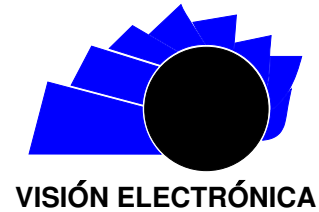




# Visión Electrónica

## Más que un estado sólido

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele>



VISIÓN INVESTIGADORA

## Automatización para dosificación de reactivos en clasificación de carbón

### *Automation for Dosing Reactives in Coal Classification*

Oscar L. Quintero<sup>1</sup>, Humberto Medina<sup>2</sup>, Edwin A. Pineda<sup>3</sup>

#### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

##### Historia del artículo:

Enviado: 11/09/2016

Recibido: 12/09/2016

Aceptado: 10/01/2017

##### Palabras clave:

Carbón crudo  
Colector  
Espumante  
Flotación  
Hidrociclón  
PLC.

##### Open access



##### Keywords:

Raw coal  
Collector  
Frother  
Flotation  
Cyclon  
PLC

#### RESUMEN

La técnica de flotación permite mejorar las características térmicas de carbones que presentan altos contenidos de materia mineral; no obstante, en este proceso la ausencia de control de variables críticas como la dosificación de reactivos de flotación —espumante y colector—, causado por la discontinuidad en la medición del material que fluye hacia el equipo de clasificación (celdas de flotación), genera pérdidas de material y hace ineficiente el proceso de clasificación carbonífera. Por lo anterior, el presente artículo describe las fases de la investigación que condujeron a la optimización del rendimiento de la técnica de flotación, esto a partir de la adquisición de datos por medio de instrumentación y la automatización y control de las variables críticas mencionadas anteriormente. Se presenta el diseño de un sistema automático controlado por un PLC y un entorno visual HMI, el cual permite monitorear y controlar las variables que intervienen en una dosificación eficiente de reactivos durante el proceso de flotación en una planta de clasificación de carbón.

#### ABSTRACT

The flotation technique allows to improve the thermal characteristics of carbons that have high mineral content. However, in this process, the absence of control of critical variables such as the dosage of flotation reagents (foaming and collector), caused by the discontinuity in the measurement of the material flowing to the classification equipment (flotation cells), generates losses of material and makes the carboniferous classification process inefficient. Therefore, this article describes the phases of the research that led to the optimization of flotation technique performance, from the acquisition of data through instrumentation and the automation and control of the critical variables mentioned above. It presents the design of an automatic system controlled by a PLC and a visual HMI environment that allows monitoring and controlling the variables involved in the process for an efficient dosing of reagents in the flotation process in a coal classification plant.

<sup>1</sup>Ingeniero electrónico, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; especialista en Ingeniería en Automatización Industrial, Universidad de Buenos Aires. Docente catedrático: Fundación Universitaria de San Gil. Correo electrónico: oscarquintero18@gmail.com

<sup>2</sup>Ingeniero metalúrgico, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; estudiante de maestría en Dirección de Proyectos, Universidad de los Andes. Correo electrónico: humberto.medina@incarsa.com.co

<sup>3</sup>Ingeniero electrónico, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; estudiante de maestría en Ingeniería Electrónica, Universidad de los Andes. Docente catedrático, Fundación Universitaria de San Gil. Correo electrónico: edalpi85@gmail.com

## 1. Introducción

En la industria se encuentran aplicaciones donde el buen uso de insumos representa un factor importante para su rendimiento, es el caso de las plantas lavadoras de carbón que utilizan la técnica de flotación de lodos finos, proceso donde se requiere controlar los escapes de carbón que se presentan en las celdas de flotación, además de las pérdidas de espumante y colector que existen por la discontinuidad en la medición del material que fluye por la línea encargada de alimentar las celdas de flotación, también la imprecisión en la determinación de la dosis necesaria para una eficiente clasificación de material; esto demanda la optimización del proceso a partir de su automatización, en la idea de aumentar la calidad del producto final y disminuir los costos de producción.

En la anterior perspectiva, algunos estudios recientes [1-3] sugieren la necesidad de un mejor control operacional a través de instrumentos para un balance metalúrgico favorable, incorporando la automatización, y que los minerales de baja ley tengan una selección y dosificación muy cuidadosa de los reactivos, entre otros aspectos. Otros expositores, pertenecientes al Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile, profundizaron en las falencias de los métodos de medición y muestreo, los cuales no son confiables debido a la complejidad del proceso que se cumple al interior de las celdas de flotación. De otro lado, institutos latinoamericanos como TECSUP, en Perú, han venido desarrollando plantas piloto donde se reproduce un proceso a escala de concentración de minerales por flotación, estas cuentan con un sistema de control distribuido (DCS) —base de supervisión— que recibe la información de campo para controlar las distintas etapas, y se las supervisa por medio de computadoras desde una sala de control e instrumentación de campo para medir y controlar localmente las variables asociadas al funcionamiento de las diferentes etapas de la planta; entre aquellos se pueden citar: sensores y medidores, PLC, controladores de procesos, paneles de operador, variadores de velocidad, motores, bombas y válvulas de control.

