

Batalla Tecnológica en el Salar de Uyuni: ¿Cómo medir con éxito la salmuera más exigente del planeta?

Autores: Ing. José Luis Cardozo e Ing. Ricardo Saucedo – HELIOS S.R.L.

Ubicación: Planta Industrial, Salar de Uyuni, Potosí, Bolivia.

Fecha del Ensayo: Finales de abril de 2026.



A finales de abril de 2026, el imponente y hostil escenario del Salar de Uyuni se convirtió en el laboratorio perfecto para poner a prueba los límites de la instrumentación industrial. En una colaboración estratégica con la industria, la empresa **HELIOS S.R.L.** llevó a cabo un riguroso ensayo técnico. El objetivo: resolver uno de los desafíos operacionales más complejos del sector: la medición precisa, estable y confiable de salmuera en tuberías presurizadas.

Para este reto, se desplegaron dos tecnologías de vanguardia de la marca internacional **Pulsar Measurement**, fabricante con amplia trayectoria global en el desarrollo de equipos diseñados para resistir los entornos más severos del planeta. Los protagonistas de la prueba fueron dos instrumentos portátiles de última generación basados en tecnología ultrasónica externa (*clamp-on*): el **PTFM 6.1** y el **PDFM 6.1**.

El duelo de los principios de operación: Tiempo de Tránsito vs. Doppler

Para comprender el desenlace de esta evaluación, es vital entender cómo operan ambas tecnologías ultrasónicas no invasivas, las cuales realizan el registro de flujo desde el exterior de la tubería, sin necesidad de cortar el conducto, intervenir mecánicamente ni detener la continuidad de la producción:

- 1. Tiempo de Tránsito (Modelo Pulsar PTFM 6.1):** Esta tecnología funciona enviando y recibiendo pulsos ultrasónicos alternadamente a
- 2. Efecto Doppler (Modelo Pulsar PDFM 6.1):** A diferencia de la anterior, esta tecnología requiere obligatoriamente que el fluido contenga "elementos reflectores", ya sean

favor y en contra de la corriente del fluido. El instrumento calcula la velocidad del líquido midiendo con extrema precisión la diferencia de tiempo que tarda la señal en viajar de un sensor a otro. Es la tecnología idónea cuando se busca la máxima precisión en fluidos limpios y homogéneos.



Pulsar PTFM 6.1

burbujas de gas o partículas sólidas en suspensión. El sensor emite una señal ultrasónica continua; cuando esta choca contra los sólidos en movimiento, rebota hacia el receptor con una frecuencia alterada. El equipo traduce este cambio de frecuencia directamente en velocidad de flujo de forma instantánea.



Pulsar PDFM 6.1

El veredicto de Uyuni: Doppler se corona en la robustez

Durante los ensayos en las tuberías presurizadas de la planta, las condiciones reales del fluido revelaron la verdadera naturaleza del desafío. La salmuera evaluada se encontraba en una fase avanzada del proceso de extracción y concentración, caracterizada por un alto porcentaje de sólidos disueltos, sedimentos en suspensión y una altísima densidad.

Esta condición física se convirtió en el "talón de Aquiles" para el equipo de tiempo de tránsito (PTFM 6.1). La extrema concentración de partículas dispersó y atenuó las señales ultrasónicas, impidiendo que los pulsos cruzaran el diámetro de la tubería de manera limpia, lo que dificultó la consolidación de una medición estable.

Por el contrario, lo que representó un obstáculo insalvable para una tecnología, fue el escenario ideal para la otra. El **Pulsar PDFM 6.1 (Doppler)** aprovechó la abundancia de sólidos suspendidos para obtener rebotes de señal perfectos, constantes y con una excelente relación señal/ruido. De esta manera, se coronó como la tecnología ganadora indiscutible en estabilidad, repetibilidad y desempeño dentro de este entorno tan agresivo.

Tecnología / Modelo	Principio	Comportamiento en Salmuera	Resultado Operativo
Pulsar PTFM 6.1	Tiempo de Tránsito	Señal dispersada y atenuada por la alta carga de sólidos.	No recomendado para fases densas o con sedimentos.
Pulsar PDFM 6.1	Efecto Doppler	Rebotes de señal perfectos y constantes gracias a los sólidos en movimiento.	Ganador absoluto. Medición estable y continua.

El drama de la cristalización: Un dolor de cabeza crónico para la industria

El estudio realizado por los especialistas de HELIOS S.R.L. no se limitó a la comparación de ultrasonidos; la medición también se contrastó en paralelo con la tecnología tradicional predominante en la planta: un medidor de caudal electromagnético en línea (invasivo).

Los resultados encendieron las alarmas sobre las severas limitaciones que sufren los medidores en línea debido a las propiedades químicas únicas de la salmuera. El sensor electromagnético evidenció un fenómeno crítico: la **cristalización e incrustación rápida** sobre sus electrodos internos. Esto genera una capa aislante que interrumpe la conductividad eléctrica del sensor, derivando en un error de medición creciente, lecturas erráticas y una deriva acumulativa con el paso de los días.

"El problema de la cristalización en los sensores electromagnéticos es un dolor de cabeza que ha afectado la confiabilidad de nuestras mediciones durante los últimos años. Nos obliga a invertir muchísimo tiempo en tareas críticas de mantenimiento, paradas de línea y limpieza constante para poder disponer de datos mínimamente confiables."

— Equipo de Supervisión Técnica de la Planta

Al ser una tecnología externa de tipo *clamp-on*, el **PDFM 6.1 de Pulsar Measurement** eliminó este problema de raíz. Debido a que los sensores se instalan firmemente en la cara externa del tubo y jamás entran en contacto físico con la salmuera corrosiva, el equipo es 100% inmune a las incrustaciones químicas, la cristalización y la abrasión, erradicando por completo los costosos tiempos muertos por mantenimiento y calibración.

Recomendaciones Técnicas para la Ingeniería de Procesos

Los resultados empíricos obtenidos en el Salar de Uyuni definen una hoja de ruta clara para el diseño y optimización de sistemas de flujo en entornos evaporíticos y mineros:

Para Salmuera Cruda/Concentrada y Fluidos Con Carga Sólida: Se recomienda firmemente la implementación de instrumentos basados en **Efecto Doppler (Pulsar PDFM 6.1 o su equivalente fijo DFM 6.1)**. Su capacidad nativa para operar con altos niveles de sedimentos los hace indispensables no solo en la industria, sino también en lodos mineros, pulpas, alimentación de ciclones y plantas de tratamiento de riles.

Para Aplicaciones de Agua Industrial o Limpia: En aquellos eslabones del proceso donde el fluido carezca de partículas o burbujas y se persiga la máxima precisión analítica del mercado, la tecnología idónea sigue siendo el **Tiempo de Tránsito (Pulsar PTFM 6.1)**.

Conclusión

El Salar de Uyuni exige equipos que no solo midan, sino que sobrevivan y dominen el entorno. Los ensayos conjuntos de HELIOS S.R.L. con la industria local demuestran que la tecnología Doppler no invasiva de Pulsar Measurement constituye la respuesta definitiva para asegurar la eficiencia industrial, la continuidad operativa y la confiabilidad de los datos en el corazón de la estratégica industria boliviana.