



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETROLEO Y DEL GAS**

PRÁCTICA **RECOMENDADA**

PR IAPG - SC - 2020 - 21 - 00

**Caudalímetros Coriolis: Típicos de
Montaje y Diagnóstico de Proceso
en Aplicaciones De Petróleo Y Gas**

1 Notas Especiales

Por tratarse de una Práctica Recomendada (PR) las acciones, modalidades operativas y técnicas en ellas incluidas, carecen de contenido normativo, legal o interpretativo, y no resultan obligatorias ni exigibles por terceros bajo ninguna condición.

No podrán ser invocadas para definir responsabilidades, deberes, ni conductas obligatorias para ninguno de los sujetos que las utilice, ya que sólo integran un conjunto de consejos para el mejoramiento de las operaciones comprendidas.

La adopción de una PR no libera a quien la utilice del cumplimiento de las disposiciones legales nacionales, provinciales y municipales, como así tampoco de respetar los derechos de patentes y /o propiedad industrial o intelectual que correspondieren.

El IAPG no asume, con la emisión de esta PR, la responsabilidad propia de las Compañías, sus Contratistas y Subcontratistas, de capacitar, equipar o entrenar apropiadamente a sus empleados. Así mismo el IAPG no releva ni asume responsabilidad alguna en lo que respecta al cumplimiento de las Normas en materia de salud, seguridad y protección ambiental.

Toda cita legal o interpretación normativa contenida en el texto de esta PR no tiene otro valor que el de un indicador para la conducta propia e interna de quienes voluntariamente la adopten o utilicen, bajo su exclusiva responsabilidad.

2 PROPÓSITO

El propósito de este documento es establecer una guía general para el montaje, diagnóstico, y mantenimiento que permita asegurar la performance de los medidores másicos de efecto Coriolis.

Se proponen diferentes consideraciones de acuerdo con el fluido a medir y a la instancia en donde se encuentre esta medición para optimizar la performance del másico y obtener la información de diagnóstico necesaria para garantizar la calidad de la medición y obtener incertidumbres según establecen los estándares internacionales.

El diagnóstico del Medidor Coriolis realizado en campo debe determinar si el equipo se encuentra funcionando correctamente, si se encuentra afectada su capacidad de medición o si se ha degradado su estructura interna.

Su área de aplicación es solamente la Medición. Otros aspectos inherentes al diseño (mecánicos, ambientales, de seguridad, etc.) no son analizados en este documento.

3 ALCANCE

Medidores másicos de efecto Coriolis.

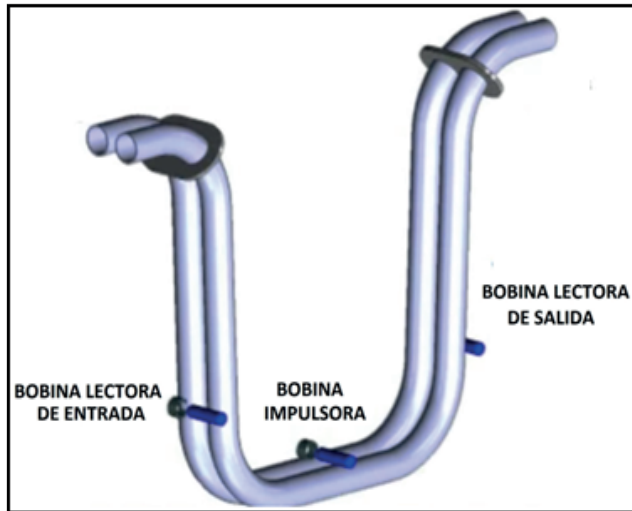
4 DEFINICIONES

- MC: medidor coriolis.
- DRIVER: bobina impulsora del sensor Coriolis encargada de mantener los tubos oscilando.
- PICKOFF: bobina lectora del sensor Coriolis
- Montaje bandera del sensor: montaje del sensor Coriolis en un tramo de piping vertical.

5 PRINCIPIO DE MEDICIÓN

Si bien existen configuraciones de uno o cuatro tubos, la mayoría de los sensores Coriolis en nuestra industria están diseñados a partir de dos tubos de acero inoxidable, tomaremos entonces esta topología en la siguiente explicación.

