

Diseño de sistema automatizado de supervisión, medición y control para ensacadora de sulfuros de níquel y cobalto

Maikel Abreu Peña

mabreu5000@gmail.com

Robert Pérez Pérez

rperezperez406@gmail.com

Empresa de Servicio Técnicos de Computación
y Electrónica del Níquel, SERCONI

René Guardiola Romero

reneguardiola1955@gmail.com

Universidad de Moa

Resumen: Se realizó el diseño de la parte automática de una máquina para la dosificación y pesaje de los productos sulfuro de níquel y sulfuro de níquel más cobalto secos, en contenedores flexibles de tipo big-bag. Para ello se utilizó la estructura metálica de una ensacadora descontinuada. Se le instaló un nuevo sistema de control automático y de supervisión, adecuando su funcionalidad a las características físico-químicas del material a envasar. Se realizó el análisis de la documentación de fabricantes, bibliografía actualizada del tema y la experiencia de personal calificado. El diseño permite que la planta de extracción de sulfuros de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara de Moa incorpore la unidad ensacadora automatizada para envasar sulfuros utilizando el paquete tecnológico EROS, adaptado a las severas condiciones en esta industria con un costo mínimo.

Palabras clave: planta de extracción de sulfuros; ensacadora descontinuada; sistema de control automático; sistema de supervisión; ensacadora automatizada.

Design of an automated supervision, measurement and control system for a nickel and cobalt sulfide bagging machine

Abstract: The design of the automatic part of a machine for the dosing and weighing of dry nickel sulfide and nickel sulfide plus cobalt products, in big-bag type flexible containers, was carried out. For this, the metallic structure of a discontinued bagging machine was used. A new automatic control and supervision system was installed, adapting its functionality to the physical-chemical characteristics of the material to be packaged. The analysis of the manufacturers' documentation, updated bibliography on the subject and the experience of qualified personnel was carried out. The design allows the sulfide extraction plant of the Comandante Ernesto Che Guevara factory to incorporate the automated bagging unit to package sulfides using the EROS technology package, adapted to the severe conditions in this industry with minimal cost.

Keywords: sulfide extraction plant; discontinued bagger; automatic control system; monitoring system; automated bagging machine.

Introducción

El níquel es un metal de gran importancia para la industria. Debido a sus propiedades físico-químicas tiene usos muy extendidos para la fabricación de más de 300 000 productos para el consumo industrial, militar, transporte, aeroespacial, la marina y para aplicaciones arquitectónicas (San Martín, 2019).

Aproximadamente el 65 % del níquel que se produce se emplea en la fabricación de acero inoxidable austenítico y otro 12 % en superaleaciones de este metal. El restante 23 % se reparte entre otras aleaciones, baterías recargables, catálisis, acuñación de moneda, recubrimientos metálicos y fundición (Knight Group, 2018).

La industria niquelífera cubana constituye una fuente significativa de ingresos exportables para el país y una importante fuente de empleo para los habitantes de Moa. Se estima que las reservas niquelíferas cubanas representan el 37,3 % de las reservas mundiales de este mineral. Los expertos coinciden en que los yacimientos actualmente en explotación en Cuba tienen asegurada la disponibilidad del mineral para los próximos 18 a 20 años (Martín, García & Medina, 2018).

La Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECG) utiliza la Tecnología de Lixiviación Carbonato Amoniacal (TCA). En el año 2017 se construyó una nueva planta de obtención de sulfuros de Níquel y cobalto, para el pesaje y envase se instaló una unidad ensacadora automática del fabricante danés TEKFA. La unidad ensacadora modelo S20494 es una máquina diseñada para el envase automatizado de sólidos granulados de manera general (Figura 1). Cuenta con una estructura metálica de acero inoxidable AISI 304 un panel de control con una interfase hombre-máquina (HMI) tipo MIKROTEK-2000 BATCH1 y una serie de sensores y actuadores que permiten su operación. Al iniciar sus operaciones no logró la eficiencia esperada en la explotación y se deterioró rápidamente todo el sistema automático.

Esta situación condujo a que el envasado del sulfuro mixto se realizara manualmente y el pesaje se efectuara en una unidad distante del lugar de envase. Dada esta problemática fue necesario automatizar la unidad ensacadora, orientado a las condiciones específicas de esa industria.

Según la búsqueda bibliográfica realizada no se encontró diseño de ensacadoras específicas para sulfuros de níquel y cobalto aunque sí diseños similares (Flores, 2019; Aufderheide & Matteo, 2020).

Este trabajo expone el diseño e implementación de un sistema automatizado, utilizando el paquete tecnológico EROS para la unidad ensacadora en la planta de secado de sulfuros, para lograr eficientemente la supervisión y el control de envase y pesaje de sulfuros de Ni y Co en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.



Figura 1. Dibujo 3D de la unidad ensacadora TEKFA, modelo S20494, ubicada en la ECG, fabricada en Dinamarca.

Materiales y métodos

Dado el buen estado de la estructura metálica de la máquina original se decide soportar sobre ella la nueva automatización del proceso. Las celdas de carga Tadea Huntleigh fueron sustituidas por cuatro celdas U2A del fabricante HBM. Las válvulas de mariposa para control de mineral se repararon y recibieron el mantenimiento requerido.

