



**INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETROLEO Y DEL GAS**

PRÁCTICA RECOMENDADA

PRIAPG-SC-26-2021-00

**Selección de Instrumentos, Patrones
y Errores Máximos Admitidos
(Temperatura, Presión y Densidad)**

1 INTRODUCCIÓN

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. Asimismo, 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.

La presente PR fue aprobada en la reunión de Comisión Directiva, celebrada en Sede Central, el 1 de diciembre de 2021

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 instrumentos utilizados en una línea de medición (temperatura, presión y densidad).

3 VARIABLE TEMPERATURA

3.1 Alcance

Describe métodos, equipos, instalación para la determinación adecuada de la temperatura en hidrocarburos líquidos en condiciones dinámicas para aplicaciones de transferencia de custodia.

3.2 Definiciones

Termómetro digital

Dispositivo electrónico que consta de una pantalla digital y una sonda de detección de temperatura asociada. (ASTM E2877)

Sensor de Temperatura:

Un sensor de temperatura es una parte de un termómetro en donde se produce algún cambio físico con la temperatura y convierte este cambio en un valor en una escala.

Sensor de temperatura de resistencia (RTD)

Es un dispositivo de medición de temperatura que funciona según el principio de un cambio en la resistencia eléctrica de su hilo conductor en función de la temperatura.

Transmisores de temperatura

Es un dispositivo que convierte la temperatura medida por el sensor y la convierte en una señal eléctrica o digital transmitiendo esa señal a una pantalla local o remota. I.

3.3 Límites Mínimos de precisión de temperatura

API	Tipo de dispositivo de temperatura					
	Termómetros de líquido en vidrio (graduación)		Termómetro digital		Transmisor de temperatura con indicación local (con sensor de temperatura)	
Capítulo 7 Determinación de Temperatura	°F	°C	°F	°C	°F	°C
	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
	5.3 Termómetros de Vidrio		0 -100 °c			
			5.2 -tabla 4 – Especificaciones de termómetro portátil eléctrico	5.4 Dispositivo de Temperatura Electrónico 5.4.4 Transmisor de Temperatura 5.6 Colección de Datos, Transmisión de Datos ,y Equipamiento Receptor		

MPMS API Capítulo 7- Determinación de Temperatura -Sección 4 -Medición dinámica de temperatura.

TABLA 1-Resolución mínima de lectura

Aplicación	Tipo de dispositivo de temperatura							
	Termómetros de líquido en vidrio (graduación)		Termómetro digital		Transmisor de temperatura (con sensor de temperatura)		RTD (fijo, solo con pantalla local)	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
Ticket del Medidor (Medidor de línea)	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Prueba de un Medidor (Probador bidireccional – de pequeño volumen)	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Calibración de Probador (Water Draw)	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabla 2 Requerimientos mínimos de precisión de los dispositivos de Temperatura

Dispositivo Aplicación	Petróleos Crudos, Productos Refinados, Aceites Lubricantes	
	°C	°F
Ticket del Medidor	± 0.25	± 0.5
Prueba de Medidor	± 0.25	± 0.5
Calibración de Probador	± 0.25	± 0.5
Densidad en la Prueba de Medidor	a	a
Calibración de Picnómetro	a	a
Densidad en la Calibración Med	a	a

^a Referirse a [IMPMS Chapter 9.4](#) Para valores de temperatura de referencia

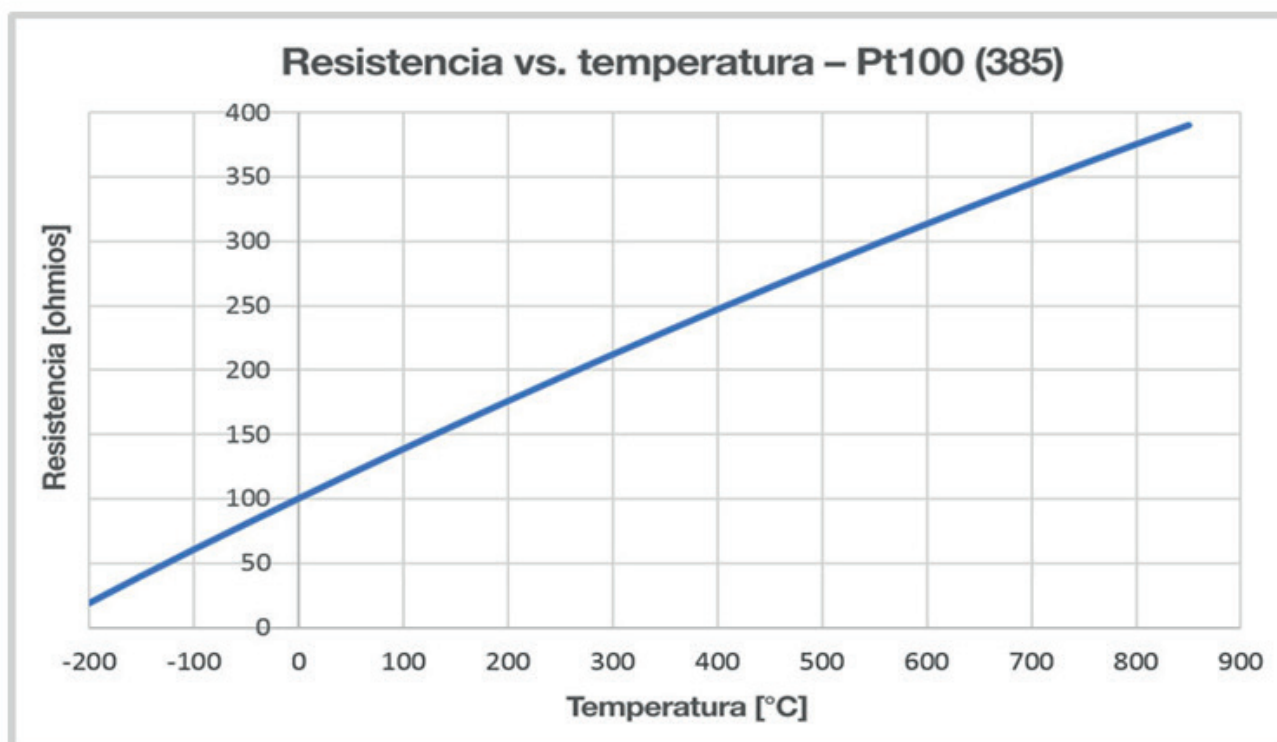
4 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS

4.1 Sensor PT 100 (RTD)

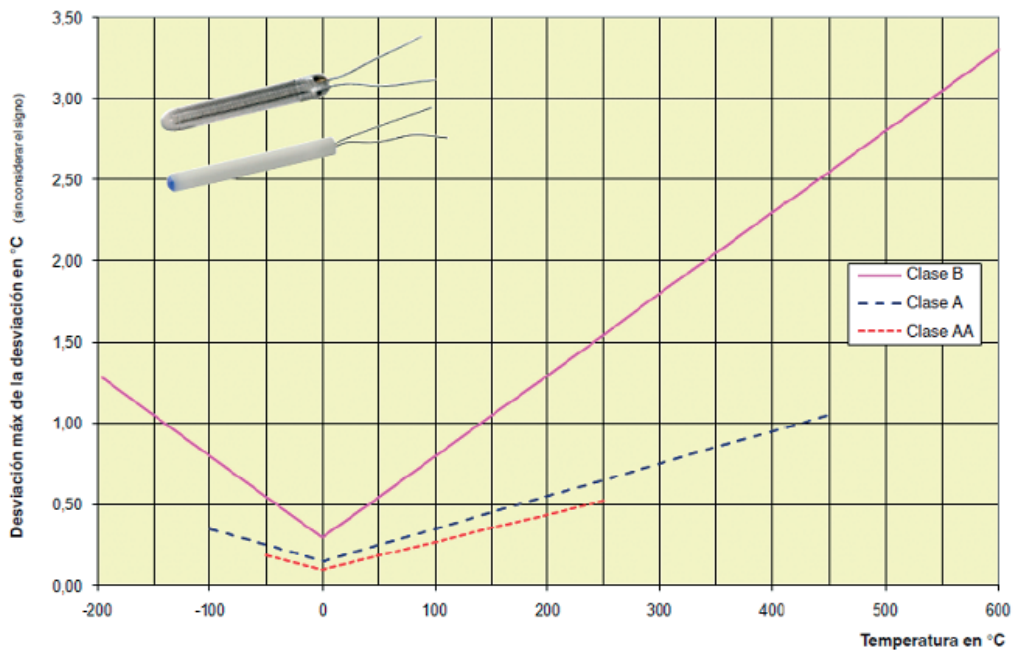
En la industria se utilizan dos tipos básicos de resistencia para la medición eléctrica de la temperatura: las termorresistencias bobinadas y las de película. Su distinto comportamiento queda reflejado en las provisiones de la norma europea IEC 60751 (DIN EN 60751), mientras que la norma americana ASTM E1137/E1137M trata ambos tipos de resistencia por igual, esta situación llega a confundir a los usuarios. La norma IEC 60751 no deja espacio a interpretaciones, las clases de tolerancias vienen indicadas con su rango de temperatura por separado según el tipo de termorresistencia.

