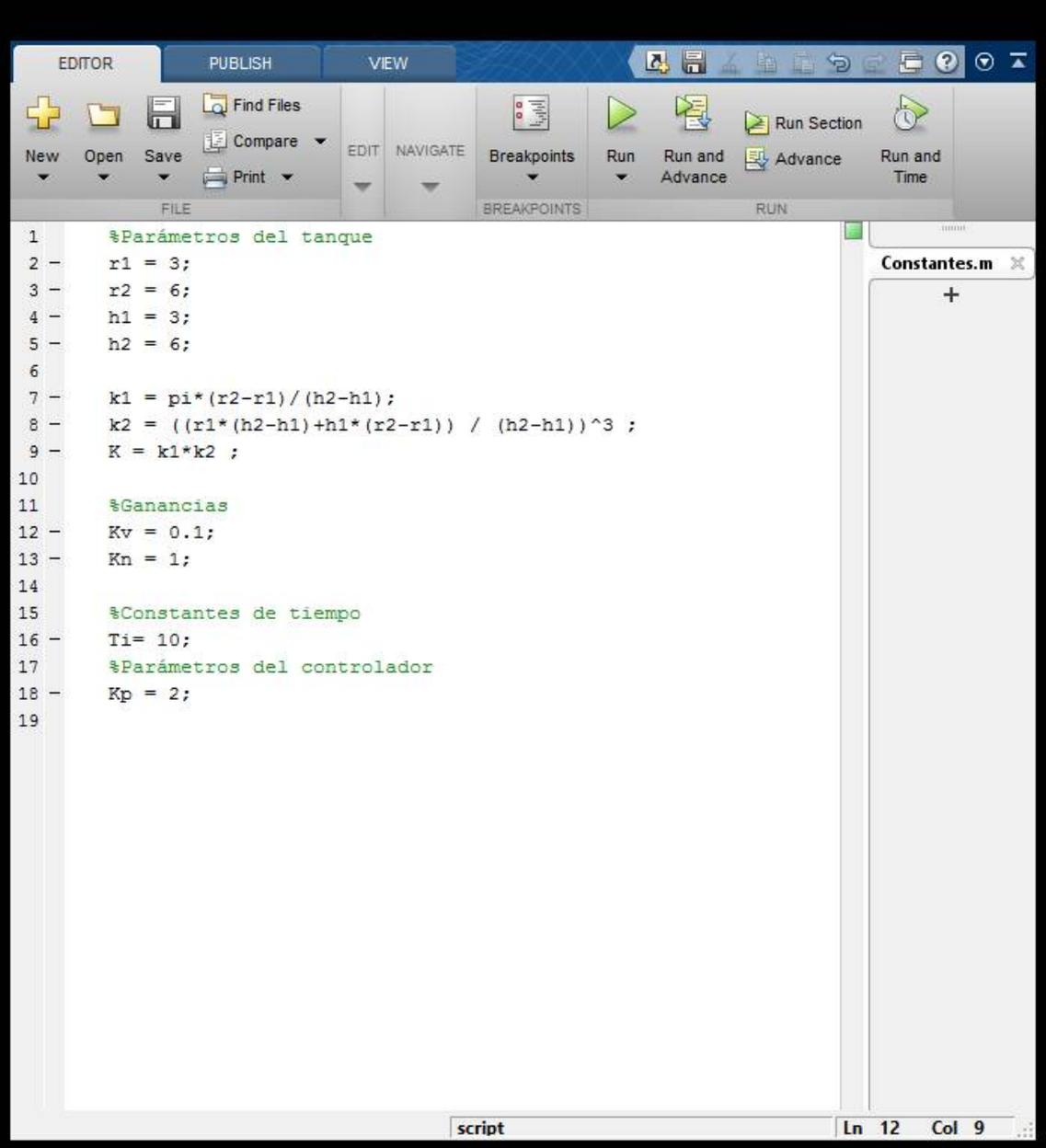
$$PI_N = \frac{(1 + sK_p \cdot T_i)}{(sT_i)} \longrightarrow \text{PI para el nivel del tanque}$$

Algoritmo de control



Simulación en Matlab

Programa para el control de nivel

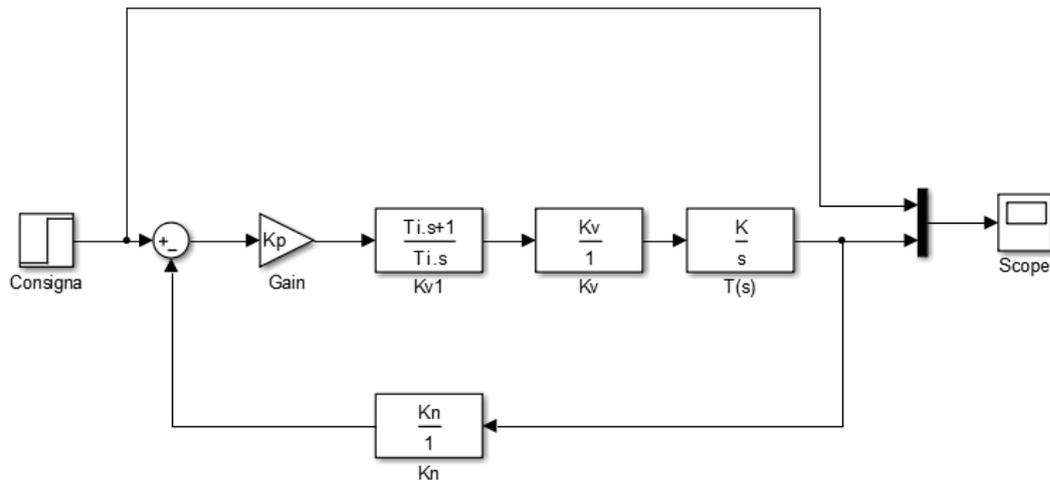


The image shows the MATLAB editor interface with a script for a tank level control simulation. The script is displayed in a window titled 'script' and contains the following code:

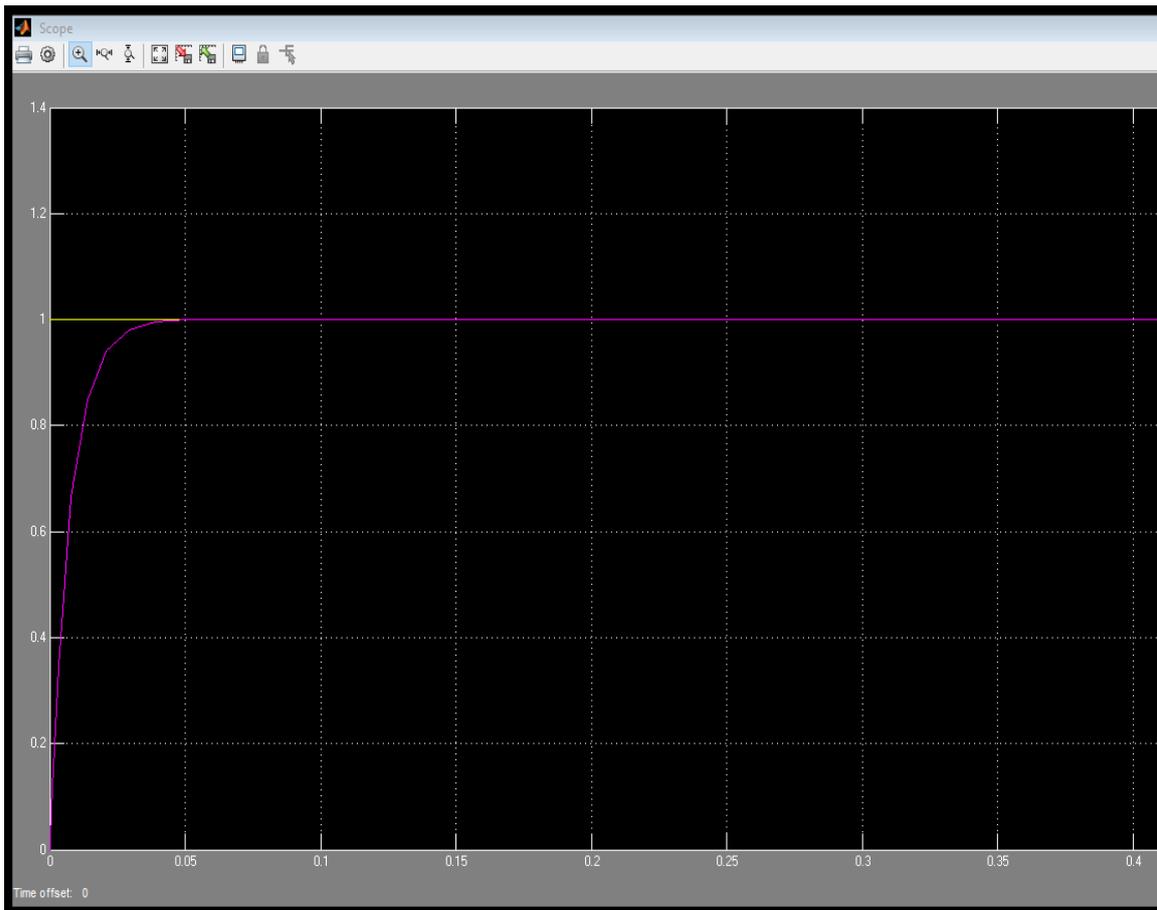
```
1  %Parámetros del tanque
2  -   r1 = 3;
3  -   r2 = 6;
4  -   h1 = 3;
5  -   h2 = 6;
6
7  -   k1 = pi*(r2-r1)/(h2-h1);
8  -   k2 = ((r1*(h2-h1)+h1*(r2-r1)) / (h2-h1))^3 ;
9  -   K = k1*k2 ;
10
11  %Ganancias
12  -   Kv = 0.1;
13  -   Kn = 1;
14
15  %Constantes de tiempo
16  -   Ti= 10;
17  %Parámetros del controlador
18  -   Kp = 2;
19
```

The interface includes a menu bar with 'EDITOR', 'PUBLISH', and 'VIEW' tabs. Below the menu bar are toolbars for 'FILE' (New, Open, Save, Find Files, Compare, Print), 'EDIT' (Navigate), 'BREAKPOINTS', and 'RUN' (Run, Run and Advance, Run Section, Advance, Run and Time). A right-hand pane titled 'Constantes.m' is visible, containing a plus sign. The status bar at the bottom indicates 'Ln 12 Col 9'.

Diagrama de bloques en Matlab

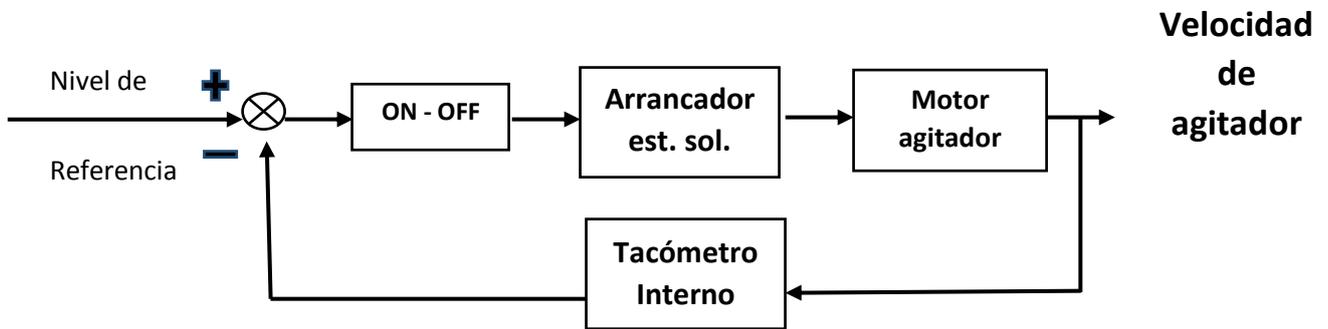


Respuesta gráfica del control de nivel



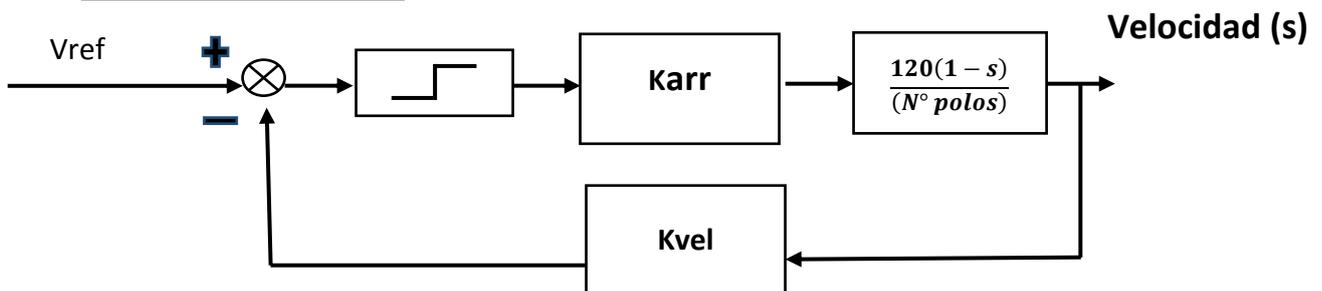
ETAPA 2: FLOTACIÓN ROUGHER Y SCAVENGER

a) Velocidad de Agitador



Considerando un controlador on-off de arranque de motor.

