

CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS DE LOS MEDIDORES TIPO CORIOLIS BAJO CONDICIONES CRIOGÉNICAS

J. Aguilera (1), I. Marfenko (2) y O. Reyes (3)

(1) Endress+Hauser Flow, Reinach, CH. Dpto. Investigación y Desarrollo.
(2, 3) Endress+Hauser Flow, Reinach, CH. Departamento de Metrología.
(3) osmel.reyes@endress.com: autor correspondiente.

RESUMEN

El patrón primario para calibración de medidores de caudal con Gas Natural Licuado (GNL) ha sido desarrollado por el instituto nacional de metrología de los Países Bajos (VSL) con apoyo de la Unión Europea, instituciones científicas y la industria. Endress+Hauser ha participado en este Proyecto proveyendo tecnología consistente de medición caudal, temperatura y presión, considerando condiciones extremas con temperaturas de hasta -162 °C. En esta ponencia se exponen los beneficios de medición de caudal principio Coriolis en esta aplicación criogénica, así como los fenómenos termodinámicos tales como el cambio de rigidez mecánica de los tubos de medición y la corrección de su comportamiento no lineal. Este comportamiento involucra parámetros como la geometría de la tubería, el coeficiente de expansión térmica del material, el módulo de Young y el momento de inercia. Respecto al desempeño metrológico de los medidores tipo Coriolis, se compararon resultados de varios medidores obtenidos en diferentes instalaciones criogénicas considerando la repetibilidad, reproducibilidad, linealidad y la estabilidad del punto cero. Se emplearon fluidos criogénicos como Argón, Oxígeno, Nitrógeno y GNL. VSL comprobó de forma independiente la validez de la calibración con agua para la posterior utilización confiable del medidor en aplicaciones criogénicas. Se comprobaron además las incertidumbres de medición expandidas del máscico Promass Q de Endress+Hauser para estas aplicaciones criogénicas, iguales a ±0,15% y ±0,2%, para caudal máscico y volumétrico, respectivamente. Estas características permiten confirmar al Promass Q como la mejor opción en aplicaciones criogénicas, con desempeño muy superior a otros medidores de tipo Coriolis y ultrasónicos. Actualmente VSL utiliza medidores Endress+Hauser tipo Coriolis en su patrón primario de GNL como medidores tipo maestro.

1. INTRODUCCIÓN

Endress+Hauser Flow ha consolidado durante los últimos 50 años un amplio portafolio de medidores de caudal para una gran diversidad de aplicaciones. Su vocación de pionero en la innovación tecnológica ha permitido involucrarse, y también obtener excelentes resultados, en diferentes proyectos que constituyen retos tecnológicos. Particularmente los medidores máscicos Promass, los cuales emplean el principio Coriolis, han sido empleados en condiciones tan inusitadas como la Estación Espacial Internacional en condiciones de microgravedad, hasta la severidad de un fluido en condiciones criogénicas como el GNL. Sobre esto último se presentarán en esta ponencia puntos relevantes y resultados obtenidos como parte de la participación de Endress+Hauser en la definición del patrón primario de caudal del GNL para Europa liderado por VSL, el instituto nacional de metrología de los Países Bajos.

Este proyecto fue comenzado en 2008 con la participación de un grupo de compañías, entre ellas institutos de investigación, productores de medidores de caudal e institutos nacionales de metrología (NMIs), para establecer las instalaciones de ensayo y los métodos de validación necesarios. Para esto se planteó el desarrollo de una facilidad de calibración de escala media (localizada en Rotterdam, NL) para la calibración de caudal de hasta 200m³/h expandible a 400m³/h. Todas estas acciones estarían también encaminadas a estimular en todas las áreas posibles el uso del GNL y de Biogás licuado (BGL), y en general a acelerar la transición energética hacia alternativas más limpias.