Finalmente, en la actualidad se están utilizando redes neuronales artificiales (ANN) para estudiar el efecto del tiempo de flotación, la dosis de colector, la dosis espumante y la velocidad del agitador en la recuperación de material por flotación; este método avanzado de control, implementado en países con un desarrollo vanguardista en técnicas de beneficio de carbón —como India—, resalta la importancia de la investigación y la

introducción tecnológica como técnica de clasificación.

Es así que, ante la vigencia de la problemática, la presente investigación asume, en el contexto de las plantas, el proceso de automatización para dosificación de reactivos en clasificación de carbón; en consecuencia, el documento se estructura así: en primera medida, se asume y desarrolla el modelamiento del sistema a partir del establecimiento de las variables que intervienen en el proceso y la interacción entre ellas; luego, se describen y establecen los equipos e instrumentación que permiten la supervisión y control del sistema; finalmente, se tienen las conclusiones y perspectivas.

## 2. Modelamiento del sistema

### 2.1. Descripción del proceso de planta

La preparación de carbón es la etapa en la producción en el que el carbón crudo se limpia, clasifica y se adecúa para el mercado, precede al uso final como combustible o alimentación para plantas de conversión de energía. La preparación de carbón incluye procesos físicos que mejoran su calidad mediante la regulación de tamaño y reducción del contenido de materia mineral (expresados como cenizas, azufres, etc.); las principales operaciones son: clasificación (tamizado o cribado), limpieza (lavado o beneficio), molienda y separación sólido/líquido, lo cual también incluye eliminación de agua por secado.

Las plantas de preparación de carbón pueden tener no más que una simple operación de molienda, pero comúnmente involucran complejos circuitos que lavan todo el rango de tamaños de carbón alimentado y rechazan la mayor parte de las impurezas asociadas con el carbón crudo. Mientras que la concentración por gravedad (baños con medios densos, jigs, ciclones de medio denso, etc.) es el método de lavado dominante para fracciones de carbón de tamaño intermedio y grueso, la flotación es el método de lavado dominante para fracciones de tamaño finas [4].

El proceso comienza con el ingreso a la planta del carbón crudo previamente molido, una banda transportadora conduce el material hacia una criba con malla de 1 mm, esta criba tiene un sistema de duchas que, además de mejorar el tamizado, ingresan agua al sistema. Las fracciones de carbón de tamaño entre 50 mm y 1 mm son clasificadas por el ciclón de medio denso, mientras que las fracciones de carbón menores a 1 mm que traspasan la malla de la criba se disponen en el tanque de finos menores a 1 mm; en este se adiciona agua proveniente de un tanque de agua clarificada para

permitir el bombeo del material hacia los hidrociclones, que a su vez clasifican el material por tamaño de partícula en dos corrientes: la primera de entre 1 mm y 0.25 mm y la segunda menores a 0.25mm.

La última corriente se dirige al tanque de finos menores a 0.25 mm, donde se adiciona el reactivo colector para aumentar su tiempo de contacto con el material y se bombea hacia el tanque acondicionador donde se adiciona el reactivo espumante, se agita la mezcla para ingresar posteriormente a las celdas de flotación; en ellas, se produce el beneficio del carbón por flotación de espumas y se rechazan las impurezas o colas del proceso. Estas últimas se depositan en un tanque sedimentador donde se hace un tratamiento de lodos para obtener agua clarificada e ingresarla al proceso nuevamente. El carbón lavado se deposita en un tanque de carbón clasificado y se bombea hacia un filtro de placas que elimina un 80 % de la humedad de la espuma y dispone el material clasificado en una banda transportadora donde culmina el proceso.

## 2.2. Descripción del proceso de flotación

Los procesos de flotación son usados para separar o concentrar minerales y otras especies químicas. La separación por flotación es el resultado de muchos procesos fisicoquímicos complejos que ocurren en las interfaces sólido/líquido, líquido/gas y sólido/gas; esta depende de la probabilidad de unión de la partícula a la burbuja en la celda de flotación, la cual es determinada por la hidrofobicidad de la superficie de la partícula. En la mayoría de los sistemas de flotación, la superficie de la partícula se torna hidrofóbica por la adsorción selectiva de los surfactantes llamados colectores [5].