Diagrama de bloques



Donde:

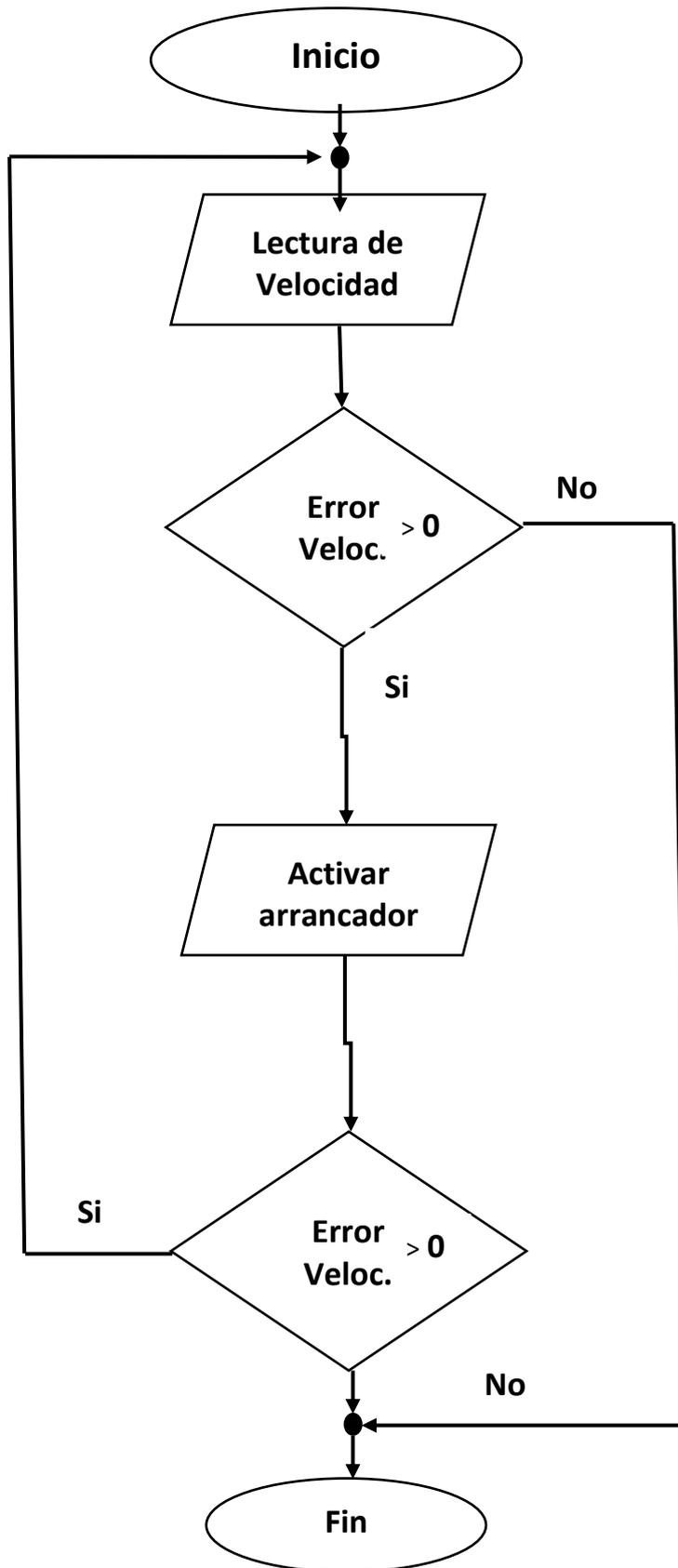
$Karr$ = coeficiente de relación del arrancador.

$Kvel$ = coeficiente de relación de sensor de velocidad.

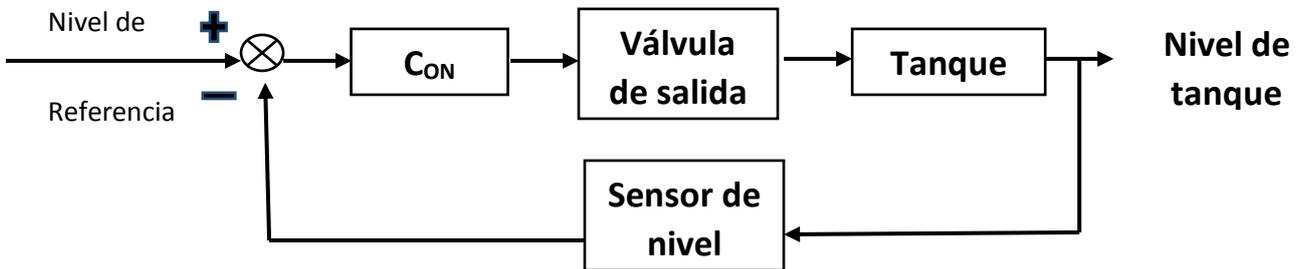
Función de transferencia

$$\frac{Velocidad(s)}{Vref(s)} = \frac{-|-(Karr)\left(\frac{120(1-s)}{N^\circ \text{ polos}}\right)}{1 + -|-(kvel)(Karr)\left(\frac{120(1-s)}{N^\circ \text{ polos}}\right)}$$

Algoritmo de control

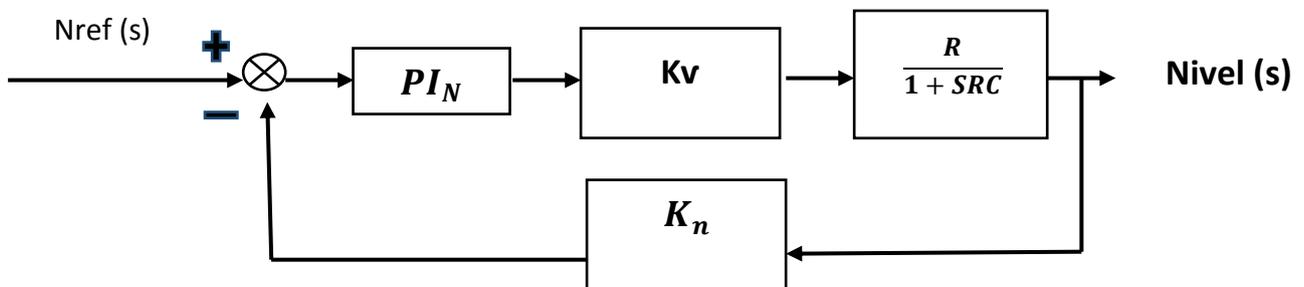


b) Nivel de Tanques



Considerando a C_{ON} como controlador de nivel

Diagrama de bloques



Donde:

K_v = constante de relación de la válvula.

K_n = Constante de relación del sensor de nivel

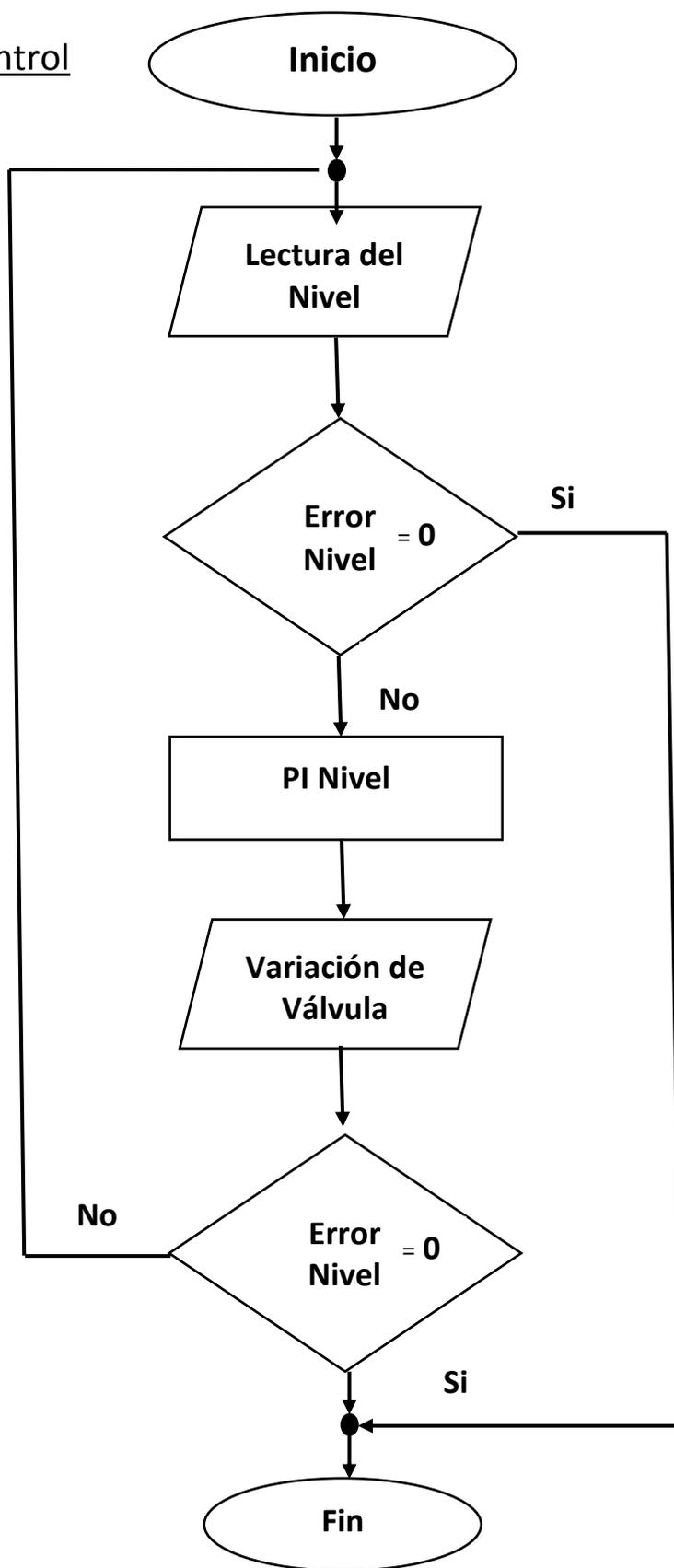
Función de transferencia

$$\frac{Nivel(s)}{Nref(s)} = \frac{PI_N (K_v) \left(\frac{R}{1+SRC}\right)}{1 + (K_n)(PI_N)(K_v) \left(\frac{R}{1+SRC}\right)}$$

Donde:

$$PI_N = \frac{(1+sK_p.T_i)}{(sT_i)} \longrightarrow \text{PI para el nivel del tanque}$$

Algoritmo de control

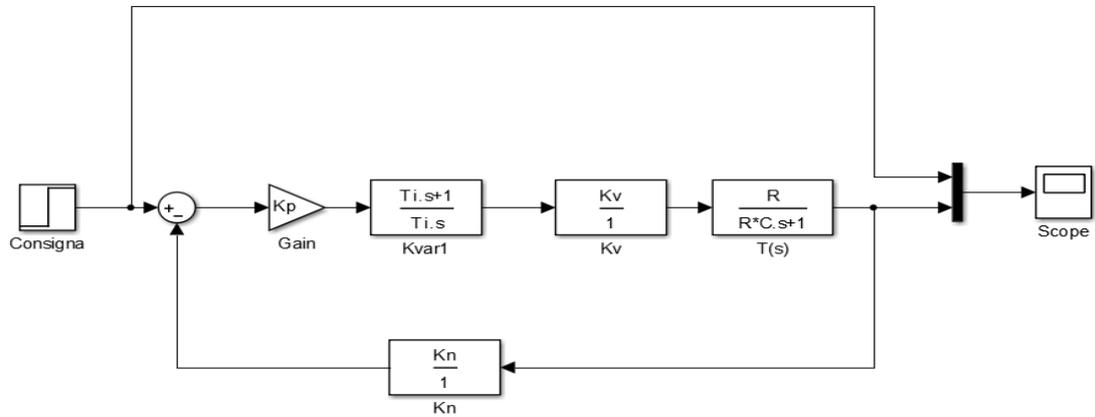


ETAPA 3: FLOTACIÓN 1ER CLEANER DE Mo

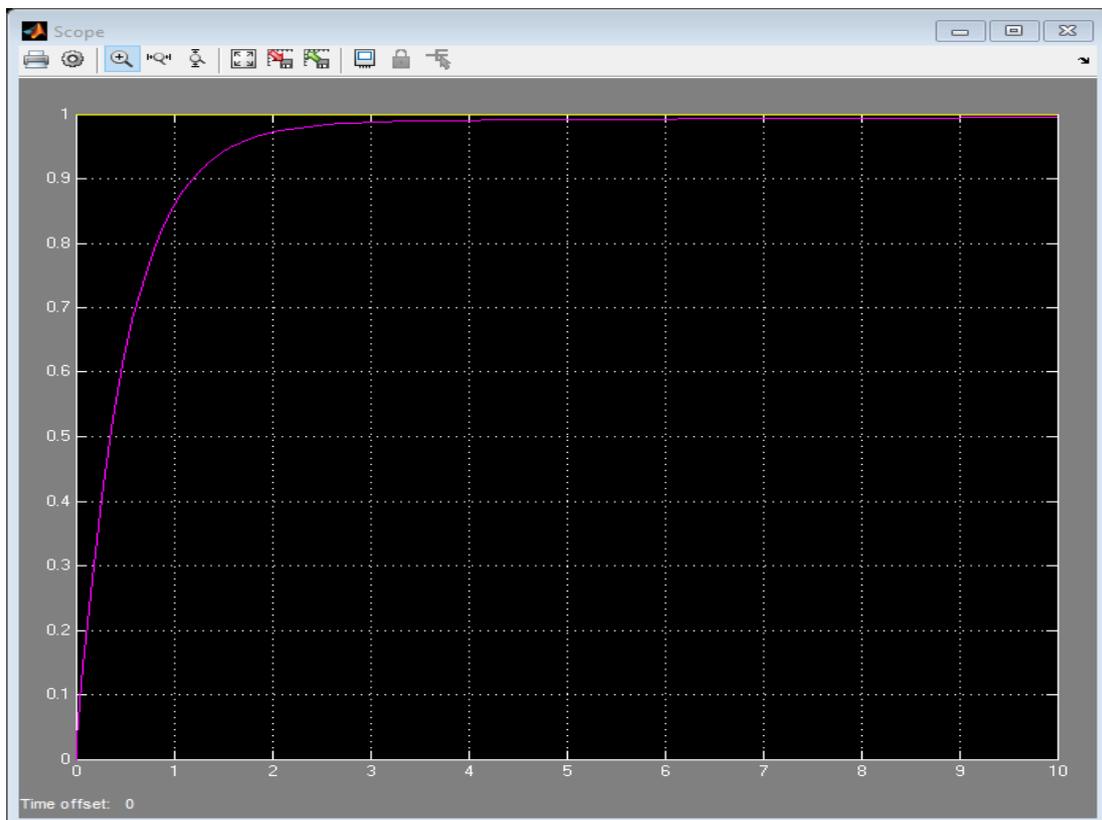
El control de nivel de los tanques es igual que en la Etapa 2.