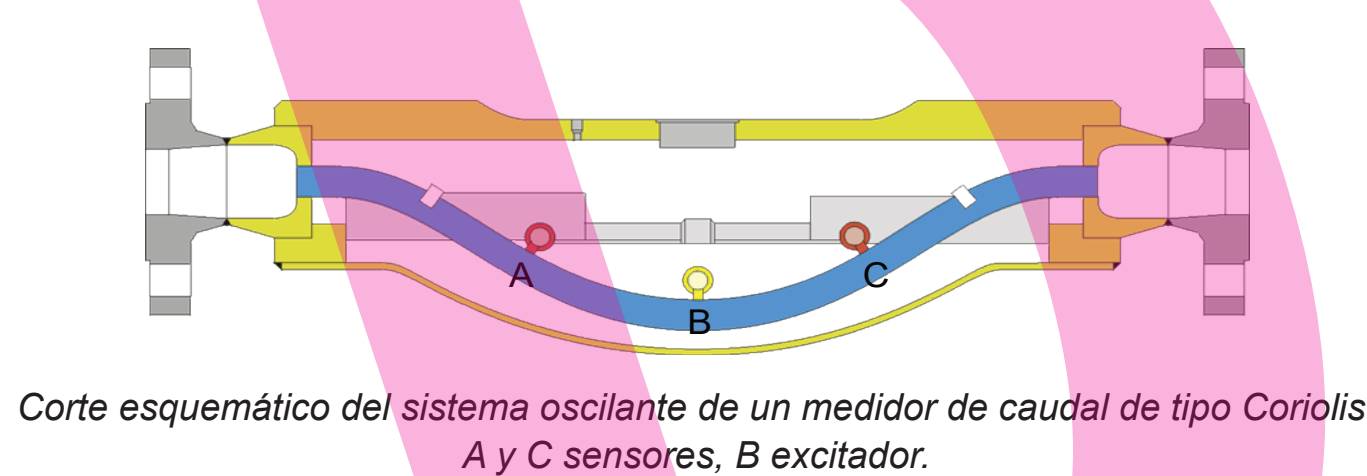
Los retos y resultados preliminares obtenidos en el proyecto se destacan en esta ponencia.

2. LIQUIDOS CRIOGÉNICOS Y MEDICIÓN DE CAUDAL MÁSCICO

2. LIQUIDOS CRIOGÉNICOS Y MEDICIÓN DE CAUDAL MÁSCICO

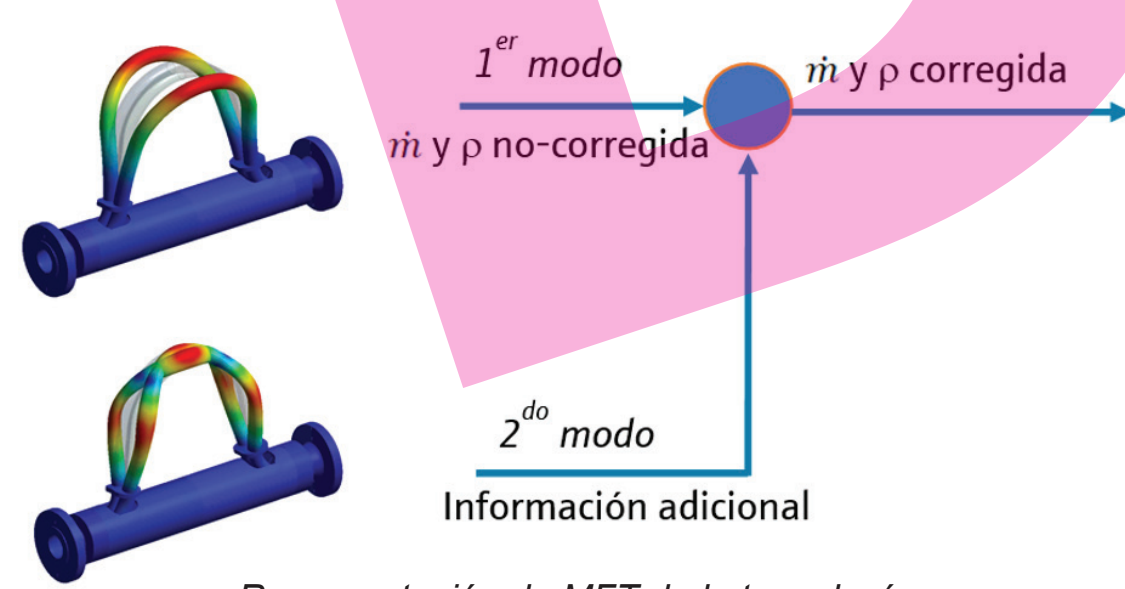
Líquido criogénico	Temperatura	Líquido criogénico	Temperatura
Metano	-162 °C	Hidrógeno	-253 °C
Oxígeno	-183 °C	Helio	-269 °C
Nitrógeno	-196 °C	Argón	-186 °C

