

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL,  
PARA LA DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS EN LAS CELDAS  
DE FLOTACIÓN DE PLANTA ALPAMARCA - PASCO.**

**Autores:**

Bach. Ing. Elec. Mijahuanca Villalobos Henry

Bach. Ing. Elec. Castañeda Mendoza Ivan

**Asesor:**

Ing. Nombera Lossio Martín

**Lambayeque, 2018**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL, PARA LA  
DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS EN LAS CELDAS DE FLOTACIÓN DE  
PLANTA ALPAMARCA - PASCO.**

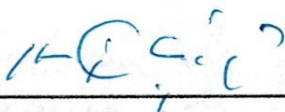
**POR**

**Bach. Ing. Elec. Mijahuanca Villalobos Henry**

**Bach. Ing. Elec. Castañeda Mendoza Ivan**

**Tesis presentada a la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, para optar el grado académico de  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**APROBADO POR**



**Ing. Hugo Chiclayo Padilla**

**Presidente de Jurado**



**Ing. Carlos Oblitas Vera**

**Secretario de Jurado**



**Ing Oscar Ucchelly Romero Cortez**

**Vocal/Asesor de Jurado**

**LAMBAYEQUE, 2018**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Angel Mijahuanca Machado y Delia Villalobos Barturen que me apoyaron a lo largo de mi vida profesional, haciendo de mí una persona de bien e impulsándome a mejorar y a todas las personas que me rodean apoyándome día a día a ser mejor .

*Atte.: Henrry Mijahuanca Villalobos*

Dedico este trabajo a mi madre Carmen por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. Y todas las personas especiales como mis abuelos mi hermano y mis familiares que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

*Atte.: Ivan Castañeda Mendoza*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la vida y permitirme llegar a este momento de las cuales son un paso más en mi vida como profesional y como persona.

Agradezco a la Escuela Profesional Ingeniera Electrónica por todo lo inculcado en mi formación profesional.

Agradezco a mi Jurado Ing. Hugo Chiclayo Padilla , Ing. Carlos Oblitas Vera y Ing Oscar Uchelly Romero Cortez.

Agradezco a mi Asesor Ing. Nombera Lossio Martín por la asesoría y apoyo brindado

Por su invaluable ayuda y asesoramiento, la cual ha sido de gran importancia para la realización de esta tesis.

Agradezco a mis compañeros de código 2011 I por el apoyo y motivación y cariño brindado en los años compartidos en las aulas.

Agradecer a José de la Piedra por su apoyo en los Laboratorios de la Escuela Ingeniera Electrónica.

# ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| CAPITULO I.....   | 12 |
| ASPECTO DE LA INVESTIGACIÓN.....                            | 12 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                         | 13 |
| 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....                            | 13 |
| 3. OBJETIVOS .....  | 14 |
| 3.1. OBJETIVO GENERAL .....                                 | 14 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....                            | 14 |
| 3.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN: ..... | 15 |
| 3.4. FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS .....                      | 15 |
| CAPITULO II .....   | 16 |
| BASE TEORICA.....   | 16 |
| 1. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA .....                   | 17 |
| 1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....                        | 17 |
| 2. ¿QUÉ ES UN SISTEMA DE CONTROL? .....                     | 22 |
| 2.1. SISTEMA.....   | 22 |
| 2.2. INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA (HMI).....                   | 23 |
| 2.3. AUTOMATIZACIÓN .....                                   | 24 |
| 2.4. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE .....                   | 25 |
| 3. BOMBAS DOSIFICADORAS.....                                | 29 |
| 3.1. USO Y FORMAS .....                                     | 29 |
| 3.2. TAMAÑO .....   | 30 |
| 3.3. UNIDADES DE FLUJO .....                                | 30 |
| 4. FLOTACION DE MINERALES.....                              | 31 |
| 4.1. CELDAS DE FLOTACION .....                              | 32 |
| 4.2. REACTIVOS .....  | 33 |
| CAPITULO III.....   | 34 |
| DISEÑO DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL .....           | 34 |
| 1. LISTADO DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC.....               | 35 |
| 2. LISTA DE BOMBAS DOSIFICADORAS .....                      | 36 |
| 3. ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL .....              | 36 |

|  |    |
|--|----|
| 3.1. SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL PLC .....              | 36 |
| 4. ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN .....           | 43 |
| 4.1. SELECCIÓN DEL HMI (INTERFACE HOMBRE-MAQUINA).....       | 43 |
| 5. ESPECIFICACIÓN DE LA INSTRUMENTACION .....                | 44 |
| 5.1. SELECCIÓN DEL SENSOR DEL NIVEL .....                    | 44 |
| 6. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL .....          | 46 |
| 6.1. ESCALAMIENTO DE SEÑALES DE ENTRADA ANALÓGICA.....       | 46 |
| 6.2. CONFIGURACIÓN DEL PLC EN UNITY PRO .....                | 47 |
| 6.3. CONFIGURACIÓN DEL PUERTO ETHERNET DEL PLC EN UNITY PRO  | 48 |
| 6.4. DIRECCIONAMIENTO DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC .....    | 48 |
| 6.5.DIRECCIONAMIENTO DE MEMORIAS INTERNAS DEL PLC .....      | 52 |
| 6.6. PROGRAMA DEL PLC, EN LENGUAJE LADDER (VER ANEXO N°1)..  | 54 |
| 7. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN .....      | 54 |
| 8. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE PLANOS ELECTRICOS (VER ANEXO N°2) | 58 |
| CAPITULO IV .....  | 59 |
| RESULTADOS .....   | 59 |
| 1. COSTOS DEL PROYECTO .....                                 | 60 |
| 1.1. COSTOS DE HARDWARE .....                                | 60 |
| 1.2. COSTOS DE INGENIERÍA .....                              | 61 |
| 1.3. COSTOS DE CAPACITACIÓN .....                            | 61 |
| CAPITULO V .....   | 62 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                          | 62 |
| CONCLUSIONES .....   | 63 |
| RECOMENDACIONES .....  | 64 |
| CAPITULO VI .....  | 65 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                             | 65 |
| CAPITULO VII.....  | 68 |
| ANEXOS .....   | 68 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1: Entradas y Salidas PLC .....  | 35 |
| Tabla 2: Lista de Equipos .....  | 36 |
| Tabla 3: Requerimientos mínimos de la Fuente de PLC .....                        | 36 |
| Tabla 4: Requerimientos mínimos del Rack del PLC .....                           | 37 |
| Tabla 5: Requerimientos mínimos del CPU BMXP342020.....                          | 38 |
| Tabla 6: Requerimientos mínimos del Módulo de Entradas Digitales .....           | 39 |
| Tabla 7: Requerimientos mínimos del Módulo de Salidas Digitales .....            | 40 |
| Tabla 8: Requerimientos mínimos del Módulo de Salidas Analógicas.....            | 41 |
| Tabla 9: Requerimientos mínimos del Módulo de Entradas Analógicas .....          | 42 |
| Tabla 10: Requerimientos mínimos del HMI (Interface Hombre Máquina).....         | 43 |
| Tabla 11: Listado de Sensores de Nivel .....                                     | 44 |
| Tabla 12: Requerimientos mínimos del Sensor/ Transmisor Indicador de Nivel ..... | 44 |
| Tabla 13: Costos del Sistema de Control .....                                    | 60 |
| Tabla 14: Costos de Ingeniería del Proyecto .....                                | 61 |
| Tabla 15: Costos de Capacitación .....   | 61 |
| Tabla 16: Resumen del Costo Total del Proyecto .....                             | 61 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1: Componentes básicos de un sistema de control .....                 | 22 |
| Ilustración 2: Estructura Modular del PLC M340 .....                              | 26 |
| Ilustración 3: Símbolos de Contactos, Lenguaje Ladder .....                       | 29 |
| Ilustración 4: Bomba Dosificadora.....  | 30 |
| Ilustración 5: Flotación de Minerales .....                                       | 31 |
| Ilustración 6: Celda de Flotación.....  | 32 |
| Ilustración 7: Fuente del PLC, Modelo M340, Tipo: BMXCPS3500 .....                | 37 |
| Ilustración 8: Rack del PLC, Modelo M340, Tipo: BMXXBP1200 .....                  | 37 |
| Ilustración 9: CPU, Modelo M340, Tipo: BMXP342020 .....                           | 38 |
| Ilustración 10: Modulo de Entradas Digitales, Modelo M340, Tipo: BMXDAI1602 ..... | 39 |
| Ilustración 11: Modulo de Salidas Digitales, Modelo M340, Tipo: BMXDRA1605 .....  | 40 |
| Ilustración 12: Modulo de Salidas Analógicas, Modelo M340, Tipo: BMXAMO0210.....  | 41 |
| Ilustración 13: Modulo de Entradas Analógicas, Modelo M340, Tipo: BMXAMI0410 .... | 42 |
| Ilustración 14: HMI Tipo XBTGT5330 .....  | 43 |
| Ilustración 15: Sensor/ Transmisor Indicador de Nivel VegaSon 61 .....            | 45 |
| Ilustración 16: Escalamiento de Sensor de nivel .....                             | 46 |
| Ilustración 17: Configuración del PLC.....  | 47 |
| Ilustración 18: Configuración del Puerto Ethernet del PLC.....                    | 48 |



## Resumen

El presente proyecto propone el DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL, PARA LA DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS EN LAS CELDAS DE FLOTACIÓN DE PLANTA ALPAMARCA - PASCO.

Para los cuales se presenta el diseño el sistema control, el cual estará basado en un controlador lógico programable de la marca SCHNEIDER, modelo M340, para el sistema de supervisión se usará un HMI touchscreen a color de la marca SCHNEIDER, modelo XBTGT5330, los módulos de entrada digital serán del tipo PNP de 16 canales, los módulos de entrada analógica serán del tipo 4-20 mA de 4 canales cada módulo, los módulos de salida analógica serán del tipo 4-20 mA de 2 canales cada módulo, los módulos de salida digital serán del tipo Relay de 16 canales cada módulo, se elaboran planos de eléctricos de interconexión de todo el sistema de control, se desarrollará la programación del PLC en lenguaje Ladder, para el sistema de supervisión se diseñarán los faceplate desde donde se podrá ingresar el setpoint del nivel de espuma, ya sea en el circuito N° 1 o circuito N° 2, en cada celda de flotación.