Se utilizó el paquete tecnológico Familia de Productos EROS. Este dispone entre sus productos el Sistema de Supervisión y Control de Proceso EROS, el Sistema de Pesaje Distribuido EROS PLC-D, la interface comunicación RS232/485 EROS485, la programadora de autómatas cubanos EROS-PG. Dicho paquete se integró para lograr automatizar el proceso de envase. Se utilizaron además son armarios de polietileno con grado de protección IP 67, cables bornas y botoneras e indicadores lumínicos.

Durante el estudio se utilizaron como métodos de investigación el análisis y la síntesis, a fin de establecer una consistente fundamentación teórica del tema, al adoptar puntos de vistas a partir de la crítica a diferentes fuentes, así como establecer generalizaciones

a partir del estado actual en que se encuentra el objeto de estudio y así poder diseñar una solución de ingeniería específica adaptada a las propiedades de los sulfuros y a las condiciones propias de la planta. Se aplicó el método de prueba y error para diseñar del sistema y ajustar su desempeño.

Para la elaboración del proyecto se utilizó el Manual de Gestión de Proyectos de la empresa SERCONI (Mulet & Rojas, 2015). Luego de establecer las bases para el nuevo diseño se determinó que la filosofía de control utilizada por TEKFA no es adecuada para estas sustancias, pues sus características físico químicas producen tupiciones en los conductos.

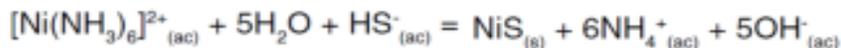
Las deficiencias detectadas en la filosofía de control concebida por el fabricante de la unidad condujeron al cambio de esta en un nuevo diseño. En la versión concebida por TEKFA para el proceso de llenado de los sacos se partía de que el buffer estaba lleno, al abrir la válvula de descarga se llenaba el saco a alta velocidad. Esto fue cambiado por un nuevo método de llenado que consiste en abrir primero la válvula de descarga y luego comenzar a alimentar mineral desde el silo seleccionado mediante el sinfín que une el silo con el buffer y la apertura y accionamiento de la válvula de control y el vibrador del silo seleccionado. De esta manera el buffer trabajando en condiciones normales solo se utilizará como embudo y la velocidad de llenado será mucho más lenta condicionada por el flujo que entrega el tornillo sinfín.

La forma de soplado también sufrió cambios pues pasó de un régimen de soplado continuo a un soplado de corta duración cada 5 minutos.

El aire del instrumento contiene gran cantidad de humedad que reacciona con los sulfuros de manera exotérmica, además los transforma en una sustancia viscosa que se adhiere fuertemente a las paredes de los conductos y ocasiona tupiciones indeseadas.

La selección y el control sobre la salida de los silos también se visualizan desde el SCADA EROS en la sala de control o desde el propio panel de control en el área de la unidad ensacadora.

La precipitación de sulfuros de níquel y cobalto es una de las etapas de la tecnología TCA de las menas lateríticas. Las transformaciones físico-químicas más probables que dan lugar a las precipitaciones de estos compuestos se muestran en las siguientes cuatro reacciones (Rodríguez, 2012).



Ambos sulfuros son altamente higroscópicos y reaccionan de manera exotérmica con el aire atmosférico circundante y son muy corrosivos y dañinos para la salud humana, sus características y métodos de manipulación son una ciencia en estudio.

En la figura 2 se muestra el estado inicial de la unidad y una muestra de los efectos corrosivos de los sulfuros de níquel y cobalto, que destruyeron el HMI y una parte considerable de los sensores y actuadores, pero la estructura metálica de la máquina se encontraba en perfecto estado.



Figura 2. Unidad ensacadora TEKFA en marzo de 2017 a) 1- Buffer de alimentación, 2- Ubicación de la válvula mariposa 3- Soporte del big-bag; b) Detalle del toma muestras del Buffer de alimentación; c) Detalle de la válvula; d) Detalle de plataforma soporte del big-bag.

Arquitectura de control

El diseño de la arquitectura diseñada está basado en el autómata EROS-SPD (Figura 3).