La flotación es una técnica de concentración que aprovecha la diferencia entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral —especies de valor— y la cola, se basa en la adhesión de algunos sólidos a burbujas de gas generadas en la pulpa por medio externo en la celda de flotación. Las burbujas de aire transportan los sólidos a la superficie donde son recolectados y recuperados como concentrado. La fracción que no se adhiere a las burbujas permanece en la pulpa y constituye la cola o relave. De este modo, la condición de flotabilidad es una fuerte adhesión entre las partículas útiles y las burbujas, las cuales deben ser capaces de soportar la agitación y turbulencia en la celda; estas partículas se dicen hidrofóbicas o repelentes al agua, al contrario de las partículas que constituyen el relave o cola, las cuales son hidrofílicas [6].

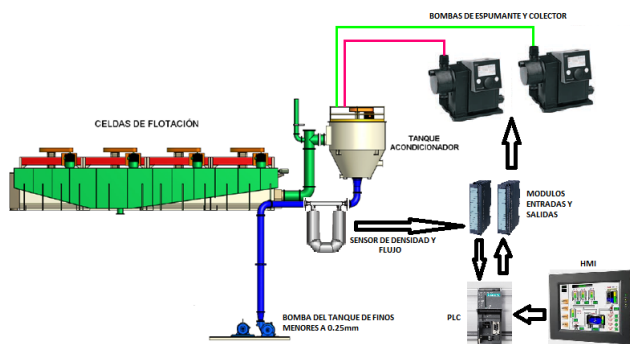
El proceso de flotación está gobernado por una gran

cantidad de variables que interactúan entre sí, y cuyo conocimiento contribuirá a comprender mejor el proceso en sí y obtener finalmente un mejor rendimiento en las aplicaciones prácticas.

## 2.3. Establecimiento de variables del proceso y diseño del sistema

El diseño del sistema se realizó para una planta de lavado de carbón de 250 ton/hr. La capacidad de las celdas de flotación de la planta es de 80 m<sup>3</sup>, estas requieren un flujo de alimentación de aproximadamente 500 m<sup>3</sup> /hr que lo proporciona una bomba 10"/8". Para el diseño del sistema automático de dosificación se necesita establecer el consumo de espumante y colector; el establecimiento de estos consumos requiere de la medición de las variables físicas correspondientes a densidad y caudal del material que fluye por una tubería ubicada entre la bomba del tanque de finos menores a 0.25 mm, esta impulsa dicho material hacia el tanque acondicionador, el cual, a su vez, homogeniza la mezcla entre el material y los aditivos para después ingresar a las celdas de flotación donde es clasificado el material. Obtenidas estas dos variables, se deben procesar en un controlador lógico programable (PLC) junto con las ecuaciones y datos adicionales (dosis y gravedad específica del material fino del lodo) que permiten obtener el consumo de espumante en ml/min, y visualizarlas en una interfaz hombre maquina (HMI) para así realizar, mediante dos bombas controladas a partir del procesamiento de la información anterior, la inyección adecuada de espumante y colector al proceso, como se observa en la Figura 1.

**Figura 1:** Sistema automático de dosificación de espumante y colector



Fuente: elaboración propia.

### 3. Equipos de control e instrumentación del sistema

#### 3.1. Medición de flujo y densidad

Para la medición de las variables correspondientes a flujo y densidad, se eligió el sensor Coriolis de flujo y densidad Micro Motion Elite de Emerson (Figura 2); el principio de funcionamiento del sensor implica la inducción de una vibración del tubo de flujo a través del cual pasa el fluido. La vibración, aunque no es totalmente circular, proporciona el marco de referencia giratorio, lo que da lugar al efecto Coriolis; así, mientras que los métodos específicos varían de acuerdo con el diseño del medidor de flujo, este sensor supervisa y analiza los cambios en la frecuencia, desplazamiento de fase y la amplitud de los tubos de flujo vibrantes.

Los cambios observados representan el flujo y la densidad del fluido [7]. Se eligió este sensor por su tecnología multivariable que permite la medición de las variables de densidad y flujo simultáneamente; por su robusto protocolo de comunicaciones industriales, la tecnología DSP (procesamiento de señales digitales) del transmisor ofrece rápidas tasas de actualización y respuesta, los sensores son calibrados de acuerdo a la norma ISO 17025 con una incertidumbre de 0.014 %. La ventaja de este medidor de flujo sobre otros puede ser vista en la forma de instalación puesto que no tienen requerimientos especiales de tubería, no se necesitan tramos rectos de tubería aguas arriba ni aguas abajo, además de ser un instrumento no invasivo.

Figura 2: Sensor de flujo y densidad tipo Coriolis [7].



##### 3.1.1. Transmisor

Para la integración de la medición de las variables de flujo y densidad con el sistema de control, se utilizará el transmisor Micro Motion 9739 MVD de Emerson (Figura 3).