El cual incluye el costo del sistema de supervisión y control, costos de hardware y software, costos de ingeniería y costos de capacitación.

.

## **Abstract**

The present project proposes the DESIGN OF A SYSTEM OF SUPERVISION AND CONTROL, FOR THE DOSAGE OF REAGENTS IN THE CELLS OF FLOTATION OF PLANTA ALPAMARCA - PASCO.

For which the design of the control system is presented, which will be based on a programmable logic controller of the SCHNEIDER brand, model M340, for the supervision system a color touchscreen HMI of the SCHNEIDER brand, model XBTGT5330, the modules will be used. of digital input will be of the PNP type of 16 channels, the analog input modules will be of the 4-20 mA type of 4 channels each module, the analog output modules will be of the 4-20 mA type of 2 channels each module, the modules of digital output will be of the Relay type of 16 channels each module, electrical plans of interconnection of the entire control system are elaborated, the programming of the PLC will be developed in Ladder language, for the supervision system the faceplate will be designed from where it will be possible to enter the foam level setpoint, either in circuit No. 1 or circuit No. 2, in each flotation cell. Which includes the cost of the supervision and control system, hardware and software costs, engineering costs and training costs.

## **Introduccion**

El presente Proyecto nos muestra el actual funcionamiento de las bombas dosificadoras en las celdas de flotación de la Planta Alpamarca – Pasco, las cuales son utilizadas de manera analógicas (atraves del Perillero).

Se observó que en el transcurso del proceso hay un exceso de consumo de reactivo, que no permite obtener una adecuada recuperación del mineral ya que el operario de bombas dosificadoras tiene que dirigirse constantemente hacia el cuarto de bombas a regularlas gastando tiempo, dinero, esfuerzo, exponiéndose a distintos gases liberados por causa de los reactivos y a sufrir accidentes durante el desplazamiento.

Teniendo claro los problemas existentes en la Planta Alpamarca – Pasco, se plantea como solución un Diseño de Sistema de Supervisión y Control en las celdas de flotación de la Planta Alpamarca – Pasco

Utilizando un módulo PLC M340 marca Schneider y con la ayuda de pantalla HMI marca Schneider se generara el sistema de control y supervisión que nos permitirá facilitar el trabajo de supervisión de las celdas de flotación en tiempo real; se podrá tener un control adecuado del reactivo utilizado en el transcurso del tiempo de proceso ya que por propiedades físicas no todo mineral reacciona de las misma forma al tener contacto con el reactivo.

**CAPITULO I**

**ASPECTO DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El Perú es un país de antigua tradición mineral tradición que mantiene y cultiva gracias a la presencia de empresas líderes a nivel internacional. Contamos con un enorme potencial geológico, la presencia de la cordillera de los Andes a lo largo del territorio constituye nuestra principal fuente de recursos minerales.

A nivel mundial y latinoamericano el Perú se ubica entre los primeros productores de diversos metales: oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, entre otros; lo cual es reflejo no sólo de la abundancia de recursos y la capacidad de producción de la actividad minera peruana.(MINEM, 2018)

Por ello ante el constante incremento de la actividad minera en el Perú, las empresas dedicadas a este rubro de minería deberían optar por una constante mejoras, sin embargo no siempre es el caso, como se puede observar en la Compañía el Volcán (Pasco) que actualmente cuenta con proceso no automatizado en área de flotación, las bombas dosificadoras se controlan de forma manual creando un retraso en proceso ya el operario en bombas debe realizar un desplazamiento desde el área de control hasta el cuarto de bombas que están 100 mts para estar regulando con la ayuda de perillero la bomba dosificadora hasta obtener el adecuado caudal, lo cual es muy importante para la recuperación del mineral, y tampoco cuenta con un sistema de control de reactivo que utiliza para recuperar el mineral en los cuales no se tiene una cantidad exacta de la cantidades de reactivos que se utilizados en el proceso; los cuales generan un gasto excesivos en la obtención del mineral.

## **2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo diseñar un sistema de supervisión y control para la dosificación de reactivos en las celdas de flotación de Planta Alpamarca-Pasco?

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de supervisión y control para la dosificación exacta de reactivos en las celdas de flotación de planta Alpamarca - Pasco.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- 1.** Analizar el funcionamiento actual de la dosificación de reactivos en las celdas de flotación, la cual se realiza de forma manual.
- 2.** Seleccionar los equipos e instrumentos adecuados para el sistema de supervisión y control para la dosificación de reactivos en las celdas de flotación.
- 3.** Diseñar y elaborar planos eléctricos para el funcionamiento correcto del sistema de supervisión y control de dosificación de reactivos.
- 4.** Estimar los costos para la implementación del sistema de supervisión y control
- 5.** Realizar la simulación en labview del sistema propuesto

### **3.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN:**

En el Perú actualmente para las compañías mineras es de vital importancia estar a la vanguardia de la tecnología. La automatización y modernización permiten aumentar la eficiencia de los procesos industriales.

En la Compañía Minera el Volcán (Pasco) en el Área de Flotación de minerales, la variación de la dosificación de reactivos se realiza de forma manual, es decir: El operador de flotación regula el flujo a dosificar mediante la perilla que posee cada bomba dosificadora, a la cual se dirige desde las celdas de flotación hasta el cuarto de bombas dosificadoras ubicada a 100 mt, luego regresa a la celdas de flotación para tomar su muestra y la analiza para determinar si la variación tuvo algún efecto en la recuperación del mineral, el operador realiza este trabajo continuamente hasta poder estabilizar la flotación y por ende incrementar la recuperación de mineral.

Al realizarse la operación descrita constantemente, el consumo de reactivos no se controla de manera eficiente por lo cual los gastos de reactivos excesivos para la planta, mientras se calibra de manera manual las bombas dosificadoras se pierde mucha cantidad de mineral de los cuales genera pérdidas diarias en el proceso de flotación; además el operador corre el riesgo de sufrir algún accidente al trasladarse, con los gases liberados en el proceso desde las celdas de flotación hacia el cuarto de bombas dosificadoras.

Por ello, con el diseño planteado para la automatización de la planta se busca ahorrar grandes cantidades de reactivo los cuales generan un gran gasto en el proceso, además se podrá monitorear las bombas dosificadoras a través del HMI de manera más eficiente y así evitar que el operario de las mismas se exponga a los gases liberados al mezclarse el mineral con el reactivo.

### **3.6. FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS**

Si estableciéramos este nuevo diseño, de supervisión y control entonces se obtendría una dosificación de reactivos correcta, en las celdas de flotación en la cual la recuperación de mineral sería estable en la planta Alpamarca - Pasco

# **CAPITULO II**

## **BASE TEORICA**



## **2. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA**

### **1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

#### **INTERNACIONALES**

**Título:**

Automatización De Nodo De Control En El Área De Preparación De Floculante.

**Autor:**

Jorge Alberto Velázquez Cortes

**Universidad:**

Tecnológico Nacional De México

**Año:**

2016

**Resumen:**

En el presente proyecto se presentan la automatización de nodo de control en el área de preparación de floculante de la unidad Minera Roble S.A de C.V, por medio de una red de control PROFIBUS, con la intención de realizar rutinas de censado de flujo y dosificación de floculante hacia los espesadores dela planta concentradora.

Este trabajo tiene como objetivos darnos a conocer los pasos que debemos seguir para crear un diseño de supervisión y control acordes a las necesidades de la empresa actual.

**Título:**

Diseño Y Simulación Del Sistema De Supervisión Y Dosificación De Reactivos Para Planta Piloto, Didáctica, De Tratamiento De Aguas Residuales De La Facultad De Ingeniería Ambiental Y Sanitaria.

**Autor:**

Rodrigo Armando Bello Leon

**Universidad:**

Universidad De La Salle - Colombia

**Año:**

2006

**Resumen:**

El presente proyecto se enfoca en la planta piloto de tratamiento de agua residual que están ubicadas en la facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Este trabajo tiene como objetivo la creación de un sistema para controlar o supervisar a través del sistema SCADA las distintas fases del proceso, dosificación de reactivos, niveles de pH en el agua y el control de los caudales.

## **NACIONALES**

### **Título:**

Diseño De Automatización Del Proceso De Floculación Y Coagulación Del Agua Para Disminuir Los Niveles De Turbidez Pre-Filtrado En La Empresa Avo Peru S.A.C.

### **Autores:**

Br. Ching Rojas Jonathan Yang

Br. Corrales Anticona Peter Franks

### **Universidad:**

Universidad Privada Antenor Orrego - Trujillo

### **Año:**

2015

### **Resumen:**

La presente tesis se basa en el diseño de un sistema de control y supervisión del proceso de floculación y coagulación del agua, con el objetivo de reducir los niveles de turbidez en la etapa de pre.filtrado, de la empresa Avo Perú S.A.C.

Se realizó el diseño del P&ID y la selección de los instrumentos de campo y los equipos a utilizar en el sistema de control propuesto.

La propuesta permitió alcanzar niveles óptimos de turbidez a la salida de la etapa de pre-filtrado, el sistema permitió realizar la medición de la turbidez en tiempo real

### **Título:**

Diseño De Un Sistema De Control Y Supervisión, Para Garantizar La Dosificación De Cianuro Necesario En Las Celdas De Riego Durante El Proceso De Lixiviación En Minera Barrick Misquichilca S.A.

### **Autores:**

Br. Juan Miguel Rodríguez Araujo

Br. Rubeli Francisco Saona Cruz

### **Universidad:**

Universidad Privada Antenor Orrego - Trujillo

### **Año:**

2014

**Resumen:**

La presente tesis se basa en el diseño de un sistema de supervisión y control para las celdas de riego del proceso de lixiviación de minera Barrick, el sistema de control y supervisión se basó en el DCS Delta V, la instrumentación de campo se basó en la marca Siemens y Rockwell.

Con el diseño del sistema de supervisión y control en el proceso de lixiviación automatizado el operador no tendría que desplazarse largas distancias para regular el flujo en las celdas que estén en riegos, ayuda a evitar que los trabajadores se expongan a la solución cianurada.