Simulación en Matlab

Diagrama de bloques en Matlab

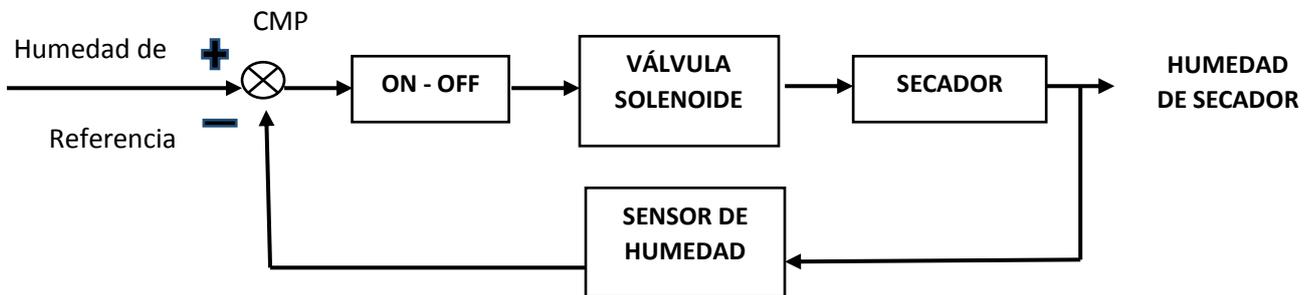


Respuesta gráfica del control de nivel



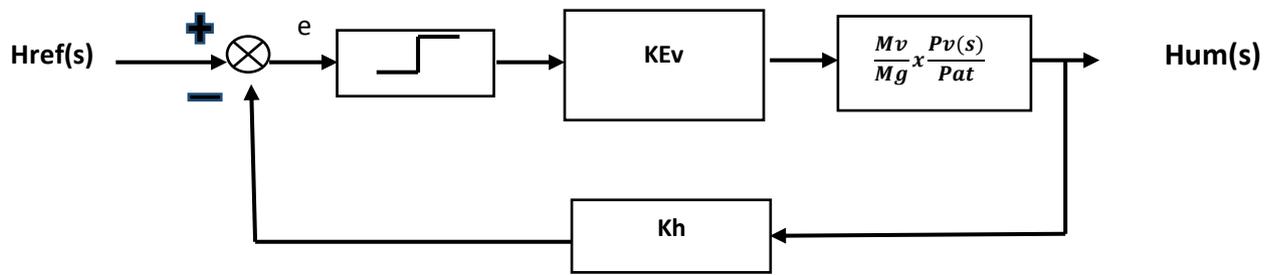
ETAPA 7: FILTRACIÓN DE CONCENTRADO

a) Control de Humedad:



Considerando a CMP como comparador

Diagrama de bloques



Donde:

KEv = coeficiente de la válvula solenoide

Kh = constante de relación del sensor de humedad

Mv = peso molecular del agua

Mg = peso molecular del aire seco

Pat = presión atmosférica

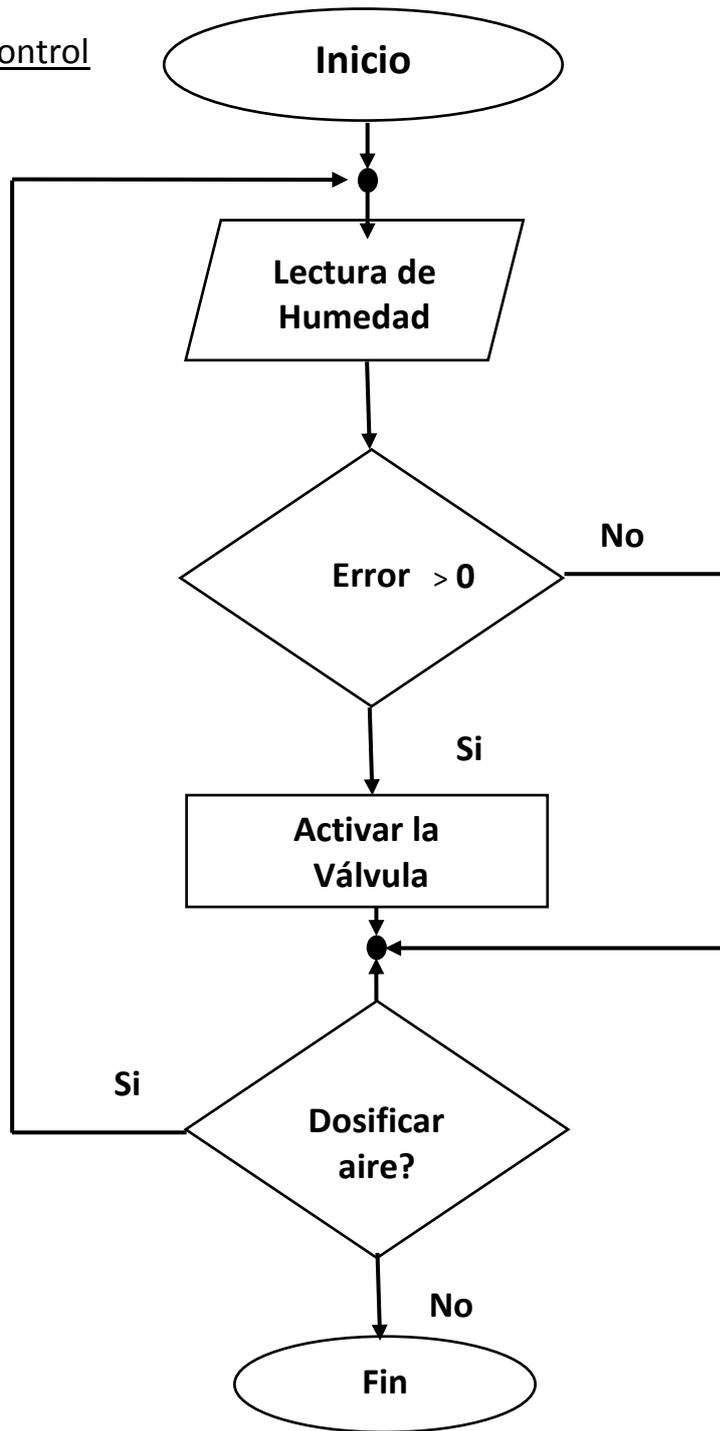
Pv = presión del aire de secado

Función de transferencia

$$\frac{Hum(s)}{Href(s)} = \frac{(_|_)(KEv) \frac{Mv Pv(s)}{Mg Pat}}{1 + (Kh)(_|_)(Ke1) \frac{Mv Pv(s)}{Mg Pat}}$$

Donde: $_|_$ = control on-off

Algoritmo de control



ETAPA 8: SECADO Y EMPACADO

a) Control de Temperatura

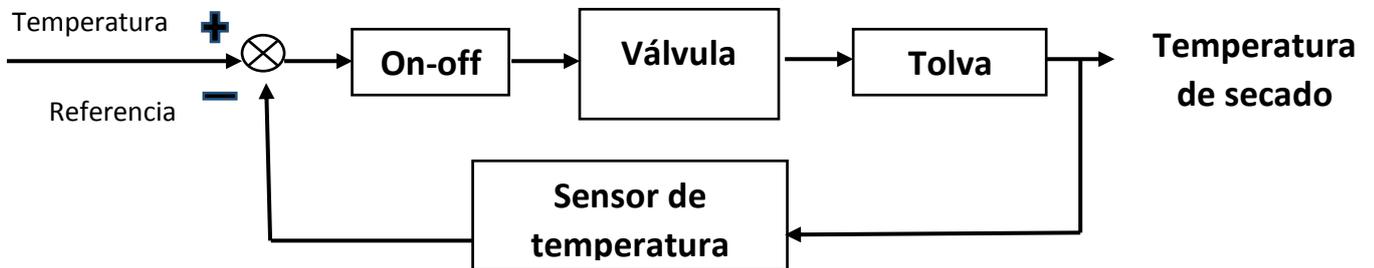
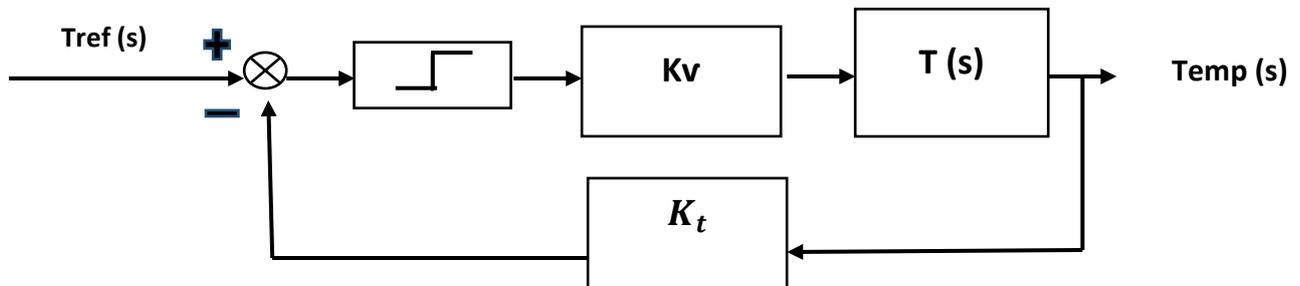


Diagrama de bloques



K_v = constante de relación de la válvula.

K_t = constante de relación del sensor de temperatura.

$T(s)$ = función de transferencia de tolva cónica.

Función de transferencia

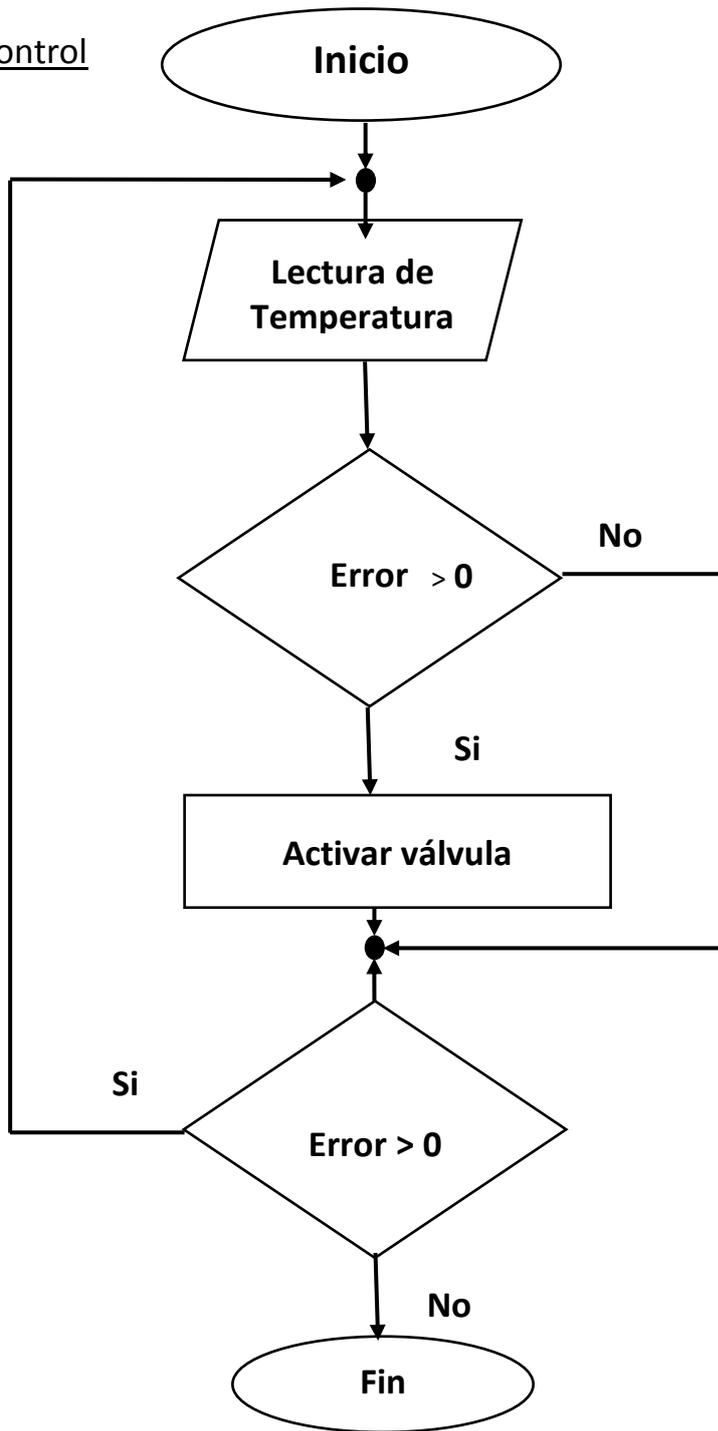
$$\frac{Temp(s)}{T_{ref}(s)} = \frac{\text{on-off}(K_v)(T(s))}{1 + (K_t)\text{on-off}(K_v)(T(s))}$$

Donde:

$$T(s) = \frac{\pi(r_2 - r_1)}{(h_2 - h_1)s} \chi \left(\frac{r_1(h_2 - h_1) + h_1(r_2 - r_1)}{(h_2 - h_1)} \right)^3$$

Para on-off = control on-off

Algoritmo de control



4.5. Software de Supervisión

Como ya se había seleccionado la arquitectura del sistema de control en un punto anterior, se tenía un nivel de supervisión. Este nivel debe tener las siguientes características:

1. Visualización de los valores de las principales variables en tiempo real
2. Gráficas lineales y de relación en el tiempo
3. Sistema de alarmas gráficas y por ubicación
4. Generación de base de datos de las principales variables.