Un sensor Coriolis está compuesto por dos tubos de acero inoxidable en forma de U y tres pares de bobina-imán. A continuación, se muestra un esquema de los tubos internos de medición.



Las bobinas están montadas en un tubo y los imanes en el tubo opuesto, de manera de proveer más inmunidad a las vibraciones externas durante la operación del equipo. Todo el conjunto se encuentra cubierto por una carcasa metálica soldada.

Una de las bobinas (bobina impulsora también conocida como Driver en bibliografía técnica) es excitada con corriente por el transmisor para causar que el sistema oscile. Las otras dos bobinas lectoras (también conocida como Pickoffs en bibliografía técnica) detectan la frecuencia de la oscilación que es utilizada por el transmisor para la medición de la densidad del producto.

Cuando circula fluido y por efecto Coriolis se produce una torsión de los tubos sensores que es proporcional al caudal másico desplazado. Esta torsión es medida por la diferencia de fase de los voltajes inducidos en las bobinas lectoras. Hay, por lo tanto, una relación directa entre la torsión de los tubos y la diferencia de fase detectada.

6 APLICACIONES

Los medidores Coriolis pueden utilizarse para medir líquidos o gases, que incluye, pero no se limita a agua, petróleo, derivados de petróleo y gas natural. En cualquier caso, el equipo es el mismo, no se requiere un equipo diferente para cada fluido.

Cabe aclarar aquí que el caudalímetro Coriolis (como todo caudalímetro exceptuando el caudalímetro multifásico) no puede medir en forma bifásica (presencia de líquido y gas en el sensor). Esto es, puede medir líquido o gas, no ambas fases en simultáneo.

La diferencia para el uso en cada caso radicará en las características del fluido a medir y el montaje requerido.

El típico de montaje dependerá si se trata de un fluido limpio y sin posibilidad de presencia de otra fase (como la medición en una unidad LACT, donde el petróleo está en especificación y no hay posibilidad de pasaje de gas por el sensor) o el caso de un fluido que pudiera contener de forma esporádica presencia de otra fase (por ejemplo, la medición de petróleo en un separador de control, que puede contener esporádicamente burbujas de gas).

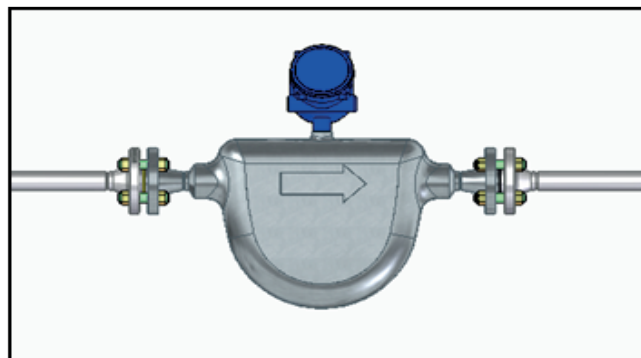
En el segundo caso, si bien el MC no puede determinar el caudal de ambos productos, la decisión de realizar un montaje vertical u horizontal generará resultados más o menos satisfactorios para la fase primaria.

Además de poder medir el caudal a partir de determinar la masa del fluido circulante, los medidores Coriolis pueden medir la densidad de este por lo que pueden usarse como densímetros en línea. Debido a la medición simultánea de masa y densidad, son capaces también de realizar el cálculo de volumen de forma interna e independiente de elementos externos.

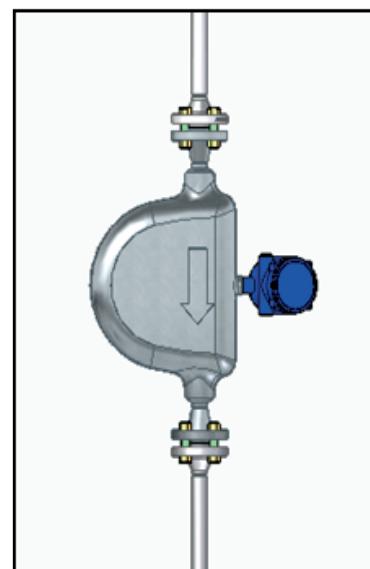
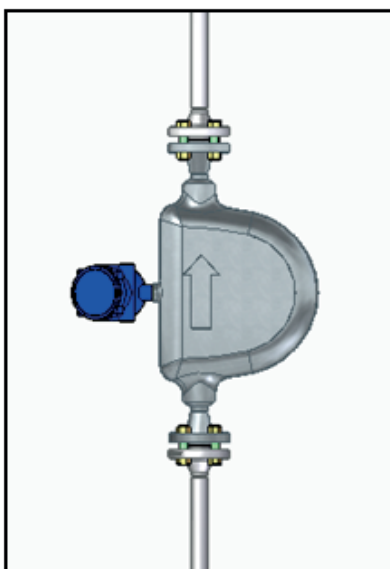
Por otro lado, estos equipos brindan variables de diagnóstico que permiten detectar anomalías en el funcionamiento o alteraciones en las variables. Esto resulta en una optimización del mantenimiento preventivo, alertas tempranas y mejor determinación del proceso.