Finalmente las alarmas configuradas en el Delta V por diferencias de presión en cada celda, hacen que el área de producción tome acciones correctivas rápidas ante posibles taponamientos de los goteros o a la misma vez ante posibles fugas de solución cianurada hacia zonas que sean consideradas como contaminación ambiental

**LOCALES****Título:**

Automatización de un Holding Tank para Controlar la Densidad de Pulpa Previo al Proceso de Filtrado en la Extracción del Plomo

**Autores:**

Shyla Quiroz Cardenas

**Universidad:**

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

**Año:**

2012

**Resumen:**

La presente tesis se basa en el diseño de la Automatización de un holding tank, que incluye monitoreo y control de densidad, flujo y nivel.

La automatización se basada en un Controlador Lógico Programable de la marca Schneider, modelo M340, además de una interfaz de usuario hombre-máquina (HMI) de las marca Schneider modelo Magelis..

El proyecto concluye con la demostración de que implementando un holding tank automático en una planta de extracción de plomo se consigue optimizar el proceso de filtrado.

**Título:**

Diseño De Un Sistema De Supervisión Y Control De Dosificación De Agua-Mineral Para El Molino De Bolas En El Área De Molienda Secundaria De La Compañía Minera Volcán, Unidad Operativa Chungar, Junín.

**Autores:**

Eliana Vega Tapia

**Universidad:**

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

**Año:**

2016

**Resumen:**

La presente tesis se basa en el diseño del sistema de supervisión y control de dosificación de agua-mineral para el molino de bolas del área de molienda secundaria de la Compañía Minera Volcan, Unidad Operativa Chungar.

Con la implementación de este proyecto se reduce el consumo de agua, debido a que te permite controlar el flujo exacto de agua con relación al mineral procesado

## 2. ¿QUÉ ES UN SISTEMA DE CONTROL?

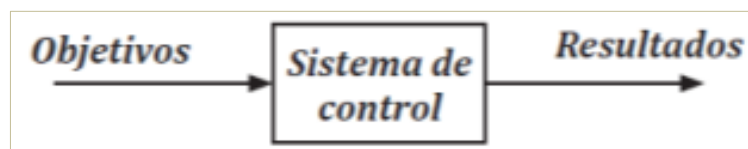
Existen varias definiciones de: ¿Qué es un sistema de control?, en resumen es el conjunto de elementos que funcionan de manera ordenada y precisa con el objetivo de proporcionar una señal de salida, la cual influye sobre la señal de entrada. (A, 2011)

Los componentes básicos de un sistema de control son:

- Objetivos de control
- Componentes del sistema de control
- Resultados o salida

La relación básica entre los componentes descritos anteriormente se muestra en la

*Ilustración 1: Componentes básicos de un sistema de control*



**Fuente:** Carrillo Paz, 2011

La característica principal de un sistema de control es tener elementos que permiten tener control sobre el sistema.

El objetivo de un sistema de control es obtener, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, para que estas alcancen unos valores prefijados o valor de consigna (Jorge, 2006)

### 2.1. SISTEMA

Un sistema es un conjunto de componentes que actúan unidos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no necesariamente es físico. Por tanto, la palabra sistema debe entenderse como una implicación de sistemas físicos, biológicos, económicos y similares. (Ogata, 2010)

### **2.2.1. VARIABLE CONTROLADA Y VARIABLE MANIPULADA**

La variable controlada es la cantidad que se mide y controla. La variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para alterar el valor de la variable controlada. Por lo general, la variable controlada es la salida del sistema. “Se entiende por Controlar, que es medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema, para corregir una desviación del valor medido, a partir de un valor deseado.” (Ogata, 2010)

### **2.2.2. SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO**

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. (Ogata, 2010)

Cuando se presentan perturbaciones en un sistema, el control de lazo abierto no realiza la tarea requerida. (Ogata, 2010)

El control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo está en lazo abierto (Ogata, 2010)

## **2.2. INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA (HMI)**

Es un sistema interactivo (software y hardware) que brindan información y realiza el control necesario para que el usuario pueda realizar una tarea usando el sistema interactivo. (Copa Data, 2003)

### **2.2.1. OPERACIÓN Y OBSERVACIÓN**

El HMI (interfaz hombre-máquina) brinda la opción de que el operador realice el manejo completo de la máquina, además de observar el estado del equipo y pueda intervenir en el proceso. (Copa Data, 2003)

El HMI proporciona información a través de paneles de control con señales luminosas, indicadores y botones (Copa Data, 2003)

### **2.2.2. FACILIDAD**

No solo el precio es relevante al momento de elegir un HMI, también lo es la facilidad de uso, idealmente un HMI debe ser totalmente intuitivo sin necesidad de formación. (Copa Data, 2003)

### **2.3. AUTOMATIZACIÓN**

La automatización es un sistema de control donde las tareas diarias de producción realizadas habitualmente por operadores humanos, las realiza un conjunto de elementos tecnológicos (Masse, 2010)

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- **La Parte Operativa:**

Es la parte que actúa directamente sobre la máquina.

Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores como motores, cilindros, compresores. (Masse, 2010)

- **La Parte de Mando:**

Suele ser un autómatas programable, el cual debe ser capaz de comunicarse con todos los que pertenecen al sistema automatizado. (Masse, 2010)

#### **2.3.1. OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN**

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costos de producción e incrementando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento exacto.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operador no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción. (Masse, 2010)



## **2.4. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE**

El controlador lógico programable es un dispositivo electrónico que puede ser programado y se utiliza en la industria para resolver problemas de secuencias en la maquinaria o procesos, ahorrando costos en mantenimiento y aumentando la confiabilidad de los equipos. (ABC electronics)

### **2.4.1. FUNCIONES**

- Detección: El PLC detecta señales del proceso de diferentes tipos.
- Mando: Elabora y envía acciones al sistema según el programa que tenga.
- Programación: El programa que utiliza permite ser modificado, incluso por el operador, previa autorización.

### **2.4.2. VENTAJAS**

- Ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada
- Menor tiempo empleado en la elaboración del programa.
- Podrás realizar modificaciones sin cambiar cableado.
- La lista de materiales es muy reducida.
- Mínimo espacio de aplicación.
- Menor costo.
- Mantenimiento económico por tiempos de paro reducidos. (Higuera, 2005)

### **2.4.3. DESVENTAJAS**

- Se necesita contar con un programador lo que obliga a enseñar a los técnicos.
- Costo inicial que puede o no ser un inconveniente, según las características del automatismo en cuestión, dado que el PLC cubre ventajosamente en amplio espacio entre la lógica cableada y el microprocesador es preciso que el proyectista lo conozca tanto en cualidades como sus limitaciones. (Higuera, 2005)

#### 2.4.4. ESTRUCTURA MODULAR M340 DE SCHENIDER

Su característica principal es que existe un módulo para cada uno de los diferentes elementos que componen el autómatas como puede ser: Una fuente de alimentación, CPU, E/S, etc.

La sujeción de los mismos se hace por riel DIN, placa perforada o sobre RACK, en donde va alojado el BUS externo de unión de los distintos módulos que lo componen. (Schneider, 2017)

*Ilustración 2: Estructura Modular del PLC M340*



**Fuente:** [http:// www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

##### **A. FUENTE DE ALIMENTACIÓN (PS)**

La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema.

La alimentación a la CPU puede ser de continua a 24 Vcc o en alterna a 110/220 Vca. (Schneider, 2017)

En cualquier caso es la propia CPU la que alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno.

La alimentación a los circuitos de E/S puede realizarse, según tipos, en alterna a 48/110/220 Vca o en continua a 12/24/48 Vcc.

La fuente de alimentación del autómatas puede incorporar una batería, que se utiliza para el mantenimiento de algunas posiciones internas y del programa usuario en memoria RAM, cuando falla la alimentación o se apaga el autómatas. (Schneider, 2017)

## **B. CPU**

La principal función del CPU es comandar y gobernar la actividad del PLC. Éste recibe información de sensores del proceso y ejecuta un programa de control previamente almacenado en su memoria, luego suministra el resultado de la ejecución a los actuadores o dispositivos de salida. Este proceso se realiza de una manera continua y cíclica. (Schneider, 2017)

## **C. ENTRADAS Y SALIDAS (SM)**

Los módulos de entrada y salida adaptan y codifican de forma comprensible para la CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada. (Schneider, 2017)

Pueden ser:

- Entradas digitales
- Salidas digitales
- Entradas analógicas
- Salidas analógicas

### **C.1. ENTRADAS DIGITALES**

Los módulos de entrada digitales permiten conectar al autómata, captadores de tipo todo o nada como finales de carrera o pulsadores.

Los módulos de entrada digitales trabajan con señales de tensión, por ejemplo cuando por el canal llegan 24 voltios se interpreta como un "1" y cuando llega cero voltios se interpreta como un "0"

El proceso de adquisición de la señal digital consta de varias etapas.

- Protección contra sobretensiones
- Filtrado
- Puesta en forma de la onda
- Aislamiento galvánico o por optoacoplador.

## **C.2. SALIDAS DIGITALES**

Un módulo de salida digital permite al autómata programable actuar sobre los accionadores que admitan órdenes de tipo todo o nada.

En los módulos estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs,

En los módulos electromecánicos son contactos de relés internos al módulo.

Los módulos de salidas estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre elementos que trabajan todos a la misma tensión

Los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas. (Schneider, 2017)

El proceso de envío de la señal digital consta de varias etapas:

- Puesta en forma
- Aislamiento
- Circuito de mando (relé interno)
- Protección electrónica
- Tratamiento cortocircuitos

## **D. LA PROGRAMACIÓN**

La programación consiste en una sucesión ordenada de instrucciones escrita en el lenguaje de programación elegido. (Schneider, 2017)

### **D.1. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN**

El Lenguaje de Programación permite al programador ingresar un programa de control en la memoria del PLC, usando una sintaxis establecida.