ASTM E1137/E1137M 2014		IEC 60751:2008					
no info		Wire wound			Film resistors		
Grade A	Grade B	Class AA	Class A	Class B	Class AA	Class A	Class B
-200	-200	-50	-100	-196	0	-30	-50
+650	+650	+250	+450	+600	+150	+300	+500

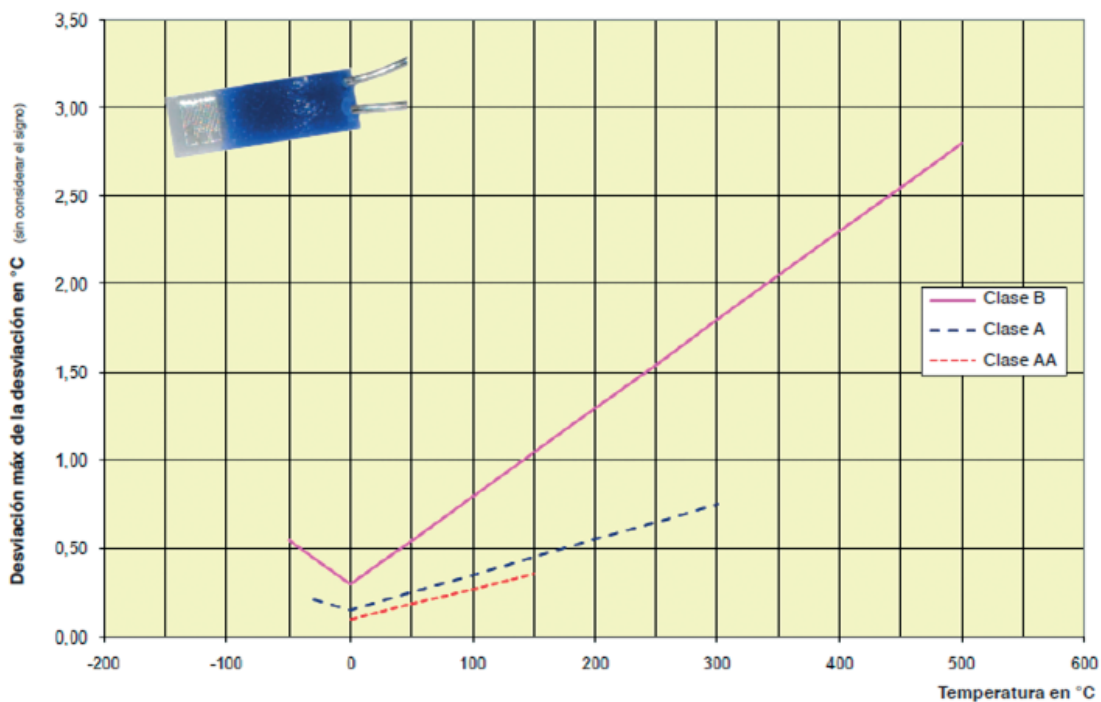
Tabla de rangos de temperaturas en °C



Desviación límite EN 60751: 2008 para termorresistencias con sensores de alambre bobinado



Desviación límite EN 60751: 2008 para termorresistencias con sensores laminados



En nuestro caso utilizaremos resistencia de película delgada bajo la norma IEC 60751, esta especifica que cualquier sensor cuya exactitud sea superior a la clase B se debe medir a tres o cuatro hilos.
Tipo de Sensor Recomendado Clase AA (0- 150 °C) -Película delgada (F)

Clases de tolerancia para resistencias -según IEC 60751:2008 -Tabla 2

Tabla 2 -Clases de Tolerancia para resistencias

Para resistencias bobinadas		Para resistencias de película		Valor de Tolerancia ^a °C
Clase de Tolerancia	Rango de validez de temperatura °C	Clase de Tolerancia	Rango de validez de temperatura °C	
W 0.1	-100 to +350	F 0.1	0 to +150	$\pm (0.1 + 0.0017 t)$
W 0.15	-100 to +450	F 0.15	-30 to +300	$\pm (0.15 + 0.002 t)$
W 0.3	-196 to +660	F 0.3	-50 to +500	$\pm (0.3 + 0.005 t)$
W 0.6	-196 to +660	F 0.6	-50 to +600	$\pm (0.6 + 0.01 t)$

^a $|t|$ = módulo de temperatura en °C sin tener en cuenta el signo

Clases de tolerancia para termómetros - según IEC 60751:2008 -Tabla 3

Tabla 3 - Clases de Tolerancia para Termómetros

Clase de Tolerancia	Rango de validez de temperatura °C		Valor de Tolerancia ^a °C
	resistencias bobinadas	resistencias de película	
AA	-50 to +250	0 to +150	$\pm (0.1 + 0.0017 t)$
A	-100 to +450	-30 to +300	$\pm (0.15 + 0.002 t)$
B	-196 to +600	-50 to +500	$\pm (0.3 + 0.005 t)$
C	-196 to +600	-50 to +600	$\pm (0.6 + 0.01 t)$

^a $|t|$ = módulo de temperatura en °C sin tener en cuenta el signo

Tabla 4- representa la calibración con temperaturas predefinidas, si se dispone de un patrón de temperatura (Horno vertical de bloque seco con su sensor patrón) el valor de la resistencia debería situarse dentro de los límites indicados.

Valores de resistencia y diferencias límites para temperatura seleccionadas (Pt 100)						
Temperatura en °C (ITS 90)	Valor de resistencia en Ω					
	Clase de Exactitud B		Clase de Exactitud A		Clase de exactitud AA	
0	99,88	100,12	99,94	100,06	99,96	100,04
20	107,64	107,95	107,72	107,87	107,74	107,85
100	138,20	138,81	138,37	138,64	138,4	138,61
150	156,93	157,72	157,16	157,49	157,91	157,64

Nota: Los valores en ohm están referenciados a la norma IEC 60751:2008 ítem 4 Relaciones temperatura / resistencia.

Tabla 5- sirve para la comprobación de los módulos de evaluación por ejemplo una caja de décadas de resistencias o un equipo electrónico de generación de resistencias.

Al realizar la simulación deberían indicar un valor de temperatura dentro de los valores límites indicados.

Valores de Temperaturas y desviaciones límites con valores de resistencia seleccionados (Pt 100)						
Valores en Ω	Valor en Temperatura $^{\circ}\text{C}$ (ITS 90)					
Ω	Clase de Exactitud B		Clase de Exactitud A		Clase de exactitud AA	
100	-0,3	0,3	-0,15	0,15	-0,1	0,1
110	25,26	26,11	25,48	25,89	25,54	25,83
150	129,50	131,4	130,04	130,86	130,13	130,77

Actualmente, es normal emplear un dispositivo de medición de temperatura o calibrador que convierte automáticamente la resistencia medida en una lectura de temperatura, una vez seleccionado el tipo de RTD correcto en el dispositivo (asumiendo que soporta el tipo de RTD utilizado). Si en el dispositivo se ha seleccionado el tipo de sensor RTD erróneo, los resultados de medida de temperatura serán incorrectos.

4.2 Verificación Sensor de Temperatura

El sensor de temperatura RTD en línea que se utiliza sin transmisor de temperatura se debe verificar en un intervalo que no exceda los tres meses.

La verificación de la RTD debe ser In situ comparando la lectura local o lectura remota (computador de flujo) con un termómetro de referencia inserto en la termovaina de verificación.
(ref.: API MPMS Capítulo 7.4 (ED2) - Sección 10.4.5)

4.3 Periodo de Calibración

Un sensor RTD se debe calibrar anualmente.
(ref.: API MPMS Capítulo 7.4 (ED2) - Sección 10.5.7)

4.4 Tipos de conexiones

Existen 3 modos de conexión para las Pt100, cada uno de ellos requiere un instrumento lector distinto. El objetivo es determinar exactamente la resistencia eléctrica $R(t)$ del elemento sensor de platino sin que influya en la lectura la resistencia de los cables R_c .

El modo más sencillo de conexión (pero menos recomendado) es con sólo dos cables. En este caso las resistencias de los cables R_{c1} y R_{c2} que unen la Pt100 al instrumento se suman generando un error inevitable por lo que se medirá el total $R(t) + R_{c1} + R_{c2}$ en lugar de $R(t)$.

Lo único que se puede hacer es usar cable lo más grueso posible para disminuir la resistencia de R_{c1} y R_{c2} y así disminuir el error en la lectura. Por ejemplo si la temperatura es 90°C , entonces $R(t) = 134.7$ ohms, pero si el cable R_{c1} tiene 1.3 ohms y el R_{c2} tiene 1.2 ohms entonces la resistencia medida será $134.7 + 1.3 + 1.2 = 137.2$ ohms y la lectura del instrumento será 96°C .

Un cable común razonablemente grueso sería uno de diámetro equivalente a 18 AWG. La resistencia de este cable es 0.0193 ohms por metro.

Por ejemplo si se usa este cable para medir una resistencia a 15 metros de distancia, la resistencia total de los cables será $15 \times 2 \times 0.0193 = 0.579$ ohms lo que inducirá un error de 1.5°C en la lectura.

El modo de conexión de 3 cables es el más común y resuelve bastante bien el problema de error generado por los cables. El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa (casi siempre) en el “puente de Wheatstone”. Por supuesto el lector de temperatura debe ser para este tipo de conexión.