7 TOPOLOGÍAS DE MONTAJE

Normalmente encontramos en campo el sensor Coriolis montado en un tramo de cañería horizontal:



Cuando hablamos de montaje en bandera ("Flag" en bibliografía americana) nos estamos refiriendo a la ubicación del sensor en un tramo de cañería vertical. Como veremos, en la medición de líquidos el sentido del flujo debe ser ascendente (figura izquierda) y en la medición de gas descendente (figura derecha):



Como se mencionó anteriormente, en la práctica es habitual encontrar los sensores montados en posición horizontal casi como un estándar de diseño, pero es oportuno aclarar que la disposición del equipo debe estar relacionada con la aplicación en campo y las características del producto a medir. Esto está descrito en los manuales o recomendaciones de los fabricantes para los casos particulares.

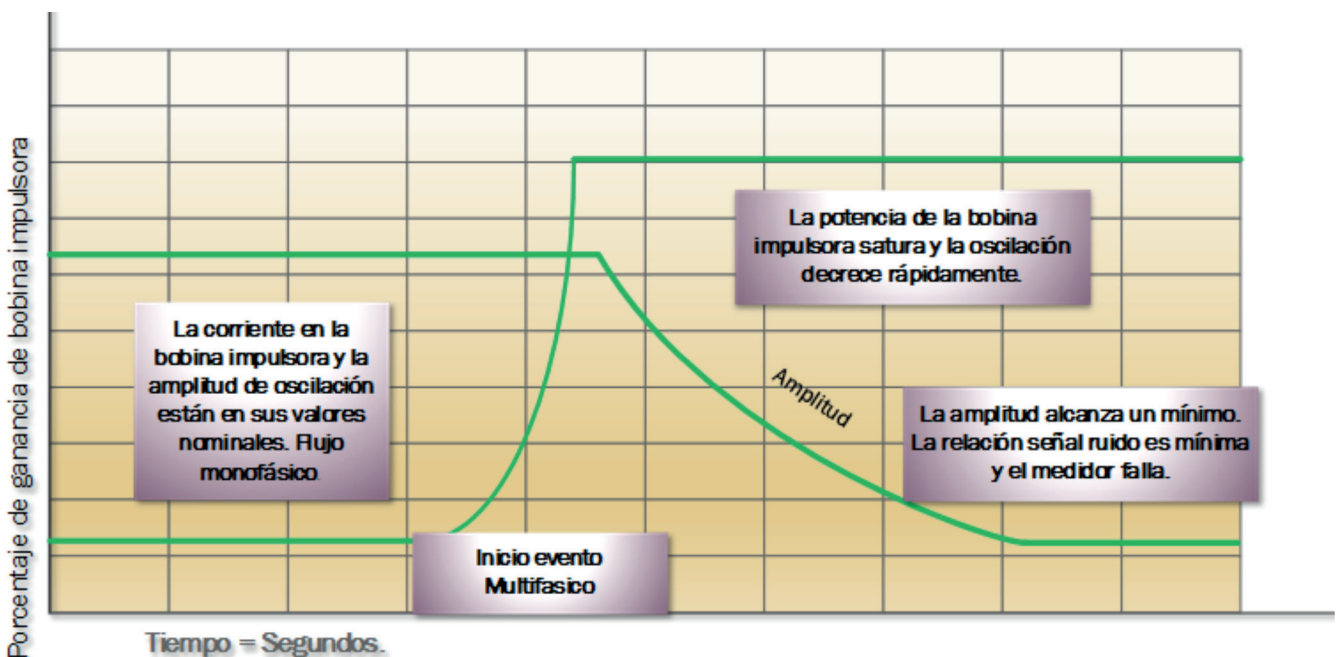
En cualquier caso, la instalación no requiere “enderezar” el flujo por lo que ni tramos rectos aguas arriba ni un acondicionador son necesarios.

