

# Cálculos de termopozos

Emerson ofrece una nueva Herramienta de cálculo de termopozos – Gratuita y en línea  
La herramienta gratuita en línea se basa en ASME PTC 19.3 TW, y está disponible en  
[Rosemount.com/ThermowellCalc](http://Rosemount.com/ThermowellCalc).

Pruébela hoy mismo y también vea el video que explica la nueva norma.



**Dirk Bauschke**  
*Gerente de ingeniería*

**David Wiklund**  
*Jefe de ingeniería*

**Andrew Dierker**  
*Ingeniero de proyectos mecánicos*

**Alex Cecchini**  
*Ingeniero senior de marketing*



# Contenido

## Cálculos de termopozos

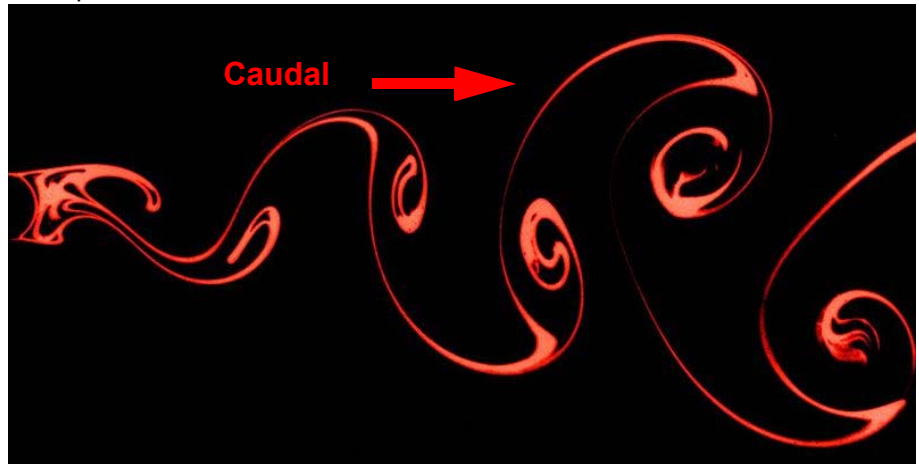
Introducción . . . . .	1-1
Breve Historia de ASME PTC 19.3 . . . . .	1-1
Metodología de ASME PTC 19.3-1974 . . . . .	1-2
Teoría de emisión vortex . . . . .	1-3
Tensión de presión y flexión . . . . .	1-8
Variaciones de instalación . . . . .	1-15
Definición de longitud sin soporte . . . . .	1-17
Collares de velocidad . . . . .	1-19
Velocidad promedio con respecto al perfil de velocidad . . . . .	1-20
Requisitos de construcción de termopozo . . . . .	1-21

# Termopozos

---

## INTRODUCCIÓN

Los termopozos son, esencialmente, un cilindro circular instalado como una viga voladiza en la tubería del proceso. Proporcionan protección para la condición del proceso y un sello de proceso para sensores de temperatura. A medida que el fluido del proceso pasa alrededor del termopozo, se generan vórtices de baja presión en el lado aguas abajo en caudal laminar, turbulento y de transición. La combinación de tensiones, generadas por fuerzas de arrastre en línea estáticas a partir del caudal del fluido y por fuerzas de empuje transversales ocasionadas por la generación de vórtices alternante, crean la posibilidad fallos mecánicos del termopozo inducidos por fatiga. Los diseñadores de tubería pueden usar una variedad de herramientas para predecir y evitar fallos de termopozos en sus sistemas, pero ASME PTC 19.3-1974 ha sido la norma con la que se ha diseñado la mayoría de los termopozos.



Rastro de humo mejorado con color que muestra la Calle de vórtices de von Karman en caudal de fluido laminar.<sup>(1)</sup>

## BREVE HISTORIA DE ASME PTC 19.3



La norma data de 1957, cuando ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) determinó que el suplemento de 1930 sobre Medición de temperatura no era satisfactorio porque no incluía efectos térmicos ni de tensión. ASME pidió al Comité de Calderas y Recipientes a Presión crear un documento, pero se consideró fuera de su alcance. Entonces se encargó a un comité independiente toda la medición de temperatura con diseño de termopozo como una sección. El fundamento de ASME PTC 19.3-1974 fue un documento escrito por J.W. Murdock (1959).<sup>(2)</sup>

John Brock de la Escuela Naval de Posgraduados dirigió un trabajo de seguimiento en 1974 que reveló varios aspectos que Murdock dio por hecho o ignoró. Brock sugirió ideas tales como usar un número de Strouhal variable en lugar de un número de Strouhal fijo, aplicando factores de instalación en la aproximación de la frecuencia natural del termopozo, y revisar el límite de relación de frecuencia de 0,8 para explicar la incertidumbre en los cálculos de frecuencia natural<sup>(3)</sup>. Algunas de estas ideas demostraron que podrían realizarse mejoras a la norma ASME PTC 19.3-1974.

(1) Wikipedia [http://en.wikipedia.org/wiki/Vortex\\_induced\\_vibration](http://en.wikipedia.org/wiki/Vortex_induced_vibration) al 20 de mayo de 2011

(2) Murdock, J.W., "Power Test Code Thermometer Wells" *Journal of Engineering for Power* (1959).

(3) Brock, John E., "Stress Analysis of Thermowells," *Naval Postgraduate School, Monterey CA* (1974).

# Termopozos

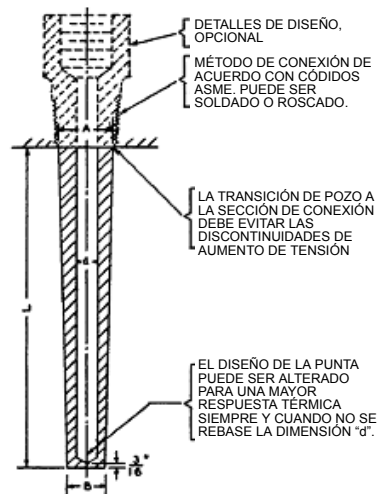
ASME PTC 19.3-1974 no parecía aplicarse a todas las instalaciones. Un ejemplo de un fallo catastrófico de fatiga de termopozo de alto perfil surgió cuando el reactor reproductor rápido de Monju (Japón) fue detenido en 1995 debido a una fuga en un sistema de refrigerante de sodio líquido. La investigación reveló que el termopozo fue diseñado de acuerdo con ASME PTC 19.3 -1974, pero el modo de fallo se debió a la resonancia en línea, que no se tomó en cuenta en la norma. El resultado fue el desarrollo de la versión japonesa de la norma, denominada JSME S012<sup>(1)</sup>. El reactor fue reiniciado en mayo de 2010 después de años de investigación y batallas legales.