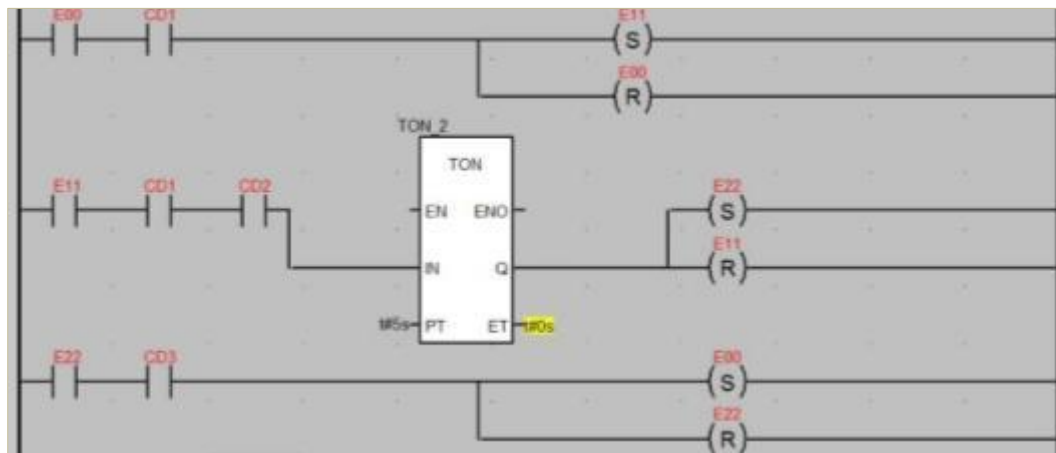
Existen varios tipos de lenguaje de programación.

- LD (Ladder)
- LI (Lista de Instrucciones)
- Bloques. (Schneider, 2017)

### D.1.1. LADDER

También llamado lenguaje de contactos o de escalera, es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los Controladores Lógicos Programables (PLC), debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos. (Schneider, 2017)

*Ilustración 3: Símbolos de Contactos, Lenguaje Ladder*



Fuente: [www.schneider.com](http://www.schneider.com)

## 3. BOMBAS DOSIFICADORAS

Desde que se introdujeron las bombas dosificadoras, la inyección de productos químicos ha sido la aplicación principal.

Mientras la meta continúa siendo la misma, la tecnología de las bombas dosificadoras ha mejorado entregando mayor precisión y resultados consistentes. (Acquatron, 2014)

### 3.1. USO Y FORMAS

Las bombas dosificadoras de diafragma son las primeras bombas dosificadoras que han salido al mercado.

Este tipo de bomba provee un caudal constante con un simple control, típicamente a través de un tornillo micrométrico de ajuste de carrera (siendo la frecuencia de bombeo constante).

La regulación de las bombas dosificadoras son proporcional a señales de pulsos (recibidos de un Flujometro) o señal de 4-20 mA, gracias a que cuentan con una tarjeta electrónica que permite este tipo de entradas y manejo de las mismas. (Acquatron, 2014)

### 3.2. TAMAÑO

La correcta selección del tamaño de la bomba dosificadora es la llave para el éxito de la aplicación.

- Primero conocer el caudal deseado en litros por hora (l/h), esta es la cantidad de producto químico que busco inyectar en la cañería a tratar.
- Segundo, la presión en el punto de inyección, si la dosificación se realiza en tanque puede considerarse atmosférica, pero si la inyección del producto químico se realiza en la cañería, entonces debo conocer la presión de agua de la misma, ya que para que la bomba logre dosificar debe vencer esta presión.

Una vez determinado el tamaño de bomba requerido es recomendable duplicar el caudal a lo hora de pedir el mismo, ya que la instalación puede requerir mayor producto químico en el futuro o puede haber sobrecargas que requieran de una mayor concentración. (Acquatron, 2014)

### 3.3. UNIDADES DE FLUJO

Suelen ser expresados en las siguientes unidades:

- l/h – litros por hora
- l/día – litros por día
- GPH – Galones US por hora

*Ilustración 4: Bomba Dosificadora*



**Fuente:** [www.prominent.es](http://www.prominent.es)

#### 4. FLOTACION DE MINERALES

La flotación es la operación que se realiza para la separación de partículas sólidas o líquidas de una fase líquida.

La separación se consigue introduciendo finas gotas de aire, en la fase líquida.

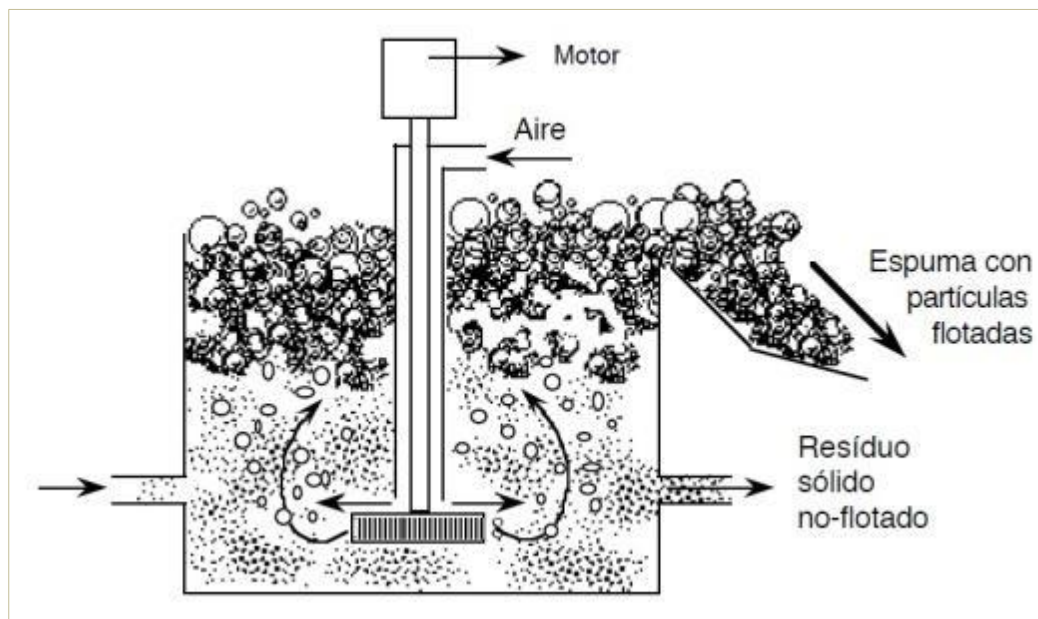
Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascensional que experimenta el conjunto de partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido. (Ingecol, 1999)

Una vez ingresada la pulpa al proceso, se inyecta el aire para poder formar las burbujas, que son los centros sobre los cuales se van a adherir las partículas sólidas.

Al aumentar el tamaño de la partícula, crecen las posibilidades de mala adherencia a la burbuja; al contrario las partículas muy finas no tienen el suficiente impulso para poder producir un encuentro efectivo partícula burbuja. (Alipso, 2018)

El proceso de flotación está basado sobre las propiedades hidrolíticas e hidrofóbicas de los sólidos a separar, por lo que es necesario incrementar la propiedad hidrófoba en las partículas minerales de una pulpa para así poder facilitar la flotabilidad. Esto se efectúa con los reactivos llamados colectores. (Ingecol, 1999)

*Ilustración 5: Flotación de Minerales*

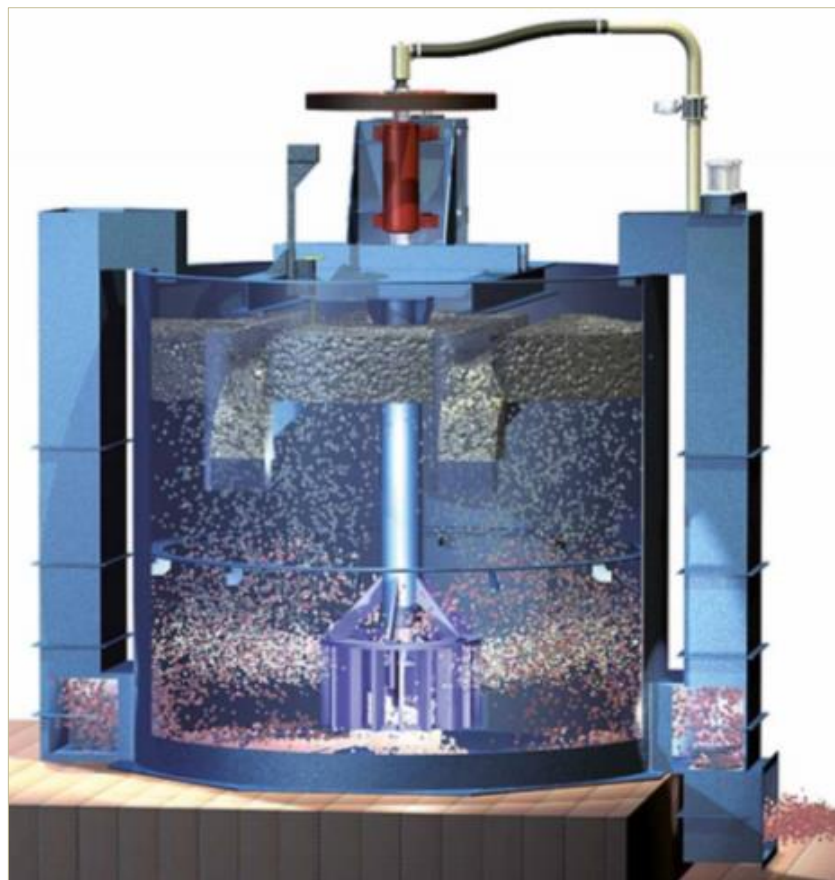


**Fuente:** <http://procesosbio.wikispaces.com/Flotaci%C3%B3n>

#### 4.1. CELDAS DE FLOTACIÓN

El volumen de las celdas varía desde 2 a 3000 pies cúbicos e incluso más grandes. El tiempo de flotación es el tiempo suficiente para que las partículas hidrófobas se adhieran a las burbujas de aire y floten a la superficie. Este tiempo puede variar desde algunos segundos hasta varios minutos. El porcentaje de sólidos en peso es también muy importante y éste puede estar entre 15 y 40 %. (Sanchez, 2010)

*Ilustración 6: Celda de Flotación*



**Fuente:** <https://www.metso.com/es/productos/separacion/celdas-de-flotacion-rs/>



## **4.2. REACTIVOS**

En las celdas de flotación se usan diferentes reactivos, los cuales son:

### **A. Reactivos espumantes:**

Alteran la tensión superficial de líquidos.

Su estructura les permite agruparse hasta formar otra fase distinta del resto del fluido, formando una espuma que separa el mineral del resto de la ganga.

Su objetivo es producir burbujas resistentes, de modo que se adhiera el mineral de interés. (AMARO, 2016)

### **B. Reactivos colectores:**

Favorecen la condición hidrofóbica y aerofílica de las partículas de sulfuros de los metales que se quiere recuperar, para que se separen del agua y se adhieran a las burbujas de aire.