Internamente el sistema de supervisión realiza otras tareas que el operador no puede ver pero que se realizan como una necesidad del sistema, estas tareas son:

- ✓ Comunicación con el PLC
- ✓ Almacenamiento de datos en una base de datos
- ✓ Almacena eventos
- ✓ Almacena alarmas
- ✓ Diagnostica las diferentes tareas del sistema.

Las pantallas que se podrán visualizar en el software de aplicación serán las siguientes:

Pantalla General: Esta pantalla mostrará todo el sistema de operación del proceso

Pantalla de Tendencias: Las pantallas de tendencias, tendrán la posibilidad de ser reales e históricas al mismo tiempo.

Pantalla de Alarmas: En esta pantalla podrán visualizarse todas las alarmas generadas por el sistema, las cuales se almacenan en la base de datos. Algunas de ellas serán: Ruptura de diafragma de vigilancia, circuito de desconexión de emergencia, fallo de voltaje 24 vdc, fallo de voltaje 220 vac, perturbación de bomba, presión de absorción muy baja, presión de descarga muy alta, nivel de tanque propulsor muy alto, nivel de tanque propulsor muy bajo, fallo de aire del sistema.

En la PC de supervisión no se realiza ninguna tarea de control, es por eso que si por alguna razón la PC de supervisión se queda colgada, el control se sigue realizando en el PLC sin mayores inconvenientes, con la única salvedad que los valores con los que está trabajando el sistema son los últimos ingresados. Una vez reiniciada la PC el sistema de Supervisión puede trabajar normalmente.

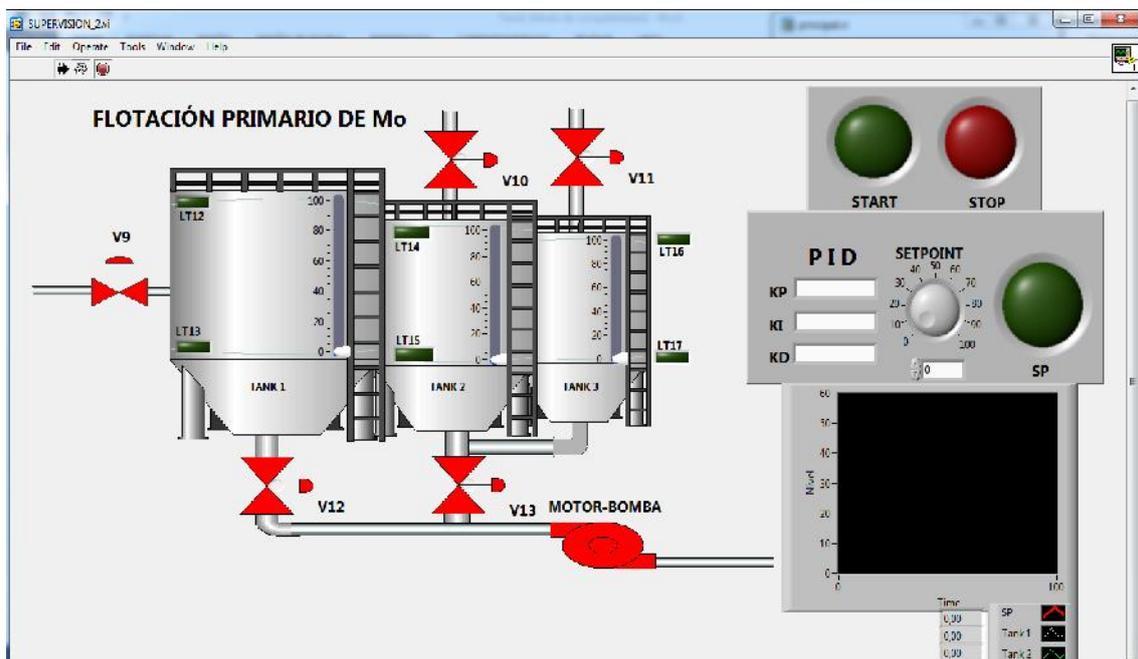
El software SCADA recomendado para este proyecto es el Look Out cuyo fabricante es la empresa National Instrument, pero por motivos de que el software tiene una llave de seguridad se presentan a nivel de demos pantallas desarrolladas en el software de aplicación general Lab-View.

A continuación las pantallas del software de supervisión del proceso:



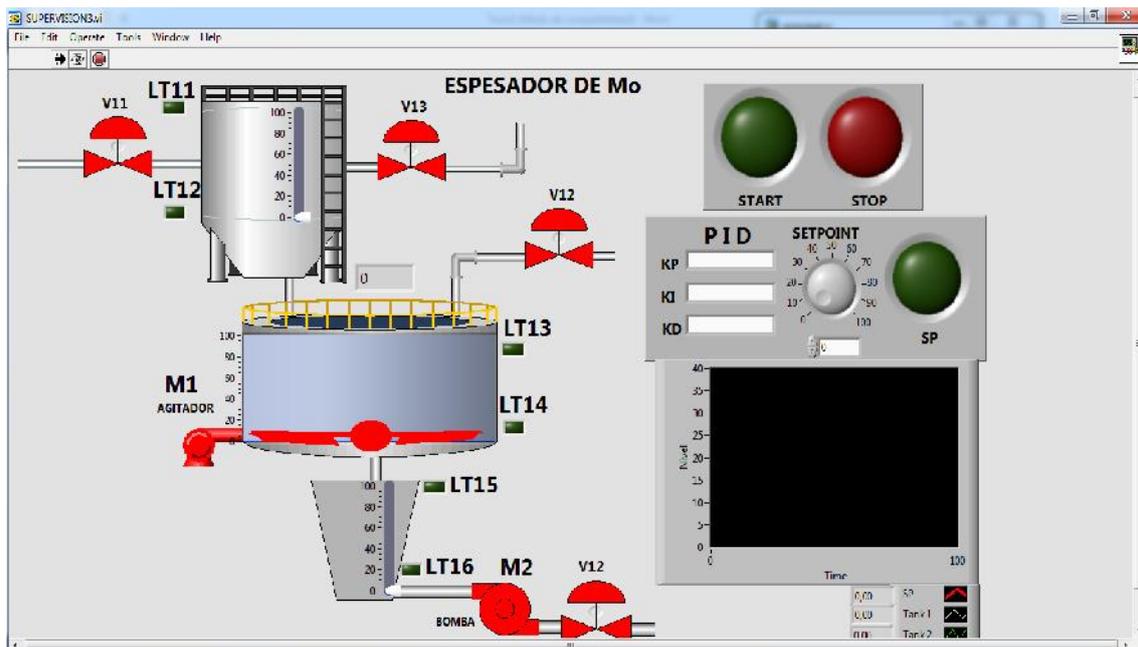
Esta pantalla muestra la primera etapa que es el Espeador de concentrado de Cu-Mo, en ella se aprecia el espeador con sus principales válvulas, así como los valores de los sensores de nivel.

También se puede apreciar los valores del controlador PID utilizado, en el mismo se generarán las gráficas y las alarmas respectivas.



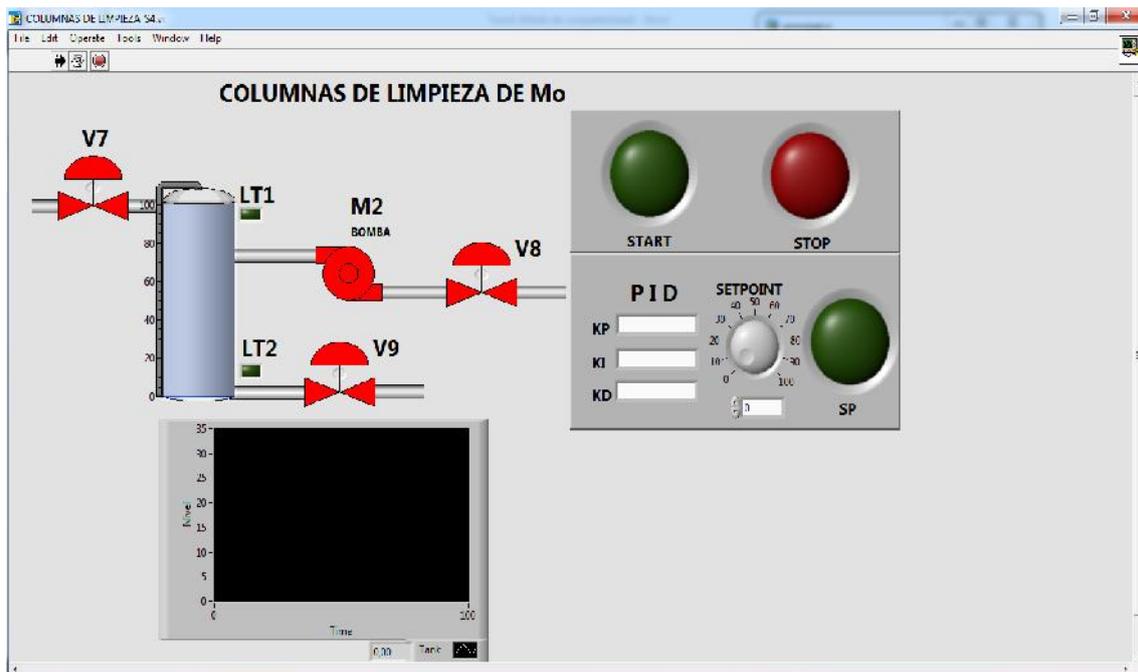
Esta pantalla muestra la etapa que es la Flotación primaria de Rougher de Mo, en ella se aprecian las celdas con sus principales válvulas, así como los valores de los sensores de nivel.

También se tiene la opción de cambiar los valores del controlador PID utilizado, así como el estado de la bomba de salida.



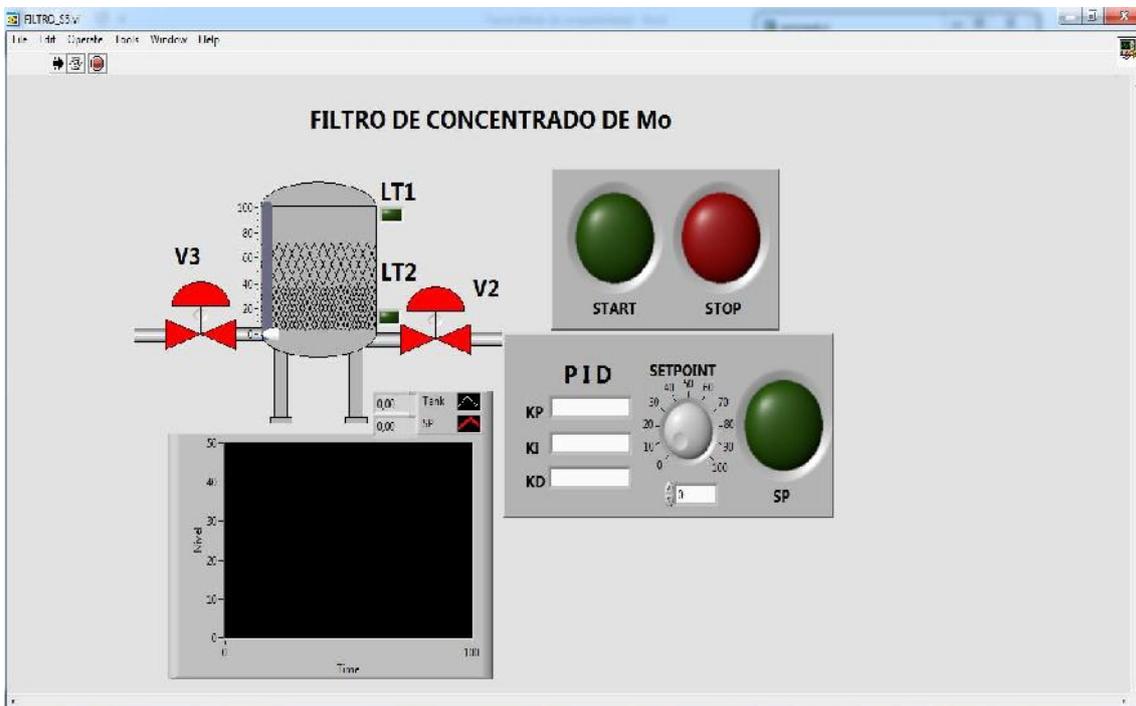
Esta pantalla muestra la etapa de lo que es el Espesamiento de Concentrado de 1er cleaner de Mo, en ella se aprecia al tanque acondicionador, al espesador con el motor del rastrillo, sus principales válvulas, así como los valores de los sensores de nivel.

