

Informe sobre Hidrociclones y Transmisor Digital de Presión en la Planta de Flotación

Índice

1. Introducción.....	3
2. Hidrociclones	3
2.1. Función de los Hidrociclones	4
2.2. Características de los Nuevos Hidrociclones	5
2.3. Forma de Funcionamiento de los Nuevos Hidrociclones	6
3. Transmisor Digital de Presión	7
3.1. Función del Transmisor Digital de Presión	7
3.2. Forma de Funcionamiento del Transmisor Digital de Presión	9
3.3. Medidas adoptadas en caso de que el transmisor detecte una situación anómala	10
4. Registros de funcionamiento del Transmisor Digital	10
5. Conclusiones	10
6. Listado de Apéndices	11

1. Introducción

La planta concentradora de la faena Tambo de Oro, dispone de dos molinos de bolas que son alimentados continuamente con mineral proveniente de la planta de chancado, con un tamaño aproximado de 80% bajo $\frac{1}{4}$ ", el que debe reducirse en los molinos a 80% bajo 150 micrones. El objetivo de la reducción de tamaño se fundamenta en la necesidad de liberar las especies minerales de interés comercial, de modo tal que sea posible recuperarlo en el proceso siguiente de concentración por flotación, de las especies minerales que constituyen minerales sin valor económico. Para satisfacer el logro del tamaño objetivo de 150 micrones, los molinos operan en circuito cerrado con una batería de hidrociclones, una por cada línea de molienda. De este modo los hidrociclones reciben la pulpa descargada por los molinos y la clasifican en dos fracciones; una fracción "fina", que contiene el mineral con un tamaño "objetivo" de 80% menor a 150 micrones, y otra fracción "gruesa", que contiene el mineral de un tamaño mayor al tamaño "objetivo", el cual necesariamente debe recircularse a los molinos.

La definición de la tarea de molienda, es decir, a qué tamaño "objetivo" debe reducirse el mineral alimentado al sistema, dependerá del nivel de recuperación de Oro y Cobre que se pretenda conseguir en el proceso de "flotación". Por otra parte, la definición de las dimensiones de los hidrociclones, parte integrante y fundamental de la tarea de molienda, dependerá del tamaño de cada planta. Para el caso de la planta TDO, el diámetro de los equipos de clasificación o hidrociclones seleccionados inicialmente fue de 6".

Al respecto, se produjeron eventos asociados a la condición operacional de "acordonamiento" por alta presión de operación de los pequeños hidrociclones de 6". La consecuencia inmediata, fue la generación de rebalses de pulpa en la contención secundaria del área de flotación, lo que solo podía ser resuelto a través del corte de carga de los molinos.

Con el objeto de dar solución a la problemática de "acordonamiento de hidrociclones" y "rebalses de pulpa", los profesionales de las áreas de Metalurgia y Mantenimiento de la planta implementaron boquillas con mayor diámetro de descarga disponibles en el mercado para los hidrociclones de 6", logrando reducir en parte la ocurrencia de dichos eventos.

Posteriormente, se determinó que los acordonamientos se solucionarían con el reemplazo de los hidrociclones de 6" por unos de mayor capacidad, seleccionando en este caso el diámetro de 10". Adicionalmente, se aconsejó evolucionar hacia el uso de transmisores de presión y lazos de control automático que permitieran controlar efectivamente la condición operacional de los hidrociclones.

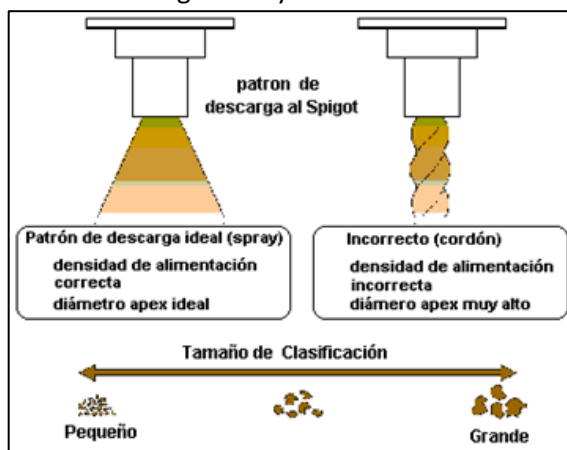
2. Hidrociclones

Los hidrociclones son equipos usados principalmente para la clasificación de sólidos por diferencia de tamaño en pulpas minerales. La industria minera los utiliza principalmente para la clasificación de pulpas minerales por tamaño y/o por gravedad específica.