8 DISMINUCIÓN DEL EFECTO DE DESACOPLE

La tecnología Coriolis asume que el fluido se mueve directamente con los tubos en la dirección de la oscilación. Cuando se presentan dos fases (líquido y gas) o partículas en el fluido, la gran diferencia de densidades hace que la premisa asumida no se cumpla y resulte en errores de medición.

El fenómeno que se produce es llamado “desacople”. Éste se ocasiona cuando las burbujas de gas o las partículas sólidas tienen un movimiento relativo respecto del líquido en el sentido de oscilación de los tubos.

Analicemos la vibración de los tubos: el Driver mantiene oscilando al sistema a su frecuencia de resonancia (o primera armónica). Como esta frecuencia es por definición su frecuencia natural, la energía que debe entregar el transmisor al Driver para mantener al sistema oscilando es mínima. Sin embargo cuando hay dos fases en los tubos (líquido y gas) mucha de la energía es usada para crear el movimiento relativo entre las partículas (efecto de desacople). La potencia entregada al Driver se incrementa dramáticamente para mantener a los tubos vibrando hasta que llega a un máximo (situación llamada saturación de Driver). A partir de este momento, al estar la energía limitada, la amplitud de la oscilación cae y ya no es posible medir con exactitud la diferencia de fase (caudal másico), hablando con propiedad hay una degradación muy grande en la relación señal/ruido. La figura muestra la potencia del Driver y la amplitud de la oscilación antes y después del desacople.



Finalmente podemos presentar la secuencia causa-efecto:

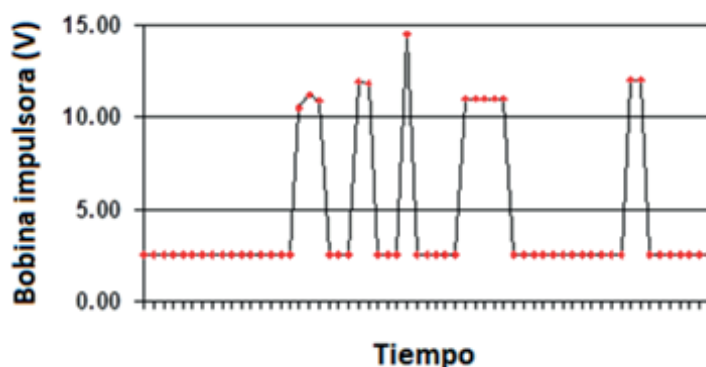


No es correcta la apreciación que dice que el equipo con saturación de Driver por desacople de gas no mide bien el líquido porque está “midiendo gas”. En situación de desacople el caudal másico reportado no es “caudal másico de gas” ya que, de lo expuesto, la baja relación señal/ruido ocasiona que el caudal másico sea erróneo. En los casos que el caudalímetro pueda manejar sin saturación de Driver las dos fases (esto es no se produzca desacople) puede calcularse con bastante aproximación el caudal de líquido, pero este tema no se tratará en el presente documento.

De esta manera, el caudalímetro coriolis nos proporciona una oportunidad valiosa no solo de diagnóstico de sí mismo, sino también una apreciación más exacta de las “particularidades” del proceso.