En el caso particular de la configuración de tres cables que se muestra en el cuadro siguiente, se hace pasar una corriente conocida a través de los dos cables rojos con lo cual el instrumento mide $2R_c$. Luego se mide la resistencia por los cables rojo y blanco para finalmente restarle $2R_c$ al valor medido y obtener $R(t)$.

El método de 4 cables es el más preciso de todos, los 4 cables pueden ser distintos (distinta resistencia) pero el instrumento lector es más costoso.

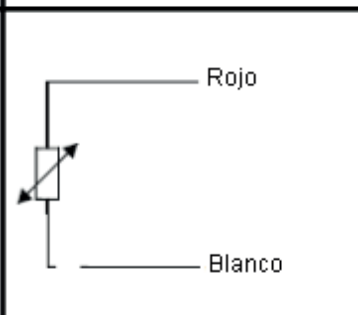
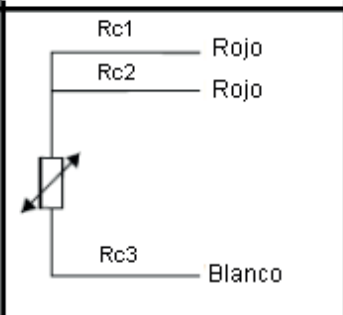
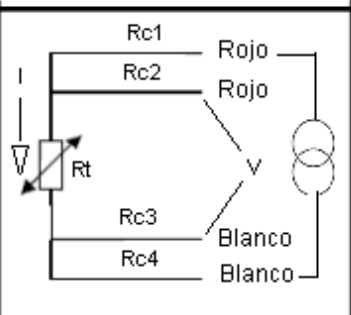
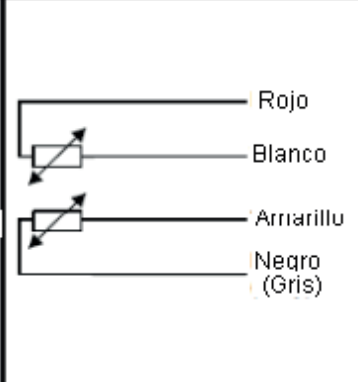
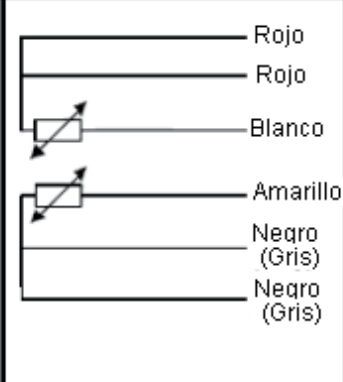
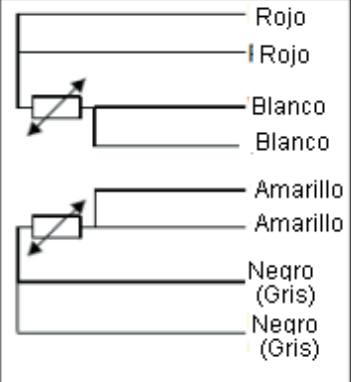
Por los cables 1 y 4 se hace circular una corriente I conocida a través de $R(t)$ provocando una diferencia de potencial V en los extremos de $R(t)$.

Los cables 2 y 4 están conectados a la entrada de un voltímetro de alta impedancia; luego por estos cables no circula corriente y por lo tanto la caída de potencial en los cables R_{c2} y R_{c3} será cero ($dV = I_c \times R_c = 0 \times R_c = 0$) y el voltímetro medirá exactamente el voltaje V en los extremos del elemento $R(t)$.

Finalmente el instrumento obtiene $R(t)$ al dividir V medido entre la corriente I conocida.

Cualquiera que sea el método de conexión, se debe hacer pasar una cierta corriente I por el elemento sensor de modo de poder medir su resistencia. Esta corriente I llamada “corriente de excitación” la suministra el instrumento lector y es del orden de 0.1 mA a 2 mA dependiendo del modelo y marca del equipo.

Para las conexiones de RTD se deben utilizar las configuraciones de 3 -cables y 4-cables
Configuración de cables de conexión IEC 60751

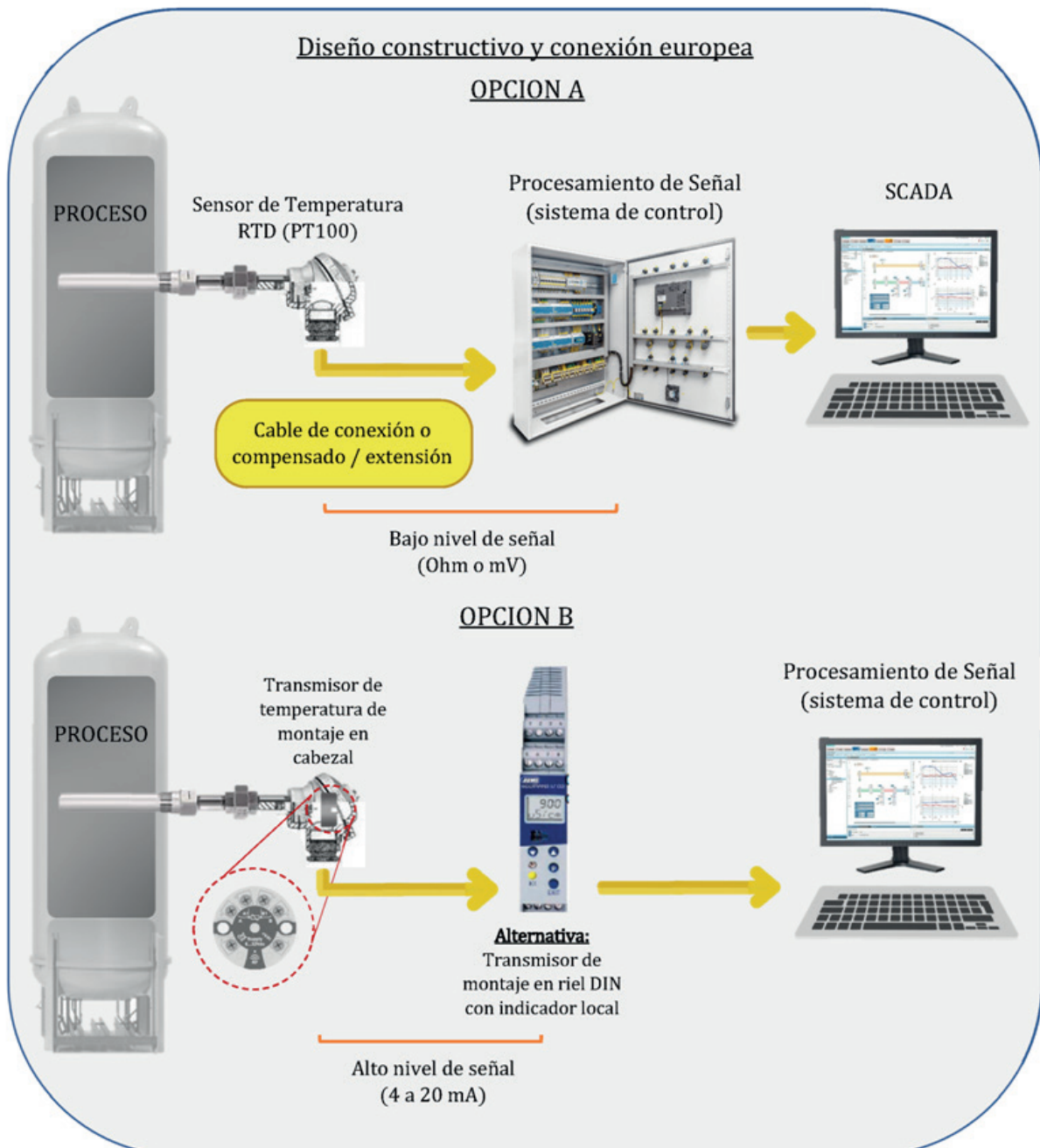
	configuración- 2 cables	configuración - 3- cables	configuración- 4- cables
1 resistencia			
2 resistencias			

5 TRANSMISOR

Cuando se hacen mediciones de temperatura, hay dos métodos tradicionales para obtener lecturas del proceso con un indicador, controlador o sistema de supervisión y control.

