

## SONAR - El poder de la tecnología pasiva

*Escrito por: John Viega, Vicepresidente de Ventas y Servicios Global, CiDRA  
Wallingford, Connecticut, EE.UU. [jviega@cidra.com](mailto:jviega@cidra.com)*

Durante los principios de los años cincuenta, las armadas británicas y estadounidenses empezaron a investigar el uso de sonar pasivo, en donde un conjunto de sensores podía detectar sonidos que surgían del submarino enemigo. Antes de desarrollar esta nueva forma de detección, las armadas usaban sonar activo donde un submarino emitía una señal que reflejaba en el submarino enemigo. Lamentablemente, esto también avisaba al enemigo que alguien lo estaba monitoreando. El sistema de sonar pasivo permite que el submarino se vuelve “furtivo”, escuchando los sonidos emitidos por el submarino enemigo y por medio del uso de un cable arrastrado donde los sensores se localizan el submarino puede recibir las señales del enemigo en forma pasiva. Por medio de un potente algoritmo las señales (campo de presión) se convierten en información para que el submarino tome las acciones necesarias.

Adelantemos hasta el año 1998, cuando CiDRA Corporation, una empresa privada ubicada en el centro de la industria de defensa patentó el concepto de utilizar las técnicas de sonar pasivo para escuchar e interpretar desde afuera los distintos campos de presión que ocurren naturalmente en los flujos dentro de las tuberías.

La tecnología de sonar pasivo para medir flujos de SONARtrac®, utilizada por más de 17 años en algunos de los ambientes más extremos y aplicaciones más desafiantes, es la tecnología más novedosa para medir fluidos desde la introducción de los flujómetros vortex, Coriolis y de ultrasonido al mercado en los años sesenta y los principios de los años setenta. La tecnología de sonar pasivo ha sido diseñada para medir una amplia gama de flujos de múltiples fases, especialmente para flujos de pulpa corrosiva o abrasivas. Flujos como los que encontramos en la industria del procesamiento de minerales, como el flujómetro se instala y opera desde afuera de la tubería, no tiene contacto con el fluido por lo que puede operar sin problemas. La capacidad de la tecnología sonar pasiva para medir flujos permite un rendimiento sin precedentes en la medición y confiabilidad de la medida cuando se miden en pulpas y fluidos agresivos, por esto casi se elimina los costos de mantenimiento y paradas asociados con las otras tecnologías que se utilizan en la medición de pulpas, como son los flujómetros electromagnéticos y ultrasónicos.

### **Tecnología SONARtrac: Mas que solo un “flujómetro” – Apalancando la capacidad dual para un valor agregado en los procesos industriales**

La tecnología de sonar pasivo entrega dos mediciones distintas – flujo volumétrico y aire arrastrado (porcentaje por volumen) – esto permite que los ingenieros de procesos, metalurgistas y profesionales de la operación tengan una combinación poderosa de herramientas, con medición en tiempo real que les permite reducir la variabilidad y así optimizar el proceso. En la operación eficiente de cada proceso es clave tener información precisa de cada variable para tener un balance correcto de la producción, muchas veces, una medición de flujo incorrecta causa problemas de confiabilidad los cuales pueden ser comunes con instrumentación convencional como los flujómetro electromagnéticos, donde el equipo está en contacto con el material sea por la abrasión del material o por sus características magnéticas la medición es afectada y como tal la confiabilidad de la operación del proceso pues no hay forma de saber cuál variable está siendo afectada o está influenciando negativamente el balance. Ahora si consideramos también la presencia de, burbujas de aire (aire arrastrado) en la pulpa o fluidos, pues tenemos un mayor impacto negativo en las mediciones, lo cual hace aún más difícil el trabajo del operario pues no puede identificar exactamente la causa de los problemas.

A diferencia del medidor electromagnético, el sistema SONARtrac para flujo y aire arrastrado se monta en la parte exterior del tubo y no entra en contacto con el material del proceso, lo cual lo hace en la herramienta ideal para monitorear y controlar procesos, eliminando dos de los variables que los ingenieros de procesos tienen que manejar a diario – flujo y aire arrastrado. Utilizando la correlación entre estas dos medidas para controlar los niveles del estanque, salida de bomba, densidad y otras mediciones del proceso, los ingenieros de procesos y metalurgistas están en mejor posicionados para determinar la causa raíz de estos problemas y pueden estar seguros de la precisión del flujo para mejor control y optimización de procesos.

