

White Paper | Caracterización de procesos de lodos y materiales a granel secos utilizando tecnología de medición de densidad no nuclear

Introducción

El Red Meter está impulsado por una tecnología innovadora y un enfoque novedoso para medir de manera segura las características del proceso de cualquier medio que fluya a través de una tubería de forma continua en diversos entornos. El Red Meter puede describirse mejor como un Dispositivo de Caracterización de Procesos (PCD, por sus siglas en inglés) que se despliega junto con metodologías de control de procesos, como el Control Estadístico de Procesos (SPC, por sus siglas en inglés), para permitir la medición continua y en tiempo real de las características críticas del medio. El Red Meter produce una firma de proceso única o Firma del Red Meter cuando se despliega en cualquier tubería o conducto de medios líquidos, lodosos o a granel secos. Esta información e interpretación del proceso se puede presentar instantáneamente en una pantalla incorporada o enviar a un lugar remoto utilizando comunicación estándar de la industria, como 4-20mA, Modbus o cualquier otro protocolo de comunicación. La interpretación precisa de la Firma del Proceso puede proporcionar información adicional útil, como válvulas "pegajosas", actuadores lentos, fugas, obstrucciones, floculación del medio, anomalías del proceso, atrapamiento de gas, etc., y puede alertar al operador para que tome medidas correctivas y evite problemas de proceso o producción en caso de detectar alguna anomalía.

La firma continua producida por el Red Meter permite que el instrumento se utilice como un dispositivo de Control Estadístico de Procesos (SPC) para monitorear la variación del proceso. También se puede utilizar como un detector, monitor, controlador de procesos o dispositivo de mejora del proceso de la siguiente manera:

- **Como detector:** el Red Meter puede alertar al operador a través de cualquier red de comunicaciones sobre cualquier situación que pueda hacer que el proceso se desvíe más allá de los límites de control especificados, según lo definido por el usuario final.
- **Como monitor:** el Red Meter puede proporcionar al operador datos críticos y continuos sobre la variación del proceso en tiempo real, que se pueden mostrar en el propio dispositivo o enviar a una sala de control. El operador puede utilizar el Red Meter para evaluar la capacidad del proceso (Cp, Cpk) antes de poner en marcha el Red Meter como monitor del proceso.
- **Como controlador de procesos:** el Red Meter se puede utilizar como un dispositivo de retroalimentación como parte de un proceso de bucle cerrado automatizado. Cuando se utiliza en este escenario, el Red Meter puede alertar a otros dispositivos controlados por computadora para que

tomen medidas correctivas de forma automática e instantánea si se detecta o se requiere un problema o cambio relacionado con el proceso.

- **Como dispositivo de mejora del proceso:** El Red Meter mantiene un registro histórico de los datos recopilados que es accesible para el usuario final. Estos datos se pueden analizar para determinar y comparar las condiciones de rendimiento óptimo y subóptimo. Esto le brinda al usuario final la capacidad de tomar decisiones basadas en datos para mejorar la eficiencia de sus operaciones.

Principio de funcionamiento

El corazón del Red Meter consta de una conducción o cartucho flexible que permite al instrumento medir la masa cuando se somete a diversas formas de microdeformaciones. Estas deformaciones pueden ser causadas por cambios de presión interna, cambios en la masa del medio, cambios de temperatura del sistema o componentes del sistema, vibración, etc., que pueden ser inducidos por características específicas del flujo, variaciones del proceso debido a influencias externas o una combinación de estas variables. A su vez, debido a su naturaleza anisotrópica, la composición del cartucho también puede variar para obtener una respuesta de microdeformación específica a variables de proceso conocidas con el fin de mejorar la relación señal-ruido del instrumento.

El principio de funcionamiento del Red Meter se basa en comprender, medir con precisión y compensar lo siguiente a través de algoritmos complejos:

1. Adición de masa interna
2. Cambios en la temperatura del medio
3. Cambios en la presión interna
4. Cambios en la geometría debido al desgaste
5. La velocidad y características del flujo
6. La estabilidad de un punto de referencia fijo
7. El efecto de elementos externos, como temperatura, carga de viento, vibración u otras fuerzas que puedan causar movimiento en la estructura del dispositivo
8. La velocidad a la que se pueden adquirir, procesar y reportar los datos críticos
9. El grado en que los datos actuales e históricos se pueden utilizar para mejorar la precisión del dispositivo
10. El grado natural y no natural de erosión, corrosión u otros mecanismos de deterioro.