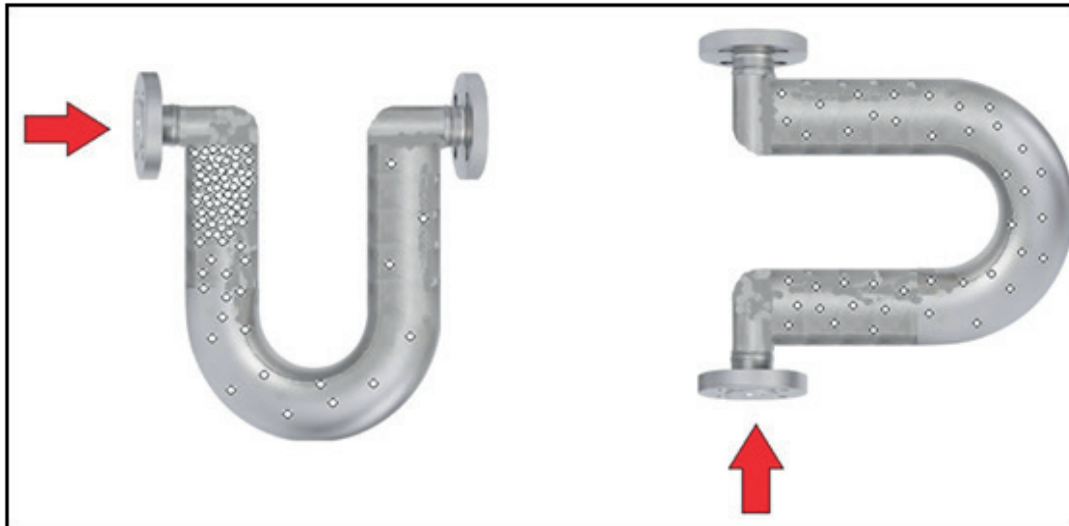
Causas que inciden en el desacople:

- Frecuencia de vibración de los tubos (a más frecuencia mayor desacople, efecto “centrífuga”)
- Viscosidad del líquido (a mayor viscosidad el líquido puede “contener” mejor la burbuja de gas impidiendo movimiento relativo respecto del líquido, por lo tanto, disminuye el desacople)
- Las burbujas de gas tienen que ser lo más pequeñas posible y estar distribuidas uniformemente dentro de los tubos para disminuir el desacople
- A bajo caudal las burbujas coalescen (aumentan el tamaño) y se acumulan en la parte de entrada del tubo, por lo tanto, según el punto anterior a bajo caudal aumenta la probabilidad de desacople



Efecto de las burbujas en la bobina impulsora

De lo expresado, el montaje del sensor en condiciones de gas disuelto o de slug debe ser tal que amerite en el primer caso una distribución uniforme de las burbujas y en el segundo evacúe rápidamente el gas. Las figuras muestran a continuación la diferencia que se produce en la distribución de las burbujas (por la flotación de las burbujas debida a la gravedad) en el montaje en bandera con flujo ascendente y en cañería horizontal. Como se observa, el montaje en bandera presenta una distribución más uniforme en el caso de gas disuelto y además podrá evacuar más rápidamente un bolsón de gas (en el caso de slug) debido a la flotabilidad del gas en el líquido.



Haciendo extensivo este análisis a la medición en la línea de gas es ahora la fase líquida la que deberá abandonar tan rápido como sea posible el sensor Coriolis. Por lo tanto, la topología de montaje adecuada es también en bandera, pero con flujo descendente.

9 DIAGNÓSTICO

De lo expuesto en el apartado anterior es evidente que la presencia de dos fases (líquido y gas) puede causar grandes errores en la medición.

La electrónica de todos los caudalímetros Coriolis tiene como dato disponible la “potencia” entregada a la bobina impulsora (Driver), ya sea en forma de valor de corriente, porcentaje (dependiendo del fabricante), que, como mencionamos, tendrá un valor máximo en los momentos de desacople.

En las aplicaciones que puedan ameritar presencia de dos fases (por ejemplo, la medición de caudal en las piernas de líquidos de un separador trifásico) es recomendable monitorear este registro para determinar los períodos de “saturación” de la bobina impulsora y no contemplar mediciones erróneas.

Los caudalímetros coriolis en general, poseen algunos parámetros a disposición del usuario para realizar este tipo de seguimientos. Estos valores recibirán nombres distintitos que dependerán del fabricante, pero básicamente estarán referidos directa o indirectamente a:

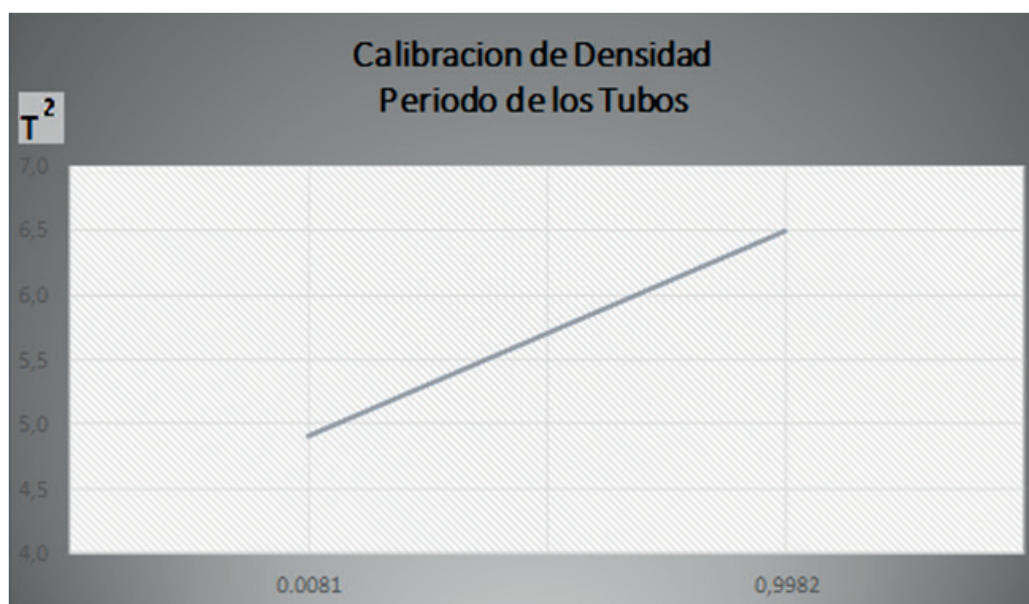
- El valor de corriente en la bobina impulsora del sistema mecánico.
- La condición de saturación de la bobina impulsora.

El uso y proceso de estos datos en el mismo PLC /COMPUTADOR o en sistemas de relevamiento de datos (SCADAS), permitirá junto con valores de densidad y caudal instantáneos el seguimiento detallado de la calidad de la medición y de aspectos salientes del proceso en general.

10 VERIFICACIÓN EN CAMPO DE LA DENSIDAD CON TUBOS VACÍOS

Un equipo Coriolis, aparte de ser un caudalímetro másico como se especificó en el punto anterior, es también un densímetro de oscilación. Por torsión (diferencia de fase) mide caudal másico y por oscilación (período) obtiene la densidad, como vemos son mediciones totalmente independientes y por lo tanto las calibraciones de estas dos variables también lo son.

En la calibración de densidad en laboratorio se utilizan dos fluidos bien catalogados (por ejemplo, aire y agua destilada) para asociar dos puntos de densidad perfectamente establecidas (relación densidad/periodos de oscilación). En operación, dependiendo de la medición, el equipo interpolará o extrapolará sobre la recta que une los dos puntos para obtener la densidad del producto.



Es importante destacar que el punto de calibración bajo de densidad (aire) se obtiene con los tubos limpios y libres de incrustaciones.

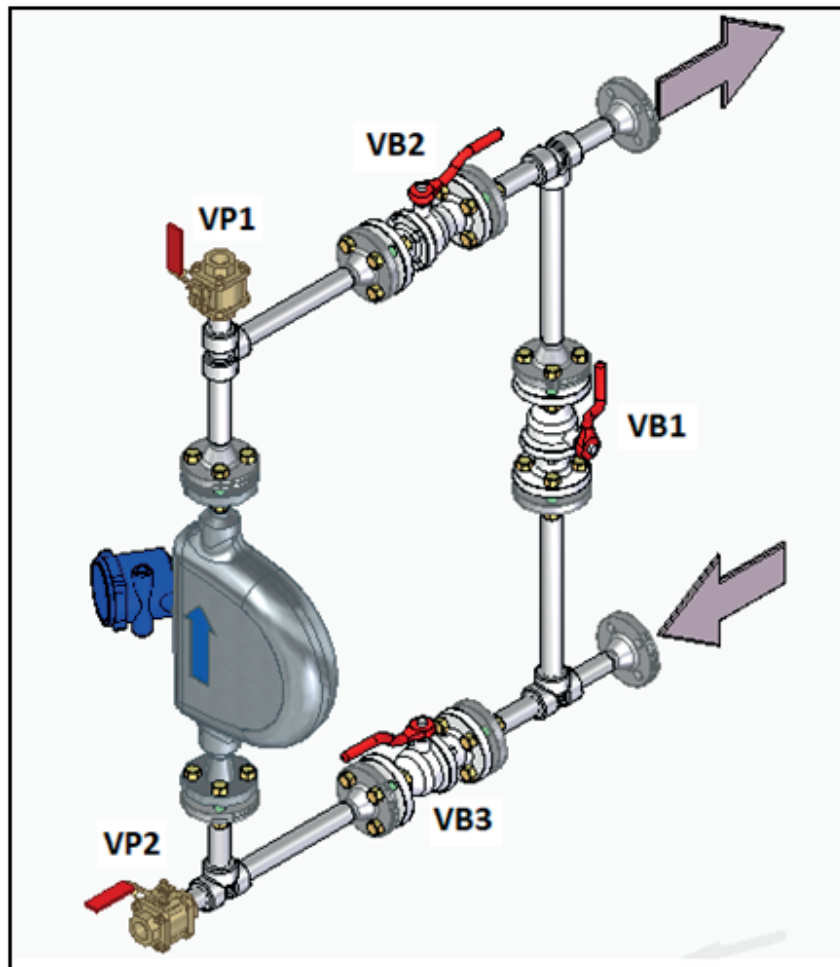
Si, como resultado de la operación, el sensor: se incrusta, hay deposición de sólidos, etc., los tubos pesarán más y la densidad medida por el equipo será mayor que la real. Este hecho también trae aparejado una disminución del caudal volumétrico, ya que el transmisor Coriolis divide el caudal másico por la densidad para mostrar el caudal volumétrico.