En la mayoría de los casos, sin embargo, ASME PTC 19.3 -1974 se utilizó satisfactoriamente tanto en aplicaciones con vapor como en aplicaciones sin vapor. Varios factores clave ocasionaron que ASME reformara el comité en 1999 para reescribir completamente la norma; avances en el conocimiento del comportamiento de los termopozos, varios fallos catastróficos (Monju entre ellos) y el mayor uso de análisis de elementos finitos para modelado de tensiones. Cuando se combinaron, estos factores han provocado que muchos de la industria cambien los rudimentarios métodos y tablas simplificadas de ASME PTC 19.3 -1974 por métodos más avanzados para la predicción de la frecuencia natural de los termopozos y el cálculo de la frecuencia forzada.

En lugar de simplemente actualizar la versión existente de ASME PTC 19.3 -1974, el comité decidió escribir una nueva norma debido a los importantes cambios asociados con el esfuerzo. La parte de cálculo de termopozos de ASME PTC 19.3 -1974 fue de 4 páginas. En comparación, la nueva norma, conocida como ASME PTC 19.3 TW-2010 ("TW" significa termopozo, por sus siglas en inglés), es de más de 40 páginas debido a las explicaciones de la teoría y de la complejidad del proceso.

La norma ASME PTC 19.3 TW-2010 fue lanzada en julio de 2010.

## METODOLOGÍA DE ASME PTC 19.3-1974



Como se mencionó anteriormente, la norma de 1974 es muy breve. Permite pocos perfiles de vástago y usa ecuaciones simplificadas para modelar el termopozo para los cálculos de frecuencia natural. Aunque permite cualquier método de conexión aprobado por los códigos ASME para Recipientes, Calderas y Tuberías a Presión, las ecuaciones no distinguen entre variaciones comunes de tipos de montaje como bridado, roscado y zócalo soldado, e ignora los efectos o diferentes perfiles de vástago, como recto, cónico y escalonado. Las dimensiones de los orificios que no se mencionan en las tablas no son consideradas, de modo que los orificios para sensores de 6 mm y 1/4-pulg. de diámetro comparten las

mismas constantes en las ecuaciones y no se proporcionan constantes para orificios de sensor de 3 mm de diámetro.

(1) Odahara, Sanoru, et al. "Fatigue Failure by In-line Flow-induced Vibration and Fatigue Life Evaluation," *JSME International Journal, Series A, Vol. 48, No. 2 (2005)*.

A pesar de todos sus inconvenientes, ASME PTC 19.3-1974 tiene un proceso sencillo para evaluación de termopozos que contribuyó a que fuera aceptado ampliamente en la industria; reunir datos del proceso y la información de los materiales de termopozos, calcular la frecuencia natural y de Strouhal, comparar la relación con respecto a 0,8, calcular la tensión de flexión, comparar la máxima presión con respecto a la presión del proceso y comprobar la máxima longitud con respecto a la longitud deseada.

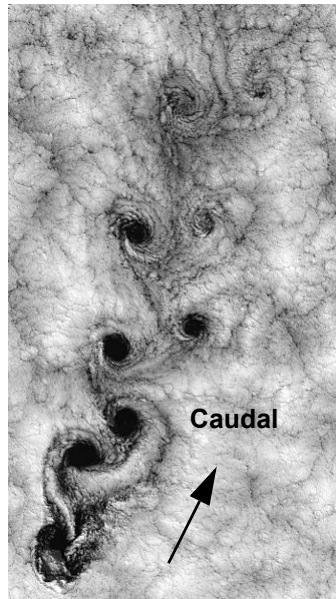
La recopilación de los datos del proceso y la información de los materiales es un paso bastante sencillo, excepto por el hecho de que no hay un solo dato que ya no esté fácilmente disponible. La “relación de frecuencia a temperatura del proceso con respecto a la frecuencia a 70 °F” no se encuentra fácilmente.

El método de cálculo de la frecuencia natural del termopozo usa una ecuación sencilla, pero algunos de los términos, como  $K_f$ , no están bien definidos. Si la longitud U del termopozo no se corresponde con una de las que aparecen en la tabla, el diseñador debe utilizar los datos de la longitud más larga que el termopozo para ser conservador. Para que el diseño del termopozo sea aceptable, la relación entre la frecuencia de Strouhal y la frecuencia natural “no debe exceder” 0,8.

El paso final es una evaluación de la longitud del termopozo de acuerdo con la tensión en estado estable. Esto determina la longitud máxima que puede tener el termopozo a fin de manejar la tensión de flexión. Esta longitud es comparada con la longitud deseada para determinar si es aceptable o si debe acortarse.

## TEORÍA DE EMISIÓN VORTEX

(bases para ASME PTC 19.3 TW-2010)



Cuando un fluido fluye alrededor de un objeto contundente en su camino, se forman vórtices aguas abajo del objeto. Esto se conoce como emisión vortex, calle de vórtices de Von Karman o vórtices de caudal. Los vórtices son células de baja presión que se crean y se arrojan aguas abajo en un patrón alterno. La presión diferencial debida a los vórtices alternos produce fuerzas alternas sobre el objeto. Esto se traduce en tensiones alternas sobre el objeto a medida que se flexiona. Este fenómeno se observa en la naturaleza como remolinos en la corriente aguas abajo de pilas de puentes, remolinos en las nubes a favor del viento de los picos de las montañas o tonos eólicos que se escuchan a medida que el viento pasa sobre las líneas de servicios públicos. Aunque la emisión vortex es útil para las mediciones de caudal de procesos, los diseñadores de termopozos deben evitarla debido a la posibilidad de fallos.