Temperatura criogénica de algunos fluidos

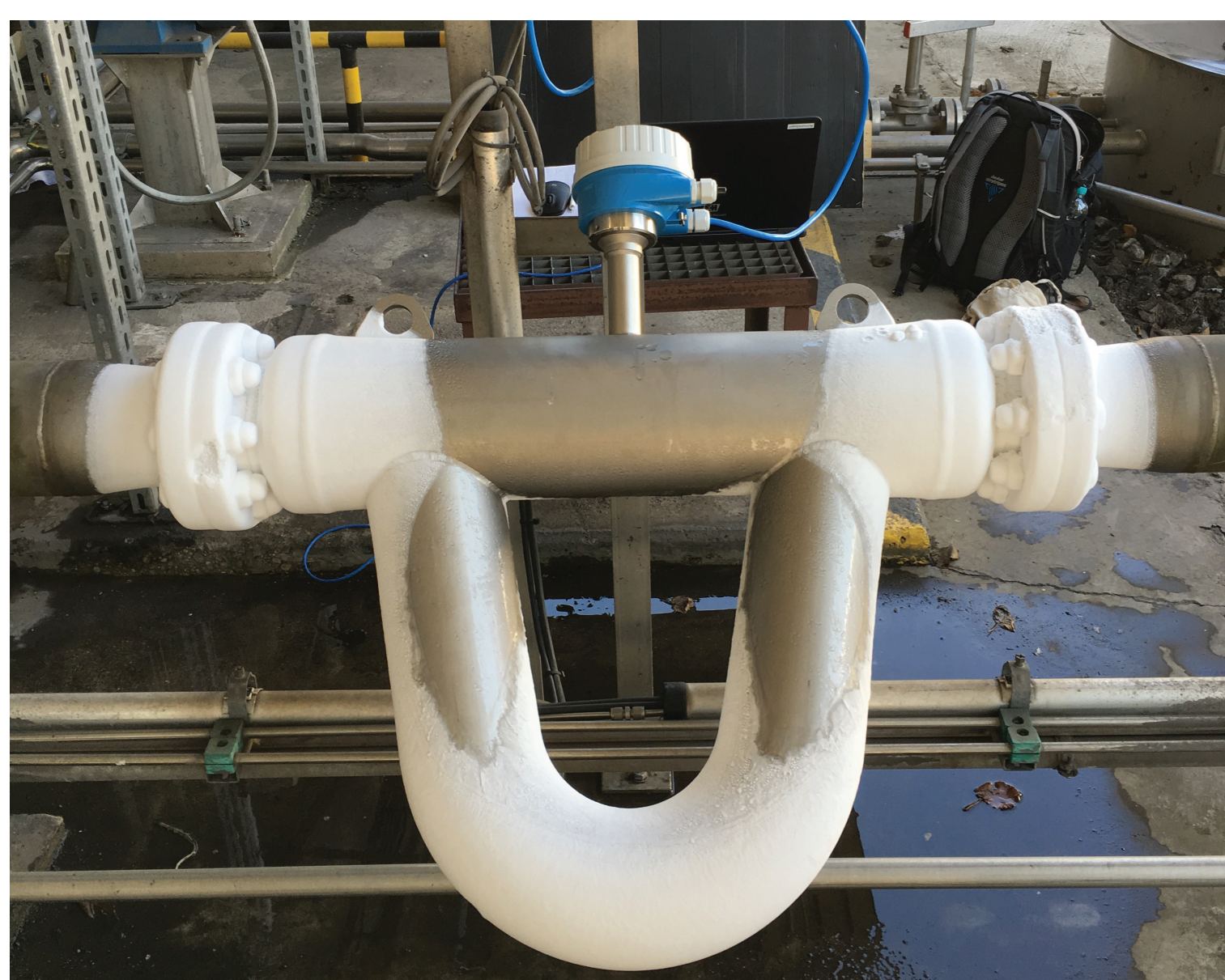


Corte esquemático del sistema oscilante de un medidor de caudal de tipo Coriolis. A y C sensores, B excitador.

► MFT: nueva tecnología para CFM también empleada en medición de caudal de líquidos criogénicos