Deben utilizarse seleccionando el mineral de interés para impedir la recuperación de otros minerales. (AMARO, 2016)

### **C. Reactivos depresantes:**

Se utilizan para provocar el efecto inverso al de los reactivos colectores, para evitar la recolección de otras especies minerales no deseadas en el producto que se quiere concentrar y que no son sulfuros. (AMARO, 2016)

## **CAPITULO III**

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL**

## 1. LISTADO DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC

*Tabla 1: Entradas y Salidas PLC*

| <b>ENTRADAS / SALIDAS DIGITALES</b>                               | <b>ENTRADAS / SALIDAS ANALÓGICAS</b>                      |
|---|---|
| 6 Entradas Digitales<br><br>(Pertenece a cada bomba dosificadora) | 3 Entradas Analógicas<br><br>(Por cada sensor de nivel)   |
| 2 Salidas Digitales<br><br>(Para alarma Sonora y Visual)          | 6 Salidas Analógicas<br><br>(Por cada bomba dosificadora) |

**Fuente:** Elaboración Propia

Con respecto a las entradas digitales, suman 6 entradas en total, se utilizará 1 módulo de 16 Entradas Digitales tipo transistor PNP.

Con respecto a las Salidas digitales, suman 2 salidas en total, se utilizará 1 módulo de 16 Salidas Digitales tipo Relé, para asegurar protección del módulo.

Con respecto a las Entradas analógicas, suman 3 entradas en total, se utilizará 2 módulos de 4 entradas analógicas, se tendrá 4 canales libres.

Con respecto a las Salidas analógicas, suman 6 salidas en total, se utilizará 3 módulos de 2 salidas analógicas, adicionalmente se considera un módulo de reserva.

## 2. LISTA DE BOMBAS DOSIFICADORAS

Tabla 2: Lista de Equipos

| TAG          | DESCRIPCIÓN          |
|--------------|----------------------|
| 1000-BD-1001 | Bomba Dosificadora 1 |
| 1000-BD-1002 | Bomba Dosificadora 2 |
| 1000-BD-1003 | Bomba Dosificadora 3 |
| 1000-BD-1004 | Bomba Dosificadora 4 |
| 1000-BD-1005 | Bomba Dosificadora 5 |
| 1000-BD-1006 | Bomba Dosificadora 6 |

**Fuente:** Elaboración Propia

No se especifica las bombas dosificadoras, debido a que se utilizaran las ya existentes, las cuales poseen entrada análoga de 4-20 mA, con este señal se comandará el rango de cada bomba dosificadoras, también posee salida digital tipo relé el cual indicará falla en la bomba dosificadora.

## 3. ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

### 3.1. SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL PLC

#### 3.1.1. HOJA DE DATOS DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Tabla 3: Requerimientos minimos de la Fuente de PLC

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| Manufactura          | Schneider     |
| Modelo               | M340          |
| Tipo                 | BMXCPS3500    |
| Alimentación Entrada | 200 - 240 VAC |
| Tensión de Salida    | 24 VDC        |
| Potencia             | 36 W          |

**Fuente:** Elaboración Propia

Ilustración 7: Fuente del PLC, Modelo M340, Tipo: BMXCPS3500



Fuente: [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

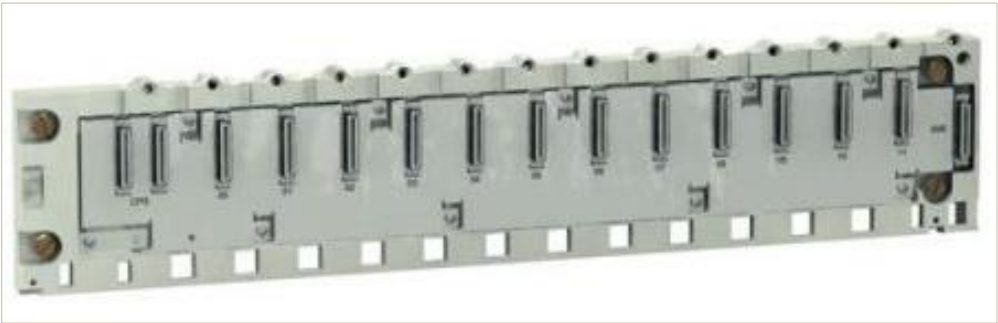
3.1.2. HOJA DE DATOS DEL RACK

Tabla 4:Requerimientos mínimos del Rack del PLC

|                   |            |
|-------------------|------------|
| Manufactura       | Schneider  |
| Modelo            | M340       |
| Tipo              | BMXXBP1200 |
| Cantidad de Slots | 12         |

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 8: Rack del PLC, Modelo M340, Tipo: BMXXBP1200



Fuente: [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

### 3.1.3. HOJA DE DATOS DEL CPU

*Tabla 5: Requerimientos mínimos del CPU BMXP342020*

|                           |                  |
|---------------------------|------------------|
| Manufactura               | Schneider        |
| Modelo                    | M340             |
| Tipo                      | BMXP342020       |
| Alimentación              | 24 Vdc, por Rack |
| Módulos de Ampliación     | SI, Hasta 12     |
| Protocolo de Comunicación | Ethernet TCP/IP  |

**Fuente:** Elaboración Propia

*Ilustración 9: CPU, Modelo M340, Tipo: BMXP342020*



**Fuente:** [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

### 3.1.4. HOJA DE DATOS DE MODULO DE ENTRADAS DIGITALES

*Tabla 6: Requerimientos mínimos del Módulo de Entradas Digitales*

|                   |            |
|-------------------|------------|
| Manufactura       | Schneider  |
| Modelo            | M340       |
| Tipo              | BMXDAI1602 |
| Alimentación      | 24 Vdc/Vac |
| Número de Canales | 16         |
| Tipo              | PNP o NPN  |

**Fuente:** Elaboración Propia

*Ilustración 10: Modulo de Entradas Digitales, Modelo M340, Tipo: BMXDAI1602*



**Fuente:** [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

### 3.1.5. HOJA DE DATOS DE MODULO DE SALIDAS DIGITALES

*Tabla 7: Requerimientos mínimos del Módulo de Salidas Digitales*

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| Manufactura                | Schneider  |
| Modelo                     | M340       |
| Tipo                       | BMXDRA1605 |
| Corriente Máxima por Canal | 3 A        |
| Número de Canales          | 16         |
| Tipo                       | Relé       |

**Fuente:** Elaboración Propia

*Ilustración 11: Modulo de Salidas Digitales, Modelo M340, Tipo: BMXDRA1605*



**Fuente:** [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)



### 3.1.6. HOJA DE DATOS DE MODULO DE SALIDAS ANALÓGICAS

*Tabla 8: Requerimientos mínimos del Módulo de Salidas Analógicas*

|                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| Manufactura       | Schneider              |
| Modelo            | M340                   |
| Tipo              | BMXAMO0210             |
| Número de Canales | 2                      |
| Tipo              | 0 - 10 Vdc / 4 - 20 mA |
| Cantidad de Bits  | 16                     |

**Fuente:** Elaboración Propia

*Ilustración 12: Modulo de Salidas Analógicas, Modelo M340, Tipo: BMXAMO0210*



**Fuente:** [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

3.1.7. HOJA DE DATOS DE MODULO DE ENTRADA ANALÓGICAS

Tabla 9: Requerimientos mínimos del Módulo de Entradas Analógicas

|                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| Manufactura       | Schneider              |
| Modelo            | M340                   |
| Tipo              | BMXAMI0410             |
| Número de Canales | 4                      |
| Tipo              | 0 - 10 Vdc / 4 - 20 mA |
| Cantidad de Bits  | 16                     |

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 13: Modulo de Entradas Analógicas, Modelo M340, Tipo: BMXAMI0410



Fuente: [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

## 4. ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN

### 4.1. SELECCIÓN DEL HMI (INTERFACE HOMBRE-MAQUINA)

#### 4.1.1. HOJA DE DATOS DEL HMI (INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA)

Tabla 10: Requerimientos mínimos del HMI (Interface Hombre Máquina)

|                           |             |                 |    |
|---------------------------|-------------|-----------------|----|
| Manufacture               |             | Schneider       |    |
| Modelo                    |             | XBTGT5330       |    |
| Tamaño                    |             | 10.4"           |    |
| Tipo                      | Touchscreen | TFT, LCD color  | SI |
| Resolución                |             | VGA 640 x 480   |    |
| Alimentación              |             | 24 Vdc          |    |
| Protocolo de Comunicación |             | Ethernet TCP/IP |    |

**Fuente:** Elaboración Propia

Ilustración 14: HMI Tipo XBTGT5330



**Fuente:** [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)

Este panel estará ubicado en el área de flotación, en espacio adecuado y cerca al operador de flotación, desde allí el operador podrá modificar el flujo o caudal a dosificarse a cada banco de cedas de flotación, está dosificación será exacta ya que la bomba ya fue previamente calibrada en función al canal analógico de entrada.

## 5. ESPECIFICACIÓN DE LA INSTRUMENTACION

### 5.1. SELECCIÓN DEL SENSOR DEL NIVEL

El listado de Instrumentos que deriva del P&ID

*Tabla 11: Listado de Sensores de Nivel*

| TAG              | PLANO         |
|------------------|---------------|
| 1000-LE/LIT-1001 | 1000-PID-1001 |
| 1000-LE/LIT-1002 | 1000-PID-1001 |
| 1000-LE/LIT-1003 | 1000-PID-1001 |

**Fuente:** Elaboración Propia

*Tabla 12: Requerimientos mínimos del Sensor/ Transmisor Indicador de Nivel*

|                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| Fabricante             | VEGA            |
| Modelo                 | VEGASON 61      |
| Tipo de Medición       | Ultrasónico     |
| Indicador Local        | Si              |
| Grado de Protección    | IP 67           |
| Material de la Carcasa | Policarbonato   |
| Conexión al Proceso    | ANSI, 1 ½" NPT  |
| Alimentación           | 24 Vdc, 2 Hilos |
| Señal de Salida        | 4 - 20 mA       |
| Precisión              | + - 10 mm       |

**Fuente:** Elaboración Propia

*Ilustración 15: Sensor/ Transmisor Indicador de Nivel VegaSon 61*



**Fuente:** <http://www.vega.com>

### **Boya de Acero inoxidable**

Para la medición de nivel se utilizara un sensor de nivel ultrasónico, el cual medirá el nivel de espuma de la celda de flotación, indirectamente utilizando una boya de acero inoxidable 316ss, la cual flota en la espuma.

