



Implementación de un Sensor de Nivel en el Tanque Industrial 334HP9004 en Minera Panamá Área de Flotación Columnas

**Autor:
Alvaro Aparicio Becerra**

**Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Cartagena, Colombia
2022**

Implementación de un Sensor de Nivel en el Tanque Industrial 334HP9004 en Minera Panamá Área de Flotación Columnas

Alvaro Aparicio Becerra

Código 20441422520
aaparicio83@uan.edu.co

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar el título de:
Ingeniero Electrónico

Director:
Ing. Bashir Yacub Bermúdez

Línea de Investigación:
Instrumentación y Control

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Cartagena, Colombia
2022

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

A mi esposa y mis hijas

Porque sin su apoyo y motivación este gran logro profesional en mi vida no tendría sentido, y tantos esfuerzos serian en vano, sino fuera por haberlos vivido juntos de la mano.

Las amo y son mi todo.

Agradecimientos

A Dios mi padre Eterno y misericordioso.

A mi esposa e hijas.

A mis padres por su amoroso apoyo y orientación permanente en mi vida.

A los docentes de la UAN por tantas cosas aprendidas y su maravilloso don de la educación.

A mis compañeros de lucha académica Javier y Luis Guillermo por tantas cosas vividas y aprendidas a lo largo de este bello proceso del crecimiento en la ingeniería.

A Minera Panamá por darme todas las facilidades de ejecutar mi proyecto de grado.

Resumen

En la ejecución de este proyecto se busca dar solución a condiciones que en Instrumentación y Control son fundamentales, como lo son, la confiabilidad de la operación del instrumento por sus diferentes condiciones en las que esta expuesto y también que brinde una correcta respuesta a lo que una organización busca en sus procesos de costo/beneficio dado el universo de marcas y tecnologías que pueden ser insostenibles para muchas industrias.

Finalmente, y no menos importante es el poder seleccionar el sensor que dentro de las opciones de control, nos brinde una medición transparente y sin ruido que permita ejecutar el control hacia las bombas en tiempo real para mantener el nivel del tanque de forma automática y estable.

Poder corregir los fallos de nivel y por ende evitar al máximo los derrames por rebose del tanque es el mejor desempeño que el proyecto busca dejar en el área de Flotación-Columnas de Cobre Panamá.

Palabras Clave: Lazo de Control, Control Industrial, Instrumentación.

Abstract

In the execution of this project, it is sought to provide a solution to conditions that are fundamental in Instrumentation and Control, such as the reliability of the operation of the instrument due to its different conditions in which it is exposed and also that it provides a correct response to what an organization looks at its cost/benefit processes given the universe of brands and technologies that may be unsustainable for many industries.

Finally, and no less important, is the ability to select the sensor that, within the control options, provides us with a transparent and noise-free measurement that allows the control to be executed towards the pumps in real time to maintain the level of the tank automatically and stable.

Being able to correct level failures and therefore avoid spills due to overflow from the tank to the maximum is the best performance that the project seeks to leave in the Cobre Panama Flotation-Columns area.

Keywords: Control Loop, Industrial Control, Instrumentation.

Contenido

	Pág.
Introducción.....	1
1. Descripción del problema.....	2
1.1 Planteamiento del Problema.....	4
1.2 Objetivos.....	7
1.2.1 Objetivo general.....	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	7
1.3 Metodología.....	7
2. Marco Teórico.....	9
2.1 Cobre Panamá.....	9
2.2 Minería y Procesamiento.....	10
2.3 Proceso de flotación.....	10
2.3.1 Flotación.....	10
2.3.2 Etapas de la flotación.....	12
2.3.3 Control y operación de columnas de flotación convencionales.....	14
2.3.4 Control de nivel de columna de flotación.....	15
2.3.5 Control de nivel 334-HP-9004.....	16
2.3.6 Condiciones físicas y de operación tolva 334-HP-9004.....	17
2.4 Sistema de Control en planta.....	20
2.4.1 Sensor de nivel en 334HP9004.....	22
2.4.2 Errores en Sensor de nivel de Tanque 334HP9004.....	23
3. Desarrollo del proyecto de ingeniería.....	25
3.1 Selección del sensor de nivel para tanque 334HP9004.....	25
3.2 Sensor de nivel Micropilot FMR62.....	26
3.2.1 Ventajas del sensor FMR62.....	26
3.2.2 Características y especificaciones del sensor Micropilot FMR62.....	27
3.2.3 Configuración del sensor Micropilot FMR62.....	28
3.2.4 Condiciones de instalación.....	37
3.2.5 Cables del transmisor y del display 332LIT9132A.....	40
3.2.6 Display Remoto de indicación local y configuración.....	43

3.2.7 Base de soporte transmisor 334LIT9132A	44
3.2.7 Señal de conexión en gabinete CPL 334CPL9201	46
4. Resultados	49
4.1 Instalación y selección	49
4.2 Configuración.....	49
4.3 Facilidades y acceso a configuración	49
4.4 Principales Logros.....	50
5. Conclusiones y Recomendaciones	522
5.1 Conclusiones	522
5.2 Recomendaciones.....	53
Anexos	544
Anexo 1. Plano impactado al cableado del Gabinete 334CPL9201, se resalta en recuadro la modificación. El nuevo sensor de nivel 4-20 mA con tag 334LIT9132A.	544
Anexo 2. Tensión de alimentación a dos hilos 4-20 mA Hart pasivo (Endress&Hauser), en el sensor Micropilot FMR62 Endress&Hauser.....	555
Anexo 3. Registro de Orden de Trabajo en JDE por Modificación e instalación de nuevo sensor en 334HP9004	566
Anexo 4. Carta aprobación Tesis Minera Panamá.....	57
Bibliografía e Infografía	588

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1- 1: Ángulo del sensor FMR50.....	4
Figura 1- 2: Plano Isométrico del Tanque 334HP9004.....	5
Figura 1- 3: Tanque con aparición de burbujas o espumas	6
Figura 2-1 Adherencia de partículas de Cobre en Aire.....	12
Figura 2-2 Esquema celda de flotación por espuma	13
Figura 2-3 Diagrama PID Columna de flotación de Cobre	14
Figura 2-4 334-HP-9004	17
Figura 2-5 Vista superior 334HP9004	18
Figura 2-6 Concentrado de cobre en 334HP9004	18
Figura 2-7 Vista lateral 334HP9004 y Bomba de succión 334PP9020.....	19
Figura 2-8 Vista lateral tolva 334HP9004 y tuberías de ingreso de Concentrado grueso de cobre, adición de agua y adición de cal.....	20
Figura 2-9 Arquitectura red Siemens ST PCS 7 lado derecho (Profibus DP).....	21
Figura 2-10 Panel de control de Campo 334CPL9201	22
Figura 2-11 Micropilot FMR52 Endress&Hauser	23
Figura 2-12 Ángulo de abertura del haz	24
Figura 3-1 Medidas del Tanque 334HP9004	29
Figura 3-2 Ajustes de configuración	29
Figura 3-3 Ajuste → Tipo de tanque: Proceso estándar.....	30
Figura 3-4 Ajuste → Grupo de producto: Otros.	30
Figura 3-4 Ajuste → Grupo de producto: Otros.	30
Figura 3-5 Ajuste → Calibración vacío o valor E: 6,0 metros.	31
Figura 3.6 Ajuste → Calibración lleno: 4,9 metros.....	32
Figura 3-7 Ajuste → Ajuste avanzado → Nivel → Unidad del nivel: %.....	32
Figura 3-9 Nivel → Velocidad Máxima de Llenado en Líquidos: estándar < 1m/min.	33

Figura 3-10 Nivel → Velocidad Máxima de Vaciado en Líquidos: estándar < 1m/min	34
Figura 3-11 Nivel → Distancia de bloqueo: 0,9 metros.	34
Figura 3-12 Nivel → Altura del Tanque/Silo: 6,150 metros.....	35
Figura 3-13 Nivel → Tipo de producto: líquido.	35
Figura 3-14 Salida de corriente 1...2 → Correspondencia salida de corriente: Nivel Linealizado	36
Figura 3-13 Salida de corriente 1...2 → Rango de Corriente: 4 -20 mA Namur ...	36
Figura 3-14 Salida de corriente 1...2 → Atenuación salida: 3 segundos.....	37
Figura 3-15 Orientación – Productos líquidos.....	38
Figura 3-16 Instalacion final en 334HP9002.....	38
Figura 3-17 Instalación final y disposición de tuberías	39
Figura 3-18 Disposición tuberías protección cables	39
Figura 3-19 Cable M12 de conexión transmisor/display.....	43
Figura 3-20 Display FHX50 y Cable M12 de 8 pines.....	44
Figura 3-21 Construcción base de sensor Micropilot FMR62	45
Figura 3-22 Fabricación techo de protección Sensor de nivel Micropilot FMR62 .	45
Figura 3-23 Base, Sensor de nivel y techo de protección armados en taller.....	46
Figura 3-24 Ruta de cable alimentación/lazo de 4-20 mA desde sensor de nivel hasta el gabinete 334CPL9201	47
Figura 3-25 Gabinete de control y distribución 334CPL9201	47
Figura 3-26 Módulo de entradas análogas 4-20 Modelo 331-7TF01-0AB0.....	48
Figura 4-1 Tanque Industrial 334HP9002 con señal de nivel 334LIT9132A en operación.....	50
Figura 4-2 Comportamiento errático del sensor anterior (334LIT9132).....	51
Figura 4-3 Comportamiento actual más estable y de mejor respuesta (334LIT9132A).....	51

Introducción

En la industria, la instrumentación y el control son esenciales para una óptima y eficiente ejecución de un proceso, son los ojos del proceso para los operadores de la sala de control y de campo, los instrumentos. Las distintas variables medidas en el proceso y sus alarmas en las salas de control son el reto permanente de la ingeniería para llevar en tiempo real el paso a paso de un proceso.

La variable de nivel tiene un sin número de opciones para realizar de la mejor manera y con diferentes tópicos de costo, las mediciones que los diferentes procesos existen en la industria.

En el presente proyecto se describe el proceso de implementación de un Instrumento de medición de nivel en línea y con indicación local, en el tanque industrial 334HP9004 en la empresa Minera Panamá, área de Flotación Columnas. Para este proyecto se tomó la mejor opción para medición de nivel sin contacto que corrija las fallas de pérdida de comunicación, mala operación del instrumento y corrección de montaje por convivencia de las diferentes estructuras que alimentan un tanque industrial. De las opciones de medición por nivel sin contacto se consideraron sensores de Ultrasonido, Radar de Onda Continua de Frecuencia modulada (FMCW), medición de nivel por radar (PTOF) y por Radar de onda Guiada (TDR). Determinar la mejor opción pasa por el tipo de material, la formación de burbujas y vapores que el proceso emana y la relación costo beneficio que cada caso requiere según la industria, así, como sus requerimientos de seguridad y certificaciones requiera.

Es importante aportar la mejor solución al control de un proceso por nivel, que los derrames y sus consecuencias se traducen en accidentes al proceso, al ambiente y a las personas, que finalmente se traduce en el objetivo más importante de este proyecto.