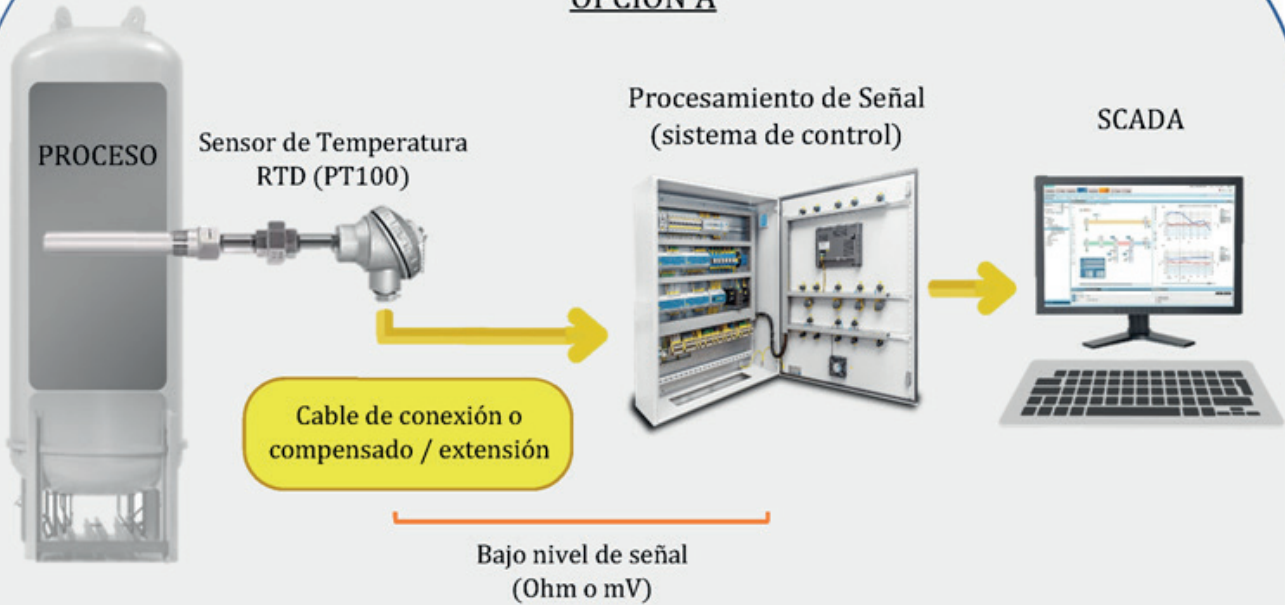
Un método es utilizar el cable de conexión directo desde el sensor hasta el indicador o sistema, para llevar la señal (bajo nivel de señal ohm) generada por una termorresistencia (RTD - Pt100) .

El otro método es instalar transmisores en el sensor de temperatura o cerca de él. Los transmisores amplifican y acondicionan la señal del sensor de temperatura y la transmiten por medio de un par de conductores hasta el indicador o la sala de control (fig. 1 / 2).

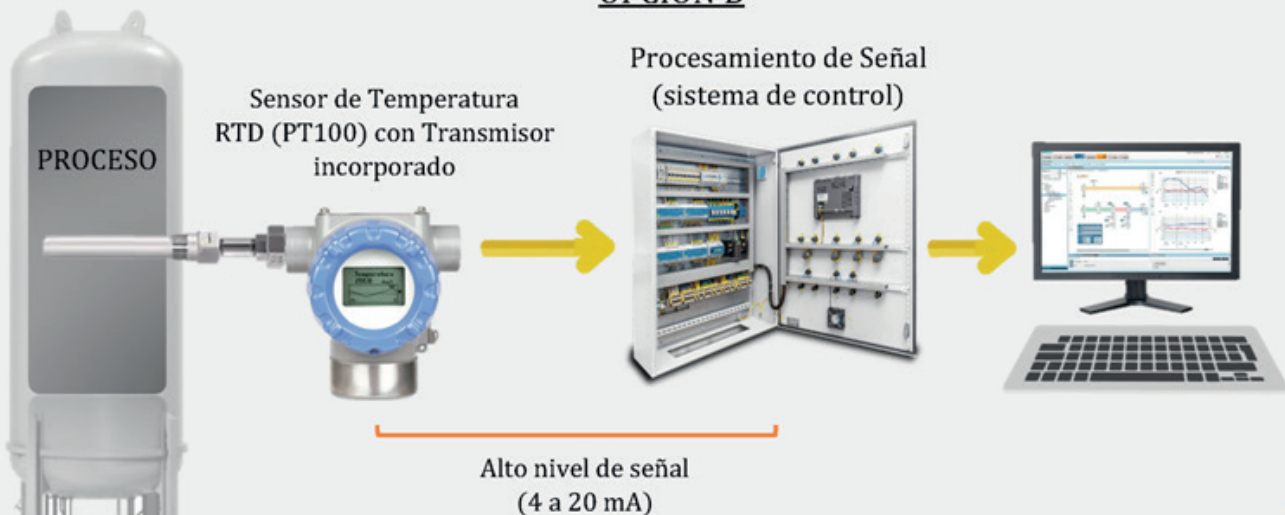


Diseño constructivo y conexión americana

OPCION A



OPCION B



5.1 Precisión.

Todas las precisiones del transmisor se deben establecer como valores de temperatura. La precisión indicada de un transmisor se puede expresar como:

- 1) un porcentaje del valor de rango superior (URV).
- 2) un porcentaje del rango calibrado.

Por ejemplo, un transmisor tiene un URV de 120 ° C. Ha sido calibrado de 0 ° C - 80 ° C. Suponiendo que la temperatura del flujo es de 37 ° C. Por lo tanto, si la precisión del transmisor se establece como: 0.25% de URV (120 ° C), entonces la precisión es ± 0.3 ° C
0.25% del alcance calibrado (0 ° C a 80 ° C), entonces la precisión es ± 0.2 ° C

Es fundamental comprender lo que significan las especificaciones del fabricante con respecto a la precisión, antes de elegir el equipo para su aplicación.

Si bien la mayoría de los transmisores de temperatura tienen la precisión establecida por el fabricante, la precisión de los transmisores "tal como están instalados" se puede ver afectada por:

- Efectos de temperatura ambiente
- Efectos de vibración
- Efectos de la fuente de alimentación
- Efectos de posición de montaje

Es importante evaluar los efectos de estas condiciones y calcular su efecto para determinar la precisión "tal como está instalada" del transmisor de temperatura.

(Ref: API MPMS Capítulo 7.4 (ED2) - Section 9.1.1)

5.2 Período de Calibración

Los transmisores utilizados en la medición de transferencia de custodia se calibrarán anualmente. Cada Componente del sistema de temperatura (RTD, Transmisor y Lectura) se deben calibrar o reemplazar según sea necesario para que el sistema de medición mantenga la tolerancia requerida. El sensor de temperatura para un transmisor electrónico de temperatura generalmente no se puede ajustar solo el transmisor se puede ajustar o calibrar eléctricamente. Se puede usar una entrada de un dispositivo como un simulador de RTD o una caja de décadas para facilitar la calibración.

El resultado de la calibración después del ajuste se debe verificar mediante comparaciones dentro de las tolerancias a un mínimo de tres temperaturas en intervalos aproximadamente uniformes sobre el rango operativo del transmisor de temperatura.

(ref.: API MPMS Capítulo 7.4 (ED2) - Sección 10.5.6)

5.3 Verificación Periódica

Los transmisores de temperatura se deben verificar periódicamente en un intervalo que no exceda los tres meses.

El procedimiento de verificación debe consistir en al menos una comparación, preferentemente a la temperatura de funcionamiento normal entre el transmisor y el termómetro de referencia.

La verificación se puede realizar colocando la RTD y el termómetro de referencia en un horno de Bloque seco o verificando con el proceso mediante la termovaina de verificación.

(ref.: API MPMS Capítulo 7.4 - Sección 10.4.4)

5.4 Selección de Transmisor

Cada fabricante especifica en la hoja de datos de su transmisor las fuentes de error y como combinarlas matemáticamente para obtener la exactitud total del equipo.

Por ejemplo:

- Exactitud de conversión A/D
- Exactitud de conversión D/A
- Exactitud de referencia interna

- Efecto de temperatura ambiente
- Estabilidad del sensor.
- Efectos de la variación de la tensión de alimentación.

5.5 Ejemplos de transmisores y cálculo de exactitud

Instrumento 1: Transmisor de Temperatura marca A, rango -200°C a 850°C

Instrumento 2: Transmisor de Temperatura marca B, rango -200°C a 850°C

Ambos equipos son provistos por el fabricante con su respectiva RTD, y con sus entradas calibradas a los valores de resistencia reales de dicho sensor. En caso de reemplazar el sensor, se deberán configurar las constantes de Callendar-Van Dusen en el transmisor para ajustar la entrada a la curva real de la nueva RTD.

5.5.1 Instrumento 1:

Precisión de referencia (solo protocolo HART)

Si se utiliza una entrada del sensor Pt 100 (= 0,00385) con un alcance de 0 a 100 °C: la precisión digital sería ±0,10 °C.

(Rango calibrado 0°C a 100°C, Temp.ambiente =30°C, Temp.producto =60°C)

Exactitud Digital: 0.1°C

Exactitud D/A: 0.02°C

Precisión D/A sería ±0,02% de 100 °C o ±0,02 °C, Total = ±0,12 °C.