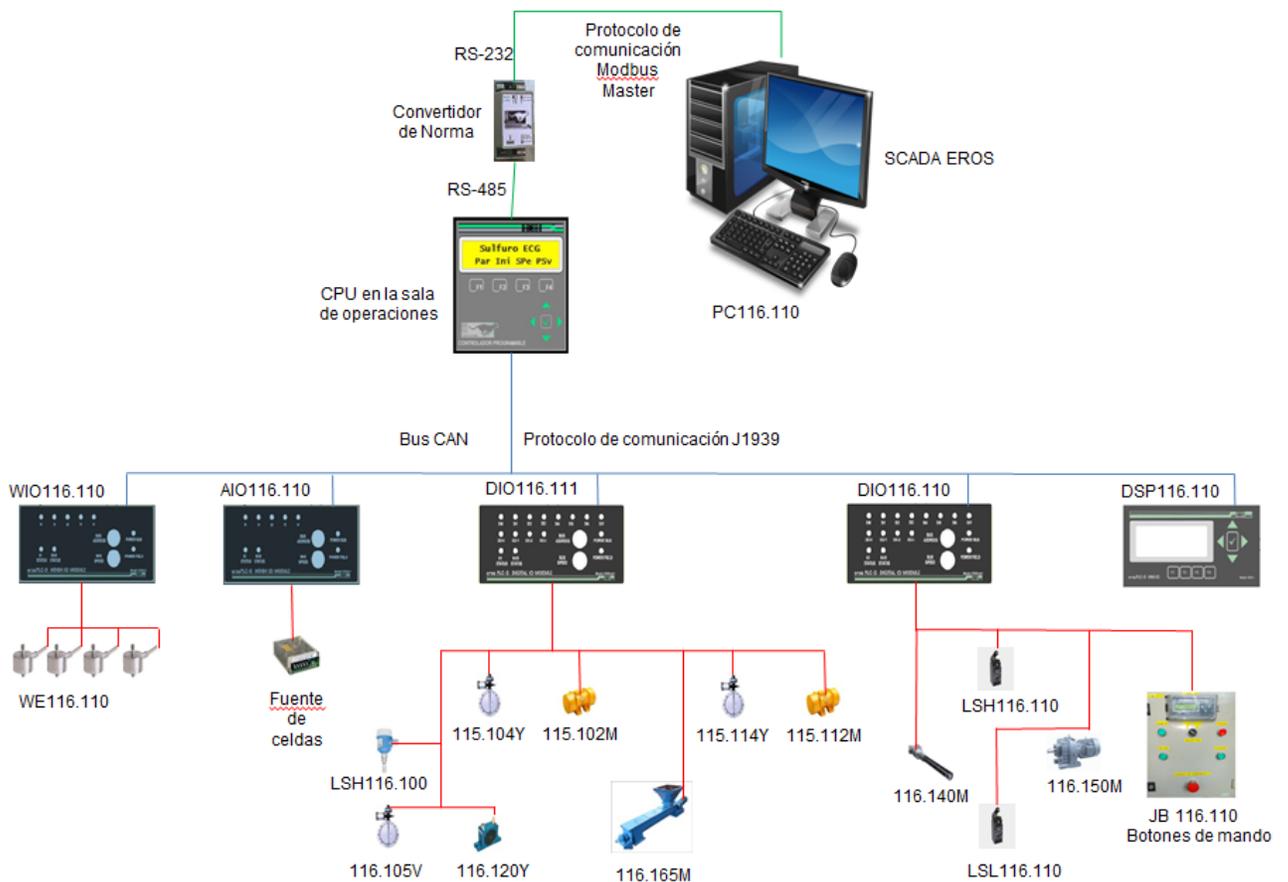


Figura 3. Arquitectura de control diseñada para el sistema de control de la unidad ensacadora.

El SCADA EROS está instalado en la computadora de operación PC116.110 que se conecta con la CPU del PLC WIC116.110 mediante un convertidor de norma, el convertidor tiene por el lado de la PC el estándar de comunicación RS-232 y por el lado del PLC el RS-485. Tanto en la PC como en PLC para gestionar la supervisión y el control se guardan datos históricos del comportamiento de las variables y se calculan estadísticas útiles para la planta.

La CPU del PLC está interconectada con los módulos de entrada/salida WIO116.110, AIO116.110, DIO116.110, DIO116.111 y DSP116.110 mediante Bus CAN de alta velocidad empleando el protocolo de comunicación J1939.

El módulo de entrada analógica de bajo nivel WIO116.110, es el encargado de recibir las señales de pesaje de las celdas. La variable medida es directamente proporcional a la masa total de la plataforma de pesaje más el peso del big-bag. Las cuatro celdas

de carga sostienen todo el peso de los elementos antes mencionados, estas cuatro celdas son de 500 kg.

El módulo de entradas y salidas analógicas de alto nivel AIO116.110 toma una muestra del voltaje de la fuente de celdas PS116.110 para medir su valor. Esta medición es importante para saber diagnosticar la calidad de la medición del pesaje.

Los módulos de entradas y salidas digitales DIO116.111 y DIO116.110 reciben todas las señales de los sensores y detectores del sistema. Mediante sus salidas digitales actúan sobre el sistema de control accionando válvulas y motores.

El módulo display DSP116.110 actúa como interface para que el usuario que se encuentra en el campo, visualice todo el proceso y pueda realizar todas las operaciones siempre que le sea permitido por el operador de la sala de control.

Diagrama P&ID

El diseño del diagrama de instrumentación y tuberías (P&ID) es una tarea que está estrechamente relacionada con la arquitectura y la filosofía de control. Estas tareas se deben realizar de forma simultánea pues dependen entre sí y están en concordancia con el flujo tecnológico de la planta. El diseñador escoge los sensores, actuadores y detectores necesarios para medir, controlar y supervisar el proceso y otorgarle la ubicación apropiada (Domínguez, 2017).

El P&ID original de la planta (Figura 4) no contaba con la capacidad de resolver el problema de llenado big-bags, por lo que se decide hacer un nuevo diagrama con la capacidad de soportar la arquitectura existente y cumpliera a cabalidad el objetivo de su diseño.