Representación de MFT de la tecnología

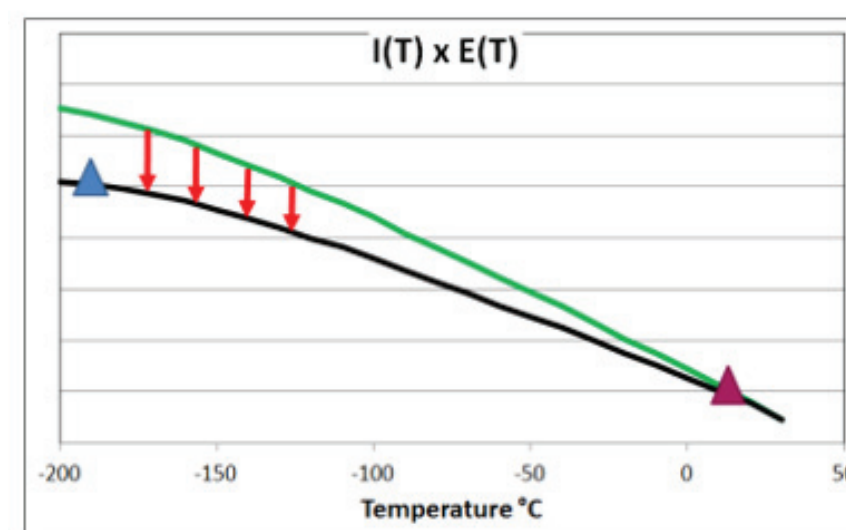
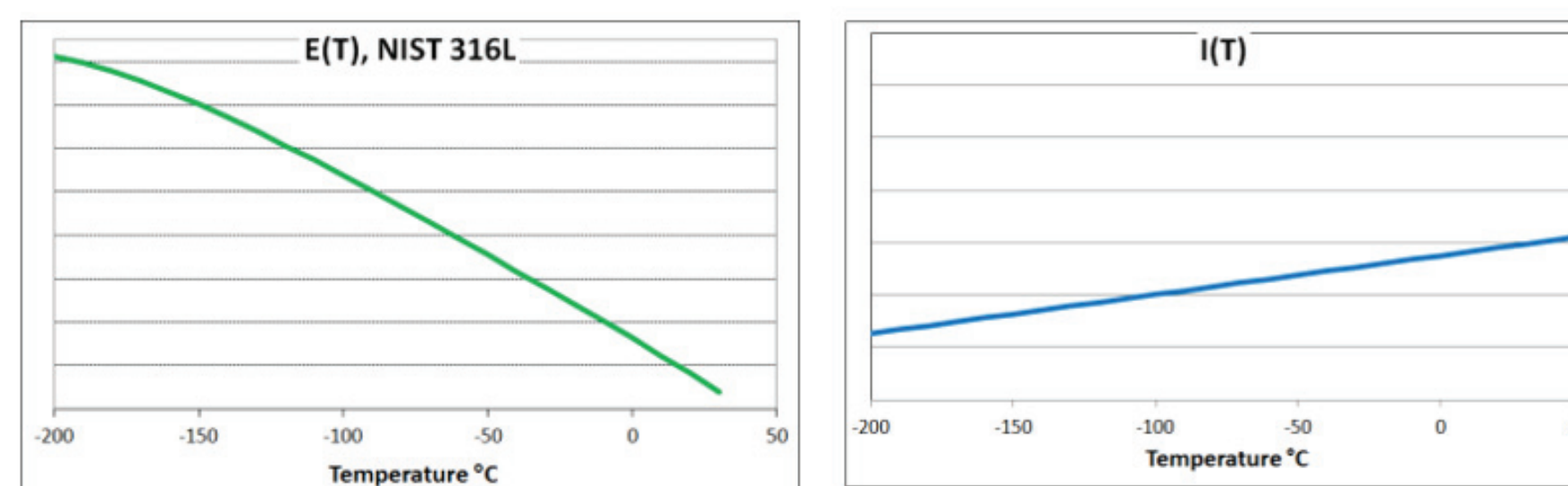


Medidor de caudal tipo Coriolis Promass Q con MFT en una aplicación de GNL (derecha)

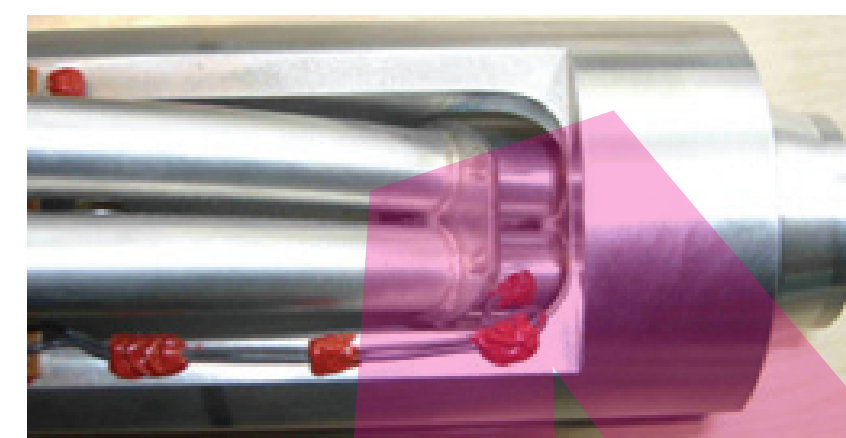
► Compensación de temperatura

Parámetros del CFM afectados por la muy baja temperatura de los fluidos criogénicos:

- Rigidez y deflexión del sistema oscilante
- Factor de calibración en masa, directamente relacionado con la rigidez de los tubos oscilantes
- Relación no lineal entre la temperatura y la rigidez del tubo (de acero inoxidable) a bajas temperaturas



Comportamiento de E e I, no lineal y lineal, respectivamente como función de T (arriba) y curva de superposición de I(T) y E(T) para la compensación térmica del caudal máscico (abajo)

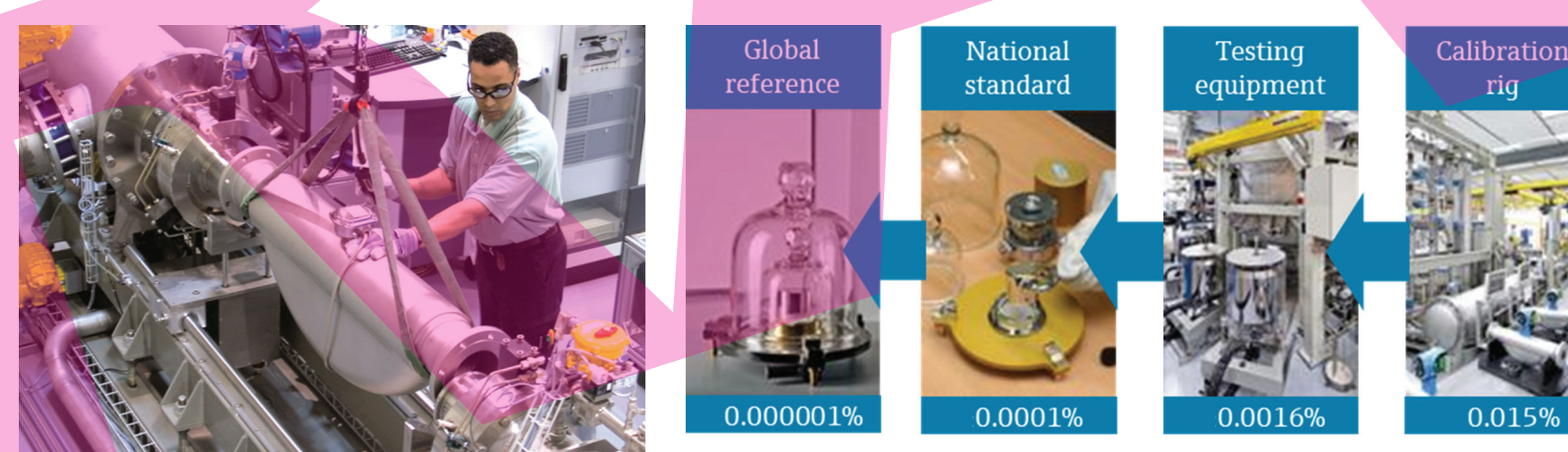


Medición de temperatura en los tubos oscilantes de un medidor de caudal tipo Coriolis, Promass F

► Aplicabilidad de factores de calibración obtenidos en calibración con agua

El valor del factor de calibración obtenido en la calibración con agua, en condiciones estándares es mantenido para la medición de caudal de fluido en condiciones criogénico.

Estas calibraciones iniciales son realizadas en fábrica, en bancadas SI-trazable a patrones nacionales e internacionales, y acreditadas según la norma ISO/IEC 17025 por el Servicio Suizo de Acreditación (SAS). Su rango máximo de calibración con agua es de 432 t/h y sus incertidumbres expandidas están entre las más bajas disponibles para condiciones industriales.



Promass F calibrado con agua, incertidumbre expandida de la bancada de calibración U(k=2)=0.015% (izquierda); trazabilidad a patrones nacionales e internacionales de la bancada de calibración usada (derecha)

► Lazo de calibración de GNL: datos relevantes

Comenzado en 2008 por diversas compañías tales como institutos de investigación, productores de medidores de caudal e institutos nacionales de metrología (NMIs), para establecer las instalaciones de ensayo y los métodos de validación necesarios. El proyecto fue iniciado con el empleo de Nitrógeno Líquido (NLI) como fluido de calibración. Posteriormente se introduce el GNL como fluido de calibración, después de la validación metrológica de la composición. El proyecto fue equipado con un estándar gravimétrico primario para caudal máscico con CMC 0.12%-0.15% (1).