En Red Meters, las pruebas internas, en campo y el análisis matemático han permitido a los ingenieros y científicos identificar y aislar el efecto de estas variables en las salidas deseadas. Cuando están debidamente equipados, las

salidas incluyen densidad, flujo de masa o alguna combinación o derivado de estas características.

El Red Meter emplea electrónica de última generación con dispositivos de medición de alta precisión y exactitud. Combinado con un procesamiento de datos de alta velocidad, las entradas de los sensores individuales pueden ser evaluadas casi instantáneamente a través de una serie de algoritmos propietarios, lo que proporciona una caracterización en tiempo real del medio que fluye dentro de cualquier tubería. Cuando se tienen en cuenta los efectos conocidos de las variables, se puede determinar con precisión la masa exacta que fluye a través del cartucho flexible debido a su volumen fijo.

Los datos del Red Meter se presentan como un flujo continuo o "Firma del Proceso". Dado la naturaleza de las variables medidas, junto con una comprensión completa del efecto de estas variables en el movimiento del cartucho, se pueden identificar características específicas de la Firma del Proceso como indicadores de características específicas del flujo del medio, como floculación, fluctuaciones del medio, atrapamiento de gas, mal funcionamiento del equipo de proceso, disparos del proceso, etc.

La Figura 1 muestra una vista exagerada de los elementos necesarios para que el Red Meter funcione dentro de límites aceptables de precisión, exactitud y repetibilidad.

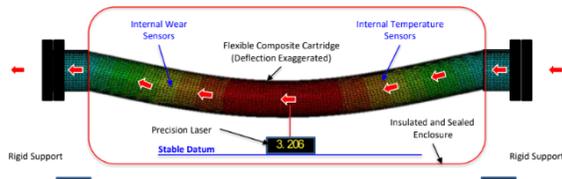


Figura 1: Concepto básico de funcionamiento - Componentes críticos

Algoritmos de compensación

Para lograr el nivel requerido de rendimiento, se desarrolló una estructura compuesta compleja para el elemento flexible. Por naturaleza, el componente es anisotrópico, compuesto por elementos lineales, elásticos, viscoelásticos e hiperelásticos. Como resultado, se requieren algoritmos de compensación complejos para garantizar el funcionamiento efectivo del instrumento.

Los algoritmos de compensación se utilizan en muchas aplicaciones en la actualidad, desde determinar los hábitos de compra de los consumidores hasta estabilizar drones. En general, los algoritmos consisten en una serie de ecuaciones lineales y no lineales basadas en la física, la estadística o ambas. Como resultado de la naturaleza compacta de la potencia informática moderna combinada con la conectividad remota, es posible implementar

algoritmos muy sofisticados que antes no estaban disponibles o eran imprácticos.

Los algoritmos utilizados por el dispositivo se basan en las ecuaciones físicas fundamentales (física). Debido a la complejidad del sistema de materiales, se emplearon técnicas avanzadas de ingeniería predictiva, incluyendo el Análisis de Elementos Finitos (FEA, por sus siglas en inglés) y la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en inglés) para desarrollar y validar los algoritmos. Además, estas técnicas fueron complementadas con ciencia de datos y métodos numéricos para lograr el grado deseado de precisión.

Las Figuras 2 y 3 muestran las ecuaciones físicas fundamentales para calcular las tensiones tangenciales y radiales en un conducto cilíndrico y la deflexión máxima en una viga simple. Ecuaciones físicas similares se utilizaron como punto de partida para todos los demás parámetros compensados.