1. Descripción del problema

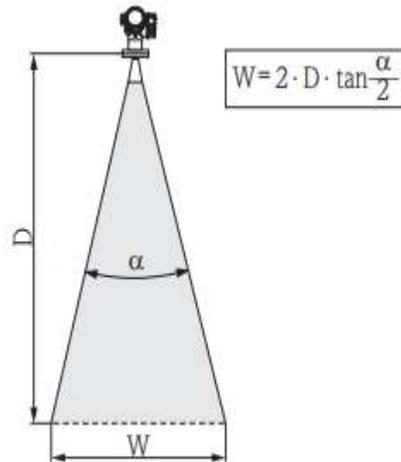
El complejo de producción de Cobre en la Planta y yacimiento de Minera Panamá está en la localidad de Colon-Panamá, su operación lleva por nombre Cobre Panamá y pertenece al grupo minero First Quantum, de capital Canadiense pues cotiza en la bolsa de valores de Toronto, siendo First Quantum un productor de minerales como lo son Cobre, Níquel, Oro y Cobalto. El inicio de operaciones en Cobre Panamá se da en febrero de 2019. En la operación de Minera Panamá, se estima una producción de 2 millones de toneladas de Concentrado de Cobre anual y se procesa cerca de 300.000 toneladas diarias de material desde el yacimiento, haciendo que sea la operación número16 en el planeta según su capacidad de procesamiento. Como referencia mundial el primer puesto lo tiene el complejo de Escondida en Chile con una capacidad de procesamiento de 1'400.000 toneladas diarias. (Cobre Panama, 2022)

Es por esto, que los procesos continuos de flotación, en diversos tanques, a través de toda la secuencia de producción de concentrados de cobre, sea estricto y crítico. El proceso de medición de nivel en silos y tanques se hace en la industria de muchas formas debido a las diferentes necesidades y condiciones de los múltiples procesos existentes. Es así como hay aplicaciones con medición de nivel por Presión Hidrostática, por Ultrasonido, por Radar de Onda Continua de Frecuencia modulada (FMCW), Medición de nivel por radar (PTOF), por Radar de onda Guiada (TDR) y Medidores de nivel Capacitivo.

Se habrá de tener en cuenta condiciones de silo o tanque y el material del producto, condiciones del material como son, si es líquido o sólido, temperaturas altas y bajas, si hay gases o vapores y si hay alguna presión dentro del tanque al ser cerrado o si es abierto. (Creus S, 2011)

También se debe definir los criterios de desempeño, como precisión exactitud, repetibilidad y rango del instrumento. No menos importante serán las condiciones de montaje es decir sensores con brida o rosca, clamp o no intrusivos, y las condiciones ambientales como áreas clasificadas, materiales corrosivos, humedad y descargas atmosféricas. Finalmente, la decisión pasara por el tema económico y costos de mantenimiento. (Mediciones y Servicios Asociados, 2014)

El Instrumento de nivel instalado actualmente es un Endress & Hauser modelo FMR50, el cual está definido para mediciones de nivel básicas en líquidos, pastas y lodos, con un desempeño de medición por supresión de ecos, los cuales cambian según la altura de la medición, y es definida por el fabricante. También se emiten microondas fuera de esta frontera energética del haz de señal y éstas pueden sufrir reflexiones por elementos interferentes de la instalación, siendo causa de falla en las mediciones ocasionadas por perdidas de Eco. El ángulo α en este sensor, puede llegar a ser de hasta 23 grados, elemento crítico a tener en cuenta en la operación de este tipo de instrumentos, con principio de medición por Radar, como se aprecia en la figura 1-1. (Endress&Hauser, España, s.f.)

Figura 1- 1: Ángulo del sensor FMR50

Fuente: (Endress&Hauser, España, s.f.)

1.1 Planteamiento del Problema

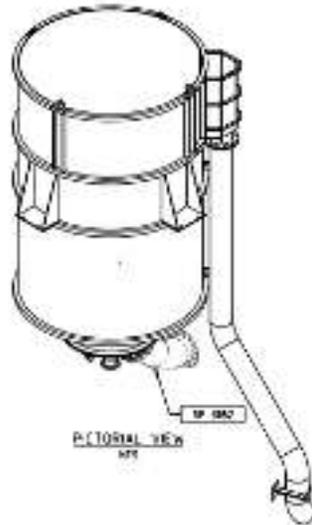
Hacer control de nivel es de los procesos más importantes dentro de cualquier proceso industrial, y más cuando los reboses (desperdicio de material/mineral) son valorados altamente por ser pérdidas de dinero y de subproducto. Es por ello, que se define como algo de alto valor económico y de optimización de operación.

Al ser un proceso continuo, los lazos de control en correcta sintonía determinan la vida y operación en las plantas que usan las diferentes transferencias de pulpas entre un tanque y otro después de los agregados de insumos, oxígeno y sulfuros entre otros reactivos.

En la actualidad el tanque 334HP9004 (ver figura 1-2), cuenta con un sensor de nivel que no ofrece la más adecuada respuesta a la medición debido a las diferentes fluctuaciones que se pueden presentar fruto de la composición en la superficie del tanque. Además de las variaciones por la altura (5,7 metros ver figura de la forma del tanque) que puede cambiar por la operación y que causa diferentes

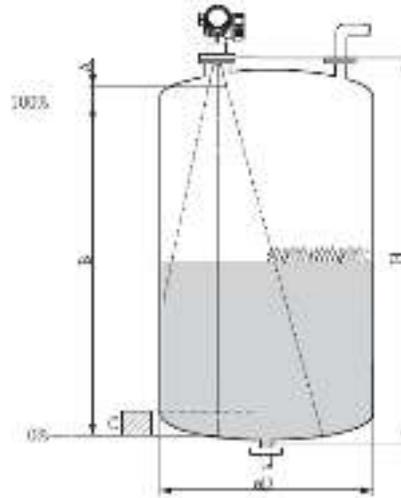
comportamientos en la lectura del radar por el cambio del ángulo según cambie el nivel.

Figura 1- 2: Plano Isométrico del Tanque 334HP9004



Fuente: (Minera Panama 334-ME-DRG-0028, 2014)

Otro factor a tener en cuenta y causante de fallas operacionales del instrumento es la presencia de espumas por origen burbujeante o de ebullición propio del proceso y que puede ocasionar absorción o reflexión de las microondas, como se muestra en la figura 1-3, en donde se muestra la formación de burbujas o espumas al interior de un tanque.

Figura 1- 3: Tanque con aparición de burbujas o espumas

Fuente: (Endress&Hauser, 2018)

La selección del más adecuado instrumento de nivel, para hacer una excelente medición de nivel continua, es pieza fundamental, dadas las condiciones en esta etapa del proceso en el tanque 334HP9004. Las exigencias de los diferentes componentes de material, pulpa, espuma y reactivos que se encuentran en la superficie del tanque y la velocidad de respuesta de la medición de nivel determinan en gran medida el éxito de este proyecto.

También es de vital importancia que el instrumento de nivel cuente con una indicación local de su variable medida, pues en Minera Panamá el esquema de control es apoyado con operadores en campo, que dan retroalimentación al operador de sala de control de los diferentes movimientos y comportamientos de proceso.

El modelo del sensor seleccionado debe contar con protocolo de comunicación Profibus PA/DP o 4 a 20 mA en su versión Hart, ya que son los dos medios disponibles a la plataforma de control la cual está basada en Siemens PSS7. (Lycopodium Minerals, 2018)

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Implementar un Instrumento de medición de nivel en línea y con indicación local, en el tanque industrial 334HP9004 en Minera Panamá, área de Flotación Columnas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Seleccionar el Instrumento de medición teniendo en cuenta las características necesarias del sistema de almacenamiento, el mercado y la disponibilidad en sitio.
- Realizar la instalación, configuración y sintonización del dispositivo de medición dentro del sistema de control existente.
- Ejecutar Pruebas y ajustes del sistema según los protocolos industriales de Minera Panamá.
- Documentar los planos y los datos de la configuración del instrumento.

1.3 Metodología

Se establecen las siguientes, fases para el desarrollo del proyecto:

a. Fase 1

- Documentación del tipo de material y la formación de los diferentes estados en la superficie del tanque.
- Consultas a bibliografías de fabricantes de instrumentos para la industria en la medición de nivel.
- Selección del adecuado Instrumento de medición de nivel a instalar en el tanque de operación 334HP9004.

b. Fase 2

- Instalación sugerida por el fabricante del Instrumento medidor de nivel seleccionado.

- Configuración de operación del Instrumento de medición de nivel.
 - Ajuste de control de la variable medida y su sintonía en el lazo de control.
 - Realización de las pruebas con material y pulpa dentro del tanque, así como la verificación de la comunicación y escalización con el sistema de control Siemens PSS7.
- c. Fase 3
- Documentación de toda la configuración del Instrumento medidor de nivel y su ajuste en el lazo control, en el sistema JD Edwards manejado en Minera Panamá y en el documento de tesis de grado.

2. Marco Teórico

2.1 Cobre Panamá

Cobre Panamá cuenta con 3 mil millones de toneladas de reservas probadas y probables. Esto convierte a la mina en una de las nuevas minas de cobre más grandes abiertas en el mundo en la última década. La mina está ubicada en el Departamento de Colón, 120 km al oeste de la Ciudad de Panamá. El complejo de producción incluye dos minas a cielo abierto, una planta de procesamiento, dos plantas de energía de 150 MW y un puerto. La producción comercial comenzó en 2019 y la capacidad actual de la planta es capaz de procesar 85 millones de toneladas de mineral por año (mtpa) y producir más de 300,000 toneladas de cobre, oro, plata y molibdeno por año.

Cobre Panamá emplea a aproximadamente 4.500 personas, en su mayoría panameños, y utiliza tecnología e infraestructura de última generación para extraer cobre con eficiencia de clase mundial.

Luego de la adquisición de una compañía en 2013, First Quantum adquirió una participación del 80% en Minera Panamá, S.A. ("MPSA"), empresa panameña propietaria de la concesión Cobre Panamá.

First Quantum invirtió en MPSA y se hizo al 90%, obteniendo el control total desde noviembre de 2017. (First Quantum, 2022)

2.2 Minería y Procesamiento

Cobre Panamá cuenta con una serie de yacimientos de cobre porfídico. Los principales yacimientos son Balboa, Botilla, Collina y Valle Grande. También hay una pequeña zona mineralizada de la serie. Los más importantes de estos son Brazo y Botija Abajo. La vida útil de esta operación es de 34 años. La operación es una operación a cielo abierto que utiliza una flota de excavadoras eléctricas y volquetes Ultra Class (Liebherr T 284). Para la trituración, se cuenta con cuatro trituradoras primarias semimóviles en el Pozo y estas alimentan las trituradoras secundarias por dos bandas elevadas sobre tierra que conducen a la planta de procesamiento principal. En planta se cuenta con tres molinos semiautógenos (SAG) de 28 megavatios

y cuatro molinos de bolas de 16,5 megavatios, hacen parte de planta Cobre Panamá. Estos molinos son en la actualidad de los más grandes del mundo para la producción de Cobre.

Del grupo First Quantum, también forman parte, la operación Sentinel y que se encuentra a 150 km al oeste de Solwezi (provincia noroccidental en Zambia).

El sulfuro de cobre se concentra por proceso de flotación y el concentrado se transporta desde la instalación de tratamiento principal hasta las instalaciones de filtrado en puerto sobre el mar caribe, a través de tuberías.

De los relaves almacenados se recupera el agua se recupera y se reutiliza, este proceso es almacenado en instalaciones longitudinalmente.

La energía para el Proyecto será proporcionada por la Planta de Energía de 300 MW ubicada en el puerto del proyecto sobre el mar Caribe, donde también funciona el puerto, siendo estas facilidades propias de la compañía. (First Quantum, 2022).