Flow range	40...1600 kg/min (extendable to 3200kg/min)
Pressure(gauge)	1 bar
Operational temperature	-123...-175 °C (1 to 20 °C below boiling point)
Upstream/Downstream piping	40DN/8 DN
Nominal diameter (UUT)	25...150 mm
Estimated uncertainty (95%, k=2)	0.15%

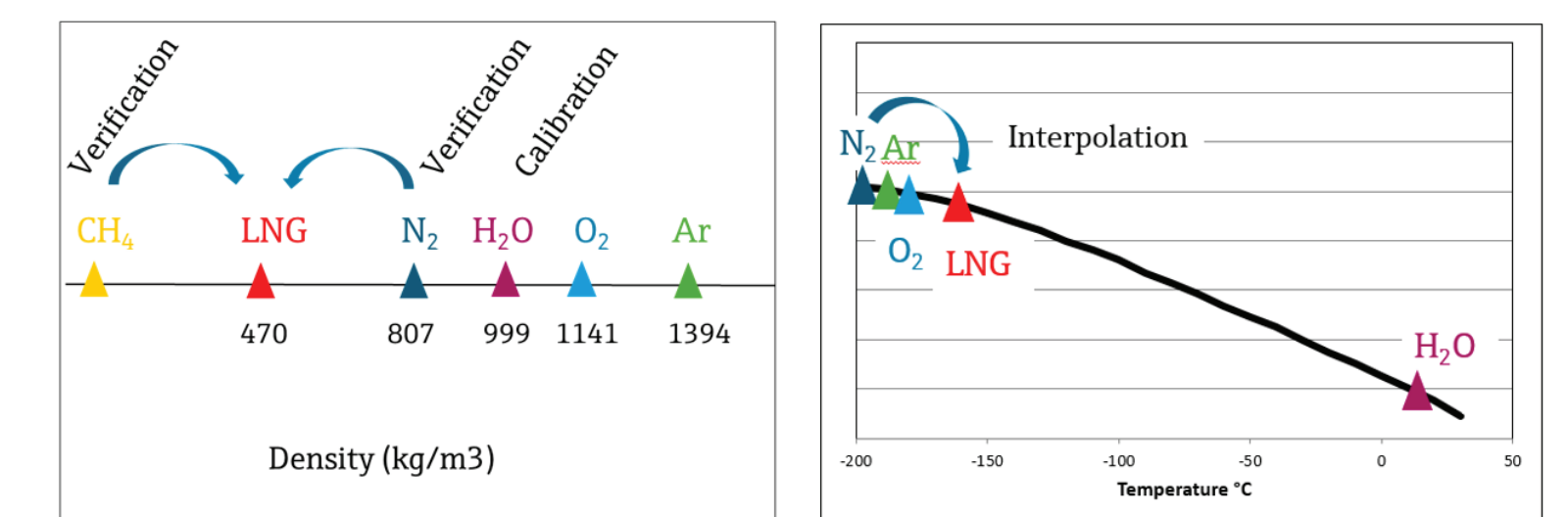
Endress+Hauser Flow fue responsable de proveer los medidores Promass Q 500 requeridos como referencias de caudal de GNL hacia el Lazo de Escala Media (MSL) de la instalación e igualmente para la calibración de las unidades bajo prueba (UUT) o medidores a ser calibrados, cuando estos tienen requisitos especiales de incertidumbre (4). En la se muestran las algunas de las características generales del MSL. En la Fig. 5 se muestra una vista general de ambas instalaciones, PSL y MSL.