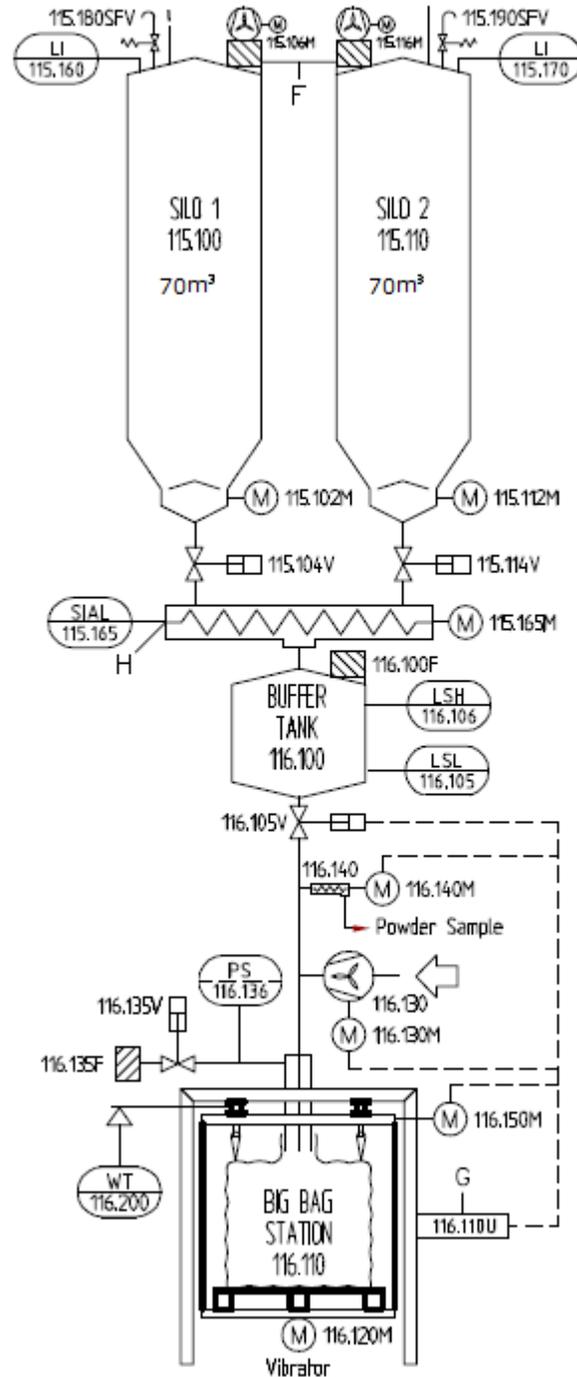


Figura 4. P&ID original de la planta.

La figura 5 muestra el nuevo diagrama de instrumentación y tuberías. Para diseñar este diagrama se parte de la tarea técnica entregada por el cliente, el P&ID original de la planta y las visitas realizadas a la instalación luego de la revisión bibliográfica actualizada. En este esquema se ilustra mediante una descripción gráfica la filosofía

general de operación, la instrumentación correspondiente, tipos de mediciones y los lazos de medición, el diseño se hace con base en los estándares de la ISA 5.1-5.5.