La estructura del hidrociclón está conformada por una cámara cilíndrica en la parte superior, conocido como el Cabezal de Entrada para la pulpa de la alimentación, la cual cuenta con una entrada tangencial o en forma de involuta para alimentar a esta sección cilíndrica. Al centro de la tapa del Cabezal de Entrada, en la parte superior del hidrociclón, hay un tubo suspendido (Vortex Finder), que se proyecta hacia el interior de la sección cilíndrica y que recolecta el producto “fino” que produce el hidrociclón, también conocida como “Overflow”, corriente de pulpa central ascendente dentro del hidrociclón. En la parte inferior del hidrociclón, existe un orificio de descarga (Ápex) que permite la salida o descarga del producto “grueso”, también conocido como “Underflow”.

La presión de alimentación, requerida para la correcta operación de un hidrociclón, varía dependiendo de su tamaño. Un sensor de presión debe ser localizado en el distribuidor de alimentación o en la cañería de alimentación adyacente a la entrada del hidrociclón, de manera de indicar en forma constante la presión de operación.

Figura N°1: Descarga Ideal y Acordonamientos en el Apex



Fuente: Elaboración Propia

Un cambio en la presión de alimentación afecta el rendimiento de operación y la razón de separación de agua del ciclón: generalmente, mientras más alta sea la presión, más fina será la separación, y menor será la razón de separación de agua, o mayor será la concentración de sólidos en la descarga del hidrociclón. Ello genera que el flujo de pulpa se adelgace tanto como una cuerda, condición operacional conocida como “ACORDONAMIENTO”, lo que posteriormente puede generar la completa obstrucción de la descarga del Ápex.

2.1. Función de los Hidrociclones

Toda partícula sólida dentro de un hidrociclón está sujeta a dos fuerzas básicas: la Fuerza Centrífuga (FC) y la Fuerza de Arrastre (FA). La FC tiende a impulsar la partícula hacia las paredes del equipo, donde las velocidades se reducen por condición de límites, haciéndolas descender por gravedad hasta descargar por el “Ápex” del hidrociclón, formando el “Underflow”. Por otro lado, la FA tiende a llevar la partícula hacia el eje central del equipo, donde la pulpa se une con un torbellino de aire

en el núcleo que sube hasta encontrar salida por el “Vortex Finder”, rebalsando por la parte superior del ciclón y formando el “Overflow”.

Si la partícula tiene un tamaño y/o peso suficiente para que la Fuerza Centrífuga sea mayor que la Fuerza de Arrastre, la partícula terminará reportándose al “Underflow”. Por el contrario, si la partícula es lo suficientemente pequeña y/o ligera como para que su resultante Fuerza de Arrastre sea mayor que la Fuerza Centrífuga, la partícula terminará reportándose al “Overflow”.

2.2. Características de los Nuevos Hidrociclones

En los meses de abril y junio de 2016, se instalaron los nuevos hidrociclones de 10” en las baterías de los molinos 1 y 2 respectivamente. Su adquisición, consta en las órdenes de compra acompañadas en el **Apéndice 1** del presente Informe.

Imagen N°1: Hidrociclones de la línea 1 de molienda



Fuente: Elaboración Propia

La Imagen N°1, muestra la batería de hidrociclones correspondiente a la línea 1 de molienda. El hidrociclón de la izquierda corresponde al “nuevo” hidrociclón Eral de 10”, constituido por una entrada tangencial de 40 x 100 milímetros, tres sectores cilíndricos de 10”, un “Ápex” de 70 milímetros y un tubo de rebose de 100 milímetros. Por su parte el hidrociclón de la derecha corresponde al “viejo” hidrociclón, constituido por una entrada tangencial de 10 x 100 milímetros, un sector cilíndrico de 6”, un sector cónico de 6”, un “Ápex” de 40 milímetros y un tubo de rebose de 80 milímetros. La Tabla N°1 muestra las áreas de las entradas y las salidas para los hidrociclones de 6” y 10”.