2.3 Proceso de flotación

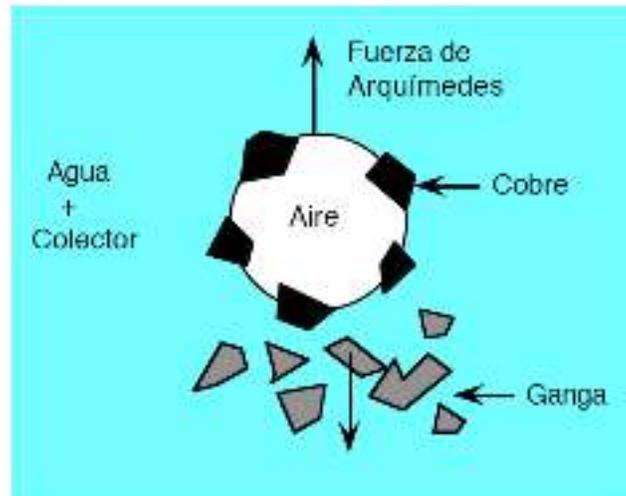
2.3.1 Flotación

El proceso de flotación se basa en la interacción de las burbujas de aire con las partículas sólidas presentes en la pulpa. La eficiencia con la que las burbujas de aire atrapan selectivamente las partículas de mineral y las cargan hasta el desbordamiento depende de varios fenómenos que ocurren en la pulpa. Esto se debe principalmente a las diferencias en las propiedades fisicoquímicas de la superficie (tensión superficial) de las partículas. El uso de reactivos acentúa estas diferencias y permite la captura preferencial de algunas partículas recolectadas y transportadas por burbujas de aire. El proceso de flotación se utiliza para separar y recuperar selectivamente partículas sólidas finamente divididas de una suspensión o lodo. Las burbujas de aire transportan los sólidos y suben a la superficie donde se recolectan y procesan como un concentrado. La porción que no se adhirió a las burbujas de aire permanece en la pulpa, formándose posteriormente un apresto y/o residuo.

El propósito general del circuito de levitación debe lograrse manteniendo la salud y la seguridad del personal, protegiendo el medio ambiente y evitando daños a los equipos de la planta. La flotación depende de la probabilidad de que las partículas se unan a las burbujas de aire en la celda de flotación determinada por la hidrofobicidad de la superficie de la partícula. En la mayoría de los sistemas de flotación, la superficie de las partículas se vuelve hidrofóbica mediante la adsorción selectiva de tensioactivos denominados secuestrantes.

La flotación de minerales es una técnica de concentración que aprovecha las diferencias en las propiedades superficiales o interfaciales de los minerales o especies valiosas y la ganga.

Se basa en la adherencia de los sólidos a las burbujas de aire generadas dentro de la pulpa por medios externos dentro de la celda de flotación (ver Figura 2-1). Las burbujas de aire transportan sólidos a la superficie donde se recolectan y son tomados como concentrado. La porción que no se adhirió a las burbujas de aire permanece en la pulpa y forma un apresto o residuo. (Glencore, 2017)

Figura 2-1: Adherencia de partículas de Cobre en Aire

Fuente: (Glencore, 2017)

2.3.2 Etapas de la flotación

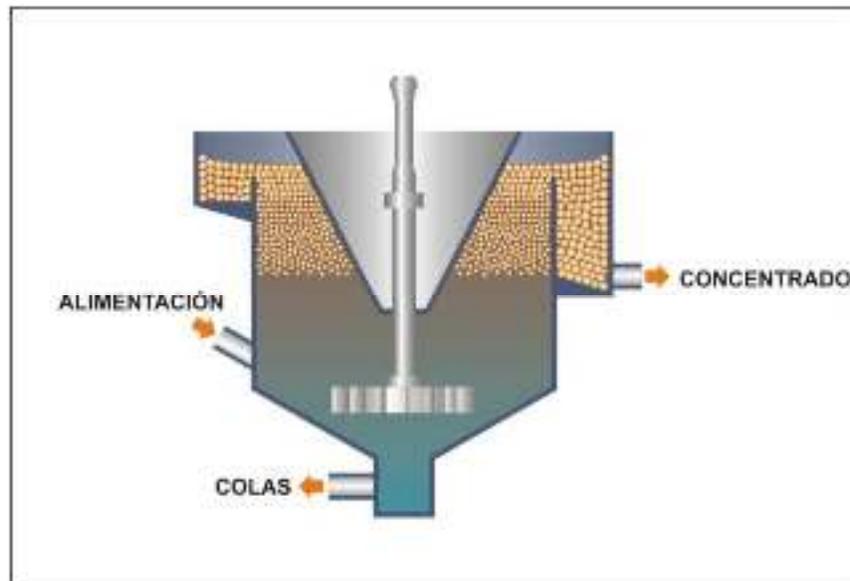
El principal mecanismo de flotación es la unión de partículas minerales a las burbujas de aire para que estas partículas sean llevadas a la superficie de la pulpa mineral y eliminadas de la misma.

Este proceso incluye las siguientes etapas:

1. Moler bajo humedad el mineral hasta aproximadamente 140 micrones.
2. Diluir la pulpa resultante con agua, hasta alcanzar un contenido de sólidos entre 28% y 30%.
3. Se añaden pequeñas cantidades de reactivos que alteran la superficie de ciertos minerales.
4. Se añade otro reactivo especialmente seleccionado, llamado colector para actuar sobre los minerales separados por flotación. Este reactivo recubre superficies minerales, haciéndolas aeróbicas e hidrofóbicas.
5. A continuación, se agrega un reactivo espumante para ayudar a formar una espuma estable. Para luego añadir aire comprimido frío.
7. Los minerales aerobios ascienden a la superficie como parte de la espuma

y se extraen de ella (consulte la Figura 2-2). La pulpa agotada se pasa a través de una serie de tanques o celdas para dar a las partículas de mineral, tiempo y oportunidad de entrar en contacto con la burbuja para que la burbuja las recupere. (Glencore, 2017).

Figura 2-2: Esquema celda de flotación por espuma



Fuente: (Glencore, 2017)

Para que la flotación de minerales sea efectiva, se requieren de los siguientes aspectos:

a. Reactivos químicos

- Colectores.
- Espumantes.
- Activadores.
- Depresores.

b. Componentes del equipo

- Diseño de la celda.

- Sistema de agitación.
- Flujo de aire.
- Configuración de los bancos de celdas.
- ***Control de los bancos de celdas.***

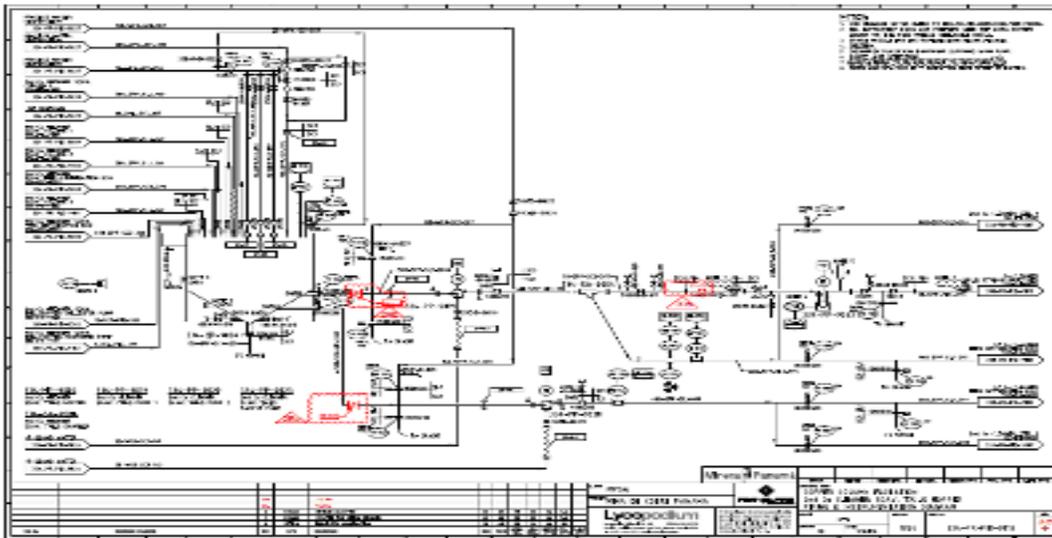
c. Componentes de la operación

- Velocidad de alimentación
- Mineralogía
- Tamaño de partículas
- Densidad de pulpa
- Temperatura

2.3.3 Control y operación de columnas de flotación convencionales

Las columnas de flotación tienen tres lazos de control independientes que se requieren para la operación (Control de nivel del tanque, control de adición de agua y control de adición de cal). Los operadores podrán ajustar los puntos de referencia de estos lazos de control de forma independiente para lograr el rendimiento metalúrgico deseado. Ver la figura 2-3 donde se ve la distribución y los componentes para el funcionamiento del tanque 334HP9004.

Figura 2-3: Diagrama PID Columna de flotación de Cobre



Fuente: (First Quantum, Minera Panama, 2014)

2.3.4 Control de nivel de columna de flotación

El proveedor de la celda de flotación suministrará válvulas de control y medición de nivel en cada columna de flotación para medir y controlar la interfaz de espuma/lodo a través del PCS. Se requiere una altura de espuma constante para el funcionamiento estable de la columna, pero el operador variará el punto de ajuste de la profundidad de la espuma en función del rendimiento de la columna (generalmente en función del grado de concentrado).

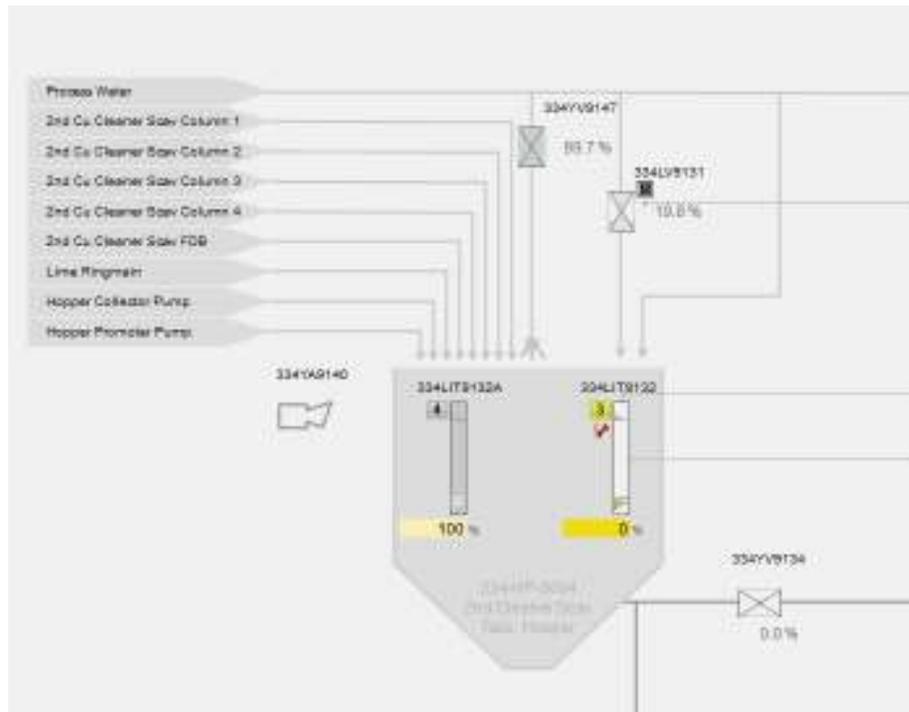
El nivel de lodo en las columnas de flotación se establecerá a través del PCS y se medirá mediante un detector de nivel ultrasónico y un conjunto de flotador/objetivos suministrados por el proveedor. Cada columna se suministrará con una válvula de manguito de descarga de colas. El controlador de nivel PCS modulará la válvula de manguito en la línea de descarga de relaves para lograr el nivel de pulpa deseado y la profundidad del lecho de espuma asociado.

Los puntos de ajuste de alarma se asociarán con la profundidad de espuma/nivel de lodo, e iniciarán un apagado de la bomba de alimentación relevante cuando la profundidad de espuma alcance un estado muy bajo. (Minera Panama, Enero, 2018)

2.3.5 Control de nivel 334-HP-9004

El control de nivel de este proyecto sucede en el tanque industrial con tag de planta 334-HP-9004 y los elementos de control de nivel son: el transmisor de nivel, la válvula de adición de cal, la válvula de adición de agua y las bombas de succión de relave de concentrado de cobre. En la figura 2-4, se aprecia el faceplate de operación del tanque 334FT9004.