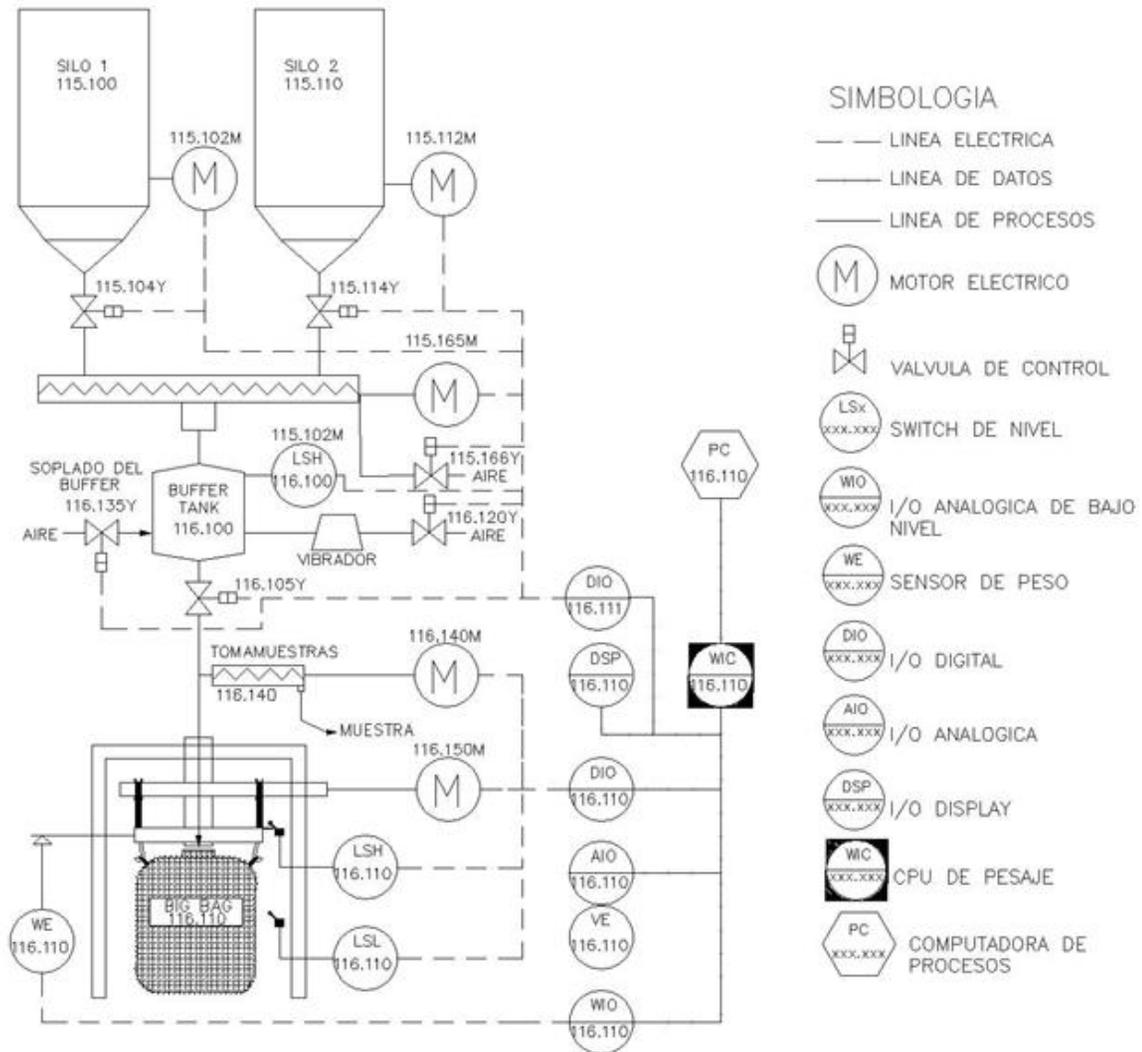


Figura 5. Diagrama instrumentación y tuberías (P&ID) diseñado por el autor.

P&ID resultante y variaciones

El sulfuro de níquel y el sulfuro de níquel más cobalto secos, se almacenan en el silo 1 (115.100) y silo 2 (115.110) respectivamente, cada uno de ellos tiene asociado un vibrador (115.102M), 115.112M) y una válvula de salida (115.104Y, 115.114Y), ambas válvulas descargan en el transportador de tornillo movido por el motor (115.165M). En el buffer el detector de nivel de sólidos (LSH116.100). Los elementos se mostraban en el P&ID del fabricante, pero no eran controlados por el sistema de dosificación y pesaje. Todos los elementos antes mencionados fueron conectados al

PLC de la ensacadora y ahora forman parte de su sistema de control. La razón de este cambio fue poder disminuir el flujo de mineral que entra en el big-bag, a fin de lograr una mayor exactitud y precisión en el llenado.

Al buffer (116.100) se le monta el vibrador (116.120Y), este vibrador antiguamente se encontraba en la plataforma de pesaje, y ahora es adosado al buffer para facilitar el descenso del mineral. El vibrador (116.120Y) se energiza de conjunto con la válvula de descarga (116.105Y) en la salida del buffer, esta válvula descarga en el conducto al que se acopla directamente al big-bag.

El big-bag para ser acoplado en el conducto de salida del buffer, se cuelga en cuatro ganchos que tiene la plataforma de pesaje, que a su vez, está provista de cuatro celdas de pesaje de 500 kg (WE -116.110). Estas cuatro celdas sostienen una plataforma de pesaje en la que se cuelgan los big-bags (116.110). La boca de las bolsas se acopla al conducto ubicado en el centro de la plataforma y se fija a esta por medio de una presilla.

La estructura que sostiene las celdas pende de cuatro cintas, las que al ser enrolladas y desenrolladas en un eje que está acoplado a un motor-reductor (116.150M) sube y baja los big-bags. Dos "switches" de fin de carrera (LSH-116.110; LSL-116.110) limitan el movimiento ascendente y descendente de la estructura.

El motor (116.120M) acoplado a un reductor que toma muestras cada vez que se esté llenando un saco. La válvula (116.135V) permite el soplado del buffer cada cierto tiempo para evitar las incrustaciones de mineral en las paredes del mismo.

En el armario (JB-116.110) se ubican los módulos de I/O:

- La I/O digital (DIO-116.110) y la (DIO-116.111) que reciben las señales de elementos de campo y envía señales digitales para el accionamiento de las válvulas y motores.
- La I/O analógica de bajo nivel (WIO-116.110), que convierte las señales de las celdas de pesaje (mV) en formato digital.
- La I/O analógica de alto nivel (AIO116.110) para medir el voltaje de la fuente de celdas. La calidad del pesaje depende en gran manera de este parámetro, es por ello que se mide para informar al operador del estado del mismo, además aporta

información sobre el estado de las celdas de pesaje. La figura 4 muestra los armarios de control de la unidad de dosificación y pesaje.

El armario (JB-116.111) de la figura 6a, tiene acoplada la I/O display (DSP116.110) que se muestra en la figura 6b, éste permite visualizar el proceso y operar la unidad ensacadora.

Los módulos I/O antes mencionados, se conectan vía Bus CAN, al módulo CPU (WIC116.110) que se encuentra ubicado dentro de la sala de control en el armario JB-116.113 que se observa en la figura 6c.

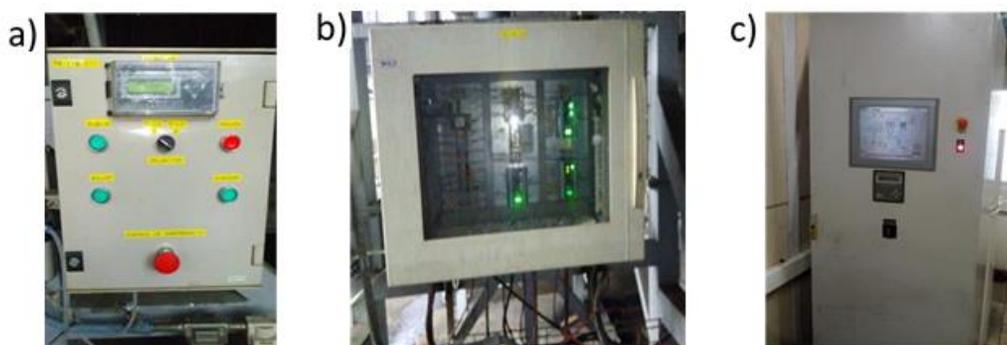


Figura 6. Armarios de control de la unidad de dosificación y pesaje.