También se puede cambiar los valores del controlador PID utilizado, se generarán las gráficas y las alarmas respectivas.



Esta pantalla muestra la etapa de Flotación de Mo en la Celda Columna, en ella se aprecia a la columna con sus respectivas válvulas, así como los valores de los sensores de nivel.

Se tiene la opción de cambiar los valores del controlador PID que se utiliza, así como visualizar las gráficas y las alarmas respectivas.



Esta pantalla muestra la etapa de lo que es la Filtración del Concentrado Final, en ella se aprecia el filtro con sus respectivas válvulas de aire, así como los valores de los sensores de nivel.



Esta pantalla muestra la etapa final de lo que es el secado, así como los valores de los sensores de nivel para la Tolva de Almacenamiento Final.

Así como en las demás pantallas, es posible generar las gráficas y las alarmas respectivas.

4.6 Criterios de Selección de la Instrumentación

4.6.1 Selección de sensores

Existen muchas variantes y posibilidades para seleccionar un sensor adecuado para cada aplicación y cuanto mayor objetividad en la selección, mayores son las posibilidades de éxito.

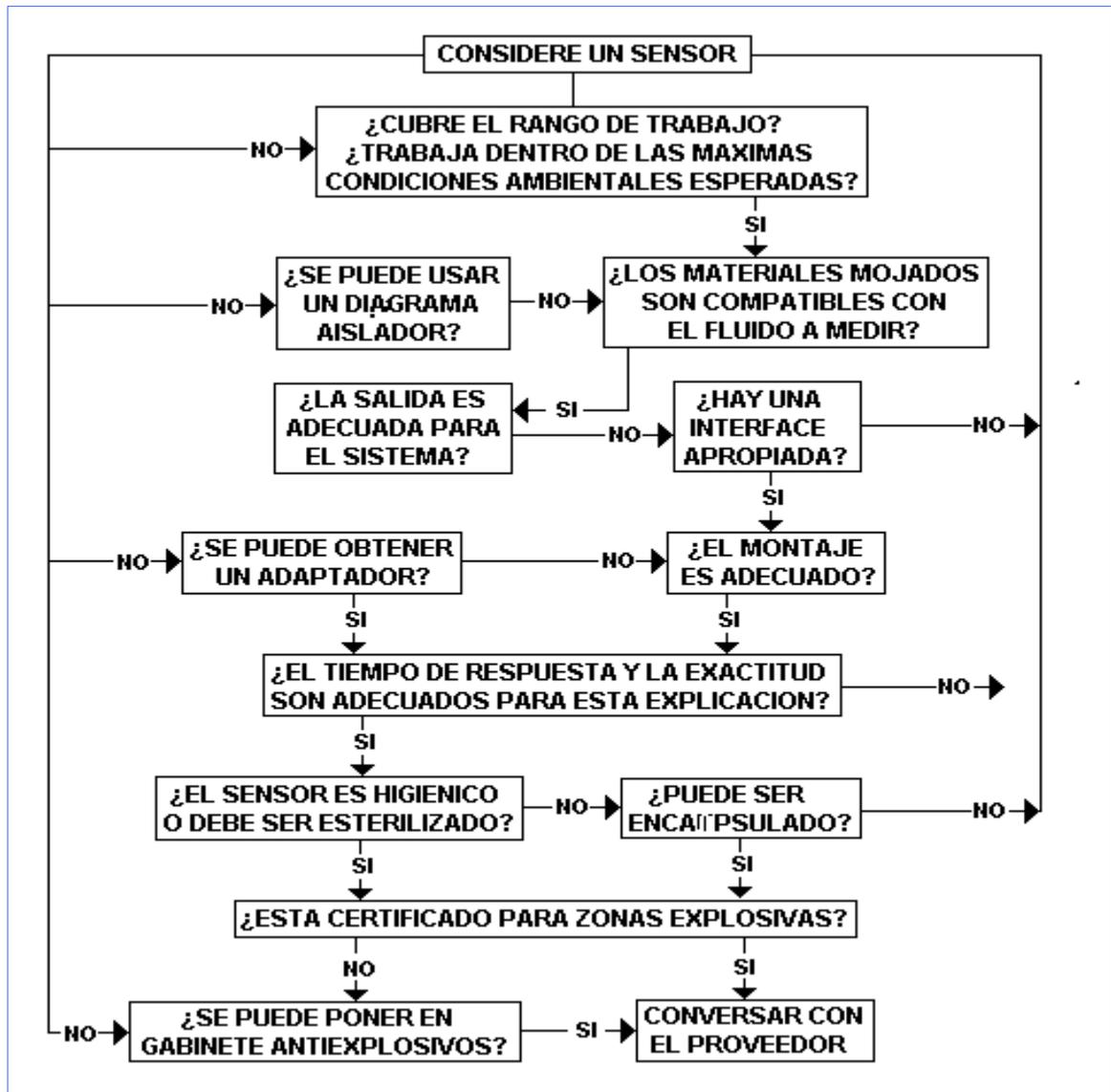
Es esencial que se consideren todos aquellos factores que importen para la exacta especificación del sensor buscado; la salida del sensor debe ser compatible con las demás instalaciones de campo, es decir: neumática o eléctrica, analógica y/o digital.

Referente al costo del instrumento es deseable obtener uno de bajo costo, pero este debería de ser uno de los últimos factores a considerar, lo que importa realmente es que el sensor funcione correctamente y sea simple de instalar.

Es necesario asegurar que la performance del sensor no se verá afectada por entornos adversos como: el polvo, el agua, la corrosión; el sensor debe garantizar seguridad contra atmósferas explosivas.

También las vibraciones producen ruido eléctrico en la salida del sensor e incluso causan fallas mecánicas en el funcionamiento.

Para una adecuada selección, nos basaremos en el esquema de la figura, en el cual se presenta un diagrama donde es necesario responder todas estas preguntas para resolver la selección.



4.6.2 Válvulas de control

La válvula de control actúa como una resistencia variable en la línea de proceso, mediante el cambio de su apertura se modifica la resistencia al flujo y, en consecuencia, el flujo del mismo. Las válvulas de control no son más que reguladores de flujo.

La señal que hará variar la apertura de la válvula y consecuentemente el caudal, puede ser generada en la propia válvula (válvula autorreguladora) o ser generada por un elemento externo (válvula de control automática).

En la válvula se distinguen dos subconjuntos fundamentales: cuerpo y partes internas, y actuador mismo.

A continuación se muestra un cuadro para determinar los materiales del cuerpo en función de la temperatura y características de aplicación:

Material	Temperatura ° C	Características
Acero al carbono ASTM A216Gr	-28 a 537	Es el material normalmente utilizado para condiciones de servicio moderadas con fluidos no erosivos ni corrosivos. No suele ser utilizado a temperaturas superiores a 425 ° C.
Acero al cromo- Molibdeno 1/4Cr-1Mo ASTM A217Gr	-28 a 593	La adición de cromo y molibdeno hace que sea resistente a la corrosión y a la deformación. Es capaz de resistir presiones y temperaturas más altas que el WCB si bien su precio es más elevado.

<p>Acero al cromo- Molibdeno Cr- 1/2 Mo ASTM A217Gr</p>	<p>-28 a 648</p>	<p>Usado para fluidos moderadamente corrosivos o bien para altas temperaturas. Resistente a la erosión a altas temperaturas y a deformaciones. Soporta presiones similares a las del WCB</p>
<p>Acero Inoxidable ASTM A351Gr</p>	<p>-253 a 815</p>	<p>Utilizados para fluidos oxidantes o corrosivos y especialmente para temperaturas criogénicas.</p>
<p>Acero inoxidable ASTM A351Gr</p>	<p>-253 a 815</p>	<p>Usado en servicios oxidantes o corrosivos como el AISI 304 si bien la adición del molibdeno permite una resistencia a la corrosión. También es utilizado para muy altas temperaturas.</p>

4.6.3 Equipos de control

PLCs

Los criterios mencionados a continuación son los básicos a tener en cuenta, probablemente suficientes para una gran cantidad de aplicaciones de tipo general:

- a. Alimentación eléctrica
- b. Tipo de módulos de entrada y de salida
- c. Módulos especializados
- d. Capacidad de Memoria
- e. Lenguaje de programación.

Sin embargo la decisión para elegir un buen controlador depende de la aplicación que se le quiera dar, y a veces se tiene que considerar sobredimensionar para una futura ampliación del control.

Los módulos especializados deben considerarse cuando se requieren hacer cálculos matemáticos o estimaciones estadísticas, sin embargo para la mayoría de procesos de automatización estos módulos no son aplicables porque se desperdicia la capacidad de los mismos.

4.7 Selección de equipos e instrumentación

De acuerdo a los criterios y tablas de las figuras mencionadas, y teniendo presente las especificaciones del capítulo anterior se procedió a realizar la selección de los instrumentos y equipos de control.

4.7.1 Selección de la instrumentación

Después de consultar con manuales de diferentes fabricantes, se seleccionaron los instrumentos y válvulas consideradas en el diseño del proyecto. Estos se describen en la siguiente tabla:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
01	DETECTOR DE POSICIÓN MARCA: SOR MODELO: EXDL – 74 Características: - Interruptor de tipo inductivo - Salida: 24 vdc - Voltaje alim.: 30 vdc max. - Protección: NEMA 4	10
02	SENSOR DE NIVEL CONTINUO MARCA: PROXIMITY MODELO: UL200 Características: - Salidas: 4 a 20 mAdc - Voltaje: 24 vac - Rango: 2.8 metros - Temperatura: -23° a 71° C - Material de sensor: CPVC - Protección: NEMA 4X	10
03	DETECTOR DE NIVEL LÍMITE MARCA: ENDRESS - HAUSER Características: - Tipo: Electrodo - Temperatura máxima: 80° C - Presión: 6 bar. - Salida: 24 vdc - Protección NEMA 4	14

04	<p>SENSOR TRANSMISOR DE DENSIDAD</p> <p>MARCA: DWYER</p> <p>MODELO: 657C – 1</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rango: de 0 a 20 °B - Precisión RH: ± 2% - Resolución: 0.1% - Voltaje: 10 - 35VDC - Salida: 4 – 20 mA. - Temperatura de operación: 0° a 70° C 	2
05	<p>SENSOR TRANSMISOR DE CORRIENTE</p> <p>MARCA: ROCHESTER INSTRUMENT</p> <p>MODELO: 420</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precisión: 0.5% - Rango: 0 a 20 Amp. - Repetibilidad: 0.25% de la escala completa. - Temperatura: 0° a 70° C - Alimentación: 24 Vac - Salida: 4 a 20mA. - Indicación digital 	6
06	<p>TRANSMISOR DE PESO</p> <p>MARCA: TRANSDUCER TECHNIQUES</p> <p>MODELO: DPM - 2</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precisión: 0.1% - Display: 4 dígitos fluorescentes al vacío (13mm). - Alimentación: 24 Vac - Tiempo de respuesta: 750ms. - Salida: 0 a 5 vdc 	1

07	<p>CILINDRO DOBLE EFECTO NEUMÁTICO MARCA: HEDLAND MODELO: PM – 1100 Características: - Presión: 80 - 100 Lb/pulg² - Temperatura: 400° F max - Tiempo de respuesta: 50ms.</p>	2
08	<p>CILINDRO DOBLE EFECTO HIDRÁULICO MARCA: OHKEN MODELO: FTC 968 Características: - Presión: 100 - 250 Bar - Temperatura: 500° F max - Tiempo de respuesta: 100ms</p>	2
09	<p>TRANSDUCTOR CORRIENTE-PRESIÓN (I/P) MARCA: OMEGA MODELO: IP 210 Características: - Entrada: 4 a 20 MA - Salida: 3 a 15 psi - Normalización: Standard - Protección: NEMA 3</p>	3
10	<p>ELECTROVÁLVULA DE FLUJO MARCA: FESTO MODELO: CAT – JJ400 Características: - Posiciones: 2 - Presión de operación: 100 psi max. - Alimentación: 24 Vdc - Rango de temperatura: 0 a 100° C</p>	17

11	<p>VÁLVULAS SOLENOIDES MARCA: ECKARDT MODELO: AK-P9384</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuerpo: acero inoxidable - Tamaño ϕ: 2" - Alimentación: 220 vac - NA 	20
12	<p>VÁLVULAS DE FLUJO NEUMATICAS MARCA: ECKARDT MODELO: MB6713</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuerpo: acero al carbón - Tamaño ϕ: 6" - Presión: 80psi - Actuador: Diafragma y resorte múltiple - Temperatura: 100° C máx. 	15
13	<p>Contactores Trifásicos Marca: SIEMENS Modelo: AK-P9384</p>	26
14	<p>Arrancadores de estado sólido Marca: SIEMENS Modelo: Sirius 3RS-Y-K915 Voltaje: 380 vac</p>	4
15	<p>Cable para conexión de control Marca: Olflex Modelo: Classic 110 Protección: Nema 4</p>	3000 mts

4.7.2 Selección de los controladores PLCs

A continuación detallaremos mediante una tabla comparativa las principales características de los PLC's propuestos y basándose en un análisis determinaremos cuál de los PLC's será el seleccionado.