Figura 3: Transmisor Micro Motion 9739 MVD [7].

#### Transmisores Micro Motion® 9739 MVD



El transmisor cuenta con dos salidas análogas configurables de 0 a 20 mA ó 4 a 20 mA, las cuales por defecto vienen configuradas de la siguiente manera:

- Salida primaria en mA: caudal volumétrico.
- Salida secundaria en mA: densidad [8].

#### 3.2. Bombas dosificadoras

Para la dosificación de los reactivos tanto espumante como colector, se eligió la bomba dosificadora de funcionamiento electromagnético (solenóide) *grundfos smart digital* (DDA; Figura 4) por cumplir con las especificaciones de diseño y por su capacidad para manejar condiciones del ambiente, precisión y entrada de señales de control [9]. Esta bomba asegura la dosificación de acuerdo con una señal analógica externa de 0 a 20 mA ó 4 a 20mA (Tabla 1).

Tabla 1: Capacidad de dosificación de acuerdo al modo de operación de la bomba dosificadora grundfos [9]

Operation mode	Input signal	Dosing capacity
4-20	$\leq 4.1 \text{ mA}$	0 %
	$\geq 19.8 \text{ mA}$	100 %
0-20	$\leq 0.1 \text{ mA}$	0 %
	$\geq 19.8 \text{ mA}$	100 %

#### 3.3. Desarrollo del Automatismo

El sistema inicia la dosificación de reactivos con la confirmación del arranque de los siguientes equipos:

- Bomba del tanque de finos menores a 0.25 mm.
- Agitador del tanque acondicionador.
- Agitador de la primera celda.
- Agitador de la segunda celda.
- Agitador de la tercera celda.

**Figura 4:** Bomba dosificadora grundfos [9].

- Agitador de la cuarta celda.
- Paletas 1.
- Paletas 2.

Los datos que debe ingresar el usuario a través del HMI antes de iniciar la dosificación son los siguientes:

- Dosis de espumante (De).
- Gravedad específica de los finos del lodo (s).
- Relación espumante/colector.

Los datos que deben visualizar el usuario en el HMI son los siguientes:

- Consumo de espumante (ml/min).
- Consumo de colector (ml/min).
- Dosis de espumante.
- Dosis de espumante (De).
- Gravedad específica de los finos del lodo (s).
- Relación espumante/colector.
- Toneladas de sólido seco.
- Densidad.
- Flujo.

En la Tabla 2 se describe el número de entradas y salidas tanto digitales como analógicas necesarias para la determinación del *hardware* del automatismo.

**Tabla 2:** Listado de entradas y salidas de tipo analógico y digital

Tipo de entrada/salida	Comentario
8 Entradas digitales	Confirmación de Arranque bomba finos
	Confirmación Agitador tanque Acondicionador
	Confirmación de Arranque Agitador Celda 1
	Confirmación de Arranque Agitador Celda 2
	Confirmación de Arranque Agitador Celda 3
	Confirmación de Arranque Agitador Celda 4
	Confirmación de Arranque Paletas 1
	Confirmación de Arranque Paletas 2
2 Entradas analógicas	Medición de caudal
	Medición de densidad
2 Salidas Analógicas	Consigna de velocidad bomba espumante
	Consigna de velocidad bomba colector

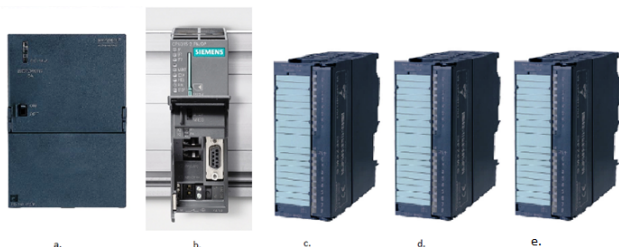
### 3.3.1. Selección de software y hardware

El *software* que se utilizó para programar el automatismo fue TIA Portal V12 de Siemens. El *hardware* para el diseño fue la CPU 315-2 PN/DP con las siguientes características:

- Memoria de trabajo 384KB.
- 0,05ms/1000 instr.
- Conexión PROFINET.
- Comunicación S7 (FBs/FCs cargables).
- PROFINET IO-Controller.
- Soporta RT/IRT.
- Interfaz PROFINET y dos puertos.
- MRP.
- PROFINET CBA.
- PROFINET CBA-Proxy.
- Protocolo de transporte TCP/IP.
- Conexión MPI/DP combinada (MPI o maestro DP o esclavo DP).
- Configuración en varias filas de hasta 32 módulos.
- Ciclo de bus DP equidistante.
- *Routing*.
- *Firmware V3.2*.