Este P&ID está estructurado en perfecta armonía con la arquitectura de control, junto con la plataforma donde se sustenta el SCADA y donde se aplicará una nueva filosofía de control acorde al proceso. Mediante el SCADA se supervisa y controla el proceso con una elevada precisión y fiabilidad, que incluyen la integración en el control de los actuadores de los silos y del transportador de tornillo sinfín, elementos claves para lograr resolver los problemas tecnológicos de la planta. Esto constituye una gran ventaja frente a sistemas similares disponibles en el mercado.

Nueva filosofía de supervisión y control

El motivo de las deficiencias comunes a las ensacadoras típicas, es que estas ensacadoras están diseñadas para un propósito general y las condiciones de la planta exigen un diseño a medida que se integre perfectamente al proceso.

Las deficiencias detectadas en la filosofía de control concebida por el fabricante de la unidad, condujeron al cambio de ésta en un nuevo diseño. En la versión concebida por TEKFA para el proceso de llenado de los sacos se partía de que el buffer estaba

lleno, al abrir la válvula de descarga se llenaba el saco a alta velocidad. Esto fue cambiado por un nuevo método de llenado que consiste en abrir primero la válvula (116.105Y) y luego comenzar a alimentar mineral desde el silo seleccionado mediante el sinfín (115.165M) y la apertura y accionamiento de la válvula de control y el vibrador del silo seleccionado. De esta manera, el buffer trabajando en condiciones normales, solo se utilizará como embudo, de manera que la velocidad de llenado será mucho más lenta, condicionada por el flujo que entrega el tornillo sinfín (115.165M). Esto mejora la precisión y calidad del proceso.

La selección y el control sobre la salida de los silos también se visualizan desde el SCADA EROS en la sala de control o desde el propio panel de control en el área de la unidad ensacadora.

Otro cambio importante se hizo eliminando de la plataforma de pesaje a la plataforma vibradora y colocando el vibrador de la plataforma (116.120M) en el buffer para facilitar el descenso del mineral y evitar las incrustaciones. La forma de soplado también sufrió cambios pues pasó de un régimen de soplado continuo a un soplado de corta duración cada 5 minutos. El aire del instrumento contiene gran cantidad de humedad que reacciona con los sulfuros de manera exotérmica, además los transforma en una sustancia viscosa que se adhiere fuertemente a las paredes de los conductos y ocasiona tupiciones indeseadas. Es por esta razón que el régimen de soplado constante, durante la descarga, desaparece. En su lugar, mientras se produce la descarga, se soplará el buffer, con un breve lapso de tiempo, es decir, a intervalos. Este espacio de tiempo será ajustable por los operadores.

La bolsa de goma que se utilizaba para hermetizar la unión entre la boca del saco y el conducto se encontraba irremediablemente dañada, para esta situación no se encontró remplazo. Este elemento no es indispensable, por lo que se elimina su uso, en su lugar se remplazó con una presilla de presión que el operador coloca de forma manual.

El proceso de llenado y pesaje del big-bags cambió drásticamente. El big bag es acoplado al conducto por el que desciende el sulfuro, y colgado de la plataforma de pesaje, luego se oprime el botón Subir (SUB-001), la bolsa comienza a subir mediante el mecanismo acoplado al motor (116.150M) hasta que el límite de fin de recorrido (LSH-116.110) interrumpa el ascenso. Esta condición es necesaria para que se inicie el

llenado. El silo 1 contiene sulfuro de níquel y el silo 2 sulfuro de níquel más cobalto. Mediante el conmutador (SEL-001) se selecciona el silo del cual se extraerá mineral, éste ordena una salida digital (DIO-001) energizando la válvula y el vibrador asociado a cada silo.

Antes de comenzar las operaciones se tara la plataforma de pesaje sin el big-bag, para saber el peso de la plataforma de pesaje sin ningún tipo de carga. Luego se tara nuevamente con el big-bag vacío, estos datos son condiciones para el comienzo del proceso de llenado. El llenado se produce actuando sobre dos señales digitales; la primera (DIO-000) que abre la válvula del buffer (115.105Y) y la otra (DIO-001) que energiza los motores del transportador de tornillo (115.165M) del vibrador del buffer (116.120M) y, en dependencia del selector de silo (SEL-001) energiza el vibrador y abre la válvula del silo deseado. Para el silo 1 la válvula y el vibrador son (115-104Y) y (115-102M) respectivamente y, para el silo 2, la válvula y el vibrador son (115-114Y) y (115-112M) en ese mismo orden.

El SEL-001 tiene un borne (SEL-NC2-2) de salida que pone 0-24 V que entra como señal digital (INT1-1) para saber cuál es el silo seleccionado en ese momento. Otra señal digital (DIO-003) abre la válvula solenoide (115.135Y) que controla el soplado, esta tiene una función de temporización que cada 5 minutos sopla el buffer durante 3 segundos para evitar incrustaciones, estos tiempos son configurables por un usuario con jerarquía para hacerlo.

Cuando el big-bag contiene un peso próximo al valor deseado (por diseño 1000 kg), se desconecta la alimentación eléctrica del tornillo sinfín (115.165M) y la del vibrador del silo en operación y su válvula correspondiente, además se cierra la válvula de descarga (116.105Y).