Para el presente Proyecto de Automatización los criterios que mencionamos son de los siguientes PLC's industriales:

- ✓ Marca SIEMENS, Modelo SIMATIC S7-224U
- ✓ Marca ALLEN-BRADLEY, Modelo SLC 500
- ✓ Marca SCHNEIDER, Modelo M-340

TABLA COMPARATIVA DE CARACTERÍSTICAS DE PLCs

CARACTERISTICAS	PLC'S		
MARCA	SIEMENS	ALLEN – BRADLEY	SCHNEIDER
MODELO	SIMATIC S7-224U	SLC 500	M-340
ALIMENTACION	110-240 VAC	110-240 VAC	24 VDC O 115/230 VAC
ENTRADAS ANALOGICAS	IP 260 ENT de 0 a 5 V, 4 a 20 mA	AEZ 414 4 ENTRADAS	ADU 204: 4 ENT.

	multigama, 12 bits resoluc.	0-10V; 4-20 mA 11 bits de resoluc.	
ENTRADAS DISCRETAS	15-420-7LA11 32 ENT. ALIM. 24 VDC	SX DMZ 28 DR 16 ENT. 24V.	DEP 208: 8 ENT. ALIM. 220VAC. DEO 216:16 ENT. ALIM. 24 VDC. DEP 209: 8 ENT. ALIM. 120 VAC. DEP 216: 16 ENT. ALIM. 24 VDC.
SALIDAS ANALOGICAS	IP 260 SAL de 0 a 5 V, 4 a 20 mA multigama, 12 bits resoluc.	SX ASZ 200 2 SAL. $\pm 10V$; 4 -20 mA. 11 bits de Resoluc.	DAU 202: 2 SAL
SALIDAS DISCRETAS	15-441-7LA11 32 SAL. TIPO RELE 24 vdc ó 220 vac	DMZ 6 DTK 12 SAL. RELE	DAP 208: 8 SAL- 24 VD DAP 209: 8 SAL- 120VA DAP 216: 16 SAL-

			24VDC.
DIMENSIONES FISICAS	16,5 x 8,5 x 6 cm	ALT.151 mm. PROF.108 mm.	21,3X14,2X12 cm.
PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN ENTRE PLC'S	PROFIBUS RED LOCAL SINEC H1	RED LOCAL CONTROLNET	MODBUS PLUS
PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN PARA PERIFERICOS	SERIE ESTANDAR	SERIE ESTANDAR	ESTANDAR
LENGUAJE DE PROGRAMACION	STEP7	RX LOGIX 500	COMPACT-M340
MEMORIA RAM	700-375-OLD11 8 KB. 700-375-OLD21 16 KB. 700-375-OLD31 32 KB. 700-377-OAB31 64 KB	7,8 K INSTRUC. BOLE (2K PALABRAS DE DATOS)	FORMATOS: 3K Bytes 8K Bytes 16K Bytes

MEMORIA EPROM	<p>700-375-1LA15 8KB.</p> <p>700-375-1LA21 16 KB.</p> <p>700-375-1LA41 32 KB.</p> <p>700-375-1LA61 64 KB.</p> <p>700-375-1LA71 128 KB</p>	4.7K LISTA DE INSTRUCCIONES.	8K Bytes
TARJETA DE EXPANSIÓN	<p>S7-IM 306 (MOD.INTERF. PARA RACKS DE EXPANC.)</p>		MODULOS A120
TARJETA DE INTERFAZ A RED	<p>CP 535 (Proc. De com.)</p> <p>Medio Físico TX: cable coaxial apantallado (a través de Transc. BT 775</p>	<p>PCMCIA (TSX FPF 20)</p> <p>Cable de conexión para tarjeta de RED TSX FPCG (1m.)</p>	

Para el presente proyecto se llegó a seleccionar el PLC ALLEN-BRADLEY por las características técnicas necesarias, estas son mostradas en el siguiente cuadro:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
01	<p>UC101 Controlador Lógico Programable FABRICANTE: ALLEN-BRADLEY MODELO: SLC 500 Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fuente: Integrada en el chasis ✓ Memoria: 64KB ✓ Módulo Id: 20E – 24VDC (3 mod x 8) ✓ Módulo Od: 14S - Tipo relé 220 vac (2 mod x 8) ✓ 4S – Tipo relé 24 vdc (1 mod x 8) ✓ Módulo Ia: IP260 4E – 4 a 20 mA (1 mod x 4) ✓ Módulo Oa: 2S – 4 a 20 mA (1 mod x 2) 	1
02	<p>UC102 Controlador Lógico Programable FABRICANTE: ALLEN-BRADLEY MODELO: SLC 500 Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fuente: Integrada en el chasis ✓ Memoria: 64KB ✓ Módulo Id: 4E – 24VDC (1 mod x 8) ✓ Módulo Od: 3S - Tipo relé 220 vac (1 mod x 8) ✓ 2S – Tipo relé 24 vdc (2 mod x 8) ✓ Módulo Ia: IP260 7E – 4 a 20 mA (2 mod x 4) ✓ 7E – 0 a 5 vdc (2 mod x 4) ✓ Módulo Oa: 2S – 4 a 20 mA (1 mod x 2) 	1

CAPÍTULO V
ANALISIS DE COSTOS

5.1. Generalidades

El presente capítulo muestra todos los costos de implementar el proyecto. Como sabemos la evaluación económica es muy importante al momento de tomar la decisión de automatizar la planta, porque de acuerdo a ella se verá si realmente es rentable invertir, así como si la automatización de la planta incrementaría la calidad y reduciría los costos por pérdida de materia prima o por mal uso de recursos.

Se han dividido los costos por rubros para poder hacer más claro el análisis de costos.

5.2. Estimación de Costos

5.2.1. Costos de instrumentación

ITEM	DESCRIPCIÓN	P. UNIT.(\$)	CANTIDAD	P. TOTAL (\$)
1	Detector de Posición Marca: SOR, Modelo: EXDL-74	100,00	10	1000,00
2	Sensor de Nivel Continuo Marca: Proximity	620,00	10	6200,00
3	Detector de Nivel Límite Marca: ENDRESS-HAUSER	80,00	14	1120,00
4	Sensor Transmisor de Densidad Marca: DWYER, Modelo: 657C-1	360,00	2	720,00
5	Sensor Transmisor de Corriente Marca: Rochester Instrument	200,00	6	1200,00

6	Sensor Transmisor de Peso Marca: Transducer Techniques	230,00	1	230,00
7	Cilindro Doble Efecto Neumático Marca: Hedland	660,00	2	1320,00
8	Cilindro Doble Efecto Hidráulico Marca: Ohken	750,00	2	1500,00
9	Transductor Corriente/presión (I/P) Marca: Omega	180,00	3	540,00
10	Electroválvula de Flujo Marca: Festo	120,00	17	2040,00
11	Válvula Solenoide Marca: Eckardt	300,00	20	6000,00
12	Válvula de Flujo Neumática Marca: ECKARDT, Modelo: MB6713	780,00	15	11700,00
13	Contactores Trifásicos Marca: SIEMENS, Modelo: AK-P9384	110,00	26	2860,00
14	Arrancadores de estado sólido Marca: SIEMENS, Modelo: Sirius	1200,00	4	4800,00
15	Cable de control Marca: Olflex, Modelo: Classic 110	1,50	3000	4500,00
45 730,00				

5.2.2. Costos de equipos

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	P. UNIT. (\$)	P. TOTAL (\$)
1	PLC (UC 100 y UC 101) Fabricación: Allen-Bradley Modelo: SLC 500 Incluido módulos I/O y fuente	2	3 500,00	7 000,00
TOTAL NIVEL DE CONTROL				7 000,00

5.2.3. Costos de supervisión

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	P. UNIT.(\$)	P. TOTAL(\$)
1	PC-PENTIUM-V Compatible.	1	1 300,00	1 300,00
2	Impresora Inyección Marca: EPSON 900	1	200,00	200,00
3	Software de Supervisión Inc. tarjeta de comunicación	1	4 500,00	4 500,00
TOTAL NIVEL DE SUPERVISIÓN				6 000,00

5.2.4. Costos de ingeniería

Consiste en los costos por las horas empleadas en la instalación y comprobación de todo el instrumental empleado, así también en la programación de los PLC's en los sistemas de control y monitoreo de variables.

TOTAL INGENIERIA:.....U.S. \$ 10 000,00

5.2.5. Costos de puesto de servicio

Correspondiente al costo del personal (por estadía), involucrados en la activación del sistema.

TOTAL PUESTA EN SERVICIO:...U.S. \$ 15 000,00

5.2.6. Costos de capacitación

Son los gastos correspondientes a la Capacitación del Personal de Planta encargada de operar sistemas de Control e Instrumentación.

TOTAL CAPACITACION:.....U.S. \$ 2 000,00

5.3. Inversión y financiamiento

5.3.1. Inversión

Correspondiente al total de costos que implica la Implementación y Puesta en marcha del Proyecto de Automatización.

DESCRIPCION	MONTO U.S.\$
TOTAL COSTOS DE INSTRUMENTACION	45 730,00
TOTAL COSTOS A NIVEL DE EQUIPOS	7 000,00
TOTAL COSTOS A NIVEL DE SUPERVISION	6 000,00
TOTAL COSTOS DE INGENIERIA	10 000,00
TOTAL COSTO PUESTA EN SERVICIO	15 000,00
TOTAL COSTO CAPACITACION	2 000,00
TOTAL DE COSTO ESTIMADO	85 730,00
FACTOR DE RIESGO (10%)	8 573,00
TOTAL INVERSION DEL PROYECTO	94 303,00

5.3.2. Financiamiento

El financiamiento será con recursos propios, financiando la Empresa el 100% de la inversión total.

Las condiciones de financiamiento serán las establecidas por las entidades financieras con las que la empresa tiene relaciones establecidas.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó el Sistema de Control para la Automatización del Proceso de Producción de Concentrado de Molibdeno en la Sociedad Minera Freeport Perú.
2. Se diseñaron las estrategias y lazos de control para los diferentes procesos, así como se determinaron los puntos críticos de control.
3. Se confeccionaron los planos de instrumentación para la automatización del proceso.
4. Se seleccionaron los diferentes instrumentos y equipos necesarios, basándose en el diseño desarrollado.
5. Se desarrolló el software de supervisión necesario conteniendo las gráficas respectivas.
6. Se calcularon los costos necesarios para la implementación del proyecto.

RECOMENDACIONES

1. Se necesita realizar una evaluación de los diferentes elementos que componen el sistema para poder programar las hojas de ruta de mantenimiento o reparaciones de los mismos.
2. Debería implementarse una hoja de datos con la finalidad de tener un seguimiento adecuado de los valores de los indicadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Katsuhiko Ogata. *"Ingeniería de Control Moderna"*. Prentice Hall, 1998.
- (2) R.C.Dorf. *"Sistemas Modernos de Control"*. Addison-Wesley, USA, 1989.
- (3) Syed A. Nasar. *"Maquinas Eléctricas y Electromecánicas"*. Primera Edición. Editorial Mc Graw-Hill / Interamericana de México S.A. 1998.
- (4) Carlos Smith, Armando Corripio. *"Control Automático de Procesos"*. Editorial Mc Graw-Hill, 1990.
- (5) Antonio Creuss. *"Instrumentación Industrial"*. Editorial Mc Graw-Hill, 1998.
- (6) R. Ferré. *"Diseño Industrial por Computadora"*. Editorial Gustavo Gili S.A., 1994.
- (7) Ángulo Usategui, José. *"Control de Procesos Industriales por Computador"*. Editorial Paraninfo, España. 2002.
- (8) Manuales de Servicio del PLC Allen Bradley.
- (9) htt: www.siemens.com.
- (10) htt: www.wici.com

ANEXOS

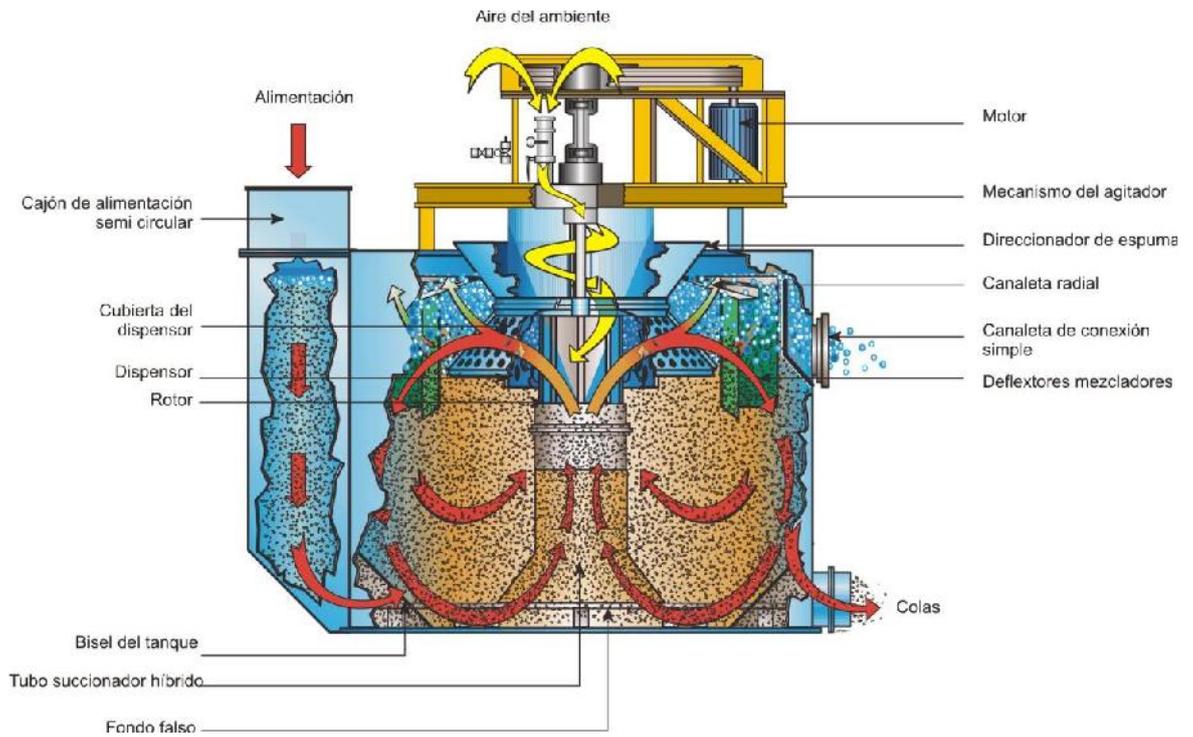
Descripción del principio de operación por cada tipo de equipo y componentes principales del equipo

La flotación de mineral por espuma es un proceso selectivo para separar los minerales de la ganga. En la flotación, las burbujas de aire producidas por la agitación mecánica de los mecanismos, son utilizadas para hacer flotar las partículas de mineral hacia la superficie de las celdas para su recuperación. Básicamente, la adherencia de las partículas pequeñas en las burbujas de aire reduce la gravedad específica de las partículas combinadas de mineral-aire de manera que la gravedad específica de su asociación sea menor que la gravedad específica de la pulpa, induciéndolas así a ascender dentro de la pulpa.