Dicha boya es una esfera hueca de 30 cm de diámetro, cual está soldada a una varilla de acero inoxidable de 1/4" de diámetro y 1mt de largo, en el otro extremo de la varilla esta soldada un plato de acero inoxidable de 30 cm de diámetro y 3mm de espesor, en el cual impactará el haz del sensor ultrasónico.

*Ilustración 16: Boya de acero inoxidable*



**Fuente:** <http://www.vega.com>

## 6. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

### 6.1. ESCALAMIENTO DE SEÑALES DE ENTRADA ANALÓGICA

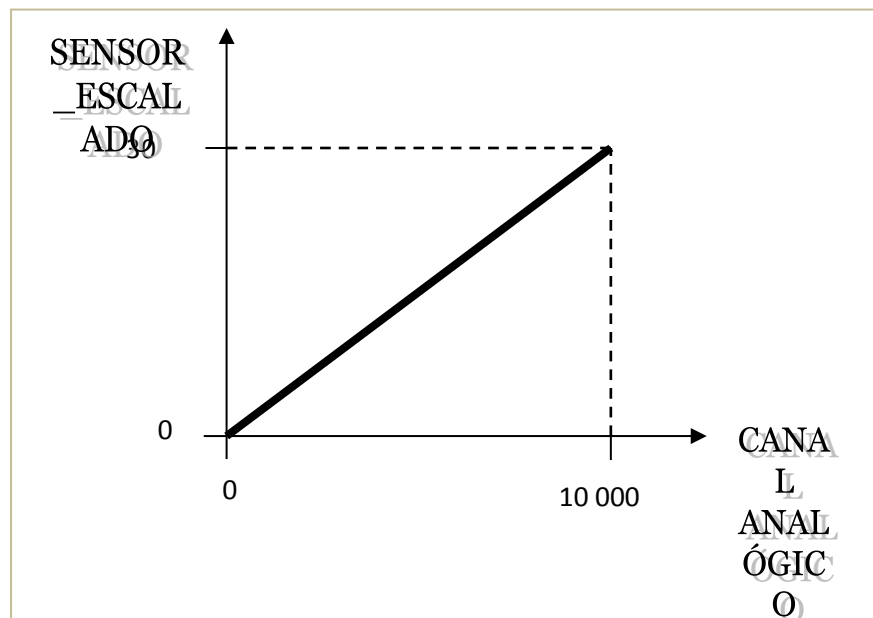
- Rango sensor de nivel:  
0 → 30 cm
- Módulo de Entrada Analógica del PLC

(Según configuración en Ladder):

0 → 4 mA

10000 → 20 mA

*Ilustración 16: Escalamiento de Sensor de nivel*



**Fuente:** Elaboración Propia

- Por lo tanto la ecuación que se va a implementar en el Ladder para cada sensor de nivel será, será:

$$\text{SENSOR\_ESCALADO} = 30 * \left( \frac{\text{CANAL\_ANALÓGICO}}{10000} \right)$$

## 6.2. CONFIGURACIÓN DEL PLC EN UNITY PRO

*Ilustración 17: Configuración del PLC*



**Fuente:** Unity Pro

Fuente: CPS3500

Slot 0: CPU: p34-2020

Slot 1: Módulo de entradas digitales: DAI1602

Slot 2: Módulo de salidas digitales: DRA1605

Slot 3: Módulo de salidas analógicas: AMO0210

Slot 4: Módulo de salidas analógicas: AMO0210

Slot 5: Módulo de salidas analógicas: AMO0210

Slot 6: Módulo de salidas analógicas: AMO0210

Slot 7: Módulo de salidas analógicas: AMI0410

Slot 8: Módulo de salidas analógicas: AMI0410

Slot 9: Libre

Slot 10: Libre

Slot 11: Libre

### 6.3. CONFIGURACIÓN DEL PUERTO ETHERNET DEL PLC EN UNITY PRO

*Ilustración 18: Configuración del Puerto Ethernet del PLC*

Familia de modelo  
CPU 2020, CPU 2030 (>= V02.00), PRA 0100

Dirección del módulo  
Bastidor: 0, Módulo: 0, Canal: 3

Dirección IP del módulo  
Dirección IP: 192 . 168 . 1 . 10  
Máscara de subred: 255 . 255 . 255 . 0  
Dirección de pasarela: 192 . 168 . 1 . 1

Configuración IP | Mensajes | SNMP | SMTP | Ancho de banda

Configuración de dirección IP  
☒ Configurada  
 Dirección IP: 192 . 168 . 1 . 10  
 Máscara de subred: 255 . 255 . 255 . 0  
 Dirección de pasarela: 192 . 168 . 1 . 1  
☐ Desde un servidor  
 Nombre del dispositivo:

Configuración Ethernet  
☒ Ethernet II  
☐ 802.3

**Fuente:** Elaboración Propia

### 6.4. DIRECCIONAMIENTO DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| <b>SLOT</b>             | <b>1</b>                  |
| <b>MODULO</b>           | <b>ENTRADAS DIGITALES</b> |
| <b>TIPO</b>             | <b>BMX DAI1602</b>        |
| <b>DIRECCION DE PLC</b> | <b>DESCRIPCION</b>        |
| %I0.1.0                 | RESERVA                   |
| %I0.1.1                 | ALARMA BOMBA 1000-BD-101  |
| %I0.1.2                 | ALARMA BOMBA 1000-BD-102  |
| %I0.1.3                 | ALARMA BOMBA 1000-BD-103  |
| %I0.1.4                 | ALARMA BOMBA 1000-BD-104  |



|          |                          |
|----------|--------------------------|
| %I0.1.5  | ALARMA BOMBA 1000-BD-105 |
| %I0.1.6  | ALARMA BOMBA 1000-BD-106 |
| %I0.1.7  | RESERVA                  |
|          |                          |
| %I0.1.8  | RESERVA                  |
| %I0.1.9  | RESERVA                  |
| %I0.1.10 | RESERVA                  |
| %I0.1.11 | RESERVA                  |
| %I0.1.12 | RESERVA                  |
| %I0.1.13 | RESERVA                  |
| %I0.1.14 | RESERVA                  |
| %I0.1.15 | RESET ALARMA             |

|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| <b>SLOT</b>             | <b>2</b>                 |
| <b>MODULO</b>           | <b>SALIDAS DIGITALES</b> |
| <b>TIPO</b>             | <b>BMX DAI1605</b>       |
| <b>DIRECCION DE PLC</b> | <b>DESCRIPCION</b>       |
| %Q0.2.0                 | ALARMA SALA DE BOMBAS    |
| %Q0.2.1                 | RESERVA                  |
| %Q0.2.2                 | RESERVA                  |
| %Q0.2.3                 | RESERVA                  |
| %Q0.2.4                 | RESERVA                  |
| %Q0.2.5                 | RESERVA                  |
| %Q0.2.6                 | RESERVA                  |
| %Q0.2.7                 | RESERVA                  |
|                         |                          |

|                         |                                |
|-------------------------|--------------------------------|
| %Q0.2.8                 | RESERVA                        |
| %Q0.2.8                 | RESERVA                        |
| %Q0.2.10                | RESERVA                        |
| %Q0.2.11                | RESERVA                        |
| %Q0.2.12                | RESERVA                        |
| %Q0.2.13                | RESERVA                        |
| %Q0.2.14                | RESERVA                        |
| %Q0.2.15                | RESERVA                        |
| <b>SLOT</b>             | <b>3</b>                       |
| <b>MODULO</b>           | <b>SALIDAS ANALÓGICAS</b>      |
| <b>TIPO</b>             | <b>BMX AMO 0210</b>            |
| <b>DIRECCION DE PLC</b> | <b>DESCRIPCION</b>             |
| %QW0.3.0                | BOMBA DOSIFICADORA 1000-BD-101 |
| %QW0.3.1                | BOMBA DOSIFICADORA 1000-BD-102 |

|                         |                                |
|-------------------------|--------------------------------|
| <b>SLOT</b>             | <b>4</b>                       |
| <b>MODULO</b>           | <b>SALIDAS ANALÓGICAS</b>      |
| <b>TIPO</b>             | <b>BMX AMO 0210</b>            |
| <b>DIRECCION DE PLC</b> | <b>DESCRIPCION</b>             |
| %QW0.4.0                | BOMBA DOSIFICADORA 1000-BD-103 |
| %QW0.4.1                | BOMBA DOSIFICADORA 1000-BD-104 |

|                         |                                |
|-------------------------|--------------------------------|
| <b>SLOT</b>             | <b>5</b>                       |
| <b>MODULO</b>           | <b>SALIDAS ANALÓGICAS</b>      |
| <b>TIPO</b>             | <b>BMX AMO 0210</b>            |
| <b>DIRECCION DE PLC</b> | <b>DESCRIPCION</b>             |
| %QW0.5.0                | BOMBA DOSIFICADORA 1000-BD-105 |

|          |                                |
|----------|--------------------------------|
| %QW0.5.1 | BOMBA DOSIFICADORA 1000-BD-106 |
|----------|--------------------------------|

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| <b>SLOT</b>             | <b>6</b>                  |
| <b>MODULO</b>           | <b>SALIDAS ANALÓGICAS</b> |
| <b>TIPO</b>             | <b>BMX AMO 0210</b>       |
| <b>DIRECCION DE PLC</b> | <b>DESCRIPCION</b>        |
| %QW0.7.0                | RESERVA                   |
| %QW0.7.1                | RESERVA                   |

|                         |                                  |
|-------------------------|----------------------------------|
| <b>SLOT</b>             | <b>7</b>                         |
| <b>MODULO</b>           | <b>ENTRADAS ANALÓGICAS</b>       |
| <b>TIPO</b>             | <b>BMX AMI 0410</b>              |
| <b>DIRECCION DE PLC</b> | <b>DESCRIPCION</b>               |
| %IW0.7.0                | SENSOR DE NIVEL 1000-LE/LIT-1001 |
| %IW0.7.1                | SENSOR DE NIVEL 1000-LE/LIT-1002 |
| %IW0.7.2                | SENSOR DE NIVEL 1000-LE/LIT-1003 |
| %IW0.7.3                | RESERVA                          |

|                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| <b>SLOT</b>             | <b>8</b>                   |
| <b>MODULO</b>           | <b>ENTRADAS ANALÓGICAS</b> |
| <b>TIPO</b>             | <b>BMX AMI 0410</b>        |
| <b>DIRECCION DE PLC</b> | <b>DESCRIPCION</b>         |
| %IW0.8.0                | RESERVA                    |
| %IW0.8.1                | RESERVA                    |
| %IW0.8.2                | RESERVA                    |
| %IW0.8.3                | RESERVA                    |