El ingreso de relave de material concentrado grueso, proviene de las celdas Jameson 334FT9005, 334FT9006, 334FT9007 y 334FT9008 alimenta la tolva 334HP9004, a este material de relave grueso se adiciona agua por la válvula 334LV9131 y cal por la válvula 334FV9234, la succión de la tolva se hace por dos bombas (solo una en operación) 334PP9019 y 334PP9020 (el control de velocidad de las bombas es por Variador de frecuencia), con retorno a los circuito de lavado de concentrado en las celdas 333FT9001, 333FT9002, 333FT9003 y 333FT9004 o al segundo circuito de lavado de concentrado en las celdas 333FT9005, 333FT9006, 333FT9007 y 333FT9008

Figura 2-4: Diagrama de la celda 334-HP-9004

Fuente: (Minera Panama, 2018)

2.3.6 Condiciones físicas y de operación tolva 334-HP-9004

Las condiciones de la operación de la tova 334HP9004 son saturadas por la cantidad de tuberías y de estructura, para generar el rebose de manera controlada. También con diseños mecánicos que no dejan medir de forma correcta al sensor actual (ver figura 2-5) y que no permite un adecuado acceso para su mantenimiento. Debido a su ubicación y posición en la parte superior de la tolva. En la figura 2-6 se aprecia el concentrado de cobre y el conflicto por montaje de las tuberías.

También se aprecia en las figuras 2-7 y 2-8, la distribución mecánica del tanque en la parte inferior donde se ve una de las bombas de succión del tanque y su rebose.

Figura 2-5: Vista superior 334HP9004



Fuente: propia del autor

Figura 2-6: Concentrado de cobre en 334HP9004

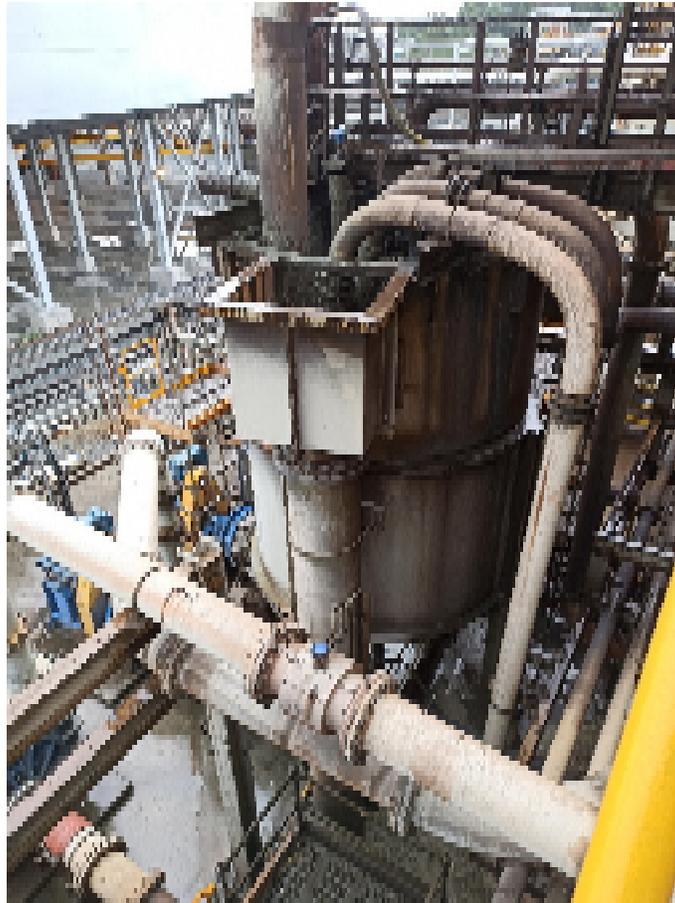


Figura 2-7: Vista lateral 334HP9004 y Bomba de succión 334PP9020



Fuente: propia del autor

Figura 2-8: Vista lateral tolva 334HP9004 y tuberías de ingreso de Concentrado grueso de cobre, adición de agua y adición de cal



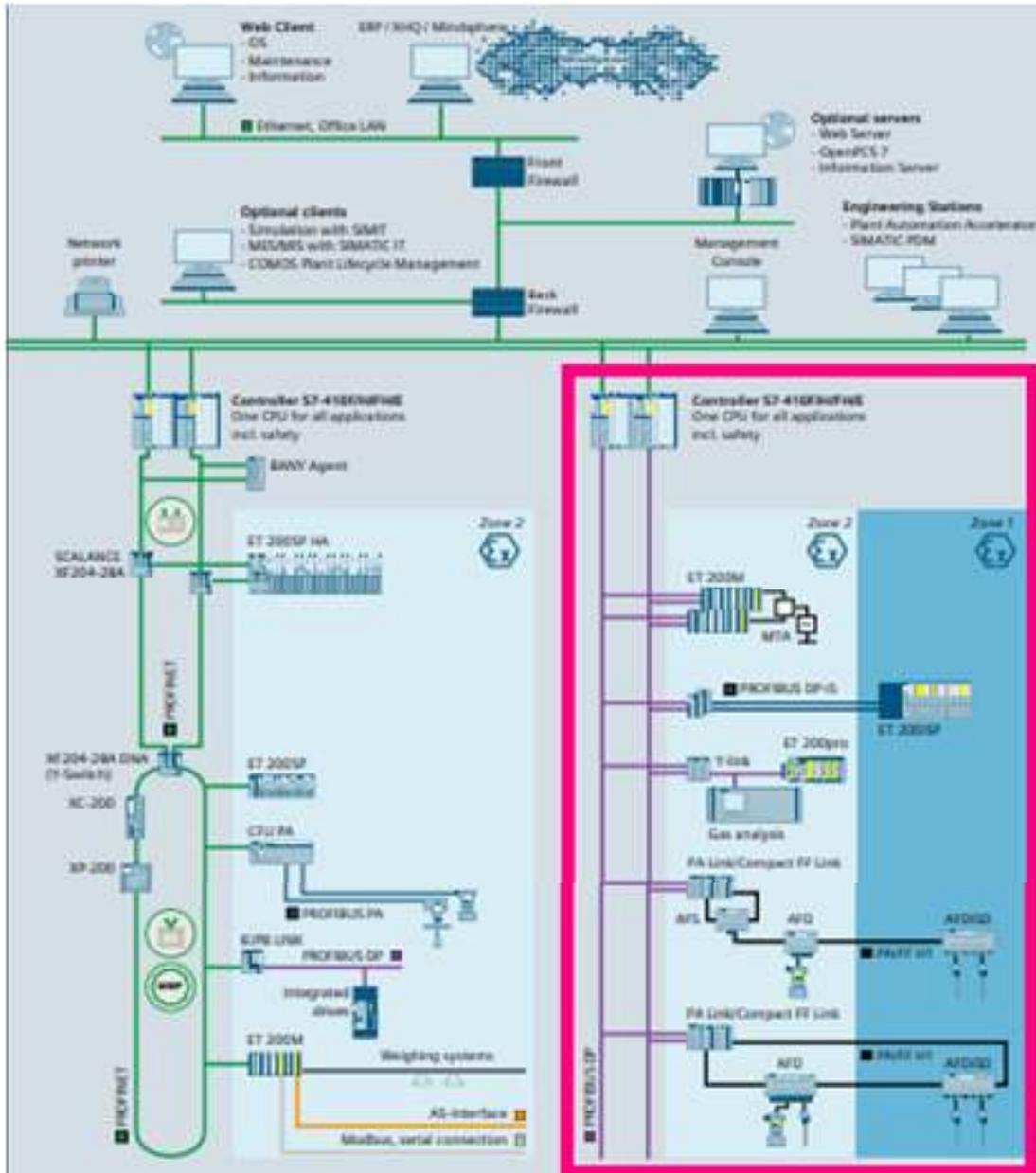
Fuente: propia del autor

2.4 Sistema de Control en planta

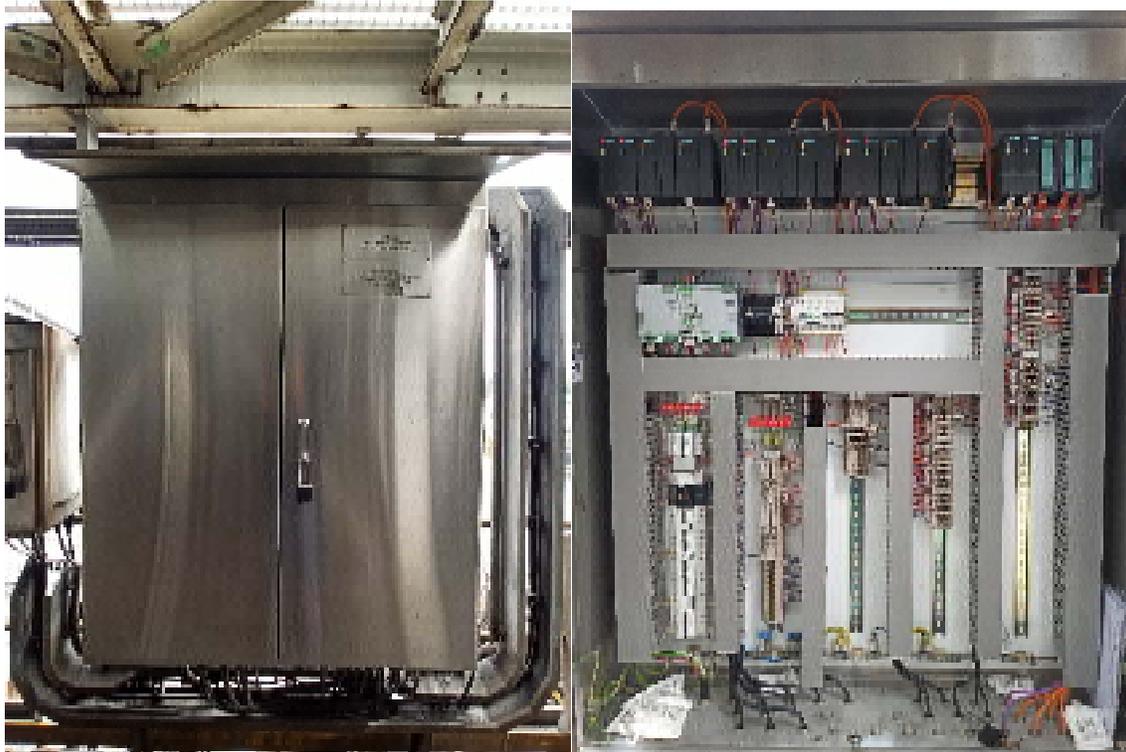
El sistema de control y adquisición de datos instalada en planta, está basada en el Sistema de Control Distribuido Simatic PCS7 V8.1 de Siemens (ver figura 2-9), el cual cuenta con procesadores S7-410H en redundancia de control a nivel de procesadores. La red física esta manejada en su capa de comunicación en Protocolo profibus DP y profibus PA para los equipos de campo.

Al ser una concepción de Sistema de control distribuido, cuenta con gabinetes de control de campo en planta, para hacer adquisición y gobierno de todas las variables de operación, de las diferentes etapas del proceso. Estos gabinetes se llaman CPL (ver figura 2-10).