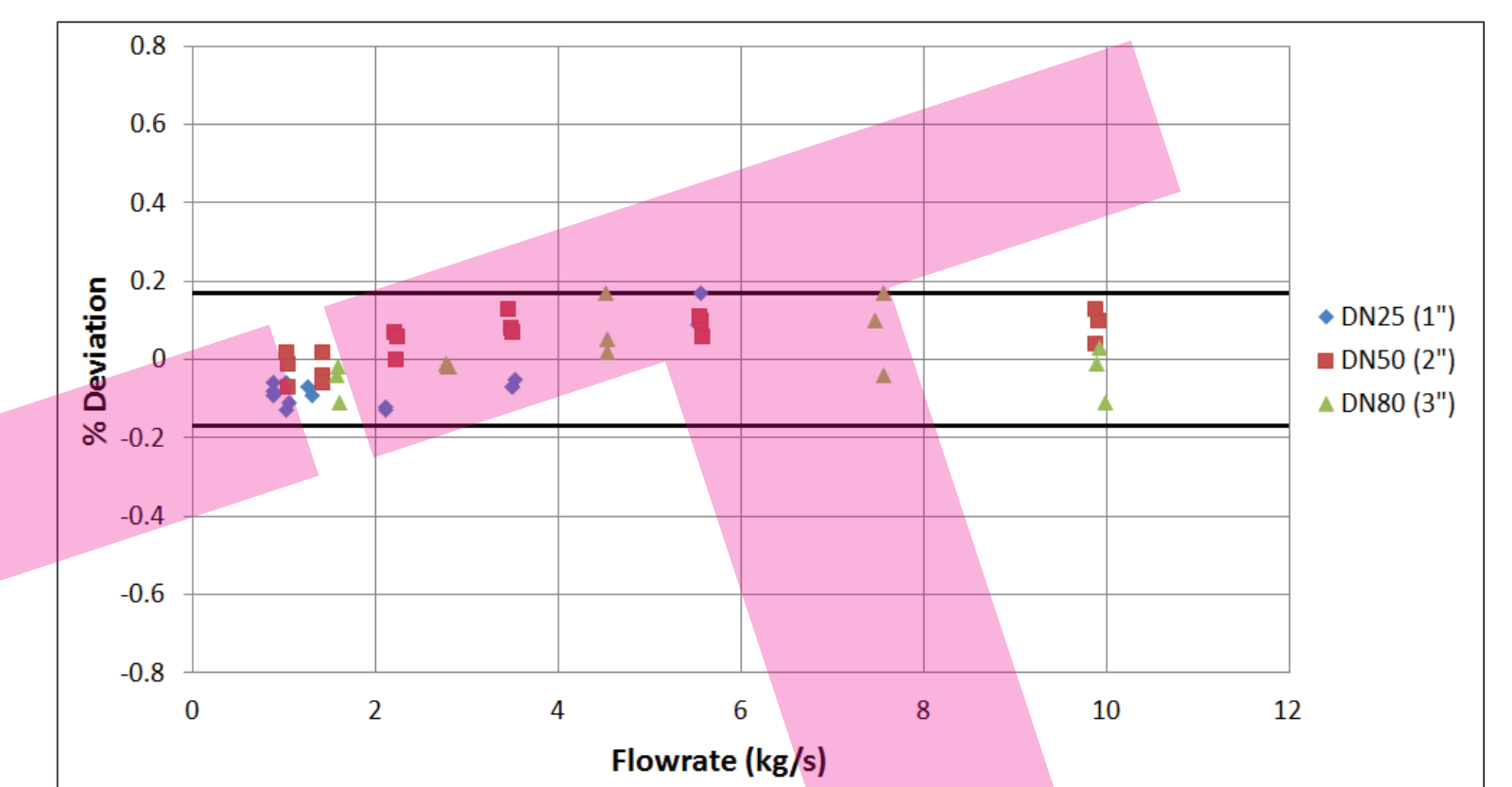
Vista general del Lazo de Patrón Primario (PSL) y el Lazo de Escala Media (MSL) (4)