Los flujómetros SONARtrac han estado en servicio sin problemas durante 14 años en los cuales han estado sin necesidad de mantenimiento y sin necesidad de recalibrar. Aparte de medir el flujo desde la parte exterior del tubo, la tecnología de sonar pasiva puede medir el porcentaje de aire por volumen en las pulpas o flujos. El aire

arrastrado en los flujos y pulpa puede causar desplazamientos significativos en los cálculos de balance másico y hacer que sea difícil optimizar el proceso para conseguir un aumento en la eficiencia de la producción.

¿Cómo se forma esta combinación única de mediciones para entregar eficiencias en la producción y operación?

## Tecnología SONARtrac – Base de la operación

Como un submarino que arrastra un cable con sensores en el mar para medir los campos de presión y longitud de frecuencias asociados con las señales, para determinar la distancia, velocidad y características físicas de su objetivo a través de técnicas de procesamiento de estas señales, similarmente la tecnología SONARtrac realiza el mismo proceso para la medición de flujo y aire arrastrado.

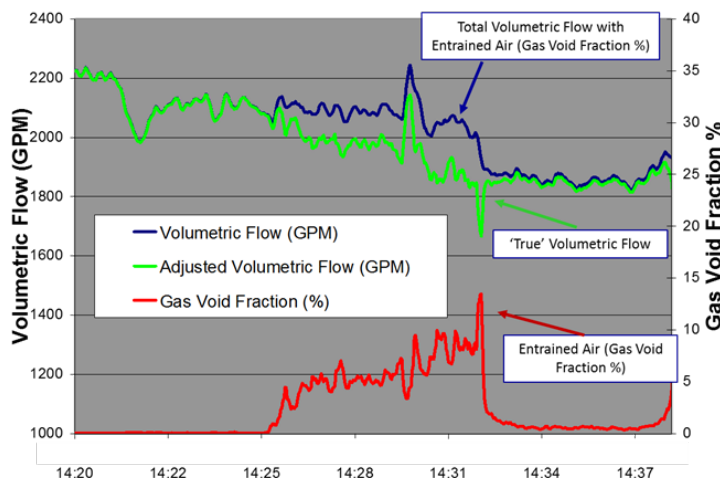
El procesamiento de la medición de flujo por medio del sonar pasivo emplea dos distintas técnicas para la medición. La primera técnica mide el flujo volumétrico a través de un monitoreo de “remolinos” entre el flujo del proceso. La tecnología de flujo sonar pasivo proporciona una medición directa de la velocidad promedio de la masa, al igual que otros flujómetros basadas en velocidad.

Conociendo el diámetro interior de la tubería, se obtiene el flujo volumétrico. La segunda técnica mide la velocidad en que el sonido se propaga a través del líquido para entregar información de la composición. La medición de la velocidad de sonido se realiza también en tiempo real, una medición directa de donde el aire arrastrado por volumen se deriva. El flujo volumétrico tanto como el aire arrastrado se puede entregar como salidas diferentes al DCS. La medida de aire arrastrado es especialmente sinérgica con el flujo volumétrico de SONARtrac en que la medición de la velocidad de sonido puede ser usada para determinar la fracción volumétrica de la mezcla doble componente, donde el volumen total del flujo puede ser ajustado a una medición de “flujo real” de la pulpa o líquido como se muestra en la Figura 1.