Figura 2-9: Arquitectura red Siemens ST PCS 7 lado derecho (Profibus DP)



Fuente: (Siemens, 2021)

Figura 2-10: Panel de control de Campo 334CPL9201

Fuente: (Imagen Propia)

2.4.1 Sensor de nivel en 334HP9004

El sensor de nivel instalado y que presenta múltiples fallas de operación en el control de nivel de la tolva es un Endress&Hauser Micropilot FMR52 el cual es un medidor de nivel sin contacto por radar. Al ser esta una aplicación en la cual el tanque presenta diversas estructuras de llenado, esto causa ruido, impidiendo una correcta operación del sensor, estas fallas también se deben al frágil montaje pues está en un sitio incorrecto según las sugerencias del fabricante. Otro de los factores que impide un mejor desempeño es el ángulo de apertura del radar del instrumento y que baja considerablemente el desempeño en la medición, esto es propio del instrumento. Además, y dados los avances en medición por radar y el tipo de material, que es un concentrado con químicos que causan espuma, se encuentra la frecuencia de operación que para este modelo es de 26 Ghz. (ver figura 2-11)

Figura 2-11: Micropilot FMR52 Endress&Hauser

Fuente: (Endress&Hauser, 2018)

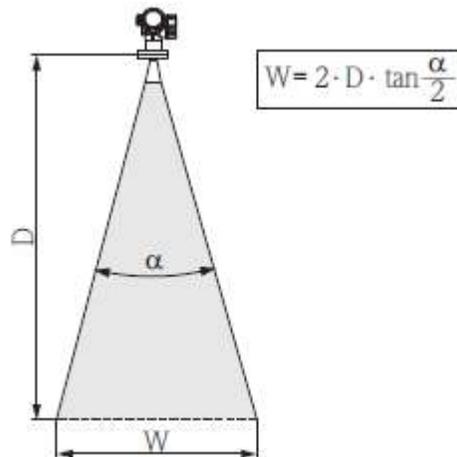
2.4.2 Errores en Sensor de nivel de Tanque 334HP9004

Los errores presentados por las fallas mencionadas debido al montaje del sensor, las condiciones de operación por las tuberías y del mismo material a medir nivel son:

- **Perdida de Eco:** esto se aprecia como congelamiento de la señal de nivel (ocasionado por saturación de la señal o señal muy débil) causando que los lazos de control pierdan gobierno sobre el nivel, ocasionando derrames en el tanque de concentrado de cobre grueso y disparos de las bombas cuando la succión queda sin material.
- **Nivel falso:** en este caso el sensor indica nivel que no corresponde o con tanque vacío, esto es producto de las múltiples interferencias que hace el sensor por los ductos dentro del tanque y que por falla de montaje el instrumento no logra diferenciar.
- **Errores de múltiples lecturas:** esto debido al ángulo que la antena y el sensor realizan en la medición a medida que el nivel es más bajo, es decir el ángulo

del radar a medida que la lectura es más baja se hace más amplia y se puede calcular por diseño del fabricante (ver figura 2-12). Para este caso el sensor tiene un ángulo de apertura de 18° con antena de 50 mm y de 23° si el sensor es FMR51 con antena de 40 mm.

Figura 2-12: Ángulo de abertura del haz



FMR52		
Tamaño de la antena	50 mm (2")	80 mm (3")
Ángulo de apertura α	18°	10°
Distancia de medición (D)	Diámetro de haz W	
3 m (9.8 ft)	0,95 m (3.1 ft)	0,53 m (1.7 ft)
6 m (20 ft)	1,9 m (6.2 ft)	1,05 m (3.4 ft)
9 m (30 ft)	2,85 m (9.4 ft)	1,58 m (5.2 ft)

Fuente: (Endress&Hauser, 2018)

3. Desarrollo del proyecto de ingeniería

3.1 Selección del sensor de nivel para tanque 334HP9004

Buscando corregir las anomalías de operación del sensor de nivel en el tanque 334HP9004, mencionadas anteriormente y con lo disponible que tiene Endress&Hauser Panama (proveedor registrado desde la concepción del proyecto Minera Panamá) se definió hacer un nuevo montaje con un instrumento nuevo (Micropilot FMR62) que por sus características ofrezca solución a las fallas por montaje, errores de lecturas múltiples y mejor comportamiento por pérdidas de eco, además de corregir por diseño de fábrica el haz de operación (para el FMR62 es de 3°), poder seleccionar este instrumento que trabaja a una mayor frecuencia (80 GHz) del radar y con un ángulo mucho menor de su haz de trabajo en el radar y así evitar las múltiples fallas que ya se había evidenciado con el sensor que en un inicio fue seleccionado por la firma de Ingeniería que diseñó la planta Minera Panamá. Siendo, además, este un comportamiento de falla común y generalizado en algunos otros montajes (por medición de nivel) deficientes en la planta (por tuberías y altos movimientos de llenado en los tanques) y donde el proceso en sus diferentes etapas va cambiando la textura del concentrado, así como las formaciones de vapores, humos y burbujas con espumas, este proyecto será punto de partida para corregir todo lo anterior.

El proyecto será, tenido en cuenta para replicar todas las mejoras que se logren al mejorar el desempeño de la medición de nivel en el tanque 334HP9004, de forma

gradual para optimizar de forma confiable las mediciones de nivel en tanques donde se requiera.

3.2 Sensor de nivel Micropilot FMR62

Es un sensor por medición de radar y con frecuencia de medición de nivel a 80 GHz en líquidos agresivos o aplicaciones con requisitos higiénicos, con un ángulo de haz de 3° por tener una antena de 80mm. Posee un protocolo de comunicación Hart 4-20 mA y además tiene salida para indicación local (como es el estándar en la planta) permitiendo desde este display remoto realizar todos sus ajustes y configuraciones además de servir como indicador local para los operadores en planta.

Alcance: Micropilot FMR62 es el primer radar de 80 GHz desarrollado de acuerdo con las directivas internacionales IEC 61508, sobre seguridad funcional. Para aplicaciones en líquidos agresivos, el FMR62 ofrece ventajas significativas gracias a la antena totalmente encapsulada en PTFE y al montaje empotrado. Una antena PEEK integrada permite conexiones de proceso muy pequeñas. El radar sin contacto FMR62 ofrece la mayor confiabilidad debido a los algoritmos mejorados y al pequeño ángulo de haz del, proveniente de Heartbeat Technology que ofrece funciones de sensor categoría inteligente. (Endress&Hauser)

3.2.1 Ventajas del sensor FMR62

- Hardware y software desarrollados según IEC 61508 con redundancia homogénea hasta SIL3.
- Tecnología Heartbeat para un funcionamiento económico y seguro del sistema durante todo el ciclo de vida.
- Concepto de gestión de datos HistoROM para facilitar la puesta en marcha, mantenimiento y diagnóstico.

- Máxima fiabilidad incluso con elementos disruptivos dentro del tanque debido a los ángulos de haz pequeños y al análisis de seguimiento multieco.
- Antena de trompeta con caja de PTFE de montaje empotrado para máxima disponibilidad del sistema.
- El equipo de radar de 80 GHz se puede integrar fácilmente en el proceso, lo que reduce el esfuerzo de ingeniería.
- La prueba más fácil del mundo para la certificación SIL y WHG, que le ahorra tiempo y dinero. (Endress&Hauser)

3.2.2 Características y especificaciones del sensor Micropilot FMR62

- Principio de medición: Nivel de radar.
- Función/Aplicación: Dispositivo de gama alta para medición continua de nivel sin contacto para uso en productos corrosivos y los requisitos higiénicos más estrictos (ASME BPE, USP Clase VI).

Ángulo de haz muy pequeño para aplicaciones con tanques pequeños y muchos obstáculos.

- Especialidades:
 - Heartbeat Technology.
 - SIL 2/3 según IEC 61508.
 - Puesta en marcha a través de Bluetooth®.
 - Aplicación SmartBlue de configuración y mantenimiento.
 - Seguridad y fiabilidad con seguimiento multieco.
 - HistoROM.
 - Etiqueta (TAG) RFID para facilitar la identificación.
- Suministro / Comunicación:

- A 2 hilos (HART)
- 4...20 mA HART.
- Interruptor adicional
- Tecnología inalámbrica Bluetooth® y aplicación (opcional).

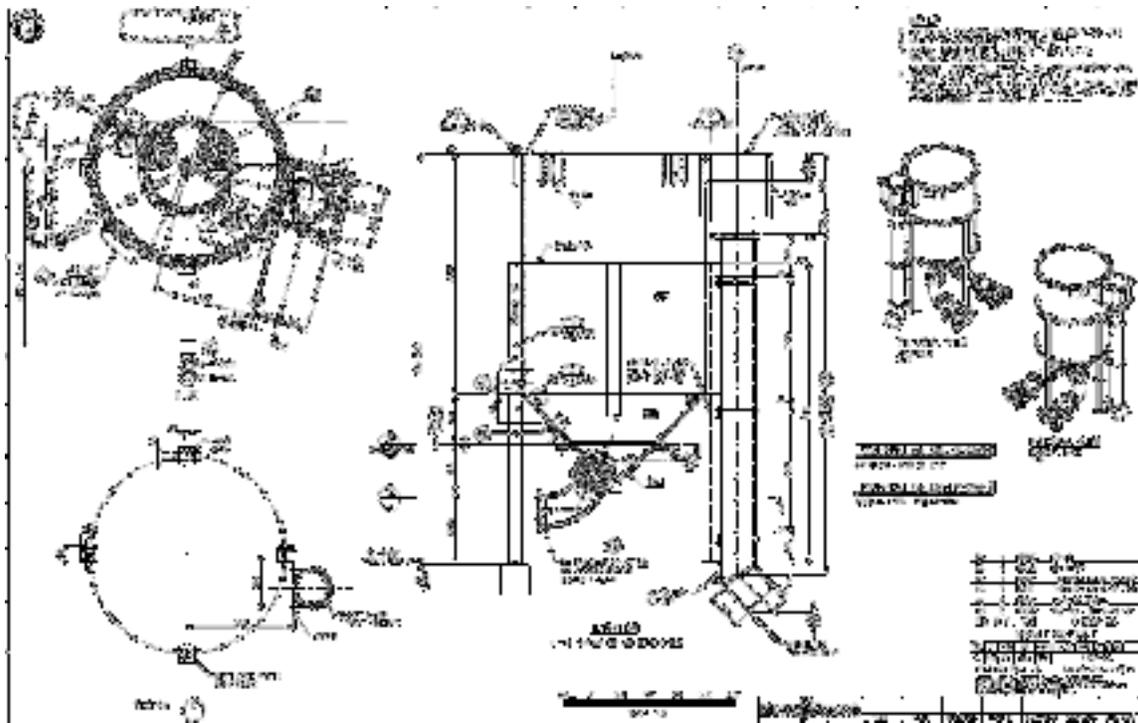
- Frecuencia: Banda W (~80 GHz).
- Precisión: +/-1 mm (0.04 in).
- Temperatura ambiente: -40...+80 °C (-40...+176 °F).
- Temperatura del proceso: -40...+200 °C (-40...+392 °F).
- Presión de proceso absoluta / límite de sobrepresión: máx. Vacío...+25 bar (Vacío...+362.6 psi).
- Principales partes húmedas:
 - Antena de PTFE o PEEK.
 - Roscas de 316L.
 - Bridas con revestimiento de PTFE.

- Conexión a proceso Roscas: G, MNPT 3/4", 1-1/2" Bridas: DN50 ... DN150 ASME 2" ...6".
- Conexión a proceso higiénica: DIN11851, triclamp.
- Máx. distancia de medición: 80 m (262 ft). (Endress&Hauser)

3.2.3 Configuración del sensor Micropilot FMR62

Para la configuración del sensor se debe tener en cuenta las distancias de operación del tanque, según los planos de construcción del tanque o deposito en el que se vaya a instalar el sensor.

Los Valores del tanque son: Vacío 6 metros y Lleno 4,9 metros, desde el sensor. (Ver figura 3-1).