Después que la pulpa es concentrada por flotación, esta es entonces filtrada y secada para formar un concentrado de mineral seco que sea adecuada para embarcarla hacia las refinerías para obtener el producto final de molibdeno.

Equipo de proceso

Celdas de flotación



Celdas de flotación rougher #1 a #4, rougher/scavenger #5 y #6

Especificaciones principales	
Nro. de equipo	3520-CF-601-604, 605 y 606
Modelo/capacidad (nominal)	Modelo de mecanismo #164 / 30 m ³ por celda

Celdas de flotación Mo 1er cleaner #1 a #7

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3520-CF-607-612, y 619
Modelo/capacidad (nominal)	Modelo de mecanismo #120 / 8.5 m ³ por celda

Celdas de flotación cleaner/scavenger #1 a #7 de molibdeno

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3520-CF-613-618, & 620
Modelo/capacidad (nominal)	Modelo de mecanismo #84 / 4.25 m ³ por celda
Tipo	Celdas mecánicas, rectangulares
Proveedor	Dorr-Oliver Eimco
Modelo	Máquina de flotación WEMCO - modelo 160

Rougher Mo (2), rougher/scavenger (2), 1st cleaner, canaletas cleaner/scavenger

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3520-LA-601/605, 602/606, 603 y 604
Nombre	Unidades de paletas para espumas
No. de equipo	C-3520-ZM-610-621
Proveedor	Dorr-Oliver Eimco

Descripción

Cada celda de flotación consiste de un tanque rectangular y un mecanismo ensamblado que oxigenan y agitan la pulpa. Las celdas también son equipadas con ensambles removedores de espuma tipo paletas, alimentador, cámaras de conexión y descarga, más controles automáticos de nivel con válvulas tipo dardo. El tanque es plano en el centro bajo el fondo falso e inclinado en los lados de descarga, donde los removedores de espuma tipo paleta y las canaletas de rebose están localizadas. Las

primeras 3 etapas de celdas de flotación están cubiertas y preparadas para recircular aire de flotación mayormente en un círculo cerrado.

La máquina de flotación tiene un rotor-dispersador que entrega mezcla y aireación. El aire es forzado desde el interior de la cámara de aire de la celda encerrada y distribuye la totalidad de la pulpa en forma de finas burbujas, a las cuales se adhieren las partículas para la flotación. El flujo de aire inducido suministra aireación eficiente con simplicidad mecánica. El tubo de succión cilíndrico y el fondo falso estimulan la circulación y suspensión de sólidos en la celda de flotación. El control de aire consiste de un ensamble de conductos de aire con una válvula de control de aire ajustable para regular el flujo de aire hacia la celda. Este control esta usualmente abierto por completo hacia la izquierda.

Las válvulas tipo dardo ubicadas en el fondo de las cámaras de conexión y descarga son utilizadas para controlar el flujo de pulpa entre las celdas y desde la cámara de descarga. La válvulas son levantadas y bajadas mediante posicionadores neumáticos que reciben señales desde controles de nivel.

En caso de pérdidas en el suministro de aire en la planta, las celdas de flotación están equipadas con interruptores de detención en las válvulas tipo dardo y un reservorio de aire con suficiente capacidad para accionar todas la válvulas de cierre. Excepto para paradas donde se requiera que las celdas sean desocupadas (vaciadas) por ejemplo para mantenimiento o inspección, es preferible mantener a las celdas llenas para la mayoría de paradas. Dispositivos para fallas en posición cerrada dispuestos en las válvulas tipo dardo, mantendrán a las celdas llenas durante situaciones de falla de aire o energía.

Las celdas son conectadas juntas y alineadas en filas de celdas. Bancos de dos o tres celdas son alineadas en escalones elevados para el flujo por gravedad de la pulpa. Para Roughers y Rougher/Scavengers hay una fila alineada con tres bancos de celdas como 2+2+2. Para Cleaners de 1era etapa hay una fila alineada en tres bancos como 2+2+3. Para los Cleaner Scavengers hay una fila alineada en tres bancos como 2+2+3.

Celdas columna

Celdas columna cleaner 2da a 6ta de Mo

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3520-CM-601 a 605
Diámetros (m)	2.6, 2.0, 1.6, 1.6, 1.0
Altura (m)	10.0 (para todas la celdas)
Proveedor	Minnovex



Principio de operación y componentes

La flotación en celda columna tiene el mismo principio de operación que las celdas mecánicas (convencionales) de flotación. Este es un proceso selectivo para separar los minerales de la ganga, en el cual las partículas del mineral de interés se adhieren a burbujas de aire y son conducidas por la espuma fuera de la celda. La principal diferencia con la flotación

convencional es que en la flotación por celda columna las burbujas no son generadas por agitación mecánica.

Las celdas columna de flotación utilizan aire comprimido (gas), el cual es introducido en la pulpa por medio de rociadores. Además, los tanques (celdas columna) son mucho más altas que los tanques convencionales; las celdas columna también utilizan un ratio mas pequeño área de superficie-volumen que promueve la estabilidad y espesor de la espuma. Otra importante característica de las celdas columna es el uso del agua de lavado para eliminar las impurezas arrastradas en la espuma.

La ausencia de una agitación intensa en la pulpa facilita la selectividad y permite la recuperación de partículas más finas. El sistema de inyección de aire permite un mejor control y la generación de burbujas más pequeñas y más uniformes que en la flotación convencional. El agua de lavado añadida a la parte superior de la espuma genera una acción de lavado de contra corriente que tiende a forzar los insolubles y las partículas deprimidas en forma descendente hacia el flujo de colas de la celda columna.

Por las razones indicadas anteriormente, la flotación en celda columna es utilizada comúnmente por celdas cleaner para mejorar la ley del concentrado final. Los componentes principales de una celda columna son el recipiente, o celda columna, los rociadores de aire, la(s) canaleta(s) de concentrado y los aspersores de agua.

Control de celdas columna y características de operación

Mediciones del proceso y estrategia de control

Un flotador esta ubicado en la interfase espuma/pulpa en la parte superior de cada celda columna. Cada flotador esta fijado a una varilla. En la parte superior de cada varilla se encuentra una placa plana (u objetivo). Cada unidad ultrasónica mide la distancia entre el objetivo y la unidad ultrasónica. El espesor de la espuma es determinado por medio del DCS y la válvula controladora de nivel mantiene este punto de referencia para cada celda columna.

Guía general de operación para las celdas columna de flotación

Como con las celdas mecánicas de flotación, la operación con una celda columna es una compensación entre los objetivos de recuperación y la ley del concentrado. Estos objetivos varían dependiendo de la carga en el circuito de flotación. Proporciones más altas en la adición de aire aumentan la recuperación a costa de la ley del concentrado.

Mayores profundidades de espuma mejoran las leyes del concentrado a costa de la recuperación. La adición de agua para lavado en la parte superior de la celda, facilita mejorar el lavado del material rechazado. La razón adicional de agua para lavado es fijada generalmente de tal manera que la razón adicional de agua para lavado sea ligeramente mayor que la razón de agua en el concentrado que sale de la celda.

Cajones de alimentación de espesadores

Cajón de alimentación del espesador para concentrado Cu-Mo

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3510-BX-003
Proveedor	FIMA S.A.
Número de modelo	n/a
Tipo	Acero al carbono recubierto de caucho
Capacidad	2 m ³
Dimensiones	2.0 m Ancho x 2.0 m Profundidad x 1.925 m Alto

Cajón de alimentación al espesador de 1ra limpieza para concentrado Mo

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3520-BX-616
Proveedor	FIMA S.A.
Número de modelo	n/a
Tipo	Tanque Cilíndrico de acero al carbono recubierto de caucho
Capacidad	1.7 m ³
Dimensiones	0.89 m Diámetro x 2.9 m Altura

Descripción

Estos tanques son alimentados por la parte superior y contienen una sola tubería de descarga en su zona más baja. El tanque colecta todas las corrientes de alimentación del espesador y proporciona un corto tiempo de retención para permitir que el aire contenido escape de la alimentación del espesador.

Espesadores



Espesador para concentrado Cu-Mo

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3510-TK-002 (tanque), C-3510-TM-002 (mecanismo), y C-3510-ZM-002 (dispositivo elevador de rastrillos)
Proveedor	Delkor
Número de modelo	30TH/200HRL3/30 (mando)
Tipo	Espesador convencional-accionamiento soportado por puente-tanque elevado de acero
Dimensiones	30 m diámetro - 3 m altura pared lateral

Espesador de concentrado Mo 1er cleaner

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3520-TK-602 (tanque), C-3520-TM-602 (mecanismo), y C-3520-ZM-609 (dispositivo elevador de rastrillos)
Proveedor	Delkor
Número de modelo	15TH/100HG/24 (mando)
Tipo	Espesador convencional-accionamiento soportado por puente-tanque elevado de acero
Dimensiones	15 m diámetro - 2.4 m altura pared lateral

Descripción

La función general de los espesadores es incrementar la densidad de la pulpa. Esto se logra alimentando la pulpa dentro del feed well del espesador ubicado en el centro del tanque y dejando que los sólidos se sedimenten. Los sólidos se sedimentan por gravedad y son colectados hacia el cono de descarga central para su extracción. Este underflow con alto porcentaje de sólidos es más apropiado para los procesos aguas abajo. El agua con

partículas flotantes rebosa para su recirculación o disposición. Los rastrillos son levantados o bajados en respuesta a un torque mayor o menor de carga de sólidos. La unidad de accionamiento del rastrillo es accionada por un motor hidráulico, el cual es accionado por el mismo sistema hidráulico para bombas que levanta y baja los rastrillos.

Unidad de filtros para concentrado Moly



Filtro para concentrado Mo

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3530-FL-601
Proveedor	Larox
modelo	Filtro de presión automática Larox – PF12.6/12.6M1 45
Tipo	Filtro de presión automática-12.6 m ² área de filtrado (8 compartimientos de 1.6m ²)

Compresor y receptor de aire para secado de concentrado moly

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3530-CP-601 yC-3530-VS-601
modelo	Atlas Copco GA45 ELII-125 & C103676S
Tipo	Refrigerado por aire, de una sola etapa, con aceite inyectado, compresor tipo tornillo y receptor de acero de 11.4 m ³

Tanque de agua para lavado por descarga del manifold de Mo, tanque de agua para lavado de Mo, tanque de agua de retorno para lavado del manifold de filtrado de Mo

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3530-TK-605, 611, 612
Proveedor /dimensiones	IMECON S.A. / 1.5 m diámetro x 2.6 m altura

Bomba de alimentación A y B (AFD) de concentrado Mo

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3520-PP-634/635
modelo /TIPO	3"x2" Warman 3/2 C-AH – Motor Toshiba y Centrifugo de 8 kW /1,800 rpm

Bomba de agua del manifold para lavado por descarga del Mo

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3530-PP-658
modelo/tipo	2"x1.5" Sulzer APP11-32 – Motor Toshiba y Centrifugo de 7 kW /1,800 rpm

Bomba para lavado de tela del Mo

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3530-PP-659
modelo /tipo	1.5" Grundfos CR5-20 – Motor Toshiba y Centrifugo de 7.5 kW /3,600 rpm

Bomba elevadora para agua de sellado Mo

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3530-PP-660
modelo /tipo	1.5" Grundfos CR3-17 – centrifugo y motor de 2.2 kW /3,600 rpm

Operación principal

El filtro de presión automática Larox es un filtro de membrana de placas empotradas en la cual los compartimientos, se sitúan horizontalmente. Para el filtro de concentrado Mo, las ocho placas individuales del filtro tienen un área de filtración por un solo lado de 1.6 m^2 por un solo lado. Las placas son apiladas verticalmente para proporcionar un área total de filtración de 12.6 m^2 (la capacidad del filtro puede ser ampliada agregando placas). La tela de cada filtro zigzagea entre las placas del filtro. El material de la tela del filtro utilizado para esta aplicación es el polipropileno. El conjunto de placas se abre y cierra mediante cilindros hidráulicos. En la posición cerrada, las placas forman compartimientos sellados con la tela del filtro en medio. La pulpa a ser secada es bombeada hacia todos los compartimientos simultáneamente a través del colector y tuberías de distribución. Después de formarse el queque, el conjunto de placas es abierto y la tela es retirada hacia adelante, descargándose completamente los queques. Simultáneamente, la tela que deja el conjunto de placas pasa a través de aspersiones de agua a alta presión que mantiene la permeabilidad de la tela y alarga la vida de la tela.