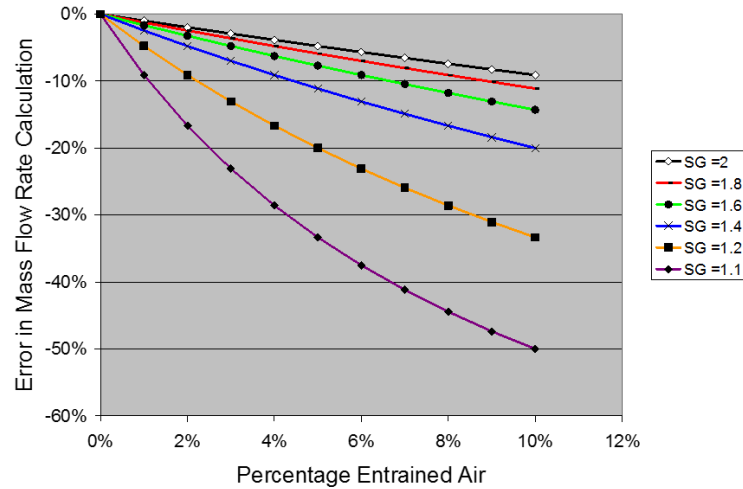
Industrias de procesos en todo el mundo se han percatado del valor agregado que entrega una medición de aire arrastrado en tiempo real para la optimización de procesos y aumento en las eficiencias. La medición pasiva de aire arrastrado se usa en varias industrias para corregir la medición del cálculo de la densidad desde un medidor nuclear de densidad cuando el aire arrastrado está presente, lo que posibilita un cálculo correcto de flujo másico. Dependiendo de la gravedad específica del material del proceso, hasta la presencia más pequeña de aire arrastrado en un líquido o pulpa puede causar grandes errores en la medición de densidad como se ve en la Figura 2. Tal como fue mencionado anteriormente, los ingenieros de procesos, metalurgistas y profesionales de operaciones combaten diariamente con una gama de variables que convierten la previsibilidad y control de los procesos desafiantes, por decir lo menos. Con la utilización de la tecnología de flujo de SONARtrac, dos de estas variables, flujo y aire arrastrado, ya pueden ser usados con confianza cuando uno está calculando el balance de masas en el monitoreo diario y en el control de procesos.

## Utilizando SONAR pasivo para ajustar el flujo volumétrico a un flujo “real” cuando existe la presencia de aire arrastrado en flujos de líquidos y pulpas.

Figura 1: Medición de volumen de aire y corrección de flujo volumétrico



**Figura 2:** Medición de aire arrastrado corrige errores en densidad causado por la presencia de aire arrastrado.



### Caso de Aplicación – Instalación en una línea de alimentación de hidrociclón

Medir la tasa de flujo volumétrico en una línea de alimentación de un hidrociclón en una concentradora de cobre es una tarea bien desafiante para un flujómetro convencional. Hacerlo con una pulpa altamente abrasiva que contiene aire arrastrado, y en algunos casos, magnetita, agrega desafíos adicionales al rendimiento y mantenimiento del medidor electromagnético.

#### Instalación en Línea de alimentación de hidrociclón

A continuación, hay algunas fotos de ejemplo de instalaciones del flujómetro sonar pasivo (Figura 3) y un medidor electromagnético (Figura 4). A pesar de ser una complicada configuración de tubería, el flujómetro sonar pasivo funciona excepcionalmente bien y como está instalado en la parte exterior del tubo, hay cero posibilidades de filtración. Se puede notar en la foto del medidor electromagnético que se presentan problemas de filtración que ocurren dentro de un corto plazo una vez instalados.

**Figura 3:** Medidor de flujo y aire arrastrado Sonar pasivo



**Figura 4:** Medidor Electromagnético



Como se señaló anteriormente, la medición de densidad nuclear está sujeta a errores producidos por el aire arrastrado en la pulpa, que típicamente está causado por bajos niveles de pozo que atrae aire a la pulpa, o también por filtración en la bomba de alimentación, solo para nombrar algunos. Es extremadamente importante que el aire arrastrado sea eliminado de la pulpa en el hidrociclón por las siguientes razones: (1) si aire arrastrado está presente, la tasa de desgaste aumentará y el rendimiento del ciclón bajará y (2) aún más relevante para la recuperación del mineral y rendimiento de la planta, el aire arrastrado puede causar que partículas gruesas lleguen al overflow.

La tecnología sonar pasiva es el único instrumento en procesos que puede entregar una medición en tiempo real que se puede usar para monitorear y medir la cantidad de aire arrastrado en una pulpa. Esta capacidad puede permitir que un operador tome acciones preventivas para una mejor recuperación en el ciclón y que corrija errores en la medición de densidad para una medición más precisa de balance de masas.