Tabla N°1: Comparación entre Hidrociclón de 6'' y 10''

	Hidrociclón		Diferencia
Diámetro Hidrociclón, in	6"	10"	4"
Hidrociclones en Operación	2	1	
Entrada Tangencial, mm	100x12	100x40	
Relación de Área de Entrada, mm2	1.200	4.000	333%
Diámetro Tobera de Rebose o Vortex, mm	80	100	
Relación de Área de Rebose o Vortex, mm2	5.027	7.854	156%
Diámetro Boquilla Descarga o Ápex, mm	40	70	
Relación de Área de Descarga o Ápex, mm2	1.257	3.848	306%

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°1 muestra la enorme diferencia entre las áreas de entrada y salida de pulpa de ambos hidrociclones. En síntesis, el área de la entrada tangencial se incrementó en un 333%, el área de la Tobera de Rebose en un 156% y el área de la Boquilla de Descarga en un 306%. Por este motivo, las presiones de operación se redujeron significativamente y, en consecuencia, también los eventos de “acordonamientos” y/o “obstrucciones” de las boquillas de descarga.

2.3. Forma de Funcionamiento de los Nuevos Hidrociclones

El efecto inmediato del “acordonamiento” de los hidrociclones de 6”, es el rebalse de pulpa sobre el sector de contención secundaria del área de flotación. Para entender cómo se produce este rebalse, hay que considerar que al obstruirse la boquilla de descarga o Ápex por el “acordonamiento” del hidrociclón, una de las dos salidas del equipo queda bloqueada por la carga. Ello genera que todo el flujo alimentado al hidrociclón salga, sin clasificar, por la Tobera de Rebose u Overflow.

Al producirse el “acordonamiento” u “obstrucción” del Ápex, la pulpa no es clasificada por tamaños, avanzando por la tobera de rebose hacia la etapa de flotación con una granulometría más “gruesa”, equivalente a la descarga del molino. Al llegar la carga “gruesa” al área de flotación, se obstruyen los orificios de la malla de seguridad para el retiro de las fibras sintéticas del “Shotcrete”, proveniente de la mina.

Al obstruirse la malla, el flujo de pulpa rebalsa hacia la contención secundaria del área de flotación, en cuyo caso el operador del área de flotación inmediatamente solicita al operador de Sala de Control que coordine el corte de la carga del molino afectado, con el propósito de aliviar el circuito y detener el rebalse.

La opción de reemplazar los hidrociclones de 6” por otros de un diámetro mayor, permitió aliviar la presión de trabajo de la pulpa alimentada a los nuevos hidrociclones, en la práctica bajo los 10 psi, de manera tal que los eventos de “acordonamiento” y “rebalses” fueron significativamente menos recurrentes.

3. Transmisor Digital de Presión

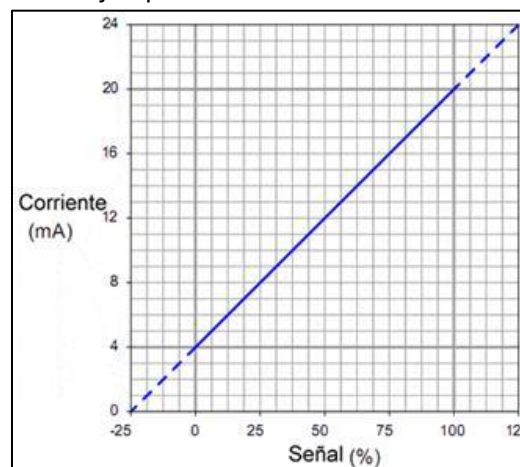
A pesar de la importante reducción de los eventos de rebalse de pulpa en flotación producto de la implementación de hidrociclones de mayor diámetro, se decidió instalar un “sensor y/o transmisor de presión” en cada uno de los circuitos de molienda y clasificación, PIT por sus siglas en inglés (Pressure Indicator Transmitter). Esto tuvo por propósito la implementación de una herramienta de gestión que permitiera visualizar, en las pantallas del Software de Control de la planta, la señal de “presión” de alimentación de pulpa en cada una de las baterías, además de las correspondientes “líneas de tendencias” de la presión en el tiempo.

En este sentido, los ingenieros de control programaron las “Alarmas” de “Alta Presión” que permitirían, al operador de la Sala de Control, reaccionar oportunamente frente a un incremento de la presión de operación de los hidrociclones que pudiera originar un “nuevo” rebalse en el área de flotación.