Figura 3-1: Medidas del Tanque 334HP9004

Fuente: (Minera Panama 334-ME-DRG-0028, 2014)

Parámetros de configuración: los valores de configuración del sensor de nivel Micropilot FMR62, se ilustran en la figura 3-8.

- Ajuste → Nombre del dispositivo 334LIT9132A.
- Ajuste → Unidad de longitud: Metros, ver figura 3-2.

Figura 3-2: Ajustes de configuración



Fuente: (Imagen Propia)

- Ajuste → Tipo de tanque: Proceso estándar, ver figura 3-3.

Figura 3-3: Ajuste → Tipo de tanque: Proceso estándar



Fuente: (Imagen Propia)

- Ajuste → Grupo de producto: Otros, ver figura 3-4.

Figura 3-4 Ajuste → Grupo de producto: Otros.



Fuente: (Imagen Propia)

- Ajuste → Calibración de vacío o valor E: 6,0 metros, ver figura 3-5.

Figura 3-5 Ajuste → Calibración vacío o valor E: 6,0 metros.



Fuente: (Imagen Propia)

Nota: Si el rango de medición cubre solamente una parte superior del depósito o silo (E es mucho mejor que la altura del depósito o silo), es imprescindible introducir la altura real del depósito o silo en el parámetro. Si hay un cono de salida, la altura del depósito o silo no debería regularse, ya que en estas aplicaciones E no suele ser mucho menor que la altura del depósito/silo.

- Ajuste → Calibración de lleno: 4,9 metros, ver figura 3-6

Figura 3-6 Ajuste → Calibración lleno: 4,9 metros.



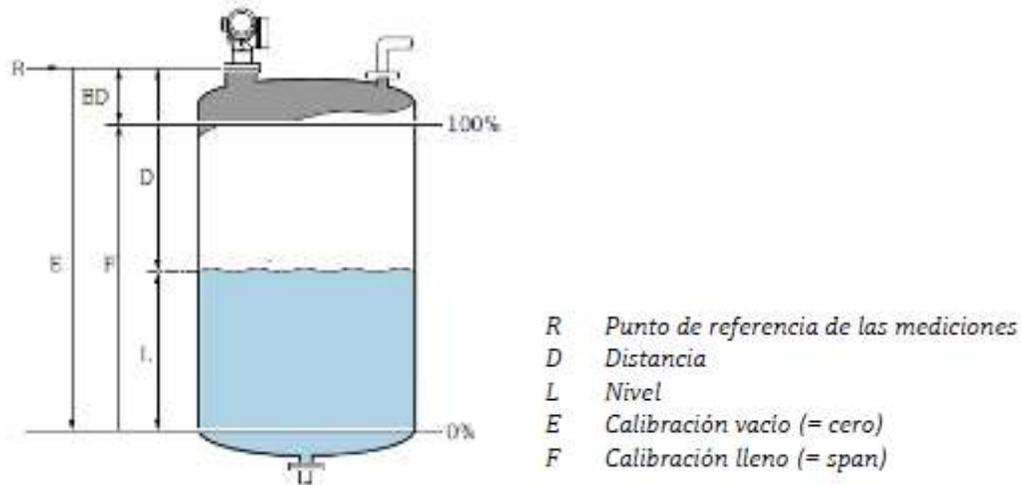
Fuente: (Imagen Propia)

- Ajuste → Ajuste Avanzado → Nivel → Unidad de nivel: %, ver figura 3-7.

Figura 3-7 Ajuste → Ajuste avanzado → Nivel → Unidad de nivel: %



Fuente: (Imagen Propia)

Figura 3-8 Valores de configuración

Fuente: (Endress&Hauser, 2018)

- Nivel → Velocidad de llenado: estándar < 1m/min, ver figura 3-9.

Figura 3-9 Nivel → Velocidad Máxima de Llenado en Líquidos: estándar < 1m/min.

Fuente: (Imagen propia)

- Nivel → Velocidad de vaciado: estándar < 1m/min, ver figura 3-10.

Figura 3-10 Nivel → Velocidad Máxima de Vaciado en Líquidos: estándar < 1m/min



Fuente: (Imagen propia)

- Nivel → Distancia de Bloqueo: 0,9 metros, ver figura 3-11.

Figura 3-11 Nivel → Distancia de bloqueo: 0,9 metros.



Fuente: (Imagen propia)

- Nivel → Altura tanque/silo: 6,150 m, ver figura 3-12.

Figura 3-12 Nivel → Altura del Tanque/Silo: 6,150 metros.



Fuente: (Imagen propia)

- Producto → Tipo de producto: Liquido, ver figura 3-13.

Figura 3-13 Producto → Tipo de producto: líquido.



Fuente: (Imagen propia)

- Salida de corriente 1...2 → Correspondencia salida de corriente: Nivel Linealizado, ver figura 3-14.

Figura 3-14 Salida de corriente 1...2 → Correspondencia salida de corriente: Nivel Linealizado



Fuente: (Imagen propia)

- Salida de corriente 1...2 → Rango de Corriente: 4 -20 mA Namur, ver figura 3-13.

Figura 3-15 Salida de corriente 1...2 → Rango de Corriente: 4 -20 mA Namur



Fuente: (Imagen propia)

- Salida de corriente 1...2 → Atenuación salida: 3 segundos, ver figura 3-16.

Figura 3-16 Salida de corriente 1...2 → Atenuación salida: 3 segundos

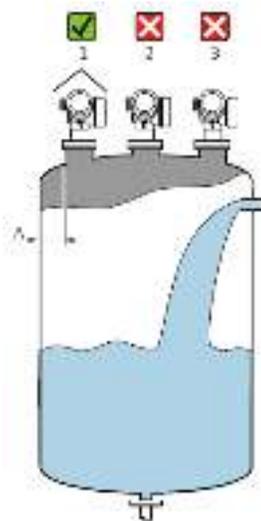


(Imagen propia)

3.2.4 Condiciones de instalación

Se debe cumplir con las siguientes recomendaciones que sugiere el fabricante, ver figura 3-17, donde se aprecia la orientación/ubicación del sensor en el tanque o depósito.

- Distancia recomendada A pared - borde exterior de la tubuladura: $\sim 1/6$ del diámetro del container. No obstante, el instrumento no debería instalarse a una distancia menor que 15 cm (5,91 in) de la pared del depósito. Ver ubicación final del sensor Micropilot FMR62 en las figuras 3-18 y 3-19.
- No en el centro (2), ya que las interferencias pueden provocar una pérdida de la señal.
- No sobre la cortina de producto (3).
- Se recomienda el uso de una tapa de protección ambiental (1) para proteger el transmisor de la radiación solar directa o la lluvia. (Endress&Hauser)

Figura 3-17 Orientación – Productos Líquidos

Fuente: (Endress&Hauser)

Figura 3-18 Instalacion final en 334HP9002

Fuente: (imagen propia)

Figura 3-19 Instalación final y disposición de tuberías

Fuente: (imagen propia)

Figura 3-20 Disposición tuberías protección cables

Fuente: (Imagen propia)

En la figura 3-20, se aprecia la instalación y ubicación de la tubería de protección para los cables de comunicación entre el Sensor Micropilot FMR62 y el gabinete 334CPL9102, así como la tubería para el cable de comunicación entre el sensor y el display FHX50.

3.2.5 Cables del transmisor y del display 332LIT9132A

Los cables empleados para instalar el transmisor de nivel son dos: uno para llevar la señal de 4-20 mA Hart desde el CPL hasta el transmisor y otro para llevar la comunicación desde el transmisor hasta el display en donde se hará la visualización y configuración de parámetros.

Cable del Transmisor al CPL: Es un cable de instrumentación de 2 pares de 7 hilos de cobre desnudo de 16 AWG con cloruro de polivinilo y aislamiento de nailon, un blindaje de aluminio/mylar con un cable de drenaje de cobre estañado trenzado con una cubierta general de PVC Cable de bandeja de control de 600 V, aprobado para uso en aplicaciones SUN RES DIR BUR 90 °C. (LAKE CABLE, 2021)

Sus características con:

- Tamaño AWG y cableado: 16 AWG, 7 hilos Clase B.
- Material: Cobre desnudo recocido.
- Cantidad de conductores: 2 pares.
- Material: Cloruro de polivinilo y nailon.
- Espesor de pared: 0.015" PVC y 0.005" Nylon.
- Código de color: pares numerados en blanco y negro.
- Par/longitud de tendido de cables: según la norma UL 1277.
- Par de cables de drenaje: N/A.
- Par Escudo: N/A.
- Encuadernador de cables: N/A.
- Blindaje del cable: Cinta de aluminio/mylar: cobertura del 100 %.
- Cable Hilo de drenaje: 16 AWG, 7 hebras de cobre estañado.
- Rellenos: N/A.

- Material: Policloruro de vinilo.
- Espesor de pared: 0.045”.
- Diámetro: 0.417”.
- Color: Negro.
- Cordón: Sí.
- Clasificación de curvatura en frío: -40 °C.
- Peso: 91 lbs./Mft.
- Tipo: El cable se identificará de forma permanente mediante impresión de chorro de tinta en la superficie.
- Leyenda: LAKE CABLE E208309 16AWG 2PR BLINDADO (UL) TC-ER PVC/NYLON 600V 90'C SECO/HÚMEDO CHAQUETA DE PVC SUN RES DIR BUR FT4 “ROHS”.
- Marcadores de metraje: Sí. (LAKE CABLE, 2021)

Cable del Transmisor al Display: es un cable de instrumentación para conectar entre sensor/actuador, 8 polos, PE-X/PE-X libre de halógenos (ver figura 3-21), negro-gris RAL 7021, apantallado, Conector recto M12, codificación: A, en Conector hembra recto M12, codificación: A, longitud de cable: 10 m, para aplicaciones exteriores, con moleteado de acero inoxidable. (Phoenix Contact, 2022)

Sus características son:

- Tipo de producto: cable sensor/actuador.
- Numero de hilos: 8.
- Solicitud: áreas externas.
- Cantidad de cables: 1.
- Blindaje: sí.
- Codificación: Estándar.
- Material de sellado: FPM.
- Material de la superficie de contacto: CuSn.
- Material de prensaestopas: acero inoxidable.
- Resistencia de contacto: $\leq 5\text{m}\Omega$.

- Resistencia de aislamiento: $\geq 100 \text{ M}\Omega$.
- Tensión nominal: 30 VCC.
- Corriente nominal: 2^a. (Phoenix Contact, 2022)

Figura 3-21 Cable M12 de conexión transmisor/display



Fuente: (Phoenix Contact, 2022)

3.2.6 Display Remoto de indicación local y configuración

El display usado es marca Endress&Hauser FHX50, que posee una presentación de vario renglones de escritura, monocromático, con ajuste de luminosidad y que tiene acople de 8 pines macho en rosca M12. Para la configuración de diversos instrumentos (no solo nivel), el display tiene 3 botones de fácil y amigable acceso a su entorno (ver figura 3-22).

Sus teclas son E, para ingresar a los diversos menús y validar algún cambio.

Tecla + y tecla -, son para navegar hacia arriba y abajo del menú y en opción de cambio para ajustar algún valor.

Al someter los dos botones + y -, la acción es salir hacia el menú anterior.

(Endress&Hauser, 2021)

Sus características son:

Grado de protección: IP68, NEMA 6P.

Temperatura ambiente: -40 a 80 °C (-40 a 176 °F).

Temperatura de almacenamiento: -40 a $+80$ °C (-40 a $+176$ °F).

Clase climática: DIN EN 60068-2-38 (prueba Z/AD).

Resistencia a vibraciones: DIN EN 60068-2-64 / IEC 68-2-64: 20 a 2000 Hz, 1 (m/s²) 2/Hz.