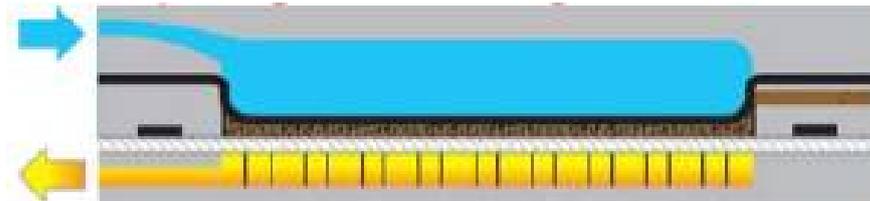
Principios de operación



La pulpa del proceso es bombeada hacia todos los compartimientos del filtro simultáneamente. Los sólidos empiezan a formarse a medida que el filtrado es desplazado por mas pulpa que ingresante al compartimiento. A medida que se acumulan los sólidos se incrementa la presión de bombeo; el filtrado

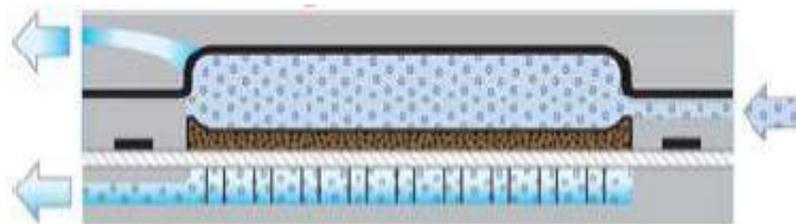
es forzada través de la tela hasta lograrse el espesor requerido de los sólidos.

Prensado de diagrama



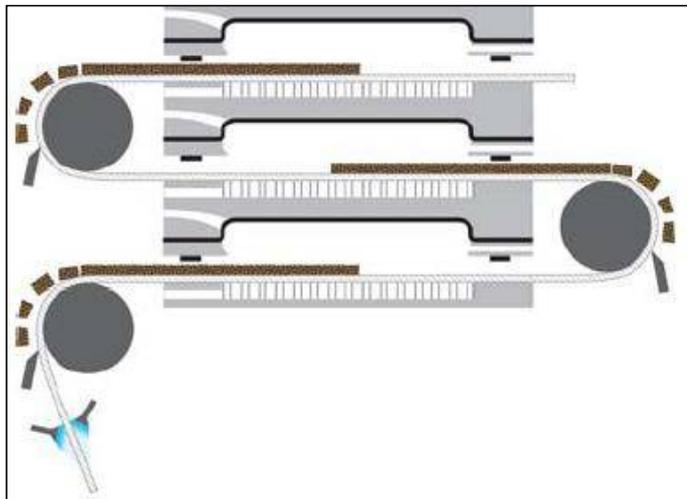
El aire a alta presión automáticamente infla el diafragma ubicado en la parte superior de cada compartimiento, reduciendo el volumen del compartimiento y forzando a que los sólidos desplacen más al filtrado.

Soplado de aire



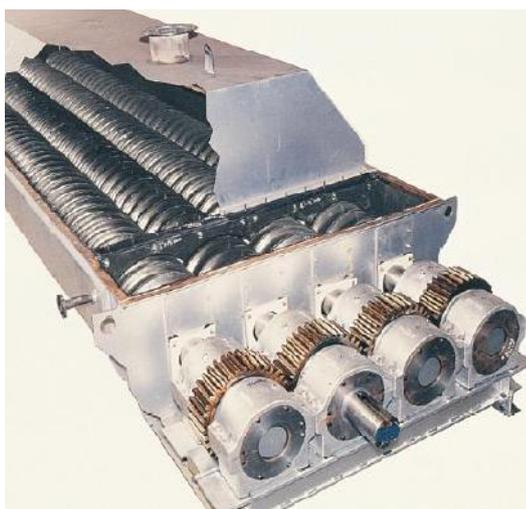
El aire comprimido es inyectado a través de los sólidos para una filtración final. El contenido de humedad es reducido y puede controlarse exactamente ajustando la presión y la duración de la inyección de aire.

Descarga de sólidos y lavado de la tela



Después de abrirse el conjunto de placas, los sólidos filtrados son transportados hacia afuera de cada compartimiento con la tela de filtro en movimiento. La unidad integrada de lavado esparce agua a alta presión sobre ambos lados de la tela, reduciendo la obstrucción de la tela para asegurar resultados consistentes de la filtración.

Secador de concentrado moly, sistema de calentamiento por medio de secador y lavador vía húmeda



Secador de concentrado Mo

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3530-DR-601
Proveedor	Metso
modelo	Metso - Holo-Flite D1618-6
Área de tornillo	19 m ² (2 tornillos)

Descripción

El procesador térmico Holo-Flite D1618-6 es un intercambiador indirecto de calor que utiliza dos tornillos huecos para el secado del queque de molibdeno del filtro.

El procesador térmico consta de: dos tornillos huecos de pasos, el ensamble de accionamiento del tornillo de velocidad variable incluyendo el motor, reductor y limitador de torque, acero acanalado con revestimiento aislante/de calorífico, orificios de entrada/descarga, tapas removibles, ventilas de vapor y puertos de inspección.

El compartimiento de descarga está diseñada para la descarga de los sólidos hacia la tolva de almacenamiento y para la contención y descarga del efluente gaseoso hacia el depurador.

La unidad incluye el siguiente equipo:

Sistema de medio calorífico para Mo con: calefactor para aceite caliente, panel de control, tanque de expansión, tanque de drenaje, bomba de transferencia y bombas para circulación

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3530-ZM-601, C-3530-HE-663, C-3530-CO-502, C-3530-TK-661, C-3530-TK-662, C-3530-PP-662, C-3530-PP-663/4.

Descripción

El sistema de medio calorífico del secador es un sistema calorífico eléctrico para fluidos térmicos que incluye un tanque de expansión, un tanque de drenaje, bombas de distribución y motores, bomba de llenado/drenaje y motor, tubería correspondiente, válvulas e instrumentos.

Lavador por vía húmeda de secador para concentrado Mo, con: calentador, ventilador y bomba de recirculación

Especificaciones principales	
No. de equipo	C-3530-DC-601, C-3530-HE-664, C-3530-FA-601, y C-3530-PP-667

Descripción

El lavador por vía húmeda está diseñado para el control del humo/polvo e incluye una ducto de extracción CPCV (152 mm de diámetro, aproximadamente 18 m de altura), ventilador de extracción y una red de conductos FRP interconectados, entre el lavador y el ventilador de extracción.

Sistema de empaque de concentrado moly



El sistema de empaque de concentrado moly consta de un armazón, brazos de apoyo ajustables para tamaños variables de tambor o bolsas, base para bolsas con horquillas para su fácil movilidad, cabezal de llenado, puerto de muestreo, plataforma de elevación de base accesible, un sistema de pesaje integrado al piso y una válvula de entrada en la puerta deslizante tipo cuchilla. Además, existe un sistema rotativo de alimentación incluyendo una válvula rotatoria, adaptador de descarga de transición, inyector flexible inferior y accesorios.

El propósito del sistema de empaque de concentrado moly es cargar el concentrado final de moly proveniente de la tolva de almacenamiento de concentrado seco de moly, y empaquetar el concentrado en contenedores temporales. El contenedor completo es colocado en el sistema de empaque para llenarse hasta un peso especificado. El contenedor lleno es retirado mediante un montacarga o un elevador de paletas. Finalmente, un nuevo contenedor completo es colocado en el sistema de empaque para el próximo cargamento. El sistema está configurado para reducir la formación de polvo durante el llenado.

SIEMENS



Equipos de Control en Baja Tensión

Usted necesita soluciones óptimas para cada área de aplicación para automatizar sus máquinas y fábricas de forma económica y flexible. Esto se aplica a la ingeniería de fabricación y mecánica. SIMATIC, SCALANCE y SIRIUS son sistemas de automatización establecidos mundialmente para resolver las tareas de automatización.

[> Siemens Mesoamérica](#) [> Industry](#) [> Control y Automatización Industrial](#) [> Equipos de Control en Baja Tensión](#) [> Arrancadores Suaves](#) [> 3RW30 y 3RW40 para aplicaciones estándar](#)

Arrancadores Suaves

- [> Software](#)
- [> 3RW30 y 3RW40 para aplicaciones estándar](#)
- [> 3RW44 para aplicaciones de alta demanda](#)

¿Cómo reducir mis costos de aplicación de energía?

[> Ver Más](#)

3RW30, 3RW40 para aplicaciones estándar

SIRIUS 3RW30 para aplicaciones estándar

El deslizamiento de los soplores de un calentador o una repentina acumulación de la presión del agua en instalaciones de lavado son sólo dos de los muchos problemas que pueden ocurrir cuando los motores generan demasiada potencia en el arranque. Con el SIRIUS 3RW30 de 1.5-55 kW a 400 V, o 2-75 HP a 460 V, se puede evitar este tipo de problemas. Lo más conveniente es su bajo costo y el hecho de que SIRIUS 3RW30 es el único arrancador suave en el mundo que

Catálogo Interactivo de Tablero de Control

[> Ver Catálogo](#)

Ventajas:

- Arranque suave
- Arranque continuo (sin pasos)
- Sistema uniforme de conexión con tornillo o terminales de resorte
- Ahorro de espacio en el tablero, gracias a sus compactas dimensiones
- Bypass Integrado
- Reducción de los picos de corriente
- Menor esfuerzo en la red de suministro de energía
- Reducción de la carga mecánica en el equipo
- Puesta en marcha y mantenimiento sencillo y rápido

**SIRIUS 3RW40 SIRIUS 3RW40**

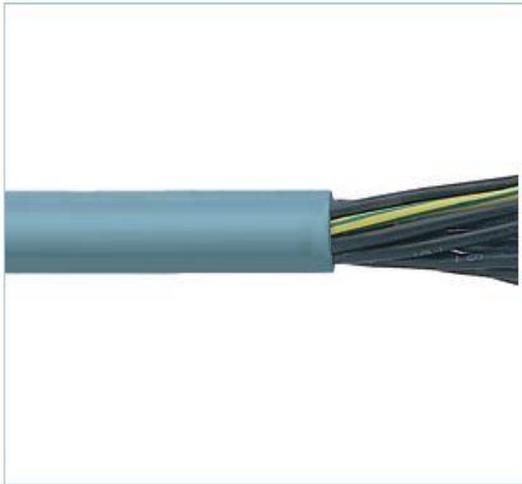
es la mejor opción entre los arrancadores suaves estándar. Gracias a su innovador método de control, ya que no sólo es el único arrancador suave de 2 fases controladas en el mundo para su uso en el rango de potencia de hasta 250 kW a 400 V, o 300 HP a 460V – sino que debido a su diseño compacto garantiza un ahorro de espacio en el tablero de control. Por lo tanto, es más que una mera ampliación funcional a nuestra serie de arrancadores suaves de 2 fases controladas SIRIUS 3RW30/31.

Los nuevos arrancadores suaves 3RW40 para un rango de potencia de 5.5-55 kW a 400 V, o 7.5-75 HP a 460 V, en tamaños de S0 a S3 amplían su espectro de trabajo. Representan la alternativa compacta y a un precio atractivo comparados con los arrancadores estrella-delta o por autotransformador.

Ventajas:

- Sistema uniforme de conexión con tornillo o terminales de resorte
- Ahorro de espacio en el tablero de control gracias a su diseño compacto
- Puenteo integrado (bypass)
- Protección contra sobrecarga del motor sin necesidad de equipo adicional
- Protección por termistor (opcional)
- Evita el pico de corriente en la línea gracias al selector ajustable de limitación de corriente
- Fácil y rápida puesta en marcha
- Certificado conforme a las normas ATEX con tamaños S0 - S12

Olflex Classic 110



Cable de control con conductores numerados

Lapp Group



Descargar Fichas en PDF



Catálogo Nacional



Catálogo Original de
Fábrica



Datasheet Español



Datasheet Ingles

Videos del Producto



Demostración de



Información

Aplicación

EL campo de aplicación de los cables de control ÖLFLEX CLASSIC - 110 abarca todas las instalaciones eléctricas en espacios secos y húmedos, sin embargo su resistencia a la intemperie es moderada. El cable de control ÖLFLEX CLASSIC - 110 es apropiado como cable de medición, control y mando en la construcción de instalaciones, en centrales eléctricas, en la técnica de

calefacción y climatización, en instalaciones de refrigeración.

Los números han sido subrayados para evitar confusiones.

Los cables ÖLFLEX CLASSIC - 110 garantizan una buena flexibilidad, son resistentes al aceite y agentes químicos, PVC auto - extingible y no propagador de llama, test método B según normativa VDE 0472 part. 804 e IEC 332-1, color RAL 7001