En well testing, por ejemplo, la mezcla de líquidos (hidrocarburo, agua, desemulsionante, etc.) además del posible contenido de sólido, puede propender a la aparición de estos problemas. La forma de evaluar que un sensor Coriolis esté libre de incrustaciones o suciedad es, justamente, vaciar los tubos; limpiarlos y corroborar que el equipo indique la densidad correspondiente al aire en este estado.

Generalmente esta comprobación se realiza en el momento del mantenimiento preventivo, cuando se retira el equipo de la operación y se lo traslada a un laboratorio para calibración, (usualmente 1 vez al año). Incluso si fuera una comprobación a demanda, requeriría mínimamente el desmontaje

del equipo y prepararlo para la verificación con las dificultades de realizar esto en campo. Se propone aprovechar el montaje del sensor en bandera para realizar el procedimiento de vaciado en cualquier momento y determinar si es necesario retirar el equipo para un mantenimiento en laboratorio.

El modelo siguiente muestra una opción para realizar este cometido:



En este esquema se puede identificar:

- VB1 Válvula de by pass del puente
- VB3 Válvula de bloqueo aguas arriba del Coriolis
- VB2 Válvula de bloqueo aguas abajo del Coriolis
- VP1 Válvula de purga superior
- VP2 Válvula de purga inferior

En operación de medición estará:

- Válvula de by pass (VB1) cerrada
- Válvulas de bloqueo (VB2 Y VB3) abiertas
- Válvulas de purga (VP1 Y VP2) cerradas

Cuando se quiera verificar el estado de limpieza de los sensores (y por lo tanto como se explicó la validez de la calibración de densidad) se deberá:

1. Abrir válvula de by pass (VB1)
2. Cerrar válvulas de bloqueo (VB2 Y VB3)
3. Despresurizar el sensor abriendo lentamente la válvula de purga superior (VP1)

4. Vaciar el sensor abriendo válvula de purga inferior (VP2)
5. Observar la densidad indicada por el equipo (la misma debería rondar los 0,0011 g/cc)

Si la medición de densidad con tubos vacíos arroja un valor alto, puede intentarse una limpieza elemental agregando solvente para tratar posible obturación por parafina por la válvula de purga superior y dejando drenar el líquido por la válvula inferior.

Nuevamente acá, este tipo de procedimiento puede darnos una idea de las condiciones del proceso en general.

> CONCLUSIONES

- Los medidores másicos permiten medir agua, gas y petróleo cuando de una sola fase se trata (esto es, completamente lleno de líquido o completamente lleno de gas).
- El montaje de los MC está relacionado con las características del producto a medir. Deben seguirse las recomendaciones del fabricante.
- Estos equipos permiten diagnóstico.
- La correcta gestión y seguimiento de los parámetros antes detallados, permitirá también realizar seguimiento del proceso.