Ejemplo: efectos de temperatura

Si se utiliza una entrada de sensor Pt 100 (= 0,00385) con un alcance de 0 a 100 °C a una temperatura ambiente de 30 °C, se cumplirá lo siguiente:

Efectos digitales de la temperatura

$$\blacksquare 0,0015 \frac{^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}} \times (30 - 20 \text{ } ^{\circ}\text{C}) = 0,015 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Efectos D/A (solo HART/4-20 mA)

$$\blacksquare [0,001\%/^{\circ}\text{C of span}] \times 100 \text{ } ^{\circ}\text{C} \times |(30 - 20^{\circ}\text{C})| = \text{ } ^{\circ}\text{C efecto D/A}$$

$$\blacksquare [0,001\%/^{\circ}\text{C} \times 100] \times |(30 - 20)| = 0,001 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Error del peor caso

$$\blacksquare \text{Digitales} + \text{D/A} + \text{efectos digitales de la temp.} + \text{efecto D/A} \\ = 0,10 \text{ } ^{\circ}\text{C} + 0,02 \text{ } ^{\circ}\text{C} + 0,015 \text{ } ^{\circ}\text{C} + 0,01 \text{ } ^{\circ}\text{C} = 0,145 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Error total probable

$$\blacksquare \sqrt{0,10^2 + 0,02^2 + 0,015^2 + 0,01^2} = 0,10 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

5.5.2 Instrumento 2:

(Rango calibrado 0°C a 100°C, Temp.amb=30 °C, Temp. producto=60 °C)

Exactitud A/D: 0.1°C

Exactitud D/A: 0.02°C

Efecto Temp.ambiente: 0.06°C

Error del peor caso

Total: 0.1°C + 0.02°C + 0.06°C = +/-0.18°C

6 TERMOVAINAS O TERMOPOZOS (THERMOWELL)

Las termovainas deben cumplir con los códigos de diseños para las presiones y las temperaturas de operación. Además, deben resistir esfuerzos y vibraciones producidos por la velocidad del fluido (Referirse a la norma ASME PTC 19.3 TW que indica cálculos para confirmar dicha aptitud).

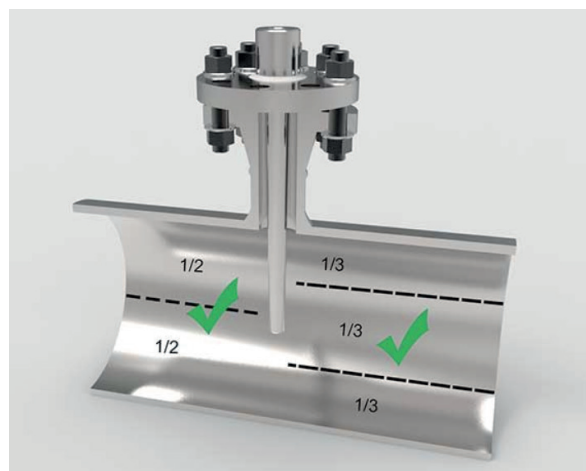
Guía de selección básica

La selección del termopozo adecuado para una aplicación es una actividad importante porque afecta la seguridad de la planta y la eficiencia de la medición. Los termopozos son considerados como una pieza que entra en contacto con el proceso; físicamente son parte del sistema de retención de presión.

Los cuatro factores principales que se deben considerar cuando se selecciona un termopozo para una aplicación se describen a continuación:

1. Longitud del termopozo

No existe una fórmula estándar para determinar la longitud de inmersión del termopozo. Sin embargo, existen unas prácticas comunes que sigue la industria de procesos, además de utilizar un buen criterio de ingeniería. De preferencia, la punta del termopozo debe situarse cerca de la línea central en condiciones de caudal turbulento porque esto representa la temperatura del proceso más exacta.



Para asegurar un óptimo desempeño, a continuación, se presenta una directriz general para la longitud de inmersión en una tubería:

- 10 veces el diámetro de la raíz del termopozo para mediciones de aire o gas
- 5 veces el diámetro de la raíz del termopozo para mediciones sobre líquidos

Otra directriz es introducir el termopozo cuando menos en el tercio medio de la tubería para cualquier medición. El Instituto Americano del Petróleo (API) tiene una recomendación específica de usar una longitud de inmersión del elemento sensor más 50 mm.

2. Configuración del montaje

Considerar la forma en que el termopozo se monta en la tubería o en el tanque. El diseñador del proceso generalmente especifica qué conexión de acoplamiento se utilizará y el termopozo seleccionado debe coincidir con esa conexión. Generalmente se toman en cuenta la temperatura, la presión y el material para asegurar que la conexión al proceso sea adecuada para la aplicación. Las opciones de configuración de montaje estándar son soldado, roscado, bridado y Van Stone.

2. Perfil del vástago del termopozo

Entre los factores a considerar al seleccionar un estilo de vástago se encuentran la presión de proceso, la velocidad requerida de respuesta de la medición, la fuerza de arrastre del caudal de fluido y la frecuencia. El vástago o la espita es la parte de un termopozo inserto en la tubería o el tanque de proceso. Se tienen tipos de vástago recto, escalonado y cónico. Cada perfil tiene sus beneficios dependiendo de la necesidad y la situación.

3. Material del termopozo

Los termopozos se suministran en la mayoría de materiales requeridos para aplicaciones industriales. Los materiales estándar son acero inoxidable 316/316L, acero inoxidable 304/304L y acero al carbono A105. Para entornos corrosivos, también se tienen materiales especiales, como por ejemplo Alloy C-276 y Alloy 600, bronce - inonel 600 - incoloy 800 y hasteloy

Los datos de procesos necesarios para el cálculo según ASME PTC 19.3 TW-2016 son:

	Unidad SI	Imperial	Otros
Velocidad	m/s	ft/s	---
Densidad del medio	kg/m ³	lb/ft ³	---
Temperatura	°C	°F	---
Presión	bar	psi	---
Viscosidad dinámica ¹⁾	mm ² /s	ft ² /1000s	cP

1) Opcional para ASME PTC 19.3 TW-2016

6.1 Tipos de termovainas

Se pueden clasificar, entre otras características, por su conexión a la cañería y por la forma del vástago:

TWR: Mecanizadas Rectas.

TWE: Mecanizadas Escalonadas.

TWC: Mecanizadas Cónicas.

TWB: Mecanizadas Bridadas.

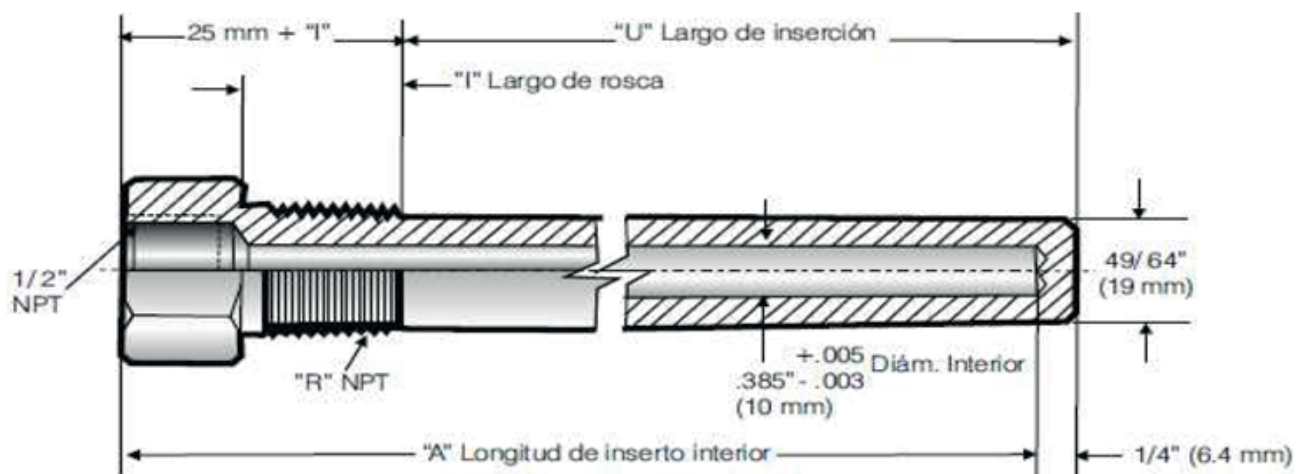
TWS: Mecanizadas para Soldar.

Selección de instrumentos, Patrones y errores máximos admitidos
(Temperatura, presión y densidad)

PRIAPG-SC-26-2021-00

Fecha: 12-2021

	Roscada	Soldada en accesorio socket	Bridada	Bridas solapadas Van Stone	Soldada en línea
Recta					
Cónica					
Escalonada					





6.2 Instalación (Termovaina de Verificación)

1-Para el caso de termovainas de verificación (Verificación del dispositivo de temperatura calibrado o verificaciones periódicas de la temperatura del fluido).

La termovaina se debe instalar lo más cercana posible de los sensores de temperatura la distancia máxima sugerida entre la termovaina de prueba y el sensor es de tres diámetros de tubería o 457 mm. Tener en cuenta que las termovainas deben tener las mismas características de diseño y la misma profundidad de inmersión.

La termovaina de verificación tiene que tener un tapón para evitar que se acumule suciedad la cual puede causar errores de medición.

6.2.1 Medidores de desplazamiento positivo

La termovaina se debe instalar muy cerca del medidor preferentemente no más de 5 diámetros de tubería y aguas abajo del medidor.

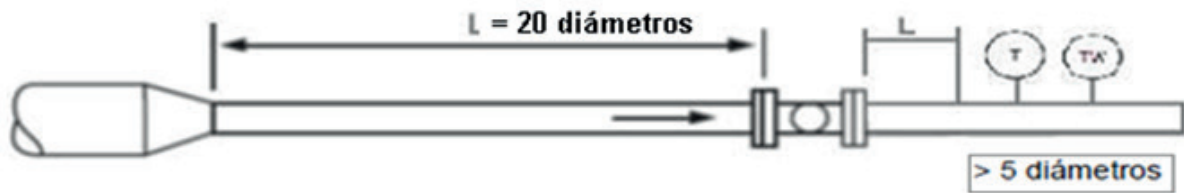
(Ref: API MPMS Capítulo 7 - Sección 7.2.2)



6.2.2 Medidores de turbinas

La termovaina se debe instalar aguas abajo del medidor. Para evitar la distorsión del perfil de flujo las termovainas se deben montar a no menos de 5 diámetros de la tubería desde la brida de salida del medidor. Esto incluiría el sensor y la termovaina de verificación.