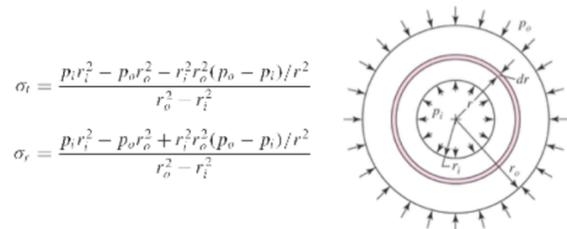


Figura 2: Relación entre Presión y Esfuerzo

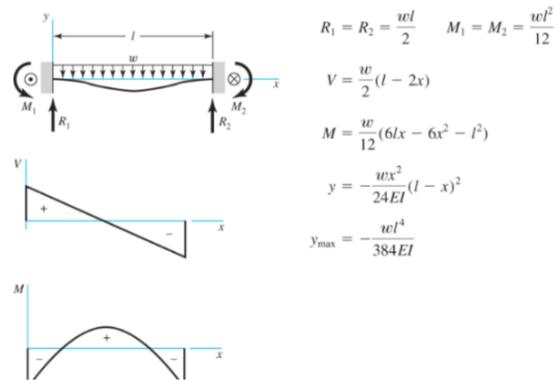


Figura 3: Relación entre Carga y Deflexión de una Viga

Efectividad en varios tipos de medios

Dado que el rendimiento del Red Meter se basa predominantemente en el movimiento de un componente compuesto bajo carga, por definición puede registrar la masa de cualquier medio que pase a través de él. Además, dado que el movimiento del componente compuesto puede generar una "huella" o "firma" de distorsión única para varios procesos y características, el instrumento se puede utilizar para medir líquidos, lodos o materiales

sólidos a granel. Esto también significa que el Red Meter es capaz de medir cargas estáticas dentro de la tubería. Si bien los datos estáticos del proceso también pueden proporcionar información útil al ingeniero de procesos, la capacidad de la unidad para monitorear continuamente un proceso dinámico se ha demostrado más valiosa en aplicaciones de uso final.

El Red Meter y el Medidor de Densidad Nuclear

La Figura 4 muestra los resultados para el Medidor Red (Rojo) y un Medidor de Densidad Nuclear (Azul). Se monitoreó un período de aproximadamente 30 días de un proceso de producción minera con una mezcla típica de minería utilizando ambos instrumentos. Los segmentos operativos analizados representaron dos conjuntos diferentes de condiciones de proceso con el fin de evaluar la capacidad de cada instrumento para adaptarse a las variaciones del proceso en constante cambio.

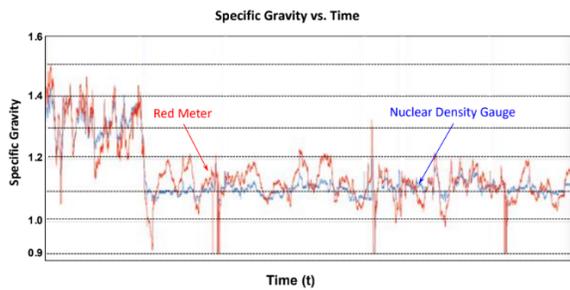


Figura 4: Comparación entre el Red Meter y el Medidor de Densidad Nuclear

Se realizó un análisis estadístico para determinar el nivel de correlación entre el Medidor Red y el Medidor de Densidad Nuclear. La Tabla 1 muestra una comparación más detallada de la media y la desviación estándar de ambas poblaciones de datos. La varianza entre los instrumentos se destaca para mayor claridad.

	Nuclear Gauge		RED Meter		Variation -		Variation - σ	
	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	SG	%	SG	%
Process A	1.321	0.047	1.312	0.080	0.009	0.7%	0.033	89%
Process B	1.111	0.020	1.123	0.043	0.012	1.1%	0.023	115%

Tabla 1: Comparación entre el Red Meter y el Medidor de Densidad Nuclear

El Red Meter funciona según un principio físico completamente diferente al del medidor de densidad nuclear. El Red Meter también aprovecha algoritmos avanzados para identificar activamente problemas en el proceso y señalar variaciones potenciales y problemáticas para evitar interrupciones en el proceso o problemas de seguridad.

A partir del extenso número de puntos de datos mostrados en la Figura 4, parece que la tendencia y el promedio de ambos medidores parecen seguirse y compararse favorablemente entre sí. Se puede observar claramente el cambio en el proceso en la Figura 4, ya que la gravedad específica del medio pasó de 1.32 en el Proceso A a aproximadamente 1.11 en el Proceso B.

La desviación estándar del proceso medida por el Red Meter fue hasta un 115% mayor que la del medidor de densidad nuclear. Se puede ver claramente en la figura que aunque ambos medidores parecen mostrar tendencias y promedios similares, el Red Meter en realidad parece ser más "sensible", revelando más detalles sobre el proceso en cuestión y proporcionando una indicación más clara del verdadero Cp y Cpk.

Comparación entre el Red Meter y el Medidor Coriolis

Los medidores Coriolis son muy precisos y confiables, sin embargo, tienden a ser costosos en diámetros mayores a 2". Estos dispositivos también pueden tener problemas debido a la erosión en medios abrasivos debido a sus geometrías no lineales y el camino de flujo. Debido a sus geometrías, los medidores Coriolis tienden a ser más propensos a obstrucciones por medios que contienen altas concentraciones de sólidos, especialmente si el dispositivo está instalado en un conducto de diámetro pequeño. El ataque químico también puede ser un problema para el medidor Coriolis, ya que puede ser difícil igualar la resistencia a la corrosión del revestimiento utilizado en la tubería real.