*Imagen del Landsat 7 que muestra la calle de vórtices de von Karman en las nubes en la costa de Chile cerca de las Islas Juan Fernández (15 de septiembre de 1999).<sup>(1)</sup>*

(1) Sitio web del Observatorio de la Tierra de la NASA  
“[http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img\\_id=3328.](http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=3328)”

# Termopozos

Debido a que la principal causa de fallos es la fatiga de los termopozos debido a la resonancia, el diseñador debe comprender la emisión vortex a fin de evitar sus efectos y predecir la frecuencia de emisión vortex.

Como la emisión vortex se produce a frecuencias de 50 Hz a 1500 Hz, el termopozo puede experimentar una gran cantidad de ciclos en un corto período de tiempo.



*Ejemplo de un fallo de termopozo debido a vibraciones inducidas por vórtices<sup>(1)</sup>*

Como la frecuencia de la emisión vortex, o frecuencia de Strouhal, se aproxima a la frecuencia natural del termopozo, el desplazamiento de la punta y las tensiones aumentan considerablemente y el termopozo puede fallar debido a la gran cantidad de energía que debe absorber. Entonces, además de las condiciones de proceso tales como presión, temperatura y corrosión, el diseñador debe tener en cuenta la alta resistencia a la fatiga por ciclos para determinar la idoneidad general en la aplicación.

## Velocidad mínima

Para fluidos de proceso que fluyen lentamente, no se transfiere suficiente energía desde el fluido del proceso al termopozo para ocasionar fallos por fatiga. Si se cumplen las siguientes condiciones, no hay necesidad de llevar a cabo los cálculos de límite de frecuencia debido a que el riesgo de fallos del termopozo no es considerable.

1. Velocidad del fluido del proceso,  $V < 0,64$  m/s (2.1 ft./sec)
2. Espesor de la pared,  $(A - d) \geq 9,55$  mm (0.376 in.)
3. Longitud sin soporte,  $L \leq 0,61$  m (24 in.)
4. Diámetro de raíz y de punta ( $A$  y  $B$ )  $\geq 12,7$  mm (0.5 in.)
5. Tensión máxima admisible,  $S \geq 69$  Mpa (10 ksi)
6. Límite de resistencia a la fatiga,  $S_f \geq 21$  Mpa (3 ksi)

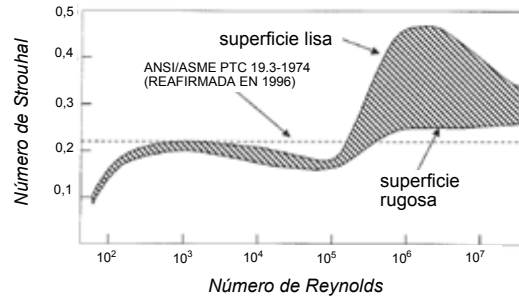
Aún así, estas bajas velocidades aún podrían excitar la resonancia en línea y ocasionar fallos del sensor debido a la alta vibración que existe en resonancia. Si no se cumplen estos criterios, o si existe la posibilidad de corrosión por tensión o fragilización del material debido a la interacción del fluido (lo cual podría ocasionar un cambio en la resistencia a la fatiga), el diseñador debe evaluar completamente el diseño del termopozo.

## Número de Strouhal

Ha habido mucha discusión sobre el tema de si se va a utilizar un número de Strouhal fijo o variable. ASME PTC 19.3 -1974 utiliza un número de Strouhal fijo de 0,22 mientras que Brock recomendaba utilizar un número de Strouhal variable, dependiendo del número de Reynolds. Muchos de la industria comenzaron a incorporar el número de Strouhal variable a las ecuaciones de frecuencia de la emisión vortex en el marco de ASME PTC 19.3 -1974 que lo llamó “el Método Brock” o algo similar.

(1) Instituto de Energía, “Guidelines for the Avoidance of Vibration Induced Fatigue in Process Pipework” 2ª edición, (2008), publicación número 978-0 -85293-463-0.

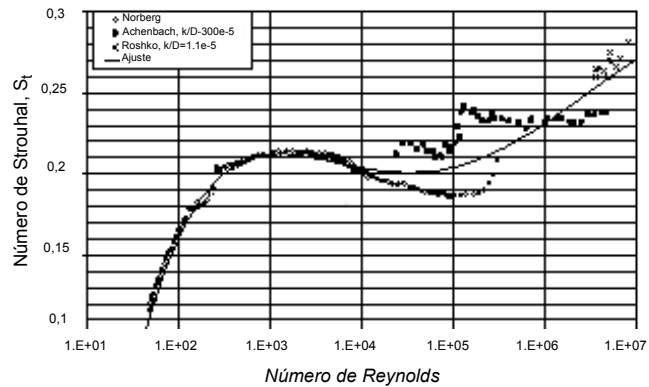




Gráfica típica que muestra el número de Strouhal como una función del número de Reynolds

El comité ASME PTC 19.3 TW-2010 examinó los posteriores experimentos antes de decidir sobre el modo de utilizar en número de Strouhal variable. Dos artículos publicados en la JSME International Journal en 2001 mostraron interesantes resultados de las pruebas de cilindros cónicos y rectos mecanizados que eran similares a termopozos en su forma. Las fuerzas y las amplitudes de vibración se midieron mientras los cilindros estaban sumergidos en un caudal de fluido. La conclusión fue que la evidencia de un elevado número de Strouhal en experimentos anteriores se basaba en mediciones de la emisión vortex y no en las fuerzas reales sobre el termopozo.<sup>(1)(2)</sup>

Las superficies “rugosas” fueron definidas en los experimentos como superficies de más de 128 Ra. Ningún termopozo de la industria de procesos tiene un acabado superficial mayor que 32 Ra y los límites y cálculos de tensión en ASME PTC 19.3 TW-2010 no son válidos para acabados superficiales más rugosos que 32 Ra.



Datos reales del número de Strouhal de un cilindro rugoso, en función del número de Reynolds.<sup>(3)</sup>

De acuerdo con estos datos, el comité ASME PTC 19.3 TW-2010 decidió incorporar un número de Strouhal variable definido por la curva del cilindro rugoso. Para simplificar los cálculos, los diseñadores también se permiten aproximarse conservadoramente al número de Strouhal como 0,22. Esto es especialmente útil si el diseñador no puede establecer la viscosidad dinámica o cinemática del fluido para determinar el número de Reynolds.