► Validez del desempeño de los medidores empleando diferentes fluidos

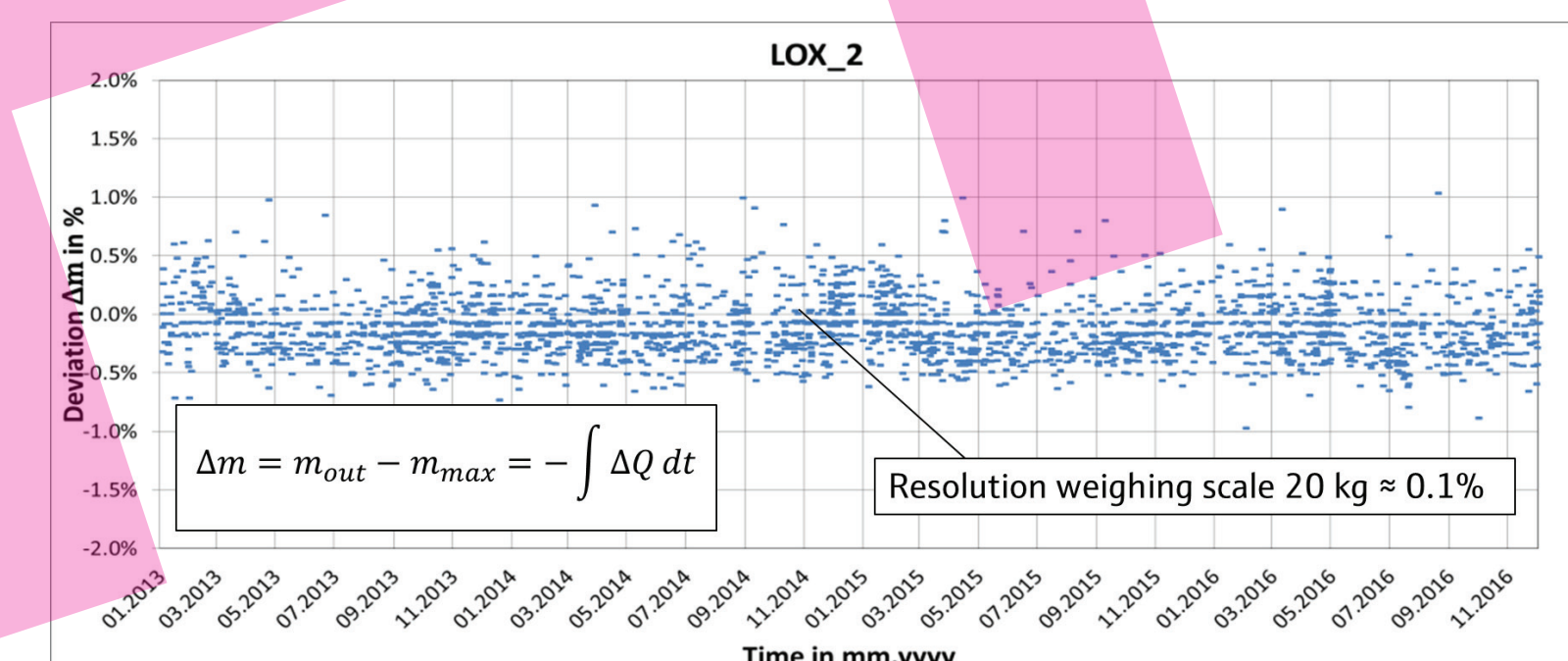
La validación de los medidores empleados en el proyecto se realizó a partir de la evaluación de su desempeño midiendo caudal con diferentes fluidos tales como Nitrógeno, Oxígeno, Argón, Metano y GNL, todos a partir de una calibración inicial hecha con agua y ajuste del punto cero.



Los factores de calibración obtenidos en agua y empleados en fluidos de otras densidades, y las interpolaciones hechas para determinar propiedades mecánicas del tubo oscilante a otras temperaturas demostraron su validez



Resultados de una calibración de caudal de un Promass F realizada en NIST usando Nitrógeno líquido



3. CONCLUSIONES

- Los CFM representan una opción válida para la medición del caudal máscico de fluidos criogénicos
- Los efectos de la temperatura sobre las propiedades mecánicas de los tubos del medidor deberán ser entendidos en detalle, pero pueden ser compensados adecuadamente por el fabricante del contador
- Se ha demostrado que los factores de calibración obtenidos durante la calibración con agua son válidos para fluidos criogénicos dentro de los requisitos para la transferencia de custodia
- Los CFM exhiben una excelente estabilidad a largo plazo en fluidos criogénicos
- No hay evidencia de deriva sistemática en una dirección indicativa de un efecto de envejecimiento debido a la temperatura extrema y el ciclo de temperatura
- Los bajos niveles de deriva exhibidos probablemente se atribuyen a pequeños cambios de punto cero
- Nuevas innovaciones como la tecnología multifrecuencia están disponibles para mejorar aún más los resultados de medición de Coriolis en fluidos criogénicos

4. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a los Srs. Paul Ceglia, Dr. Alfred Rieder, y Dr. Martin Ankin, de Endress+Hauser Flow.

5. REFERENCIA

1. Influence of flow disturbances on the performance of industry-standard. Kenbar, Asaad y Shakel, Menne. 2020, Flow Measurement and Instrumentation.
2. Liquid nitrogen calibrations of industry-standard LNG flow meters used in LNG custody transfer. VSL BV. 2019.
3. LNG Mid-Scale Loop flow metering – Preliminary Test Results. Shakel, M.D, y otros. 2019. FLOMEKO 2019.
4. Aguilera, Jesús. Towards the realization of calibration infrastructure for LNG mass flow. 2016.
5. EMPIR EURAMET. Publishable Summary for 16ENG09 LNGIII Metrological support for LNG and LBG as transport fuel. 2019.
6. Long Term Stability of Coriolis Flowmeters in Cryogenic Fluids. Marfenko, Iryna. 2018. LNG Workshop.