Se tiene en cuenta que el retardo de tiempo para el cierre de la válvula del buffer es aproximadamente de cuatro segundos, porque el mineral que aún se encuentra descendiendo por el conducto, continúa cayendo dentro big-bag, luego de comenzar la operación de cierre hasta que la válvula de descarga (116.105Y) se cierra totalmente.

Si la masa de la bolsa no alcanza el valor deseado, el operador puede forzar la caída de mineral pulsando el botón forzar (FRZ-001) con el que se abre la válvula (115.105Y). Con el mineral atrapado en el buffer debe de ser suficiente para alcanzar

el *setting*. Si se desea detener momentáneamente el proceso de llenado se oprime el botón Pausa (PAU-001), que detiene todas las operaciones. En ese momento será posible bajar la bolsa presionando el botón (BAJ-001), para reanudar la operación, se oprime el botón Pausa (PAU-001) nuevamente.

Si la plataforma de pesaje no está en nivel alto, porque se bajó el big-bag, no se continuará el llenado del saco, aunque se oprima el botón Pausa (PAU-001), hasta que no se cumplan todas las condiciones para la reanudación del llenado.

Una vez lleno el big-bag, el operador debe de esperar un tiempo prudente para que se asiente el polvo dentro del saco y al bajar la estructura no se expulsen partículas al ambiente (OIT y OMS, 2018). Pasado este tiempo se oprime el botón bajar (BAJ-001), hasta que el límite (LSL116.110) detecte que la bolsa está en nivel bajo donde se podrá desacoplar la bolsa para llevarla al almacén.

Programación

La programación del EROS-SPD la realiza un equipo de trabajo de la división de automática, para ello se usan conjuntamente los softwares IsaGRAF y EROS-PG. Se toma como punto de partida la arquitectura de control y el diagrama P&ID propuestos, los diagramas de lazos y las interconexiones eléctricas del hardware, tal y como se montó en el campo y se documentó en los planos *As Built*. Con esta información se configura un hardware similar en IsaGRAF con la misma distribución de entradas y salidas (Instrument Society of America, 2009). La programación está compuesta por instrucciones, funciones y subprogramas que son desarrollados en los lenguajes ST, LD y FBD, según la conveniencia del programador en dependencia de la tarea específica de cada parte del programa.

La descripción de la filosofía de control, del P&ID, y de los Interlocks, unido a los listados de variables y señales, constituyen la base para desarrollar la lógica del programa que se desarrolla en IsaGRAF. El proyecto se nombró ECGSULF.

Configuración del sistema de supervisión y control

El SCADA EROS versión 5.11 se instaló en la máquina de operación de la sala de control. El SCADA se configura para lograr la comunicación con la CPU (Figura 7), a fin de obtener todos los datos de cada punto de medición y procesarlos estadísticamente

para cumplir el objetivo de este proyecto, parametrizar la báscula y supervisarla desde la sala de control.

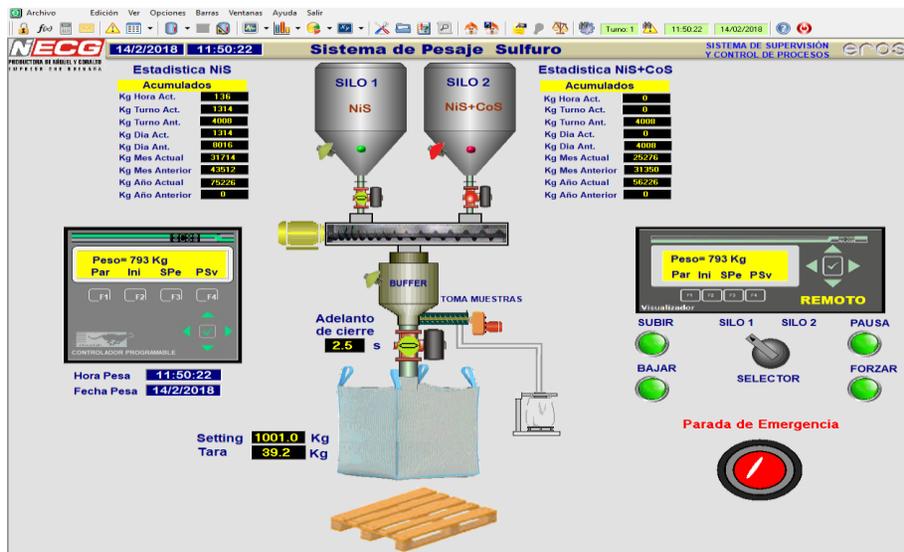


Figura 7. Pantalla inicial en el SCADAEROS. Imagen de pantalla del sistema en 2018.

Los pasos fundamentales que se realizan en el proceso de configuración del SCADA EROS son:

- Configuración de red
- Configuración de variables
- Configuración de alarmas
- Configurar mímicos del sistema de pesaje.

Resultados y discusión

Al proceder a caracterizar el estado actual de los sistemas de supervisión y control de ensacadoras automatizadas y sus componentes, se pudo desarrollar el marco referencial para las ensacadoras de big-bags requeridas en este proyecto, de modo que se puede reafirmar lo siguiente como resultado:

1. Se modificó la arquitectura de control, en la que un PLC distribuido EROS-SPD mejora la eficiencia tecnológica, la respuesta a los fallos y simplifica la atención a posibles averías del sistema, demostrando la calidad de la tecnología cubana frente a otras variantes internacionales evaluadas.