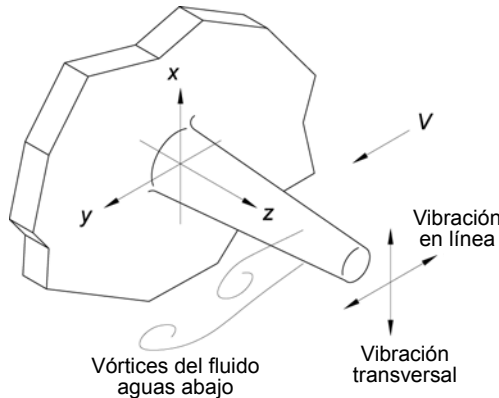
- (1) Sakai, T., Iwata, K., Morishita, M., and Kitamura, S., “Vortex-Induced Vibration of a Circular Cylinder in Super-Critical Reynolds Number Flow and Its Suppression by Structure Damping,” JSME Int. J. Ser. B. 44, 712-720 (2001).
- (2) Iwata, K., Sakai, T., Morishita, M., and Kitamura, S., “Evaluation of Turbulence-Induced Vibration of a Circular Cylinder in Super-Critical Reynolds Number Flow and Its Suppression by Structure Damping,” JSME Int. J. Ser. B. 44, 721-728 (2001).
- (3) Norma ASME, códigos de prueba de rendimiento 19.3TW (borrador 7).

# Termopozos

## Número de Reynolds

En cualquier caudal totalmente inmerso, un parámetro fundamental es el número de Reynolds. El número de Reynolds es la relación de las fuerzas inerciales con respecto a la fuerzas viscosas en el campo de caudal. Para fines de elementos de emisión vortex, la longitud ingresada para el número de Reynolds es el ancho del elemento de emisión. En el caso de los termopozos, este elemento es el diámetro de la punta.

## Frecuencia natural del termopozo



Fuerzas inducidas por el fluido y asignación de ejes para el cálculo de tensiones del termopozo<sup>(1)</sup>

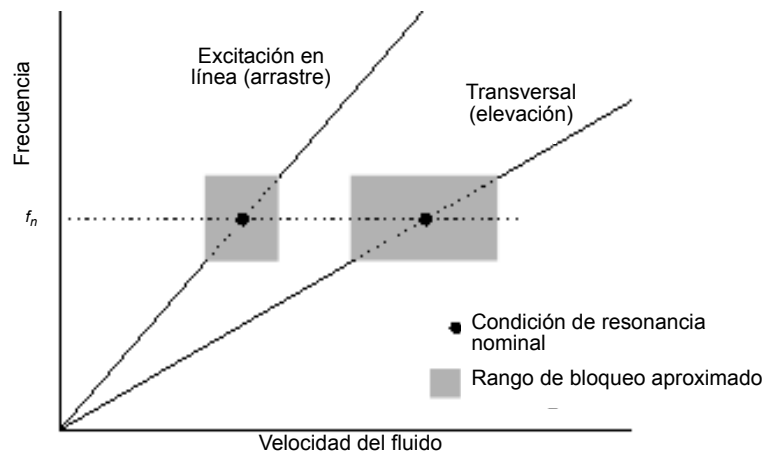
ASME PTC 19.3 TW-2010 modela el termopozo como una simple viga voladiza y aplica una serie de factores de corrección para tener en cuenta las diferencias de una viga ideal incluyendo la masa del fluido, la masa del sensor, la viga de perfil no uniforme y el cumplimiento normativo del montaje. Para termopozos de vástago escalonado, la mayoría de los cálculos y las correlaciones son más complejos debido a la geometría y los puntos de concentración de las tensiones.

Debido a esto, ASME PTC 19.3 TW-2010 limita la variación de dimensiones de los termopozos de vástago escalonado que se consideran dentro del alcance de la norma.

Después de aplicar todos los factores de corrección, se calcula la frecuencia natural instalada, o “in situ”,  $f_n^c$ , y se utiliza para el resto del análisis de frecuencia.

## Velocidades críticas

Una vez que se ha establecido la frecuencia natural del termopozo, el diseñador tiene que establecer el margen de seguridad entre la frecuencia natural y la frecuencia de Strouhal.



Esquema de excitación en línea y transversal que muestra la región “de bloqueo”.<sup>(1)</sup>

(1) Norma ASME, códigos de prueba de rendimiento 19.3TW-2010.

Existen realmente dos modos de excitación de termopozos. La fuerza transversal (elevación) que hace que el termopozo vibre en forma perpendicular al caudal mientras la fuerza en línea (arrastre) provoca que el termopozo vibre en forma paralela al caudal. La vibración en línea es aproximadamente el doble de la frecuencia de la fuerza transversal. La “velocidad crítica” en línea (donde la frecuencia de Strouhal es igual a la frecuencia natural) es aproximadamente la mitad de la velocidad de la transversal. ASME PTC 19.3 -1974 no aborda la vibración de la línea, solo la tensión de flexión en estado estable.<sup>(1)</sup>

Aunque el cambio en la frecuencia de la emisión vortex es proporcional a la velocidad del fluido, el termopozo se bloquea en la frecuencia de resonancia muy fácilmente. También se puede tomar un cambio considerable en la velocidad para sacar al termopozo de la emisión de vórtices a su frecuencia natural. Debido a que la amortiguación de los termopozos típicos es muy baja, es crucial permanecer fuera de resonancia. A la resonancia, las fuerzas y los desplazamientos aumentan considerablemente.

$$f_s < 0,8 f_n^c$$

La banda de guarda de 20% contribuye a las variaciones considerables debido a:

- la no linealidad de la respuesta elástica del termopozo
- tolerancias permisivas de fabricación del termopozo
- información de la propiedad del material establecida a solo 3 dígitos significativos
- variaciones rutinarias menores en el caudal, temperatura, densidad o viscosidad del proceso

Debido a que la vibración en línea se produce aproximadamente a la mitad de la velocidad de la transversal (o el doble de la frecuencia), los líquidos tienen más limitaciones.

$$2f_s < 0,8 f_n^c$$

Al ver esto un poco diferente se obtiene una perspectiva más amplia de donde se permite el funcionamiento del termopozo.

$$f_s \text{ (estado estable)} < 0,4 f_n^c \quad \text{o} \quad 0,6 f_n^c < f_s \text{ (estado estable)} < 0,8 f_n^c$$