Con una fuente de alimentación de carga PS 307 2A 120/230V AC: 24VDC/2A, un módulo de entradas/salidas digitales DI16 24V+16DO 24V/0.5A, un módulo de entradas analógicas AI2/12 a 14 bits y un módulo de salidas analógicas AO2/12 bits (Figura 5).

**Figura 5:** (a) Fuente PS 307 2a. (b) CPU 315-2 PN/DP. (c) Módulo de entradas/salidas digitales DI16 24V+16DO 24V/0.5a. (d) Módulo de entradas analógicas AI2/12 a 14bits. (e) Módulo de salidas analógicas AO2/12bits



Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2. Programación del PLC

La programación del controlador se desarrolló en lenguaje Ladder o escalera con el programa integrado a TIA Portal V12 Step 7, este lenguaje de programación permitió organizar el procesamiento de los datos en bloques organizacionales de función y de base de datos [10]. Cuenta con un bloque organizacional OB1, cuatro bloques de función sin memoria FC1, FC2, FC3, y FC4 y un bloque de datos DB1 donde se almacenan los datos como se muestran en la Figura 6 y que posteriormente se integrarán con la HMI, como se muestran en las figuras 6 y 7.

En el bloque organizacional OB1 se muestra el arranque del sistema de dosificación cumpliendo con las confirmaciones correspondientes y los bloques de función. En el bloque de función FC1 se programaron las ecuaciones para el establecimiento de consumo espumante y colector; dentro de este bloque de función (Figura 7), están programadas las operaciones matemáticas efectuadas entre las diferentes variables obtenidas por sensado y por introducción del usuario a través del HMI para establecer el consumo de reactivos.

En el bloque de función FC2 se programaron las fallas de arranque de las bombas de espumante y colector (Figura 8); dentro de este bloque se programó la activación de un evento de falla después de cinco segundos de no confirmarse el arranque de cada una de las bombas. En el bloque de función FC3 se programó la escalización de las señales de entrada provenientes del

sensor de flujo y densidad; dentro de este bloque se hacen las operaciones matemáticas para hacer la escalización de las señales de entrada correspondientes a flujo y densidad utilizando operaciones de conversión de tipo de datos (Figura 9). En el bloque de función FC4 se programó la escalización de las señales de salida a las bombas dosificadoras; dentro de este bloque se programaron las operaciones matemáticas necesarias para obtener una señal de 4 a 20 mA proporcional al consumo de reactivos (Figura 10).

### 3.4. Diseño de HMI

El diseño del HMI se realizó en el *software* Simatic WinCC flexible, integrado al programa TIA Portal V12 de Siemens, este es un *software* HMI para conceptos de automatización del ámbito industrial que reúne las características sencillez, claridad y flexibilidad en su programación.

El sistema HMI representa la interfaz entre el hombre (operador) y el proceso (máquina/instalación). El PLC posee el verdadero control sobre el proceso. Por lo tanto, existe una interfaz entre el operador y WinCC flexible (en el panel de operador) y una interfaz entre WinCC flexible y el PLC; la ventaja de este *software* es que integra la información de los TAGS programados en el PLC y los elementos de comando y visualización del HMI a través de una comunicación ethernet, asignando direcciones IP tanto al HMI como al PLC y creando la conexión (Figura 11).

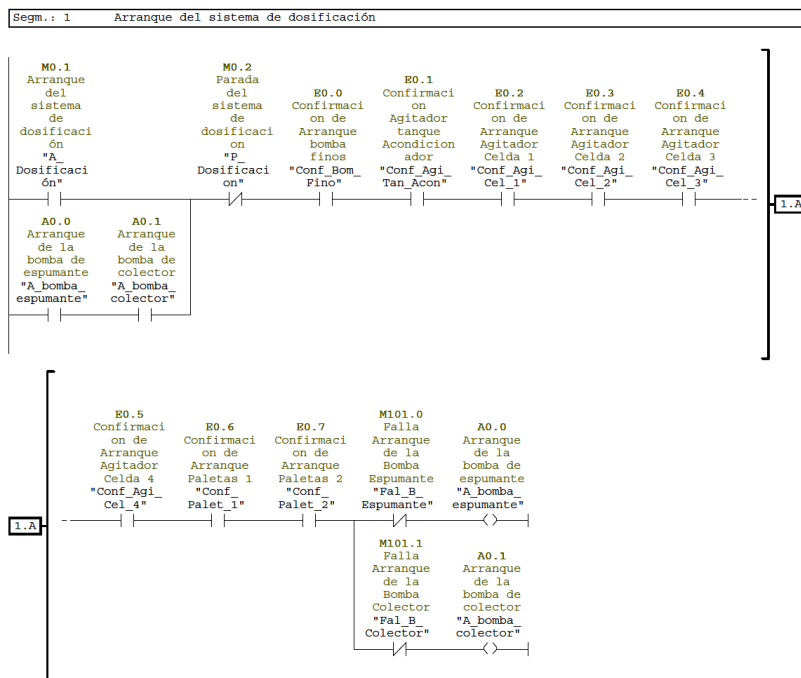
El panel de control del sistema automático de dosificación de reactivos de flotación al que tendrá acceso el usuario, cuenta con cinco indicadores de variables de proceso con fondo azul para indicar que corresponde a visualización, estas son:

- Espumante (ml/min).
- Colector (ml/min).
- Toneladas de sólido seco.
- Densidad (gr/m<sup>3</sup>).
- Flujo (m<sup>3</sup>/hr).

Cuenta con tres ventanas para la introducción de variables de proceso en fondo blanco para indicar que es una ventana de ingreso de datos, estas son:

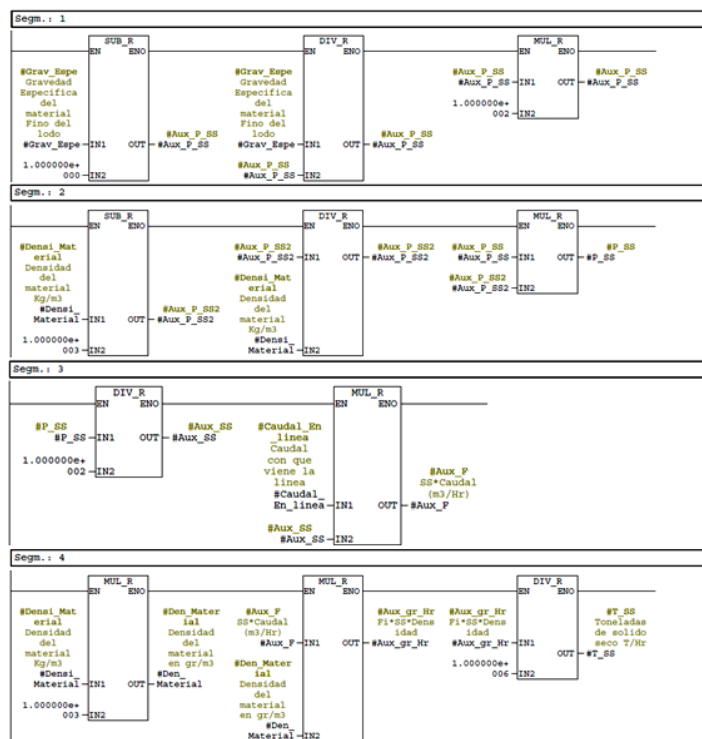
- Dosis de espumante (gr/tss).
- Relación espumante colector.
- Gravedad específica.

Figura 6: Diagrama de bloques de programación y base de datos: cada uno de ellos contiene programación en lenguaje Ladder



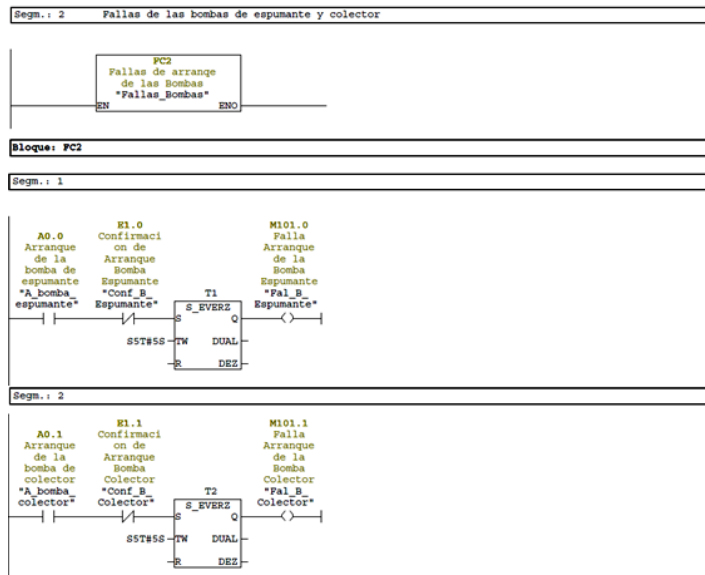
Fuente: elaboración propia.

Figura 7: Bloque de Función FC1



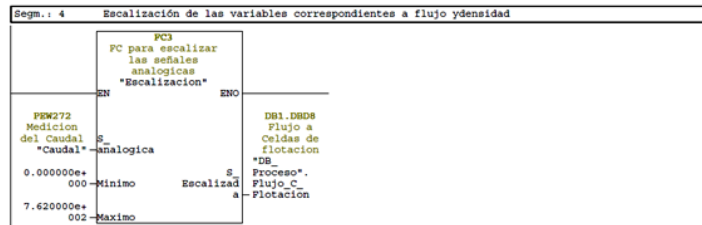
Fuente: elaboración propia.