Al tener una indicación más precisa del flujo, tendremos un mejor control de la carga que está circulando en el molino, por ejemplo, un control solo 1% mejor en la carga en el molino se suma a un 1% aumento en rendimiento de planta. Este aumento se traduce a un monto de US \$2,000,000 al año (100,000 toneladas diarias, ley de cobre de 0.5%, 85% recuperación, 28% con ley, \$2.50/libra). Adicionalmente, mejor control de la densidad de alimentación de pulpa hacia la batería del hidrociclón permite una mejor distribución de tamaño de partículas hacia la flotación. La sensibilidad de la recuperación de productos para la distribución de tamaño de partículas es altamente dependiente de los parámetros específicos de la operación. Por lo tanto, asumiendo que un 1% aumento en la recuperación puede ser logrado a través de un control de la densidad de la alimentación, se podría agregar US \$2,000,000 al año.

Flujómetros sonar pasivos también entregan un ahorro importante en cuanto a los gastos de mantenimiento y tiempo parada. Típicamente, un flujómetro electromagnético puede durar entre seis meses a 5 años y requiere una recalibración periódicamente, según el tipo de material y la velocidad de la pulpa. Entonces, el mantenimiento de estos instrumentos para el flujo es muy costoso considerando todos los factores. Estos factores incluyen: la inversión inicial, costo de instalación, seguridad, rendimiento del flujómetro, mantenimiento, requerimientos de repuestos, tiempo de espera de equipos y tiempo de para cuando el flujómetro tiene que ser sacado para ser reparado, recalibrado y reemplazado.

Los flujómetros sonar pasivos entregan una medición más precisa, fiable y repetible de flujo volumétrico sin ningún requerimiento de mantenimiento, y por esto son los más rentable en esta aplicación. Como el flujómetro sonar pasivo no requiere tomar contacto con el material, tiene una vida útil muy larga. Los flujómetros SONARtrac han estado en servicio desde el año 2003 y no requieren ningún mantenimiento ni recalibración. Adicionalmente, mejoras significativas en el rendimiento de la planta pueden ser logradas utilizando la medición de air arrastrad para corregir la medición de densidad, monitoreo y descartando interrupciones del proceso para tomar acciones correctivas que resultan en mejoras en la recuperación, basada en una mejor distribución de tamaño de partículas hacia la flotación.

## Conclusiones

La tasa de flujo volumétrico en una línea de alimentación de hidrociclón es una medición importante cuando procesamos minerales en una operación de molino de circuito cerrado. Para optimizar cualquier circuito, instrumentos de confianza son una necesidad. Sistemas de control dependen de medidas precisas y repetibles para primero, reducir la variabilidad del sistema y segundo, ajustar el punto de operación al más eficiente. Medición de flujo es una parte integral de cualquier estrategia de control de circuitos de flotación. Una medición de aire arrastrado entrega valor de las siguientes formas:

- El flujómetro sonar pasivo no está sujeto a bajo rendimiento por aire arrastrado cuando hay material magnético presente en el material, como magnetita, arsenopirita o pirrotina (como medidores electromagnéticos).
- Los cálculos de cargas circulando mejoran cuando sacan aire del cálculo.
- La precisión de balance de masa aumenta cuando se elimina aire del cálculo.
- La tasa de adición de espuma puede ser ajustado usando el flujo volumétrico de alimentación vs. Toneladas de material en el molino.

La precisión adicional que se puede adquirir cuando una planta usa correctamente estas mediciones entregadas por el sonar pasivo, puede aumentar su producción y mejorar la tasa de recuperación del mineral.



## Acerca de CiDRA

En 2017 CiDRA celebra su 20<sup>a</sup> año entregando tecnologías innovadoras para mejorar la recuperación de mineral y aportar a la optimización de procesos en minería y otras industrias. Sus flujómetros SONARtrac® están instalados en 450 operaciones industriales en 6 continentes. La nueva tecnología de CiDRA, CYCLONEtrac™ Sistema de Rastreo de Tamaño de Partículas (PST), que ya se están comercializado, está presente a nivel global. El valor de PST está en su capacidad única para rastrear el tamaño de partículas en el corriente overflow completo de una batería de hidrociclón en base de información a *nivel de cada hidrociclón*. Cuando se agrupa al sistema de control, CYCLONEtrac PST ha probado que si es posible llevar mejoras cuantificables en el circuito de molienda con casi 100% disponibilidad. CYCLONEtrac PST ha entregado mejor rendimiento de planta, tamaño de partículas más pequeñas, mejor control de tamaño de partículas y una utilización más eficiente de los molinos en sus aplicaciones comerciales.