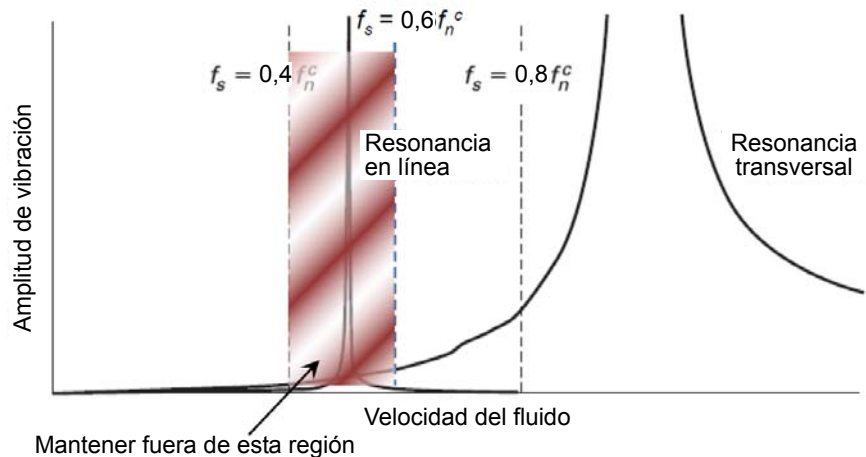


Gráfico que muestra la respuesta de amplitud de un termopozo a las fuerzas inducidas por el fluido.<sup>(2)</sup>

(1) Norma ASME, códigos de prueba de rendimiento 19.3-1974 (reafirmada en 1998).

(2) Adaptada de la norma ASME, códigos de prueba de rendimiento 19.3TW-2010.

# Termopozos

---

ASME PTC 19.3 TW-2010 también contiene una disposición para funcionamiento “super crítico” donde el termopozo funcione por encima de su frecuencia natural. Emerson no recomienda el funcionamiento de termopozos en esta región.

## Número de Scruton

Algo nuevo en la teoría es la utilización del número de Scruton, que representa la amortiguación intrínseca del termopozo. ASME PTC 19.3 TW-2010 tiene una perspectiva muy conservadora y establece el factor de amortiguación a 0,0005, a menos que se determine otro valor.

Un número de Scruton menor que 2,5 significa que no hay amortiguación intrínseca y que el termopozo debe ser evaluado a la frecuencia de resonancia en línea y debe mantenerse alejado de la frecuencia de resonancia transversal. A medida que el número de Scruton aumenta, hay un mayor nivel de amortiguación intrínseca que reduce las deflexiones y, por lo tanto, las tensiones. Un nivel aceptable de amortiguación permitirá que el termopozo funcione a la frecuencia de resonancia en línea y quizá incluso a la frecuencia de resonancia transversal.

Si las condiciones son tales que el termopozo estará funcionando por encima de la frecuencia natural, se deben considerar resonancias de mayor orden, pero ASME PTC 19.3 TW-2010 no proporciona ninguna recomendación sobre esto y Emerson no recomienda hacer funcionar termopozos en esta región.

## TENSIÓN DE PRESIÓN Y FLEXIÓN

(como se usa en ASME PTC 19.3 TW-2010)

Aunque parece que se presta mucha atención a la teoría de emisión vortex, así como a su aplicación, las tensiones dentro del termopozo y las fuerzas aplicadas también son cruciales para evaluar la idoneidad para determinadas aplicaciones de proceso. En contraste con el método simple en la versión de 1974, ASME PTC 19.3 TW-2010 considera con más detalle tanto la frecuencia como las tensiones sobre el termopozo. Esto permite una mayor variedad de estilos de montaje, perfiles y tamaños de orificio que reflejen las ofertas disponibles en la industria actual.

En total, existen 4 criterios cuantitativos en ASME PTC 19.3 TW-2010 para que un termopozo sea aceptable para un conjunto particular de condiciones de proceso:

1. **Límite de frecuencia:** la frecuencia resonante del termopozo debe ser suficientemente alta para que las oscilaciones destructivas no sean excitadas por el caudal del fluido.
2. **Límite de tensión dinámica:** la tensión dinámica primaria máxima no debe rebasar el límite permitido de tensión por fatiga. Si el diseño requiere que el termopozo pase a través de la resonancia en línea para llegar a las condiciones de funcionamiento, hay una revisión de fatiga adicional en resonancia.
3. **Límite de tensión estática:** la máxima tensión en estado estable en el termopozo no debe exceder la tensión admisible, según lo determinado por los criterios de Von Mises.
4. **Límite de presión hidrostática:** la presión externa no debe rebasar los valores de presión de la punta del termopozo, mango y brida (o roscas).

Además, se debe tener en cuenta la idoneidad del material del termopozo para el entorno del proceso. Esto significa que el diseñador debe evaluar el efecto de la corrosión y de la erosión sobre el termopozo, así como el efecto de la exposición a las condiciones del proceso sobre las propiedades de los materiales.

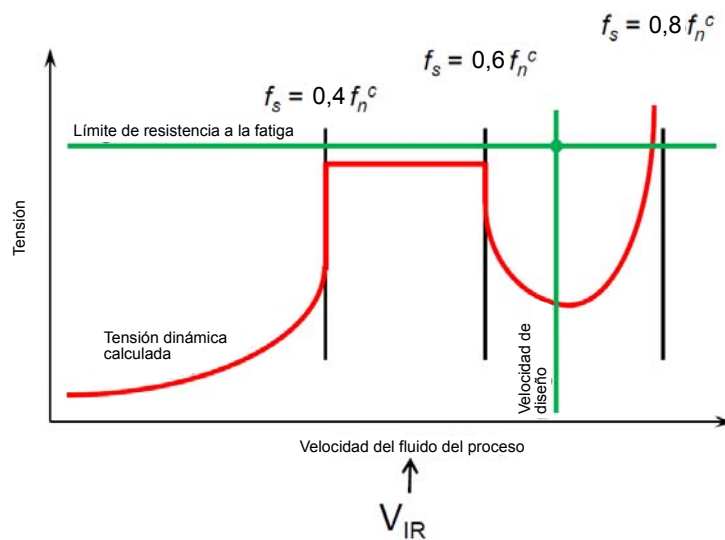
### Límite de frecuencia

La sección sobre la teoría de emisión vortex analiza el método ASME PTC 19.3 TW-2010 para calcular la frecuencia de Strouhal. Si la frecuencia de Strouhal es de un valor entre la banda de bloqueo de frecuencia crítica en línea y la banda de bloqueo de frecuencia crítica transversal, y la evaluación del número de Scruton indica una falta de amortiguación, del diseño del termopozo debe ser modificado, a menos que se cumplan todas las condiciones siguientes:

1. El fluido del proceso es un gas
2. El termopozo pasa a través de la resonancia en línea solo durante la puesta en marcha, parada, o de lo contrario con poca frecuencia durante el funcionamiento
3. La máxima tensión a la resonancia es menor que el límite de fatiga del material
4. El fluido del proceso no ocasiona que las propiedades del material cambien (especialmente la resistencia a la fatiga)
5. Las consecuencias de los fallos del termopozo son un riesgo aceptable

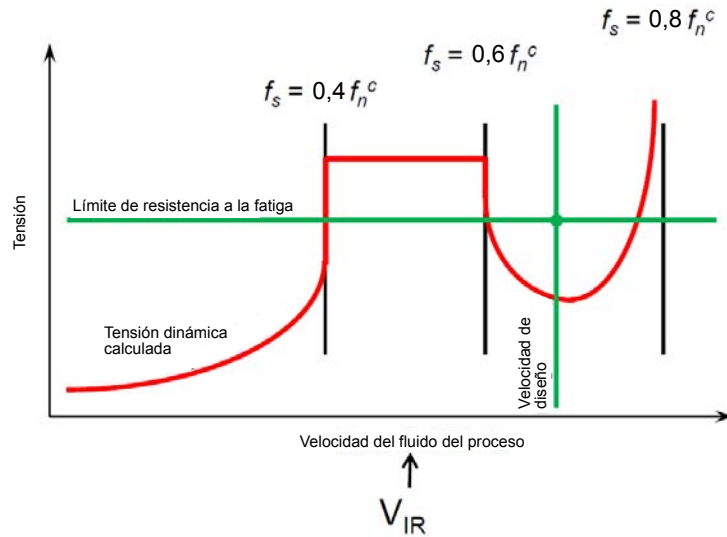
### Paso a través de la resonancia en línea

Si la máxima tensión de flexión oscilatoria del termopozo es menor que el límite de resistencia a la fatiga a la velocidad crítica en línea, entonces el termopozo puede pasar a través de la región de bloqueo de resonancia en línea al dirigirse a la velocidad del diseño en estado estable. Las velocidades en estado estable dentro de la región de bloqueo de resonancia en línea no se permiten debido al elevado número de ciclos de fatiga impuestos sobre el termopozo, así como la mayor posibilidad de daños en el sensor.



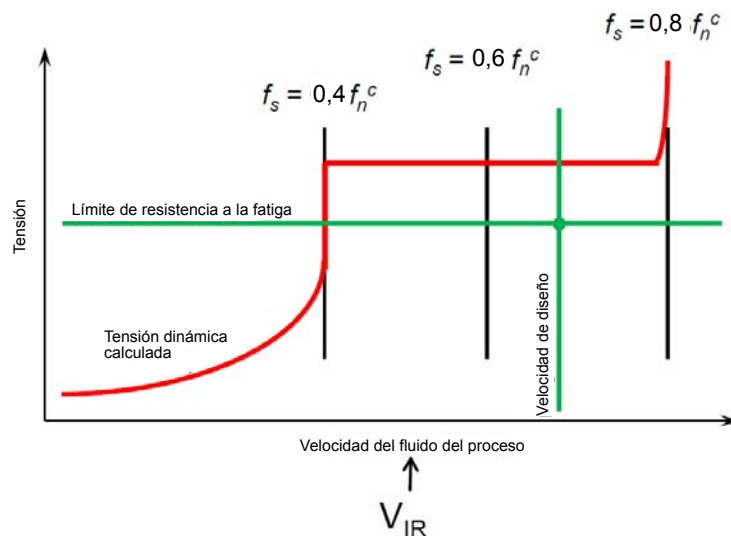
Ejemplo de gráfica que muestra el diseño de termopozo que pasa la evaluación de resonancia en línea.

# Termopozos



Ejemplo de gráfica que muestra el diseño de termopozo que no pasa la evaluación de resonancia en línea. Este diseño puede ser aceptable según ASME PTC 19.3 TW-2010.

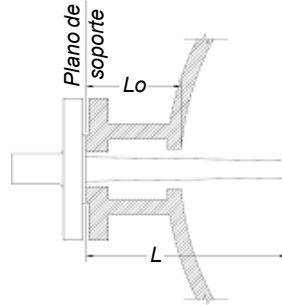
Si la máxima tensión de flexión oscilatoria del termopozo es mayor que el límite de resistencia a la fatiga a la velocidad crítica en línea, hay más ambigüedad acerca de si el termopozo puede funcionar por encima de la velocidad crítica en línea. En teoría, si el termopozo pasa rápidamente a través de la región de bloqueo de resonancia en línea, se permite que funcione entre  $0,6 f_n^c$  y  $0,8 f_n^c$ . El recuento de ciclos de fatiga es acumulativo durante la vida útil del termopozo, por lo que es fundamental para saber cuánto tiempo el termopozo está en resonancia. Debido a que la fatiga depende de muchos factores, cuanto más tiempo funcione el termopozo en resonancia, tanto menos segura es su vida útil.



Ejemplo de gráfica que muestra cómo Emerson interpretará la evaluación de resonancia en línea. Emerson considera este diseño como inaceptable.

Debido al hecho de que los proveedores de instrumentación no conocen los detalles de diseño acerca de la velocidad de rampa, los termopozos que no pasen la evaluación de tensión de flexión oscilatoria máxima y que estén funcionando por encima de la velocidad crítica en línea, será reportadas por Emerson como inaceptables.