Compatibilidad electromagnética (EMC): Compatibilidad electromagnética de acuerdo con todos de los requisitos relevantes descritos en la serie EN 61326 y NAMUR

Recomendación EMC (NE 21). (Endress&Hauser, 2021)

Figura 3-22 Display FHX50 y Cable M12 de 8 pines



Fuente: (Imagen Propia)

3.2.7 Base de soporte transmisor 334LIT9132A

La base de soporte fue fabricada en los talleres de minera Panamá y se dimensiono según la base del instrumento Endress&Hauser Micropilot FMR62, las dimensiones de la base fueron de 25 cm por 25 cm y una altura de 6 cm (ver figura 3-23). Como facilidad de mantenimiento se hizo soldar los tornillos de abajo hacia arriba y así roscar fácilmente las tuercas en futuras intervenciones, de manera diligente también se fabricó un techo (ver figura 3-24) en lámina de acero inoxidable para su protección a intemperie. Es de resaltar que debido a los vapores y gases emanados

del proceso es importante utilizar acero inoxidable, para el caso de la base fue acero de 3/16.

Ver figura 3-35 de la construcción de la base y el techo juntos, además del sensor ya sentado en la base de montaje.

Figura 3-23 Construcción base de sensor Micropilot FMR62



Fuente: (Imagen propia)

Figura 3-24 Fabricación techo de protección Sensor de nivel Micropilot FMR62



Fuente: (Imagen propia)

Figura 3-25 Base, Sensor de nivel y techo de protección armados en taller



Fuente: (Imagen propia)

3.2.7 Señal de conexión en gabinete CPL 334CPL9201

La señal de alimentación (24 VCC) y a su vez de lazo de 4-20 mA se llevó desde el transmisor hasta el gabinete 334CPL9201 por una ruta sobre bandejas portacables de control a una distancia de 25 metros (ver figura 3-26), dentro de este gabinete se tenía canales disponibles en el módulo 6, canal 4 pertenecientes al Rack 01 333PCC9001-0721 (codificación dada por el proyecto en el área de control). La lógica de control para señales en los módulos en Minera Panamá, están concebidos de forma redundante (desde la operación de los procesadores hasta los gabinetes de campo CPL), por ello se concibe desde fuentes duales en paralelo, hasta la configuración de módulos Simatic ET200 Link de Siemens y obtener una periferia descentralizada redundante (Ver figura 3-27).

El módulo utilizado en esta red para la adquisición de señales 4-20 mA es un módulo Siemens AI 8x0/4...20 mA Hart, referencia 331-7TF01-0AB0. (Ver figura 3-28).

Su descripción según fabricante es:

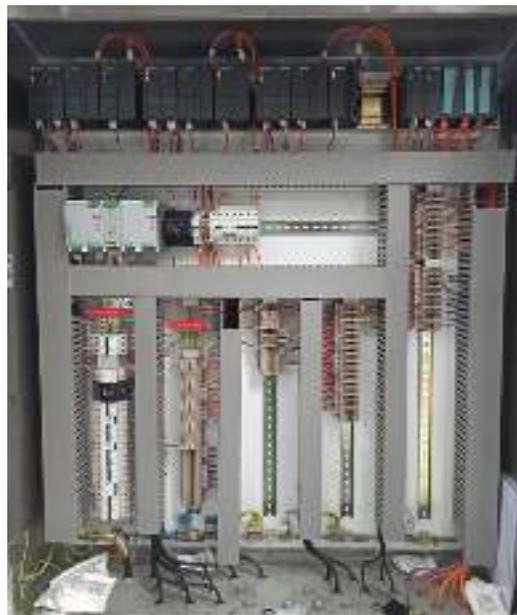
SIMATIC DP, entrada analógica HART SM 331, 8 AI, 0/4 - 20 mA HART, para ET200M con IM153-2, 1 x 20 polos, funciones: actualización de FW, variables auxiliares HART, redundancia, búfer de diagnóstico local con marca de tiempo.

Figura 3-26 Ruta de cable alimentación/lazo de 4-20 mA desde sensor de nivel hasta el gabinete 334CPL9201



Fuente:(Imagen Propia)

Figura 3-27 Gabinete de control y distribución 334CPL9201



Fuente: (Imagen propia)

Figura 3-28 Módulo de entradas analógicas 4-20 Modelo 331-7TF01-0AB0



Fuente: (Imagen propia)

4. Resultados

4.1 Instalación y selección

La instalación y selección del sensor de nivel Micropilot FMR 62, en una nueva posición sobre el tanque industrial 334HP9004, para corregir la medición constante de nivel sin fallas por perturbación de las tuberías de adición de concentrado grueso de cobre, agua y cal al tanque han sido satisfactorias, después de dos meses de operación del instrumento. No ha habido reportes por parte de operación indicando fallas de control sobre el tanque cuando se ha seleccionado este modo (también se puede hacer por flujo, pero no es tema de este proyecto).

Además, los materiales de suciedad a los que está expuesto el sensor dado su principio de funcionamiento arrojan comportamientos superiores y robustos frente a los sensores anteriores FMR52 Endress&Hauser (expuestos anteriormente).

4.2 Configuración

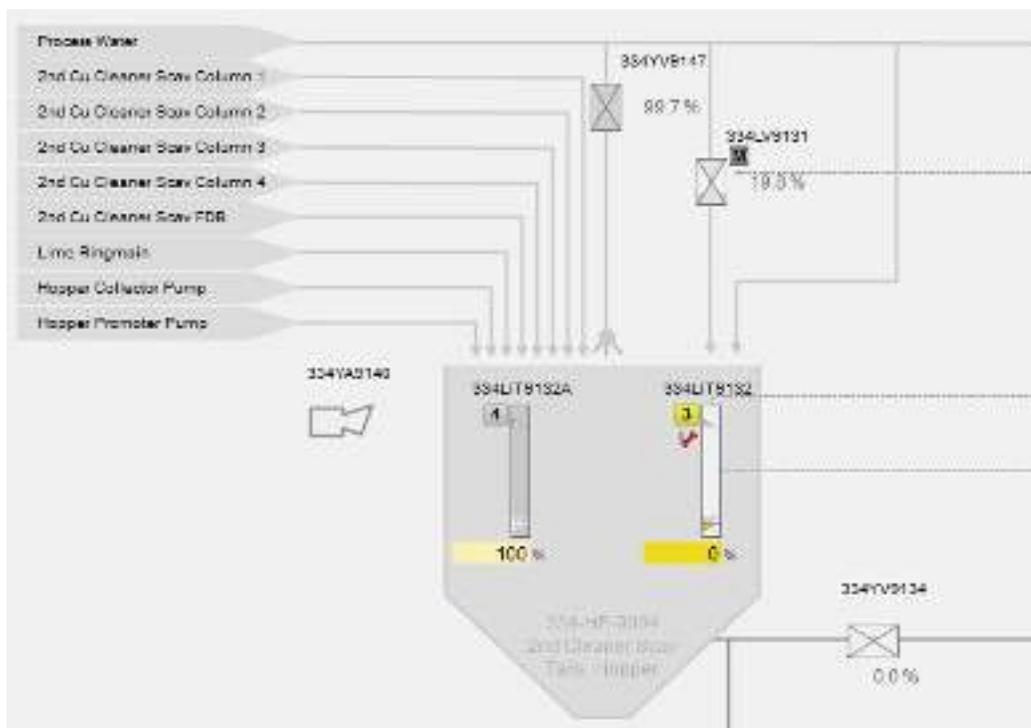
La configuración del sensor es de carácter muy amigable y fácil de manejar para cualquier cambio o intervención que a futuro se busque si se requiere alguna modificación.

Este instrumento reemplaza en el control del lazo de operación por nivel a un instrumento que era de comunicación Profibus PA y se ahorra en costos por cables, acopladores de segmento y fallas generales por desbalance de red, en la figura 4-1, se aprecia los dos lazos de medición de nivel, en donde está el 334LIT9132A en operación y ya fuera de servicio el 334LIT9132. Este proyecto busca por supuesto corregir una condición de falla constante, lo que al final se convierte en ahorro de dinero al lograr la meta de evitar derrames de concentrado, pues no se desperdicia ni se pierde este producto.

4.3 Facilidades y acceso a configuración

Se mantuvo la indicación local de este sensor en campo para uso de los operadores cuando su cuarto de control les pida seguimiento de la variable. También se mantiene el canal de configuración del instrumento (con el display FHX50) que es algo conocido por el departamento de Instrumentación e Ingeniería que hacen mantenimiento en la planta de Minera Panamá.

Figura 4-1 Tanque Industrial 334HP9002 con señal de nivel 334LIT9132A en operación



(Imagen Propia)

4.4 Principales Logros

- Se ha logrado en poco más de 3 meses desde su instalación, evitar derrames por pérdida de la señal de medición de nivel o por saturación de múltiples lecturas, en el tanque 334HP9004.
- Los llamados y atenciones del departamento de Instrumentación de Turno Planta, a este tanque se han disminuido prácticamente a cero, pues el desempeño ha sido magnífico y no hay reportes por atención de falla alguna, en la medición de nivel.

- Se ha podido mantener un alto desempeño, aun en condiciones adversas por suciedad. Esto debido a su principio de operación, 80Ghz de señal de operación en el radar, hacen que de forma robusta la antena no se ensucie fácilmente.
- Se logra hacer la medición sin tubo de aquietamiento, debido al pequeño haz concentrado para el nuevo modelo (3°), y que era un problema mayor pues la misma pulpa, al subir el nivel, lo dejaba muy sucio y hasta totalmente tapado.
- Las tendencias de operación del sensor, han marcado una mejor curva de la respuesta de medición de nivel en el tanque 334HP9004. Ver tendencias del sensor anterior (E&H FMR52) Figura 4-2 con problemas versus la nueva tendencia del sensor propuesto como solución (E&H FMR62) figura 4-3.

Figura 4-2 Comportamiento errático del sensor anterior (334LIT9132)



(Imagen Propia)

Figura 4-3 Comportamiento actual más estable y de mejor respuesta (334LIT9132)



(Imagen Propia)

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se implementó un sensor de nivel para la medición de nivel en línea de concentrado de cobre grueso en agua en el tanque industrial 334HP9004 y que cumple con el requerimiento de este proyecto, al entregar una señal análoga 4-20 mA y su equivalencia en porcentaje al lazo de control por nivel para este tanque, en el area de Columnas de Flotación, sin fallas por operación y ubicación del sensor, dado su principio de medición como sensor por no contacto tipo Radar.

Se cambió el tipo de señal en la lógica de control, pues este sensor es de protocolo Hart 4-20 mA y el anterior era de protocolo Profibus PA. Lo que implico tender una nueva acometida de alimentación y de comunicación.

En el ambiente de operación se realizo un cambio para la visualización y selección de control con este nuevo instrumento, el cual se nombró 334LIT9132A.

Se realizaron las pruebas de medición de nivel y de ajuste en lógica por retardo de la medición de nivel según la velocidad de llenado y vaciado del tanque, factor que puede variar según el estado de la bomba que se encuentre en operación.

Se impactaron y modificaron los planos de cableado al gabinete 334CPL9201 por nueva acometida al canal 4 del bloque 6.

Se documento los parámetros de configuración del nuevo instrumento para medición de nivel Micropilot FMR62.