Figura 8: Bloque de Función FC2



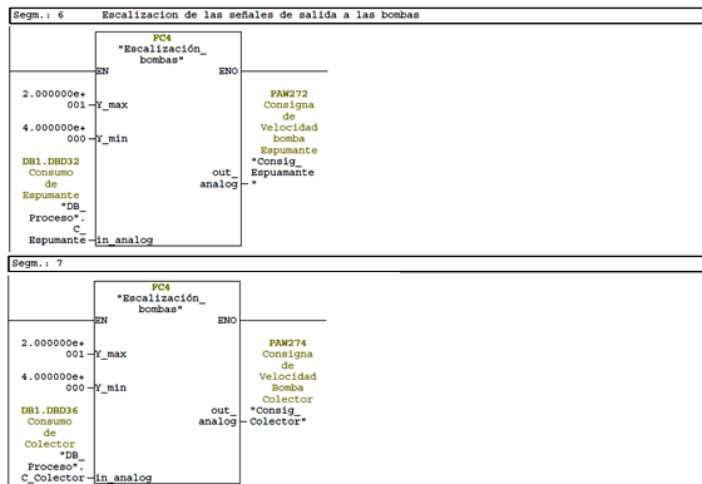
Fuente: elaboración propia.

Figura 9: Bloque de función FC3 escalización de señales



Fuente: elaboración propia.

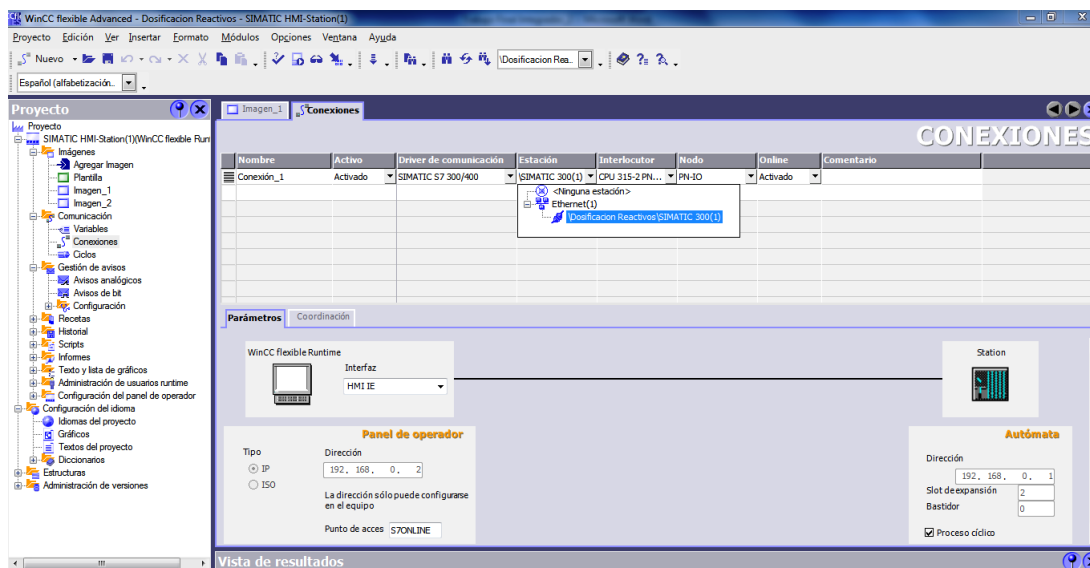
Figura 10: Bloque de Función FC4 escalización de señales bombas dosificadoras



Fuente: elaboración propia.



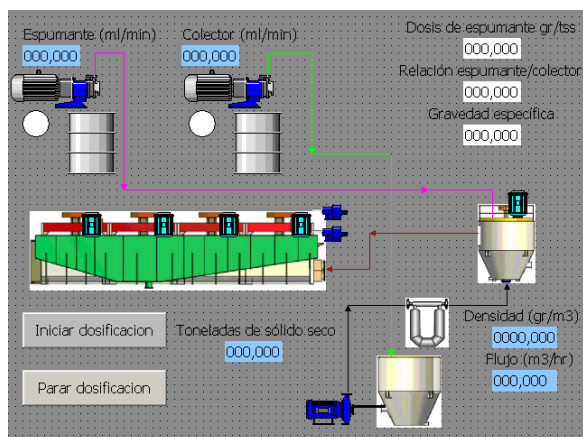
Figura 11: Conexión entre controlador y panel del operador



Fuente: elaboración propia.