**Termopozos  
parcialmente blindados  
contra el caudal**

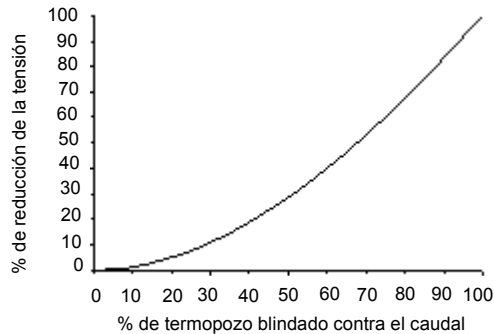


*Termopozo cónico parcialmente blindado contra el caudal*

La mayoría de las instalaciones de termopozos están parcialmente protegidas contra el caudal; la longitud del termopozo expuesta al caudal no es longitud no compatible total y deben ajustarse las ecuaciones de momento de flexión y de tensión de flexión.

El efecto del blindaje sobre un termopozo cónico se muestra fácilmente, pero el efecto del blindaje en termopozos de vástago escalonado es mucho más difícil de predecir o de modelar porque la superficie expuesta no cambia de manera uniforme y hay una gran discontinuidad en los datos. Como consecuencia de ello, hay dos conjuntos de evaluaciones que se realizan en termopozos

blindados de vástago escalonado en función de la posición del paso en relación al caudal del fluido. Los cálculos de tensión también deben realizarse dos veces para determinar las tensiones tanto en la raíz del termopozo como en el escalón.



*Efecto del blindaje en un termopozo cónico*

Una vez que se han comprendido la instalación y las condiciones del proceso, así como dónde se encuentra la frecuencia de Strouhal en el dominio de frecuencias, se puede realizar el análisis de las tensiones reales aplicadas al termopozo. Como se mencionó anteriormente, si el termopozo está destinado a funcionar por encima de la velocidad crítica en línea, es necesario considerar las tensiones cíclicas en la resonancia en línea, ya que pasa a través de esa región mientras se dirige a la velocidad de diseño. También es necesario evaluar las tensiones dinámicas y de estado estable a la velocidad de diseño.

# Termopozos

---

## Evaluación de la tensión cíclica en línea

Las tensiones cíclicas, ocasionadas por las fuerzas en línea y transversales, sobre el termopozo, se concentran en la raíz. Para tener en cuenta las condiciones de resonancia, los cálculos deben realizarse a la velocidad crítica de resonancia en línea para ver si la máxima tensión de flexión a la resonancia es menor que el límite de resistencia a la fatiga del material. Debido a que este análisis se lleva a cabo en el punto crítico en línea, la ampliación debida a la resonancia en línea empequeñece las fuerzas de elevación de modo que estas fuerzas pueden ignorarse para simplificar los cálculos. Esta evaluación solo necesita realizarse si la evaluación del número de Scruton indica que las condiciones del proceso la requieren.

La velocidad crítica en línea se utiliza para calcular la fuerza por unidad de área aplicada al termopozo. Debido a que la velocidad del fluido del proceso se proporciona como un promedio en lugar de un perfil de velocidad, en los cálculos también se supone que la unidad de área es toda la longitud expuesta del termopozo. Si alguna parte del termopozo está parcialmente blindado contra el caudal (como en el caso de un tubería de separador), se debe tener en cuenta esto. En el caso de termopozos de vástago escalonado, se debe realizar este análisis en ambas ubicaciones de tensión máxima (raíz y base del vástago escalonado).

Para asegurarse de que los cálculos son conservadores, el factor de amortiguación intrínseca, es de 0,0005. Los termopozos de mango escalonado deben ser evaluados en dos lugares para identificar la mayor tensión de los dos.

Uno de los principales cambios en ASME PTC 19.3 TW-2010 es el uso de una tabla para especificar los límites permisibles de tensión por fatiga. La tabla agrupa los materiales en una clase de materiales y los relaciona con el método de instalación para determinar el límite de tensión.

Es importante señalar que las soldaduras son penetración parcial se ven como si tuvieran menos resistencia a la fatiga que las soldaduras de penetración completa y se les da valores más bajos en la tabla. Para obtener más información, consultar los siguientes Requisitos de construcción de termopozos.

## Evaluación de la tensión de estado estable a la velocidad de diseño

Los termopozos también deben ser evaluados a la velocidad de diseño para asegurarse de que cumplen con las exigencias del entorno del proceso. La tensión de estado estable es una combinación de la presión externa del proceso, así como la fuerza de arrastre. Nuevamente, estos datos se calculan para la ubicación de tensión máxima, por lo que si el termopozo está blindado parcialmente, o si es un vástago escalonado, los cálculos deben realizarse tomando en cuenta esos aspectos.

Una vez que la tensión máxima ha sido calculada, se puede usar para determinar si se cumplen los criterios de Von Mises. Los criterios de Von Mises se utilizan para evaluar las condiciones de tensión de cizallamiento y presión en cilindros esféricos y cilíndricos. Predice la condición de rendimiento de plástico de los materiales.<sup>(1)</sup> Si esta evaluación es satisfactoria significa que las tensiones en estado estable no superan la resistencia a la fatiga del y el termopozo se puede utilizar a la velocidad de diseño deseada.

(1) Brock, John E., "Stress Analysis of Thermowells," Naval Postgraduate School, Monterey CA (1974).



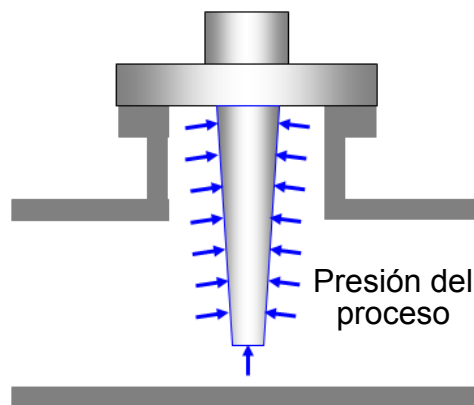
### Evaluación de la tensión dinámica a la velocidad de diseño

Las tensiones dinámicas del termopozo se atribuyen a la fuerza de elevación oscilante (transversal) y a la fuerza de arrastre (en línea). El factor de ampliación representa la naturaleza exponencial del aumento de las fuerzas a medida que la frecuencia de Strouhal se aproxima a la frecuencia natural del termopozo como cerca de la velocidad crítica en línea. Si la frecuencia de Strouhal no cae en las bandas de bloqueo de frecuencia natural transversal o en línea, entonces, los factores de ampliación se calculan y se aplican a las ecuaciones de tensión cíclica. Las fuerzas de elevación y arrastre cíclico deben calcularse a la velocidad de diseño del mismo modo en que se realizó la evaluación de tensión cíclica. A diferencia de la evaluación de tensión cíclica en línea realizada con anterioridad, no se ajustó el cero de las fuerzas de elevación.