## 6.5. DIRECCIONAMIENTO DE MEMORIAS INTERNAS DEL PLC

| MEMORIAS INTERNAS | DESCRIPCIÓN              | TIPO                |
|-------------------|--------------------------|---------------------|
| %MW420            | PV_FIC_1                 | INT                 |
| %MW422            | PARA_FIC_1               | ARRAY[0..42] OF INT |
| %MW427            | TS_FIC_1                 | INT                 |
| %MW428            | OUT_MAX_FIC_1            | INT                 |
| %MW429            | OUT_MIN_FIC_1            | INT                 |
| %MW466            | DISTANCIA_NIVEL_1_REAL   | REAL                |
| %MW470            | DISTANCIA_NIVEL_1_LINEAL | REAL                |
| %MW474            | NIVEL_1_PV               | REAL                |
|                   |                          |                     |
| %MW480            | PV_FIC_2                 | INT                 |
| %MW482            | PARA_FIC_2               | ARRAY[0..42] OF INT |
| %MW487            | TS_FIC_2                 | INT                 |
| %MW488            | OUT_MAX_FIC_2            | INT                 |
| %MW489            | OUT_MIN_FIC_2            | INT                 |
| %MW526            | DISTANCIA_NIVEL_2_REAL   | REAL                |
| %MW530            | DISTANCIA_NIVEL_2_LINEAL | REAL                |
| %MW534            | NIVEL_2_PV               | REAL                |

| <b>MEMORIAS INTERNAS</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>       | <b>TIPO</b>         |
|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| %MW540                   | PV_FIC_3                 | INT                 |
| %MW542                   | PARA_FIC_3               | ARRAY[0..42] OF INT |
| %MW547                   | TS_FIC_3                 | INT                 |
| %MW548                   | OUT_MAX_FIC_3            | INT                 |
| %MW549                   | OUT_MIN_FIC_3            | INT                 |
| %MW586                   | DISTANCIA_NIVEL_3_REAL   | REAL                |
| %MW590                   | DISTANCIA_NIVEL_3_LINEAL | REAL                |
| %MW594                   | NIVEL_3_PV               | REAL                |
|                          |                          |                     |
| %MW598                   | AO_BOMBA_1_REAL          | REAL                |
| %MW602                   | AO_BOMBA_2_REAL          | REAL                |
| %MW606                   | AO_BOMBA_3_REAL          | REAL                |
| %MW610                   | AO_BOMBA_4_REAL          | REAL                |
| %MW614                   | AO_BOMBA_5_REAL          | REAL                |
| %MW618                   | AO_BOMBA_6_REAL          | REAL                |
| %MW800                   | RELACION_BOMBA_4_REAL    | REAL                |
| %MW804                   | RELACION_BOMBA_4_INT     | INT                 |
| %MW812                   | RELACION_BOMBA_5_REAL    | REAL                |
| %MW816                   | RELACION_BOMBA_5_INT     | INT                 |
| %MW824                   | RELACION_BOMBA_6_REAL    | REAL                |
| %MW828                   | RELACION_BOMBA_6_INT     | INT                 |

## **6.6. PROGRAMA DEL PLC, EN LENGUAJE LADDER (VER ANEXO N°1)**

La lógica de control en el cual se basará la programación del PLC, será lazo cerrado de control de nivel, usando PID, la variable de proceso (PV) se obtendrá del sensor de nivel ubicado en cada celda de flotación, el rango de operación será de 0 - 30 cm de nivel de espuma, la variable de salida (SV) será la que comandará la bomba dosificadora la cual tendrá un rango de operación de 0 - 100 CC/min, el setpoint (SP) será ingresado mediante el HMI ubicado en la zona de flotación, por cada celda de flotación.

## **7. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN**

- 1.-Se podrá modificar el SETPOINT del nivel de espuma de cada celda de flotación, para que la bomba dosifique en automático en función a este valor ingresado.
- 2.-Se podrá modificar los valores KP, Ti, TD de los controladores PID de cada lazo de control de nivel de espuma.
- 3.- Se podrá observar el valor del nivel de espuma de cada celda de flotación
- 4.- Se podrá observar el valor en cc/min que está dosificando la bomba en cada celda de flotación.
- 5.- Se podrá observar que bomba dosificadora se encuentra en falla, mediante el parpadeo de cada celda flotación (alarma visual).

1.- Configuración del puerto de comunicación del HMI, Dirección IP del HMI:  
192.168.1.20

**General**

Nombre: HMI\_REACTIVOS

Descripción:

Tipo: XBTGT5000 Series

Modelo: XBTGT5330 (640x480)

Color del Destino: 64K colores

ID del panel inicial: ... 1: Menu

Descargar: Ethernet

Dirección IP del destino: 192 . 168 . 1 . 20

☐ Nombre del host:

Puerto COM:

Velocidad en baudios:

Aplicación de usuario: Unidad principal

☐ Incluir el editor de proyectos

☒ Conservar los datos de Runtime ...

2.- Configuración del puerto de comunicación del PLC, Dirección IP del HMI:  
192.168.1.10

Dirección del Equipo

Dirección IP: 192 . 168 . 1 . 10

ID de la Unidad: 30 / 255

☐ Conexión secundaria

Copia de seguridad del IP: 0 . 0 . 0 . 0

☒ IEC61131 Sintaxis

Modo de dirección: 0-basado (Predetermina)

Variables

Orden palabra de doble palabra: Primera palabra baja

ASCII Mostrar orden de byte: Primer byte bajo

Protocolo

Protocolo de IP: TCP

Optimización de la Comunicación

Longitud de Trama preferida: Máximo Posible

252 bytes

Administración del Diccionario de datos

☒ Precargar Diccionario de datos para las modificaciones online

Aceptar Cancelar Ayuda

### 3.- Creación de Variables tipo BOOL (DIGITAL)

Las cuales se utilizaran para detectar FALLA en cada bomba dosificadora

| Nombre             | Tipo de datos | Origen de datos | Grupo de escaneo | Dirección de dis... | Grupo de alarmas | Grupo de registros |
|--------------------|---------------|-----------------|------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| PLC_PLC_REACTIVOS  |               |                 |                  |                     |                  |                    |
| ALARMA_BOMBA_1     | BOOL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %I0.1.1             | Desactivado      | Ninguno            |
| ALARMA_BOMBA_2     | BOOL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %I0.1.2             | Desactivado      | Ninguno            |
| ALARMA_BOMBA_3     | BOOL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %I0.1.3             | Desactivado      | Ninguno            |
| ALARMA_BOMBA_4     | BOOL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %I0.1.4             | Desactivado      | Ninguno            |
| ALARMA_BOMBA_5     | BOOL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %I0.1.5             | Desactivado      | Ninguno            |
| ALARMA_BOMBA_6     | BOOL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %I0.1.6             | Desactivado      | Ninguno            |
| ALARMA_SALA_BOMBAS | BOOL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %Q0.2.0             | Desactivado      | Ninguno            |
| RESERVA            | BOOL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %I0.1.0             | Desactivado      | Ninguno            |
| RESET_ALARMA       | BOOL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %I0.1.15            | Desactivado      | Ninguno            |
| RESET_ALARMA_PANEL | BOOL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %M2                 | Desactivado      | Ninguno            |

### 4.- Creación de Variables tipo REAL

Para los datos de los 3 sensores de Nivel.

| Nombre            | Tipo de datos | Origen de datos | Grupo de escaneo | Dirección de dis... | Grupo de alarmas | Grupo de registros |
|-------------------|---------------|-----------------|------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| PLC_PLC_REACTIVOS |               |                 |                  |                     |                  |                    |
| NIVEL_ZINC_1_PV   | REAL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW470              | Desactivado      | Ninguno            |
| NIVEL_ZINC_1_REAL | REAL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW466              | Desactivado      | Ninguno            |
| NIVEL_ZINC_2_PV   | REAL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW530              | Desactivado      | Ninguno            |
| NIVEL_ZINC_2_REAL | REAL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW526              | Desactivado      | Ninguno            |
| NIVEL_ZINC_3_PV   | REAL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW590              | Desactivado      | Ninguno            |
| NIVEL_ZINC_3_REAL | REAL          | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW586              | Desactivado      | Ninguno            |

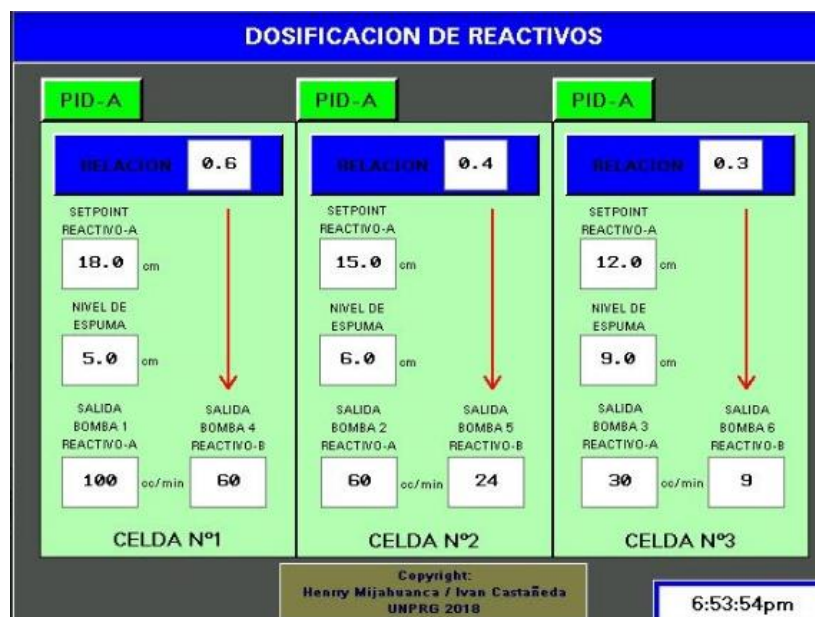
### 5.- Creación de Variables tipo ENTERO