(ref.: API MPMS Capítulo 7.4 (ED2) - Sección 7.2.3)

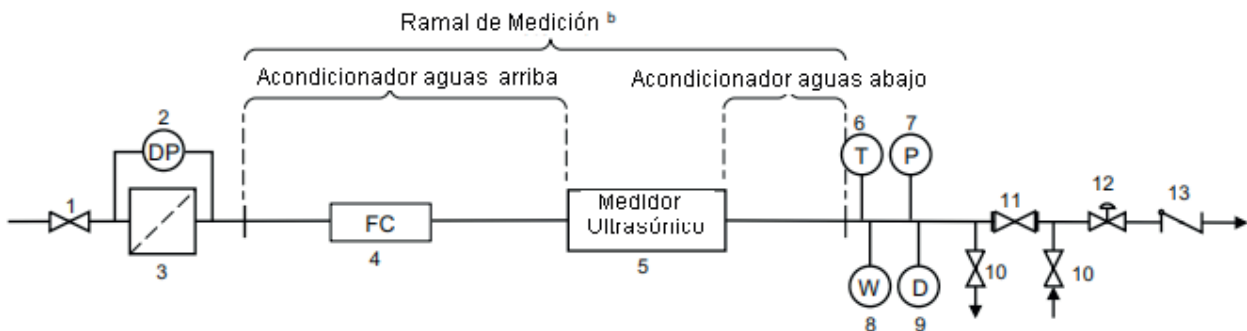


6.2.3 Medidor de flujo Ultrasónico

El sensor de temperatura instalado para un Sistema de medición que usa un medidor de flujo ultrasónico (USM) se instalará a una distancia mayor a 5 diámetros de la tubería desde la brida de salida del medidor.

(Ref: API MPMS Capítulo 7.4 - Sección 7.2.4 Medidores Ultrasónicos)

(Ref API MPMS Capítulo 5.8 -Sección 4.1.2 Dispositivos de Temperatura)



Listado

- | | |
|---|--|
| 1. válvula de bloqueo ^a | 8. Termovaina para prueba de temperatura |
| 2. Presión diferencial ^a | 9. densitómetro ^a |
| 3. filtro y/o eliminador de aire ^a | 10. válvulas de desvío al probador |
| 4. acondicionador de flujo ^a | 11. válvula de doble bloqueo y purga |
| 5. medidor ultrasónico | 12. control de flujo ^a |
| 6. medición de temperatura | 13. válvula de retención ^a |
| 7. medición de presión | |

Notas

- ^a Elementos que pueden no ser necesarios
^b Ver Sección 7.1 Acondicionamiento del flujo

Figura 1—Elementos Típicos de una Instalación Simple de UFM

6.2.4 Medidor por Efecto Coriolis

El dispositivo de temperatura del medidor de flujo másico destinado a medir la temperatura del tubo de flujo no está diseñado y no tiene la precisión requerida para determinar la temperatura del fluido en una aplicación de transferencia de custodia.

Las termovainas se deben instalar lo más cerca del medidor de flujo para que la medida de temperatura sea representativa de la temperatura del fluido.

(Ref: API MPMS Capítulo 7.4 (ED2) - Sección 7.2.5)

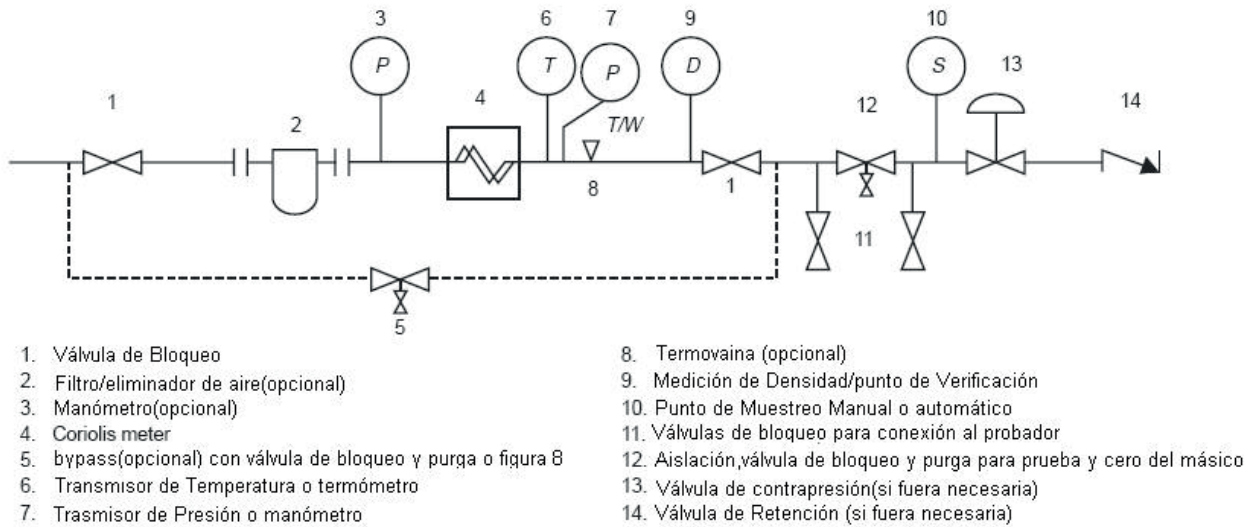


Figura 2 — Esquema Típico para Instalación de Medidor Coriolis

7 VARIABLE PRESIÓN

7.1 Alcance:

Describe un procedimiento de verificación y calibración de instrumentos de medición de presión como dispositivos asociados a la medición electrónica de caudal en unidades LACT.

Describe también el error máximo admisible en esta medición y selección de instrumentos en base al mismo.

7.2 Máximo error admisible en instrumentos de presión como dispositivos asociados a la medición de caudal:

API MPMS establece que la medición electrónica de caudal de un líquido debe cumplir con un 0,25% de incertidumbre, con un intervalo de confianza del 95%, dentro del rango esperado de funcionamiento. Para cumplir con dicho requerimiento se deben establecer errores máximos admisibles en la medición de las variables, que a su vez aseguren un error máximo admisible en los coeficientes de corrección. Se calcula que un error máximo admisible de $\pm 20\text{KPa}$ en las mediciones de presión permite $\pm 0.02\%$ de exactitud en el cálculo del CPL, obteniendo así una incertidumbre total del sistema menor al 0.25% requerido.

(ref.: API MPMS Capítulo 21 – Sección 2 11.2.2 / 11.5.5.1)

7.3 Calibración de instrumentos de presión:

La calibración incluye: las pruebas y ajustes del instrumento para que este entregue valores correctos de acuerdo a un instrumento patrón, dentro del rango operativo del instrumento a calibrar.

La calibración del instrumento debe incluir el sensor.

Se lleva acabo aplicando una presión conocida al sensor del instrumento. Esta operación se debe realizar en un mínimo de 3 puntos. Si se hacen ajustes, se deben registrar las lecturas previas y posteriores a los mismos.

(ref.: API MPMS Capítulo 21 – Sección 2 11.2.2 / 11.5.5.1)

7.4 Verificación de instrumentos de presión:

La verificación consiste en comparar el valor de una variable, medido por el sistema e indicado en el dispositivo terciario (computador de caudal), con el valor de esa misma variable determinado por un instrumento patrón. Al utilizar el valor indicado por el dispositivo terciario se verifica también la exactitud de las señales eléctricas entre el sensor y el computador de caudal.

Se mide con instrumento patrón la presión de línea en el mismo punto que la mide el instrumento a verificar, o en un punto cercano. Si se mide en un punto cercano, no debe haber fuentes significativas de presión diferencial entre ambos puntos.

La presión debe ser verificada en condiciones normales de funcionamiento.

La verificación confirma si el equipo está trabajando dentro de una tolerancia especificada, o si el mismo requiere reparación o calibración. La misma debe ser realizada de forma periódica entre calibraciones. (ref.: API MPMS Capítulo 21 - Sección 2 11.2 / 11.6 / 11.6.2.1)

7.5 Selección de instrumentos

En la selección de los transmisores a utilizar para medición de presión como dispositivos asociados a la medición de caudal, se deberán buscar opciones cuya exactitud permita cumplir con el error máximo admisible según API MPMS.

Cada fabricante especifica en la hoja de datos de su transmisor las fuentes de error y como combinarlas matemáticamente para obtener la exactitud total del equipo.

Por ejemplo:

- Exactitud de conversión A/D
- Exactitud de conversión D/A
- Exactitud de referencia interna
- Efecto de la temperatura ambiente
- Efecto de las vibraciones
- Estabilidad
- Efecto de la posición de montaje
- Efecto de la variación de la tensión de alimentación.