3.1. Función del Transmisor Digital de Presión

Los sensores asociados a la medición de variables como los FIT (Transmisores e indicadores de Flujo) y PIT (Transmisores e indicadores de Presión), miden las variables en terreno y además pueden transmitirla al PLC (Controlador Lógico Programable), a través de una señal eléctrica. Esta señal eléctrica, generalmente en un rango de 4 a 20 mA (miliamperes), es correlacionada con la magnitud de la variable medida.

Figura N°2: Ejemplo de funcionamiento de los sensores



Fuente: Elaboración Propia

La Figura N°2 muestra un ejemplo en que la señal 4 mA podría representar el 0% de la presión y la señal 20 mA podría representar el 100% de la variable presión, siendo una función lineal, pudiéndose usar la ecuación de la recta ($y = m x + b$) para proporcionar las señales medidas a sus respectivos valores de corriente.

Figura N°3: Transmisor de presión instalado



Fuente: Elaboración Propia

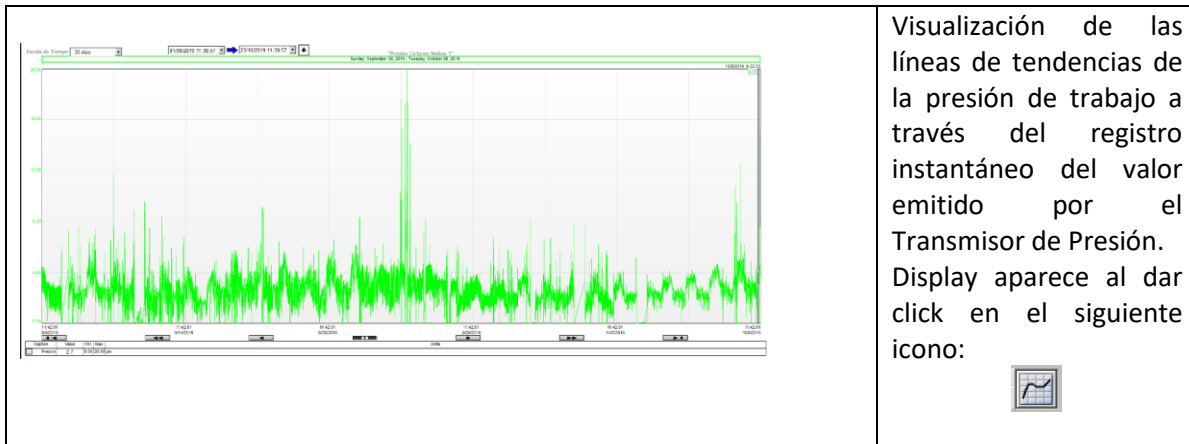
La Figura N°3 muestra el “transmisor de presión” de una de las baterías de los hidrociclones de la planta, localizado en el distribuidor de pulpa de la batería.

Los transmisores de presión son instrumentos sencillos, cuyos sensores toman contacto directamente con la carga emitiendo una señal eléctrica, en miliamperios (mA), respecto de la cual los ingenieros de control la deben correlacionar, a través de la definición de un modelo lineal, con la presión de operación instantánea del sistema.

Cabe señalar que los transmisores de presión instalados en las baterías de hidrociclones permitieron visualizar, en las pantallas de la Sala de Control, la siguiente información:

Tabla N°2: Información Visualizada en la Sala de Control

Figura	Descripción
	Indicación del valor de la presión de trabajo registrado en terreno por el “Transmisor de Presión”, visualizado en la pantalla del operador Sala de Control.



Fuente: Elaboración Propia

En la primera imagen, es posible apreciar una visualización de la operación de la batería de hidrociclones, que en este caso la correspondiente al molino 1, en la cual el transmisor de presión está indicando que la presión instantánea de la batería del molino 1 es de 2,12 psi. Por su parte, la segunda imagen muestra el gráfico de tendencias de la misma variable, en color verde.