5.2 Recomendaciones

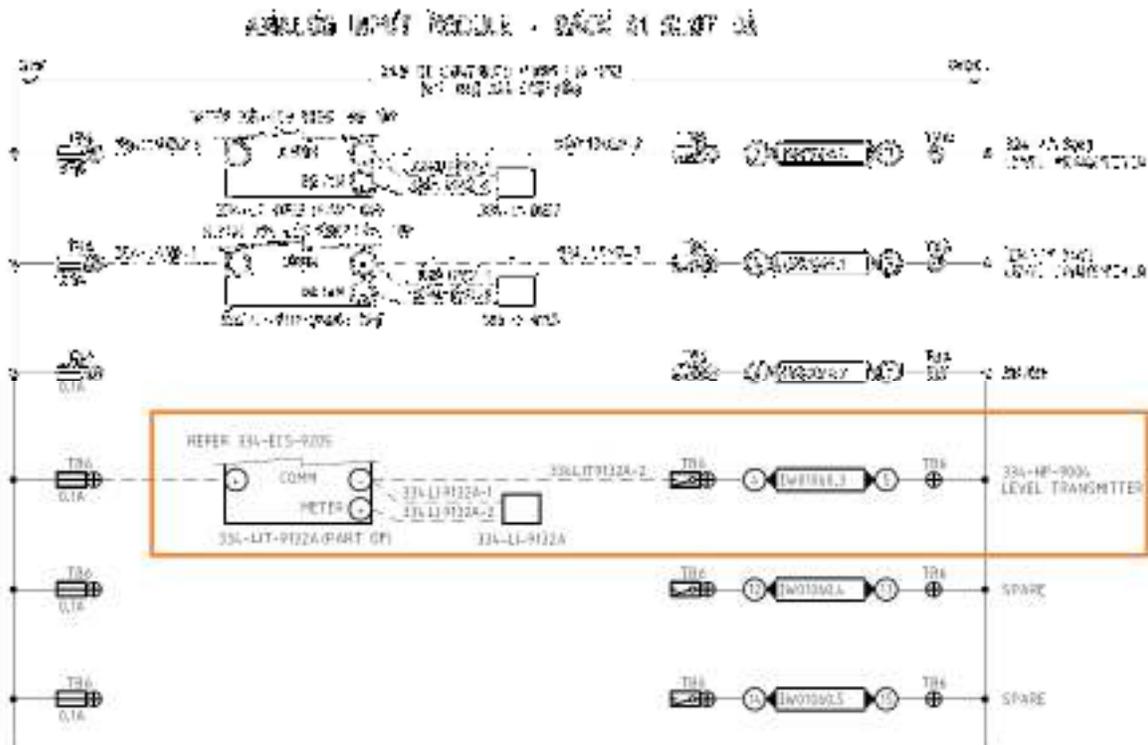
- Dada la respuesta del instrumento luego de la instalación y como se ha desempeñado, por mas de tres meses sin presentar un solo fallo en su operación, se recomienda hacer la migración de los sensores FMR50, FMR51 y FMR52 para medición de líquidos y Concentrados de Cobre, en la planta de producción de Cobre Minera Panamá.

Entre lo mejor de su desempeño tenemos:

- ✓ Una alta precisión de +/- un milímetro.
- ✓ Las bondades que para mantenimiento representa una antena de gran aislamiento plástico de alta resistencia a valores en temperatura de hasta 200°C.
- ✓ Y lo mejor su pequeño haz de radar con apertura de 3°, el cual permite de manera exigente, montarse en áreas de alta congestión de tuberías y estructuras.

Anexos

Anexo 1. Plano impactado al cableado del Gabinete 334CPL9201, se resalta en recuadro la modificación. El nuevo sensor de nivel 4-20 mA con tag 334LIT9132A.



Fuente: (Minera Panama 334-ECS-9208, 2018)

Anexo 2. Tensión de alimentación a dos hilos 4-20 mA Hart pasivo (Endress&Hauser), en el sensor Micropilot FMR62 Endress&Hauser.

Fuente de alimentación, salida ⁽¹⁾	*Certificados* ⁽²⁾	Tensión U en terminal del equipo	Carga máxima R, dependiendo de la tensión de alimentación U ₀ de la unidad de alimentación
A: A dos hilos; 4-20 mA HART	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sin peligro de explosión ▪ Ex nA ▪ Ex tc ▪ CSA GP 	14 ... 35 V ⁽¹⁾	<p>The graph plots maximum load R in Ohms (Ω) on the y-axis against supply voltage U₀ in Volts (V) on the x-axis. The y-axis has a mark at 500. The x-axis has marks at 10, 14, 20, 25, 30, and 35. The curve starts at (14, 0), rises linearly to (25, 500), and then remains constant at 500 Ω until U₀ = 35 V.</p>
	Ex ia / IS	14 ... 30 V ⁽¹⁾	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ex d(ia) / XP ▪ Ex re(ia) ▪ Ex nA(ia) ▪ Ex ia / DIP 	14 ... 35 V ^{(1) (4)}	
	Ex ia + Ex d(ia) / IS + XP	14 ... 30 V ⁽¹⁾	

Fuente: (Endress&Hauser)

Anexo 3. Registro de Orden de Trabajo en JDE por Modificación e instalación de nuevo sensor en 334HP9004


Cobre Panamá

Maintenance Work Order / Orden de Trabajo de Mantenimiento				
Work Order No. / No. Orden Trabajo	815017 WM		Re-Print	
Start Date / Fecha Inicio	27/10/22	Priority / Prioridad	4	
Counter Reading / Lectura Medidor		WO Type / Tipo Orden	Corrective Order	
Category Code / Código Categoría	- 055-Hopper - Maintenance Equipment SD / Island OP		Status / Estado	WO Issued & Released
		Supervisor	Proc C&I Fabrication Supvsr	
Asset General Information. / Información General Activo				
Asset No. / No. Activo	334-HP-9004			
Manufacturer / Fabricante	ACT			
Model Desc. / Desc. Modelo	Hopper Tails 2nd Cu Clenr Scav Copper Column Flot			
P&ID	P&ID			
Parent / Padre	334-HP-9000 Hoppers Conc Coarse Cleaner			
Warranty / Garantia	NO			
Description of problem in Work Request. / Descripción del Problema				
1.	334LT9132 Improvement			
Work Order Parts / Lista de Partes				
JDE Number / Número JDE	Spare Description / Descripción de la Parte	Op No./No.02	Qty / Cant.	Unit / Unidad
	Equipment and Instructions / Equipo e Instrucciones			
	334LT9132 Improvement			
Tooling / Herramientas				
JDE Number / Número JDE	Spare Description / Descripción de la Parte	Qty / Cant.	Unit / Unidad	
Labor Allocated / Descripción Mano Obra				
Crew Size / No. Personas	Work Center / Centro de Trabajo	OPS / Sec. Op	Est. Hours / Horas Est.	
1	LCRP 334LT9132 Improvement		1.00	
Timesheet / Hoja de Tiempo				
Employee JDE Code / Código JDE Empleado	Name / Nombre	Initial / Iniciales	OPS / Sec. Op	Act. Hours /H. Actual

Supervisor Name / Nombre Supervisor:

Fuente: (Minera Panama, JDE WO#815017, 2022)

Anexo 4. Carta de aprobación Tesis Minera Panamá

 Documento/C&I: Proyecto 334HP9004 (E+H FMR62)

Panamá, 9 de noviembre de 2022.

Señores
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADOS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTROMECÁNICA Y BIOMÉDICA
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO – SEDE CARTAGENA
CIUDAD

Distinguidos Señores,

Por medio de la presente certifico que el señor ALVARO APARICIO, colaborador de Minera Panamá, S.A. en calidad de Especialista de Instrumentación del grupo "A" del departamento Engineering C&I, estuvo trabajando en el diseño, preparación, montaje, puesta en marcha y seguimiento del Proyecto 334HP9004 donde se implementó un nuevo transmisor de nivel E+H FMR62 de alta gama. El mismo ha cumplido satisfactoriamente con el objetivo principal de la inversión y la tesis de grado.

También, como uno de los supervisores a cargo de la implementación de mejora, autorizo al colaborador el desarrollo de su tesis utilizando la documentación relacionada con este proyecto.

Agradezco su valiosa colaboración, se despide de ustedes.

 **Virgilio Vargas** | Control & Instrumentation Engineering Supervisor
First Quantum Minerals LTD - Cobre Panamá
T: (+507) 6826-5723 | virgilio.vargas@firstquantum.com
www.firstquantum.com
Torre De Los Amigos, Torre 4, Piso 21, Zona Pacifico, Panamá.




Firma

Bibliografía e Infografía

- Cobre Panama. (2022). *Cronología del proyecto Cobre Panama*. Obtenido de <https://cobrepanama.com/cronologia>: <https://cobrepanama.com/cronologia>
- Creus S, A. (2011). *Instrumentacion Industrial*. Barcelona: Marcombo.
- Endress&Hauser. (12 de 04 de 2018). Manual de instrucciones Micropilot FMR51, FMR52.
- Endress&Hauser. (29 de 01 de 2021). *Remote display FHX50*. Obtenido de [Endress&Hauser/Productos/Display Remoto FHX50](https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/FHX50?t.tabId=product-downloads) : <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/FHX50?t.tabId=product-downloads>
- Endress&Hauser. (s.f.). *Medición por radar - Micropilot FMR62 | Endress+Hauser*. Obtenido de <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/medicion-nivel-por-radar-80GHz?t.tabId=product-overview>: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/medicion-nivel-por-radar-80GHz?t.tabId=product-overview>
- Endress&Hauser, España. (s.f.). *Medición por radar Micropilot FMR50*. Obtenido de [Endress&Hauser/Productos](https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/medicion-de-nivel-radar?t.tabId=product-overview): <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/medicion-de-nivel-radar?t.tabId=product-overview>
- First Quantum. (2022). *Nuestras Operaciones*. Obtenido de Panama: <https://www.first-quantum.com/Spanish/nuestras-operaciones/default.aspx#module-operation--cobre>
- First Quantum, Minera Panama. (17 de julio de 2014). Copper Colum Flotation 2nd Cu Cleaner Scav Tails Hopper. *334-PR-PID-9103*. Panama.
- Glencore. (2017). Manual de Operación de Planta Concentradora. En T. A. Glencore, *Manual de Operación de Planta Concentradora*.
- LAKE CABLE. (2021). *Catalogo de producto/Instrumentacion par/triada/De PVC-PVC Blindaje General V162PRS*. Obtenido de

<https://www.lakecable.com/product-catalog/instrumentation/4a-pvc-pvc/4aiv-pair-triad-overall-shield/item/568-v162prs>.

Lycopodium Minerals. (2018). *Filosofia de Control areas de Flotacion de Cobre*. Perth, Australia.

Mediciones y Servicios Asociados. (2014). *Medidores de nivel para todas las necesidades*. Obtenido de Mediciones y Servicios Asociados: <http://www.msa.net.co/soluciones/tipo-tecnologia/medicion-de-nivel/>

Minera Panama. (Enero de 2018). 334-HP-9004. Panama.

Minera Panama 334-ECS-9208. (7 de 2 de 2018). Copper Colum Flotation Field Control Panel 334-CPL-9201 SHT 4.

Minera Panama 334-ME-DRG-0028. (29 de 07 de 2014). Copper Column Flotation, Coarse Cleaner & 2nd Cu Cleaner Scav.

Minera Panama. (Enero, 2018). *Copper Flotation Areas Process Control Philosophy*.

Minera Panama, JDE WO#815017. (2022). JDE WO 815017. Cocle, Panama.

Phoenix Contact. (2022). *Home/Products/Sensor/actuator cable - SAC-8P-M12MS/10-28X/M12FSSHOD*. Obtenido de <https://www.phoenixcontact.com/en-us/products/sensoractuator-cable-sac-8p-m12ms10-28xm12fsshod-1408153>: <https://www.phoenixcontact.com/en-us/products/sensoractuator-cable-sac-8p-m12ms10-28xm12fsshod-1408153>

Siemens. (septiembre de 2021). Catalog ST PCS 7. *Edition Update September 2021*.