Como resultado del costo, cuando se utilizan en medios adecuados, los medidores Coriolis a menudo se instalan en una línea auxiliar que se ramifica desde la línea principal. Esto proporciona una "muestra" del medio y, dado que no se puede tener en cuenta todo el medio en una sola medición, se puede clasificar como un método de muestreo discreto. En un entorno de Control Estadístico de Procesos, el muestreo continuo y en tiempo real es esencial para permitir un control óptimo del proceso. Además, la amortiguación de los datos en muchas situaciones, tuberías parcialmente llenas, presencia de gas, etc., pueden contribuir a inexactitudes o retrasos en los datos informados por algunos instrumentos.

La Figura 5 muestra una comparación típica de un Red Meter mientras se ejecuta en paralelo con un medidor Coriolis.

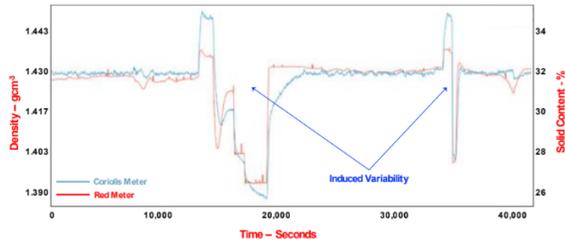


Figura 5: Comparación entre el Red Meter y el Medidor Coriolis

La Tabla 2 compara los resultados de un análisis típico de muestras discretas en un proceso de fabricación real, con muestras obtenidas tanto del Red Meter como del Medidor Coriolis.

	Discrete Reading	Instrument Reading	Accuracy (% Solids)	Accuracy (% of Reading)	Precision (Std. Dev. - σ)	Mean - \bar{x} (Average)	Std. Dev. - σ (Average)
Group 1	Red Meter	31.4%	32.5%	1.04%	3.3%	0.01%	0.72%
	Coriolis Meter	30.8%	35.0%	4.18%	13.6%	0.09%	
Group 2	Red Meter	24.7%	25.1%	0.39%	1.6%	1.23%	4.51%
	Coriolis Meter	24.2%	29.1%	4.85%	20.0%	0.47%	

Tabla 2: Resultados del Red Meter vs. Coriolis Meter

En términos de predecir el porcentaje real de sólidos, el Red Meter se acercó más al valor real en ambos grupos de muestras analizadas. Las muestras discretas arrojaron valores de porcentaje de sólidos de 31.4% y 24.7% en la línea del Red Meter para los grupos #1 y #2, respectivamente, en comparación con valores de 30.8% y 24.2% en la línea de slipstream del Medidor Coriolis. En resumen, el Red Meter promedió a menos de 0.72% del contenido sólido real en comparación con el 4.51% del Medidor Coriolis, nuevamente con una desviación estándar generalmente mayor. Esto se atribuye probablemente a la ausencia de amortiguación en el Red Meter para maximizar la sensibilidad de la unidad en la aplicación específica.

Aplicaciones de materiales a granel secos – Identificación de mezclas

El desafío técnico asociado con la medición de la masa de medios a granel secos de manera continua no es trivial. Sin embargo, el principio utilizado por el Red Meter es muy simple y robusto. A medida que el medio fluye a través del Red Meter, la unidad determina su masa debido a la gravedad.

En el escenario de medios a granel secos evaluado, el proceso se ejecutó en estado estacionario como un medio de fase densa. La densidad del medio que pasa a través del Red Meter se midió con precisión utilizando un picnómetro y se calculó con fines de comparación. A medida que el material fluye en un proceso continuo en estado estacionario, la densidad a granel de todo el medio del proceso se puede determinar en tiempo real con un grado

significativo de precisión. En el ejemplo mostrado en la Figura 6, se superponen tres mezclas diferentes de cemento a granel seco y microesferas de vidrio huecas en un gráfico de densidad a granel según lo informado por el Red Meter. Se puede observar que las mezclas se pueden identificar fácilmente por sus densidades a granel medidas.