2. Se modificó el P&ID y la filosofía de control, lo cual adecua el sistema de dosificación y pesaje a las características físico química de los sulfuros y a las condiciones físicas

del lugar, lo que constituye una mejora cualitativa y cuantitativa en el proceso de dosificación y en la exactitud y precisión del pesaje.

3. Se instaló y configuró un sistema de supervisión y control para la ensacadora automatizada, utilizando el paquete tecnológico EROS, adecuada para sulfuros de níquel y níquel más cobalto en la planta de secado.

4. Se realizaron pruebas finales que demostraron las ventajas técnicas, económicas, sociales y medioambientales del nuevo sistema instalado (Figura 8).



Figura 8. Unidad ensacadora totalmente restaurada en prueba de funcionamiento: Fuente: foto del archivo ECG.

Los resultados alcanzados incidieron positivamente tanto en lo económico, como en lo social y medio ambiental, lo que produjo la satisfacción del cliente y del equipo de trabajo que intervino en el proyecto (Mulet & Rojas, 2015).

Respecto al aspecto económico, se aclara que una unidad ensacadora similar a la unidad TEKFA restaurada, cuesta 45 000 USD. El costo del diseño e implementación de la automatización de la ensacadora costó 677 334.54 CUP. Según la tasa de cambio de moneda en el momento actual, se logró ahorrar la suma de 27 093.38 USD por concepto de sustitución de la importación.

Si se hubiese realizado el proyecto utilizando la variante 2 de solución mediante tecnología Siemens para restaurar la unidad ensacadora, el costo de los materiales y componentes en el mercado actual basado en valores de los principales sitios de venta

en internet está en el orden de 16 412.4 USD, si a ello se le agrega 14 536.80 USD de labores de ingeniería programación y asistencia técnica, el costo estimado del proyecto asciende a 30 942.2 USD. Además del gasto adicional esta solución implica importación de todos los productos y servicios. En el cálculo económico de la variante 2 no se tiene en cuenta en el posible servicio de postventa ni la compra de licencias para el uso de Scada Wincc o Citect (Flores *et al.*, 2019).

Respecto al aporte social es significativo que se logró humanizar el proceso de empaque de sulfuros, ya que se realizaba de forma totalmente manual al momento de inicio de este proyecto. Las transformaciones introducidas disminuyen el tiempo de exposición del personal a los sulfuros y la manipulación de los volúmenes dentro de los big-bags para lograr el peso neto requerido para efectuar la venta internacional. También al disminuir la manipulación directa de las sustancias cancerígenas y mutágenas por parte de los operarios, se protege en gran medida la salud de ellos, cuidando su vida que es el bien máspreciado.

El impacto medioambiental está dado debido a que los sulfuros de Ni y Co son altamente cancerígenos y múgatenos, muy perjudiciales sobre todo para el sistema respiratorio humano, además dañan las estructuras metálicas, los circuitos electrónicos y las maquinarias. El mayor aporte en este sentido es la disminución de las emisiones de partículas de sulfuro al ambiente circundante, lo cual disminuyó drásticamente la contaminación ambiental.

Conclusiones

Se diseñó un sistema de supervisión, medición y control para la ensacadora automatizada, adecuada para sulfuros de níquel más cobalto en la planta de secado de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Se implementó un sistema automatizado para el envasado y pesaje del sulfuro de Ni y Co, utilizando el paquete tecnológico de la familia de productos EROS para la unidad ensacadora de sulfuros de níquel y cobalto, con un costo mínimo, lo que contribuye a la sustitución de importaciones. Se comprobó que se ha logrado fiabilidad en el pesaje del producto y aumentar la eficiencia de la planta de secado de sulfuro.

Se configuraron las variables y parámetros al configurarse el sistema: tiempo de retardo del cierre para la válvula de llenado, tiempo de muestreo, así como el peso deseado y la calibración del sistema.

Referencias bibliográficas

AUFDERHEIDE, D. AND DI MATTEO, L. 2020. Toward Intelligent, Accurate Dosing and Weighing Systems for Bulk Materials. *Cement Americas* 1: 19-28.

DOMÍNGUEZ, T. 2017. Creación de sistema de sensores. Repositorio Institucional del ITESO. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. México. Disponible en: <https://www.semantic scholar.org>.

FLORES, E., QUEZADA, J., TAPIA, J., CASIANO, R. & CALDERÓN, R. 2019. Integración de sistema SCADA y arquitectura distribuida para la automatización de un proceso de llenado de contenedores y molienda de grano título principal. *Boletín Científico INVESTIGIUM de la Escuela Superior de Tizayuca* 4(8).

INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA. 2009. Instrumentation Symbols and Identification, in *ANSI/ISA-5.1-2009*, ed Research Triangle Park, N.C.

KNIGHT GROUP. 2018. Aleaciones de Níquel, PMAR75 Spanish Knight Group Nickel Alloys. Disponible en: www.knight-group.co.uk.

MARTÍN, E.; GARCÍA, M. & MEDINA, Z. 2019. Hacia el desarrollo sostenible de la industria niquelífera cubana. *Economía y Desarrollo* 162(2).

MULET, C. & ROJAS, A. 2015. *Manual de gestión de proyectos*. Division de Automatización, SERCONI.

RODRÍGUEZ, J. 2012. Recuperación de cobalto por lixiviación ácida apartir de los residuales sólidos de la tecnología carbonato amoniacal. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa.

SAN MARTÍN, J. 2019. *Estudio de procesos metalúrgicos orientados a la producción de níquel*. Trabajo de diploma. Universidad de Concepción, Chile.