3.2. Forma de Funcionamiento del Transmisor Digital de Presión

El objetivo del transmisor de presión (PIT) es entregar al PLC una señal eléctrica, de manera de convertir la señal, a través de programación y escalamiento, a un valor de presión, que en lenguaje de programación se conoce como VP (variable de proceso). De este modo, el valor de la presión ingresa al sistema de programación para compararse con los valores de presión definidos como “alto” y “alto-alto”, que en lenguaje de programación se conocen como SP (Set Point). De esta manera, si el valor de la variable medida (VP) es mayor que el Set Point (SP) definido como presión “alta”, aparecerá en pantalla una “alarma” de presión “alta o Hi”, en ícono parpadeante y de color amarillo. De igual modo, si el valor de la variable medida (VP) es mayor que el Set Point (SP) definido como presión “muy alta”, aparecerá en pantalla una “alarma” de presión “alta-alta o Hi-Hi”, en ícono parpadeante y de color rojo.

Los Set Point (SP) de presión de hidrociclones, definidos para operar satisfactoriamente el sistema de molienda y clasificación, son de 8 [psi] para la condición “presión alta” (alta o Hi) y de 10 [psi] para la condición de operación “Presión muy alta” (alta-alta o Hi-Hi). De este modo, se cumplirá lo siguiente:

- i. Si $VP > SP = 8$ psi se activará la alarma “presión alta” con ícono parpadeante en **color amarillo**.
- ii. Si $VP > SP = 10$ psi se activará la alarma “presión alta- alta” con ícono parpadeante en **color rojo**.

3.3. Medidas adoptadas en caso de que el transmisor detecte una situación anómala

Se ha instruido a los operadores de Sala de Control que permanentemente estén monitoreando la variable “presión” de los hidrociclones, visualizada en sus monitores, de manera de reaccionar oportunamente a los incrementos de la variable, que emitirán las alarmas correspondientes “alta” y “alta-alta”, en cuyo caso deben aliviar el circuito deteniendo la correa de alimentación a los molinos. Cabe destacar que, actualmente, si el valor de presión es de 10 psi, actúa el Lazo de Control Automático, que detiene automáticamente la alimentación a los molinos.

Los gráficos de tendencias disponibles permiten observar la dirección de la variable, de modo tal que al aproximarse al valor definido como “presión crítica”, el operador de Sala de Control puede ajustar la carga de los molinos.

4. Registros de funcionamiento del Transmisor Digital

El software de control permite entregar registros históricos de todas las variables de proceso, respecto de las cuales el ingeniero de control ha logrado recuperar solo datos a partir septiembre de 2019. El registro de datos de presión históricos almacenados y disponibles desde septiembre de 2019 a la fecha se presentan en el **Apéndice 2** del presente informe.

5. Conclusiones

Los hidrociclones Eral de 6” no fueron capaces de clasificar satisfactoriamente la carga del circuito, dado que permanentemente se producían acordonamientos y obstrucciones en las boquillas de descarga del hidrociclón, con el consiguiente rebalse de pulpa en la contención secundaria de flotación.

La señal más clara de la disminuida capacidad de estos equipos fue la elevada presión de operación, muy próxima a la presión crítica de 10 psi, sobre la cual se inician los acordonamientos en la descarga del hidrociclón.

El apoyo técnico de expertos como los doctores Jaime Sepúlveda de J- Consultores y ex CEO de Moly-Cop Chile y Juan Luis Bouso Presidente de Eral Equipos y Procesos, validaron la necesidad de aumentar la capacidad de los hidrociclones, recomendándonos el diámetro de 10”.

Migrar hacia los hidrociclones de 10”, permitió incrementar las áreas de entrada y salidas de la pulpa en hasta 3 veces, de manera que las presiones de operación se redujeron significativamente, permitiendo que los “acordonamientos” de hidrociclones y rebalses de pulpa en flotación fueran eventos muy aislados.

Complementar la operación de hidrociclones de 10” con la habilitación de sensores y/o transmisores de presión (PIT), programados para que la señal de “presión” y sus correspondientes alarmas de “presión alta” y “presión alta-alta”, sean visibles en los monitores de Sala de control, permitió a

nuestros operadores tomar rápidas y oportunas decisiones previniendo la ocurrencia de nuevos rebalses de pulpa en las contenciones de flotación.

6. Listado de Apéndices

Los Apéndices del presente Informe son los siguientes:

- a. Apéndice 1:** Órdenes de Compra
- b. Apéndice 2:** Registros de Operación del Transmisor Digital



Mauricio Corvalán Alfaro
Superintendente de Planta
RUT. 10.981.513-6