Ejemplos de transmisores y cálculo de exactitud

Instrumento 1: Transmisor de Presión marca A, rango 0-1034 kPa

Instrumento 2: Transmisor de Presión marca B, rango 1 a 20 kg/cm²

Instrumento 1

Exactitud: 0,065% del Alcance

Efecto temperatura ambiente: 0,15%URL + 0,15% Alcance

Estabilidad: 0,1 %URL

Total: 0,67 KPa + 3,1 KPa + 1,03 KPa = +- 4,8 KPa

Instrumento 2

Exactitud: 0,055 % del Alcance

Efecto temperatura ambiente: 0,15 %URL + 0,15 % Alcance

Estabilidad: 0,1 %URL

Vibraciones: 0,1 %URL

Total: 0,055% 1,9MPa + 0,1% 2MPa + 0,15% 1,9MPa + 0,15% 2MPa + 0,1% 2MPa = +-10,90KPa

Máximo error admisible en instrumentos patrón para verificación y calibración:

La incertidumbre máxima permitida para equipos patrón utilizados para verificación y calibración no debe superar a la mitad de la exactitud deseada en el dispositivo a ser calibrado.

En el caso de los instrumentos de medición de presión utilizados como dispositivos asociados a la medición de caudal, el error máximo admisible es de ± 20 KPa.

Por lo tanto, el error máximo admisible para el instrumento patrón será de ± 10 KPa

(ref.: API MPMS Capítulo 21 - Sección 2 11.4.1)

8 DENSIDAD

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 densímetro 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 de densidad) 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.

8.1 Alcance: Medidores de densidad continúa puestos en línea.

8.2 Definiciones

- Densidad: La masa de una sustancia por unidad de volumen a una temperatura y presión especificadas.
- Continua: Cualquier determinación hecha al menos una vez por segundo de forma recurrente.
- Muestra representativa: Parte extraída de la cantidad total que contiene los constituyentes en las mismas proporciones que están presentes en esa cantidad total.
- Condiciones de referencia: Condiciones de temperatura y presión de referencia a las que se convierte una medición de volumen o densidad en las condiciones observadas.

8.3 Principio de medición

Actualmente la mayoría de los densímetros utilizan las técnicas del elemento vibratorio (figura 1) y el elemento vibrante (estilo de inserción figura 2), ya que los mismos son capaces de lograr una sensibilidad muy alta sin dejar de ser adecuadamente consistentes.

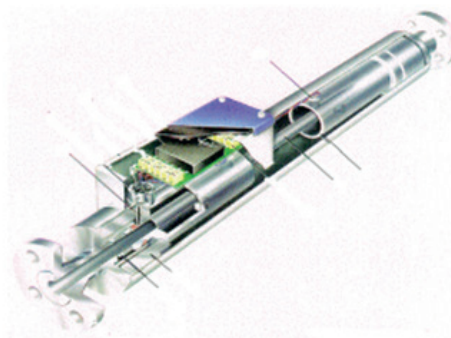
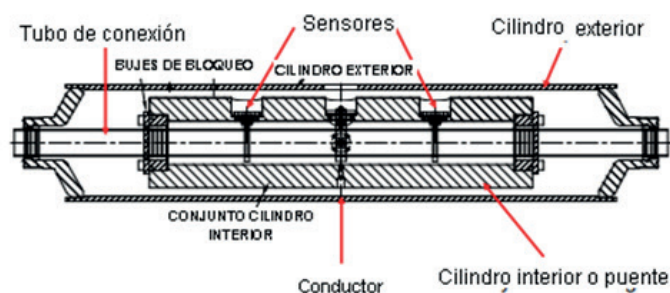




Figura 1: Medidores de densidad de elementos vibratorios (API 9.4.7.2)



Figura 2: Medidores de densidad de elementos vibratorios (inserción) (API 9.4.7.2)

8.4 Resonancia natural

Cuando un fluido que está contenido en un cuerpo se mantiene en resonancia en su frecuencia natural, la frecuencia de resonancia, que depende de la masa total del sistema, cambiará a medida que el fluido cambia de densidad.

El periodo de oscilación que es el recíproco de la frecuencia se utiliza junto con las constantes de calibración de fábrica para determinar la densidad bruta del fluido.

Para una alta precisión, es necesario aplicar correcciones para efectos secundarios. Estos pueden incluir efectos de los cambios de temperatura, presión, velocidad del sonido, viscosidad y flujo.

8.5 Elemento vibratorio (frecuencia fija)

Cuando el fluido contenido en un cuerpo vibra a una frecuencia fija con accionamiento constante, la amplitud de vibración cambiará a medida que cambie la masa del sistema. En consecuencia, midiendo la amplitud de la vibración, esta señal se puede utilizar como una medida de la densidad del fluido.

8.6 Aplicaciones

Las aplicaciones de medición de densidad son aplicaciones que requieren un alto grado de precisión en los equipos, y procedimientos de operación especial.

Los principales propósitos de la determinación de la densidad de líquidos de hidrocarburos son:

- Determinación de cantidades
- Determinación o seguimiento de la calidad
- Detección de interfaces
- Control de procesos

Se requiere determinar tanto un componente de densidad como un componente de volumen o masa, de precisión suficiente para determinar las cantidades fiscales.

La mayoría de las determinaciones requieren que el volumen se determine en condiciones de referencia (API 9.4.1.11) de temperatura y presión, por lo tanto, requiere la corrección del volumen

medido en condiciones de flujo. La densidad se puede medir en distintas condiciones requiriendo posteriormente la corrección (API 9.4.1.16) a condiciones de referencia para determinar los factores de corrección de volumen.

8.7 Configuraciones de montaje

El montaje del densímetro depende de factores como la disponibilidad de espacio y la diferencia de presión y temperatura entre la ubicación del densímetro y el medidor; la proximidad entre ellos disminuye los errores en la medición de densidad asociados a diferencias de presión y temperaturas entre los dispositivos.

La presión y temperatura serán conocidas en el procesador y el densímetro.

Dependiendo de la aplicación (medición de cantidades, medición de volumen, medición de flujo de masa inferida, etc.) existen diferentes opciones de montaje, las instalaciones pueden tener uno o varios ramales de medición, de esta manera los medidores pueden estar ubicados uno en cada ramal de medición, o uno por estación en la entrada o salida de tuberías comunes.

La ubicación preferencial es uno en cada ramal

La diferencia de temperaturas y presiones entre el medidor y el densímetro dará lugar a una desviación en la determinación de la densidad que no deberá exceder el 0,05%.

a) La desviación de la densidad calculada resultante de la diferencia de presión no debe superar el 0,01 %.

b) La desviación de la densidad calculada resultante de la diferencia de temperatura no debe superar el 0,04%. (API 9.10.10.3)

Algunas aplicaciones dependiendo de las condiciones de trabajo (temperatura crítica o presiones críticas del fluido) pueden requerir que tanto las tuberías de funcionamiento como los medidores estén aislados.

Ejemplos de distintas configuraciones de montaje

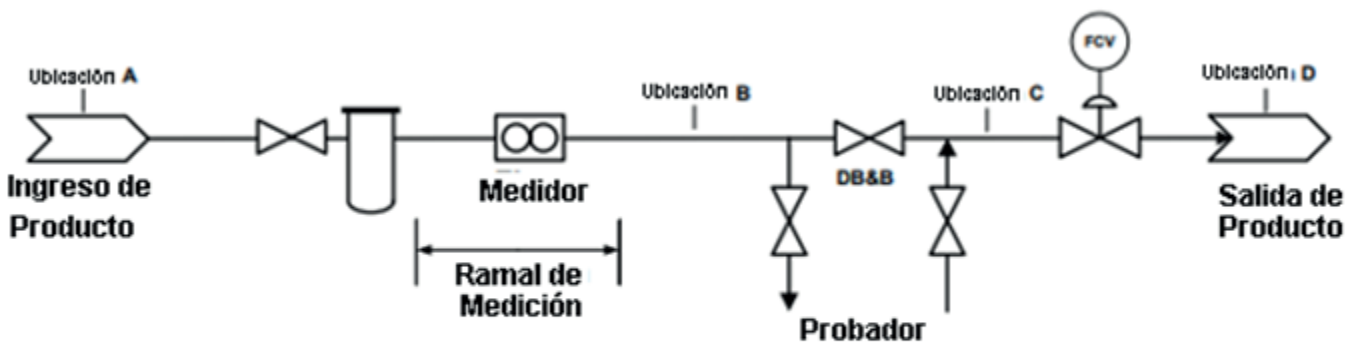


Figura 3— Medición del volumen (API 9.4.10.10.2)