La dosificación comienza con la introducción de las variables de proceso correspondientes a “dosis”, “relación espumante/colector” y “gravedad específica”; luego, se selecciona el botón “iniciar dosificación”, en ese momento los motores que estén encendidos se visualizarán en color verde para indicar las confirmaciones de su arranque, en caso contrario aparecerán en gris. Las bombas inician la dosificación siempre y cuando estén confirmados todos los arranques de los equipos; si las bombas de espumante y colector no confirman el arranque, se enciende un testigo de color rojo que parpadea como aviso de falla. Para detener la dosificación se selecciona el botón “parar dosificación”. En la Figura 12 se observa la interfaz de usuario diseñada para la supervisión y control del proceso.

Figura 12: Interfaz de usuario



Fuente: elaboración propia.

#### 4. Conclusiones

- La mejora en la eficiencia del proceso de flotación a partir del control en la dosificación de reactivos debe estar reflejada en la calidad del producto final, con la posibilidad de establecer previamente el porcentaje de cenizas que se desea obtener en la salida del proceso; este indicador debe establecerse por medio de un procedimiento de muestreo realizado por el laboratorio de planta.
- A partir de la descripción del proceso de flotación y su funcionamiento, se concluye que el control en la dosificación de reactivos constituye un factor importante al momento de mejorar la eficiencia del proceso; no obstante, existen otras variables asociadas al proceso que podrían ser analizadas para optimizar el funcionamiento de los equipos que constituyen el sistema, por ejemplo, el aire que ingresa a las celdas de flotación, nivel de espuma y velocidad de los agitadores.
- La instrumentación seleccionada hace parte de una amplia gama de soluciones que ofrece el mercado, en caso de ser implementado el sistema se debería contar con un listado de alternativas de equipos para determinar la mejor opción de implementación de tal forma que sea integrable con los demás procesos de planta.
- El dimensionamiento tanto de instrumentación como de actuadores depende de la capacidad de

procesamiento de material fino del sistema de flotación.

- La lógica de programación expuesta constituye una de las posibles alternativas para el establecimiento del control del sistema.
- El diseño del HMI expuesto representa una solución básica a las necesidades del proceso, existen herramientas propias del software de programación que permiten dinamizar los datos adquiridos por el sistema a lo largo del tiempo de producción para llevar registros a los que pueda acceder el usuario, lo anterior con el fin de tener un mayor control sobre el proceso.

## 5. Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por la empresa Incarsa S.A., la cual proporcionó a lo largo de dos años todo el conocimiento e información requerida a través de sus ingenieros de planta para llevar a cabo este diseño. Gracias al Ingeniero José Alfredo Ríos, quien apoyó con el aporte de sus conocimientos en tratamiento de aguas.

## Referencias

- [1] IV congreso flotamin, “Revisan el estado actual del proceso de flotación”. *Revista Nueva minería y energía*, 20 de enero de 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.jriargentina.com.ar/wp-content/uploads/2012/02/IV-Congreso-de-Flotaci%C3%B3n-Flotamin-2011-Nueva-Miner%C3%ADa-Energ%C3%ADa.pdf>
- [2] Tecsup, “Planta piloto de flotación de minerales”. 20 de enero de 2017, [En línea]. Disponible en: <http://www.tecsup.edu.pe/home/procesos-quimicos/~metalurgicos/infraestructura/planta-piloto-de-flotacion-de-minerales/>
- [3] T. Gouri Charan, “Use of an Artificial Neural Network to Evaluate the Oleo-Flotation Process to Treat Coal Fines”. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, vol. 34, issue 5, 28 Feb, 2014.
- [4] J. Laskowsky, “Coal flotation and fine coal utilization”. *Elsevier*, vol. 14, 4th July 2001.
- [5] M. Klima, B. Arnold, P. Bethell. “Challenges in Fine Coal Processing, Dewatering and Disposal”. USA: SME, 2012.
- [6] “Flotación de Plomo y Zinc”, 20 de enero de 2017. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/245197868/Flotacion-de-Plomo-y-Zinc>
- [7] Micro Motion, “Technical Overview and Specification Summary”. enero de 2017, [En línea]. Disponible en: <http://www.emerson.com/documents/automation/6/6168.pdf>
- [8] Micro Motion, “Manual de configuración y uso Transmisores 9739 MVD”. Cap. 4, Pg. 18, 20 de enero de 2017, [En línea]. Disponible en: <http://www.emerson.com/documents/automation/6/3290.pdf>
- [9] GRUNDFOS “Product Guide, SMART Digital DDA-DDC-DDE”, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://co.grundfos.com/products/find-product/smart-digital-dda-ddc-dde.html>
- [10] P. Mengual, “Step 7 una manera fácil de programar PLC de Siemens”. Alfaomega, Marcombo, 2010.