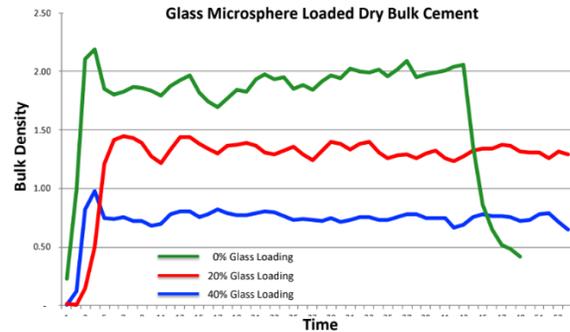


Figure 6: Dry Bulk Blend Identification

Aplicaciones de materiales a granel secos – Homogeneización de mezclas

Otra aplicación práctica y crítica adecuada para el Red Meter es la de identificar el grado de homogeneización de una mezcla seca específica. Las mezclas a granel secas suelen transferirse entre dos silos o tanques, mientras se mueven como medios diluidos o densos para homogeneizar y posteriormente transportar la mezcla. Por lo general, a medida que aumenta el número de transferencias, la mezcla se vuelve más homogénea, sin embargo, es muy lento y difícil determinar el grado de homogeneización utilizando técnicas tradicionales de medición discreta.

La Figura 7 muestra un análisis de una de estas mezclas secas. Una vez más, el Red Meter se utilizó para determinar la densidad a granel y el grado de homogeneización dentro de los límites críticos superiores e inferiores de la mezcla, dentro de límites predeterminados. Al examinar la Firma del Red Meter, el grado de homogeneización es inmediatamente aparente, mostrando tres firmas distintas para la misma mezcla en varias etapas del proceso de homogeneización. Este monitoreo continuo permite el Control Estadístico de Procesos (SPC), ya que la integridad de la mezcla es fundamental para el rendimiento del material a granel seco en la aplicación final.

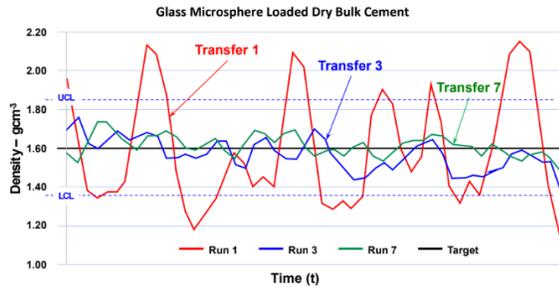


Figura 7: Identificación de mezclas a granel secas

En este escenario, con los límites críticos superiores e inferiores establecidos, el Red Meter puede monitorear el proceso en tiempo real para garantizar que la consistencia de la mezcla no se desvíe de las especificaciones. Si se produce una desviación o anomalía que resulta en una violación del límite de acción del proceso, el Red Meter puede señalar de inmediato una acción correctiva para desviar la porción problemática de la mezcla y solucionar la situación. Esto puede eliminar la necesidad de repetir toda la transferencia a un costo elevado, o incluso eliminar el riesgo de que se envíen materiales de calidad deficiente desde la planta con implicaciones más catastróficas. En un entorno de producción, se puede establecer el valor de la gravedad específica objetivo y, a medida que las transferencias avanzan durante un período de estado estable, el Red Meter indicará la convergencia alrededor de la densidad media.

La segregación de los ingredientes como resultado de una sobre-mezcla también representa una amenaza para la integridad de la mezcla. La segregación se manifiesta como un cambio en la altura del pico, lo que a su vez indica un aumento en la desviación estándar. Además, la trituración de las microesferas se manifestaría como un movimiento de toda la firma en el eje y, y puede ir acompañada de un aumento en la media y posiblemente un cambio en la desviación estándar.

Resumen

El Red Meter es capaz de medir materiales líquidos, suspensiones y materiales a granel secos de manera continua. Se puede producir de manera asequible en tamaños de diámetro de tubería muy grandes y no interfiere de ninguna manera con el flujo del medio. Dado su rendimiento en aplicaciones líquidas, de suspensión y a granel seco, el Red Meter tiene el potencial de servir como un dispositivo de detección y prevención de problemas en tiempo real en los procesos. Con los procesos y alertas adecuados implementados en torno al instrumento, también puede funcionar como un componente de Control

Estadístico de Procesos y como un dispositivo de registro de calidad del proceso irrefutable.



Representantes / Distribuidores Exclusivos

Argentina

Tel: (+54 11) 5352 2500

Email: info@dastecsr.com.ar

Web: www.dastecsr.com.ar

Paraguay www.dastecsr.com.py