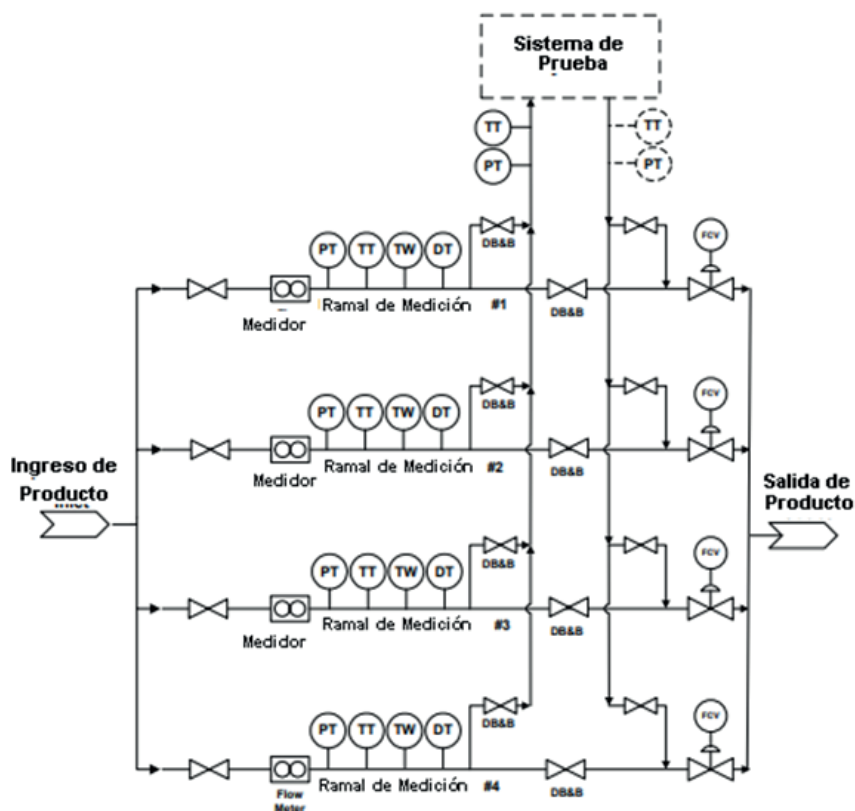


Figura 4: Múltiples ramas de medidores con medidores de densidad individuales. (API 9.4.10.10.4)

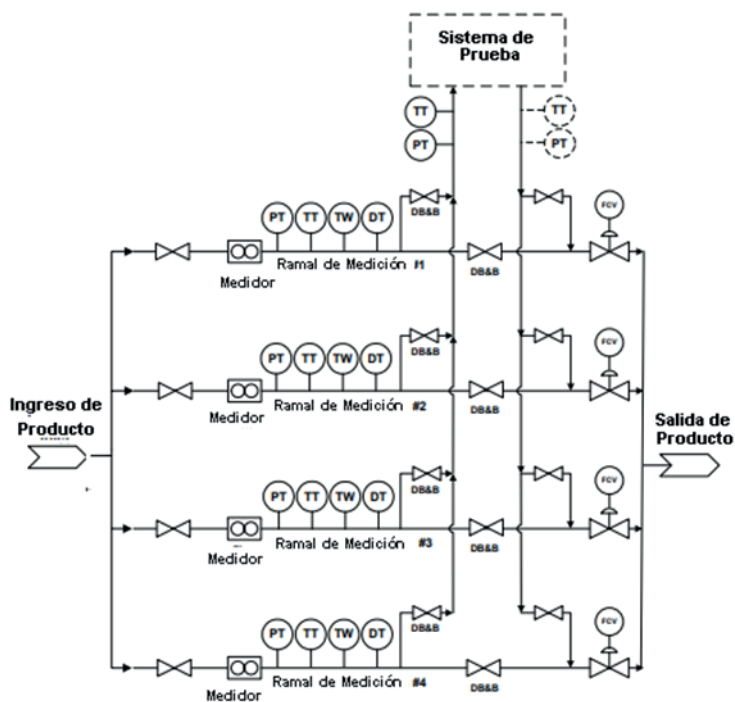


Figura 5: disposición típica de varios medidores con medidor de densidad común en la entrada (API 9.4.10.10.4)

8.8 Condiciones del proceso

Cambios en el caudal, la composición, la temperatura y la presión pueden afectar la precisión en la medición de la densidad.

- Caudal: se debe encontrar dentro de los límites mínimo y máximo especificados por el fabricante
- Perfil de flujo: es posible que se requiera un mezclador estático u otro dispositivo, debido a que el densímetro puede ser sensible al cambio en el perfil de flujo.
- Parpadeo: se recomienda operar a una presión superior a 1,25 veces la presión de vapor de equilibrio de los fluidos.

8.9 Requisitos de rendimiento

Cada aplicación tiene requisitos específicos en cuanto al nivel de precisión, repetibilidad, linealidad y reproducibilidad.

La repetibilidad es la capacidad del densímetro para responder al mismo fluido en las mismas condiciones y proporcionar los mismos resultados de densidad. (API 9.4.9.1)

La siguiente tabla muestra las expectativas típicas de rendimiento del medidor donde la incertidumbre del sistema de medición es del 0,25%.

Tabla 1: Expectativas típicas de rendimiento del medidor de densidad al 0,25 % incertidumbre total del sistema de medición. (API 9.4.9)

Método de medición del sistema	linealidad	repetibilidad	incertidumbre	reproducibilidad
volumen	0,25%	0,25%	0,50%	0,50%
Masa inferida	0,05%	0,05%	0,10%	0,10%
Volumen por masa directa	0,05%	0,05%	0,10%	0,10%

De la tabla se observa que para medición volumétrica se permite una incertidumbre mayor que para el caso de masa inferida (0,5% volumen, contra 0,1% masa inferida), esto es debido a que pequeños cambios en la densidad fluida pueden no afectar significativamente a los factores de corrección de volumen.

8.9.1 Medición del flujo de masa inferida

- La incertidumbre de la lectura de la densidad debería ser superior al 0,10 % de la densidad verdadera. (API 9.9.2)
- El densímetro seleccionado tendrá una repetibilidad mínima del 0,05 % en el rango de condiciones de operación designadas. . (API 9.9.2)
- Ubicar el densímetro tan cerca del medidor como sea posible de tal manera que la diferencia en la densidad del flujo causada por la diferencia de temperatura o presión entre los dos medidores no sea mayor 0,03 %. (API 9.9.2)

8.9.2 Medición volumétrica

La incertidumbre de la lectura de la densidad debería ser superior al 0,50 % de la densidad verdadera a menos que de otro modo se determine a través de un cálculo de sensibilidad. (API 9.9.3)

El densímetro seleccionado tendrá una repetibilidad mínima del 0,25 % en el rango de condiciones de operación designadas. (API 9.9.3)

Localizar el densímetro lo más cerca posible del medidor de manera que la diferencia en la densidad de flujo provocada por la diferencia en temperatura o presión no supere el 0,15%. (API 9.9.3)

8.10 Ajustes de medidores de densidad de líquidos

Se debe calibrar, probar y verificar el densímetro, para determinar los parámetros básicos de rendimiento de acuerdo con las especificaciones del fabricante. La frecuencia de calibración se puede establecer por contrato o regulación.

El método preferido para probar el densímetro es "in situ".

Las pruebas deben ser representativas de la densidad del fluido en proceso. Para la verificación "in situ" el densímetro tiene que poder aislarse, drenar y limpiar.

8.11 Procedimiento de prueba con picnómetro

El procedimiento requiere de tres o más pruebas realizadas secuencialmente. De estas pruebas se extrae un factor de rendimiento del densímetro en condiciones de flujo en comparación con un estándar de referencia. Estos resultados se utilizan para ajustar el resultado de la medición de densidad. El picnómetro posee una mayor precisión y menor incertidumbre que el densímetro.

La prueba requiere capturar una muestra representativa en un picnómetro, para de esta manera replicar las condiciones de temperatura y presión del densímetro. El picnómetro se puede instalar en serie o en paralelo con el densímetro.

Nota: Ver práctica recomendada sobre Picnómetro.

8.12 Instrumentos Recomendados

Tipo Inserción -Horquilla			
Densidad Exactitud*	Rango de Densidad Operativa	Rango de TempOperativa Vástago Corto	Rango de TempOperativa Vástago Largo
±1,0 kg/m ³ (±0,001 g/cm ³)	0-3000 kg/m ³	-50 °C a +200 °C (-58 °F a +392 °F)	-40 °C a +150 °C (-40 °F a +302 °F)

Tipo Tubo Recto			
Densidad Exactitud*	Rango de Densidad Operativa	Repetibilidad	Efecto de la Temperatura (corregido)
±1,0 kg/m ³ (±0,001 g/cm ³)	0-2100 kg/m ³	0,02 KG/M3	0.005 kg/m ³ /°C (0.0002 lb/ft ³ /°F) note: correction 0.005 kg/m ³ /°C (0.0002 lb/ft ³ /°F) note: correction 0.005 kg/m ³ /°C (0.0002 lb/ft ³ /°F) note: correction coefficients applied

9. Especificaciones de Patrones recomendados

9.1 Patrón de Temperatura

Horno de bloque seco de eje vertical

Rango de Temperatura a 23°C	Estabilidad	Histéresis	Resolución	Caracterizaciones de la RTD	Condiciones de funcionamiento	Condiciones ambientales para todas las especificaciones, excepto rango de temperatura
-25°C a 125 °C o -20°C a 120 °C	0,01 °C a rango completo	0,025 °C	0,01 °C	PT100(385),(JIS), (3926),NI-120, Resistencias.	0°C a 50 °C a 90% HR (sin condensación)	13°C 33 °/10°C 38°C

Sonda de referencia (Patrón)

Precisión de lectura del termómetro de referencia incorporado (Sonda de referencia tetrafilar)
±0,015 °C a 0°
± 0,025 a 150 °C

9.2 Patrón de presión

Rangos	Precisión Estándar	Alta precisión	Notas
bar: 35, 70, 100 (psi: 500, 1000, 1500)	0.05 %	0.01 %	La Precisión estándar corresponde de 0°C a 50 °C La alta precisión corresponde de 0°C a 28 °C

9.3 Patrón de densidad -Picnómetro -Ver práctica recomendada