Para los parámetros Kp,Ti y Td de los PID de los 3 lazos de control PID.

| Nombre                          | Tipo de datos | Origen de datos | Grupo de escaneo | Dirección de ... | Grupo de alarmas | Grupo de registros |
|---------------------------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| PLC_PLC_REACTIVOS.PV_FIC_1      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW420           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.SP_FIC_1      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW422           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.KP_FIC_1      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW424           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.TI_FIC_1      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW425           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.TD_FIC_1      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW426           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.TS_FIC_1      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW427           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.OUT_MAX_FIC_1 | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW428           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.OUT_MIN_FIC_1 | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW429           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.PV_FIC_2      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW480           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.SP_FIC_2      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW482           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.KP_FIC_2      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW484           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.TI_FIC_2      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW485           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.TD_FIC_2      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW486           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.TS_FIC_2      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW487           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.OUT_MAX_FIC_2 | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW488           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.OUT_MIN_FIC_2 | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW489           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.PV_FIC_3      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW540           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.SP_FIC_3      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW542           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.KP_FIC_3      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW544           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.TI_FIC_3      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW545           | Desactivado      | Ninguno            |
| PLC_PLC_REACTIVOS.TD_FIC_3      | INT           | Externo         | PLC_REACTIVOS    | %MW546           | Desactivado      | Ninguno            |



## 6.- Creación de la pantalla Principal



## 7.- Teclado para ingresar la Relación del Reactivo B



## **8. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE PLANOS ELECTRICOS (VER ANEXO N°2)**

- 1.- Arquitectura de Control 1000-AC-1001
- 2.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1001
- 3.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1002
- 4.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1003
- 5.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1004
- 6.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1005
- 7.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1006
- 8.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1007
- 9.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1008
- 10.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1009
- 11.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1010
- 12.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1011
- 13.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1012
- 14.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1013
- 15.- Diagrama de Interconexión 1000-IN-1014
- 16.- Diagrama Mecánico Tablero de Control 1000-TC-1001
- 17.- Diagrama Mecánico Tablero de Remoto 1000-TR-1001
- 18.- Diagrama de Instrumentación y Tuberías (P&ID) 1000-PID-1001

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

## 1. COSTOS DEL PROYECTO

### 1.1. COSTOS DE HARDWARE

#### 1.1.1. COSTOS DE EQUIPOS

No se considera costos de equipos, debido a que se usarán las Bombas Dosificadoras ya existentes, las cuales poseen un canal de entrada analógica y un canal de salida digital.

#### 1.1.2. COSTOS SISTEMA DE CONTROL

Tabla 13: Costos del Sistema de Control

| DESCRIPCIÓN                  | MODELO     | CANT | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|------------------------------|------------|------|-----------------|--------------|
| HMI                          | XBTGT5330  | 1    | S/.7 200        | S/.7 200     |
| FUENTE PLC                   | BMXCPS3500 | 1    | S/.3 500        | S/.3 500     |
| RACK                         | BMXXBP1200 | 1    | S/.900          | S/.900       |
| CPU                          | BMXP342020 | 1    | S/. 3 200       | S/.3 200     |
| MÓDULO DE ENTRADAS DIGITALES | BMXDAI1602 | 1    | S/.450          | S/.450       |
| MÓDULO DE SALIDAS DIGITALES  | BMXDRA1605 | 1    | S/.620          | S/.620       |
| MÓDULO DE ENTRADA ANALÓGICA  | BMXAMI0410 | 2    | S/.1 100        | S/.2 200     |
| MÓDULO DE SALIDA ANALÓGICA   | BMXAMO0210 | 4    | S/.1 100        | S/.4 400     |
| CABLEADO                     | -          | 1    | S/.8 000        | S/.8 000     |
| SUBTOTAL                     |            |      |                 | S/.30 470    |

Fuente: Elaboración Propia

## 1.2. COSTOS DE INGENIERÍA

Solo se considera el costo de la mano de obra para programación del PLC/ HMI y elaboración de planos eléctricos. El costo del software para programación del PLC (Unity Pro) y el software para programación del HMI (Vijeo Designer) es CERO, ya que ambos software serán proporcionados por la empresa, por tal razón no ingresan en esta tabla

Tabla 14: Costos de Ingeniería del Proyecto

| DESCRIPCION           | CANT | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL    |
|-----------------------|------|-----------------|-----------------|
| Elaboración de Planos | 1    | S/.2 000        | S/.2 000        |
| Programación del PLC  | 1    | S/.2 500        | S/.2 500        |
| Programación del HMI  | 1    | S/.1 800        | S/.1 800        |
| <b>SUBTOTAL</b>       |      |                 | <b>S/.6 300</b> |

Fuente: Elaboración Propia

## 1.3. COSTOS DE CAPACITACIÓN

Tabla 15: Costos de Capacitación

| DESCRIPCION                       | CANT | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL    |
|-----------------------------------|------|-----------------|-----------------|
| Capacitación en el Manejo del HMI | 1    | S/.1 800        | S/.1 800        |
| <b>SUBTOTAL</b>                   |      |                 | <b>S/.1 800</b> |

Fuente: Elaboración Propia

El costo estimado total del proyecto, si este se implementase sería de:

Tabla 16: Resumen del Costo Total del Proyecto

|                        |                  |
|------------------------|------------------|
| COSTOS DE HARDWARE     | S/.30 470        |
| COSTOS DE INGENIERÍA   | S/.6 300         |
| COSTOS DE CAPACITACIÓN | S/.1 800         |
| <b>COSTO TOTAL</b>     | <b>S/.38 570</b> |

**CAPITULO V**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

1. Se realizó el seguimiento del funcionamiento de las bombas dosificadoras por 3 días, se observó detenidamente como los operadores realizaron manualmente la dosificación de reactivos en las celdas de flotación, producto de este seguimiento se planteó la lógica de control, la cual fue programada en Unity Pro, adicionalmente se planteó el diseño de los faceplate del HMI los cuales se programaron en Vijeo Designer, el operador no tendrá que efectuar la regulación del flujo manual directamente en la bomba dosificadora, si no que el sistema lo hará en AUTOMATICO en función al Setpoint del nivel de espuma ingresado en el HMI, para cada celda de flotación.
2. Se realizó la selección de todo el sistema de supervisión y control, el cual abarca completamente el PLC y el HMI, ambos serán de la marca schneider electric, plataforma M340, adicionalmente se seleccionó un sensor de nivel que se utilizará para medir el nivel de espuma de cada celda de flotación.
3. Se diseñaron y elaboraron planos Eléctricos de todo el sistema de control y supervisión, en cual se puede observar el conexionado de las señales análogas y digitales, se realizó el dimensionamiento del tablero de control, el cual contendrá el PLC, se realizó el dimensionamiento del tablero remoto el cual contendrá el HMI, todos los planos elaborados garantizan que ante una falla del sistema se pueda llegar a la solución de manera rápida y sencilla y así garantizar el funcionamiento correcto.
4. De acuerdo a la estimación de costos total, el monto estimado del proyecto es de S/. 38,570.00, esta inversión tendrá impacto favorable respecto a las áreas de seguridad, producción y medio ambiente.
5. Se realizó la simulación en LABVIEW del lazo de control de nivel de espuma del Circuito N°1, donde se obtuvo la función de transferencia y los valores  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  del PI.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda contar con procedimiento de operación del HMI, hasta lograr 100% de capacitación de los operadores.
2. Se recomienda implementar este proyecto en otras plantas procesadoras de minerales que no cuenten con un sistema automatizado de dosificación de reactivos.
3. Se recomienda contar con una copia impresa de los planos eléctricos en el tablero principal.
4. Se recomienda una vez sintonizado los lazos de control no cambiar las constantes  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  de los PID.



## **CAPITULO VI**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **Libros**

1. A, C. P. (2011). *Sistemas Automaticos de Control* . Santa Rita , Venezuela: UNERMB.
2. Jorge, N. N. (2006). *Sistemas de Control para Ingenieria* . Mexico: Compañía Editorial Continental .
3. Ogata, K. (2010). *Ingenieria de Control Moderna*. Madrid, España: Prentice Hall.
4. Higuera, G. (2005). *El control Automatico en la Industria* . Castilla : La Universidad de Castilla.

### **Artículos**

1. Huapaya, Sánchez. (2010). Manuel de flotación

### **Sitios Web**

1. Copa Data, D. (2003). *Copa Data*. Obtenido de Copa Data Soluciones:  
<https://www.copadata.com/es/soluciones-hmi-scada/interfaz-hombre-maquina-hmi/>
2. Masse, G. (2010). *Automatas Programable* . Obtenido de WEB:  
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGIN>  
[A%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGIN)
3. Scheneider, S. E. (2017). *Schneider Electric*. Obtenido de [www.Schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com)
4. Acquatron. (2014). *Acquatron* . Obtenido de  
[http://www.acquatron.cl/pdf/Tecnologia\\_en\\_bombas\\_dosificadoras.pdf](http://www.acquatron.cl/pdf/Tecnologia_en_bombas_dosificadoras.pdf)

5. GR Tech (2017), WEB911metallurgist (2012).Obtenido:  
<https://www.911metallurgist.com/blog/conceptos-basicos-de-flotacion-de-minerales>
6. YanTai JinPeng Mining Machinery Co., (2016).Obtenido:  
[Ltdhttps://procesaminerales.blogspot.pe/2012/09/flotacion-minerales.html](https://procesaminerales.blogspot.pe/2012/09/flotacion-minerales.html)
7. Codelco (2017).Obtenido:  
[https://www.codelcoeduca.cl/procesos\\_productivos/tecnicos\\_flotacion.asp](https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/tecnicos_flotacion.asp)
8. Metso (2018).Obtenido: <https://www.metso.com/es/productos/separacion/celdas-de-flotacion-racs/>
9. Ingecol (1999).Obtenido: <http://ingecol.tripod.com/flotacionsedimentacion.htm>
10. Procesos Industriales (2011), WEB:  
<http://proindusitriales.blogspot.pe/2013/05/flotacion.html>
11. Alipso. (2018). Obtenido de [https://www.alipso.com/monografias/flotacion/#\\_](https://www.alipso.com/monografias/flotacion/#_)

## **CAPITULO VII**

### **ANEXOS**

## **ANEXO N°1 (PROGRAMA PLC)**



## **ANEXO N°2 (PLANOS ELECTRICOS)**