Si la velocidad de diseño es mayor que la velocidad crítica en línea, el termopozo podría ser tratado como si funcionará indefinidamente a niveles de tensión de resonancia en línea. Consultar la sección anterior sobre Paso a través de la resonancia en línea.

Es obvio que existen varias evaluaciones realizadas en el diseño del termopozo, pero con información, como la velocidad crítica en línea, las evaluaciones de tensión dinámica y de estado estable, el diseñador puede tener una visión detallada sobre la ubicación en el dominio de la frecuencia donde el termopozo está funcionando, así como la distancia a la que está funcionando con respecto a su límite de fatiga. Esta información permitirá al diseñador decidir qué factores de seguridad debe mantener en su proceso.

### Evaluación de tensión de presión



La revisión final necesaria para ver si el diseño del termopozo es aceptable para la aplicación es la evaluación de la tensión de presión. A menudo se para por alto esto debido a que por lo general no es la causa de la inconveniencia del diseño, y sin embargo es fundamental. La revisión de la tensión de presión debe realizarse por separado en el vástago y en la punta.

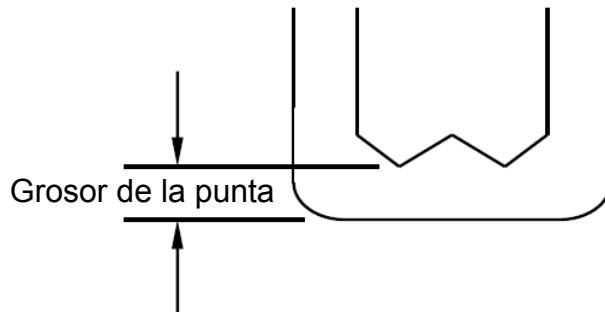
Para calcular la presión sobre el vástago como una revisión de idoneidad hay dos métodos que se ofrecen dependiendo de la presión del proceso. Las presiones de proceso menores que 103 MPa (15 ksi), ASME PTC 19.3 TW-2010 recomienda el uso de ASME Boiler Pressure Vessel Code (BPVC, Recipientes, calderas y tuberías a presión) Sección VIII párrafo UG-28, para calcular la presión externa permisible. Las restricciones de temperatura indicadas en esta sección de BPVC no corresponden debido a que la mayoría de los termopozos están diseñadas bajo las normas ASME B31.1 y ASME B31.3. Los valores máximos de tensión admisible debe provenir mejor de cualquiera de esas dos normas. La razón por la que se hace referencia al cálculo a partir de BPVC en ASME PTC 19.3 TW-2010 es que la ecuación tiene una historia de uso satisfactorio y es relativamente conocida en la industria.

# Termopozos

En el caso de que el material deseado del termopozo no está en el BPVC o si un método más sencillo es deseado, ASME PTC 19.3 TW-2010 ofrece una relación alternativa simplificada. El inconveniente de utilizar el método simplificado es que la presión del vástago determinada por este método puede ser hasta 17% menor que el valor calculado por el método UG-28 para algunos materiales a ciertas temperaturas. El beneficio es un cálculo menos complejo y un margen de seguridad adicional.

Para aplicaciones de alta presión ( $> 103 \text{ MPa}$  (15 ksi)), ASME PTC 19.3 TW-2010 señala ASME BPVC Sección VIII División 3 o ASME B31.3, Capítulo IX para el cálculo. Las presiones de esta magnitud (superior a los límites de presión de las bridas 2500# en ASME B16.5) deben evaluarse cuidadosamente y no deben calcularse con una herramienta automatizada.

El grosor de la punta es la dimensión más delgada desde la punta exterior hasta el punto más alejado del taladro. Debido a que la mayoría de los termopozos son fabricados usando taladros tipo pistola, es fundamental que el grosor de la punta utilizada sea la medida real del punto más delgado. La dimensión del pico se usa para calcular la longitud del sensor debido a que el pico se pondrá en contacto con el sensor, no del "valle". Cuando el taladro tipo pistola es agudo, el valle puede ser de hasta 1,5 mm [0.060"] más profundo (más delgado) y se hace más grueso a medida que se desgasta la broca.



*Detalle del grosor de la punta del termopozo.*

La presión máxima que puede soportar el termopozo es la menor del límite de presión del vástago o de la punta.



### **NOTA IMPORTANTE:**

Ya sea que se trate de ASME PTC 19.3 o de ASME PTC 19.3 TW-2010, la evaluación de la tensión de presión solo se refiere a la tensión que pueden resistir el vástago (o mango) y la punta del termopozo, no es lo que pueden resistir la rosca ni la brida. La selección de la conexión del proceso y la evaluación de la clasificación de presión se debe llevar a cabo antes de evaluar el diseño del termopozo para las vibraciones provocadas por los vórtices.

### Información de materiales

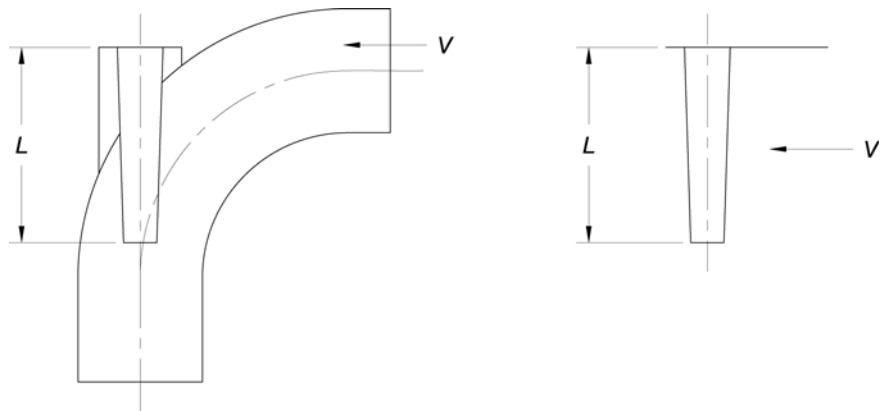
El mejor procedimiento de ingeniería para la información de materiales es usar información fiable y normalizada siempre que sea posible. Emerson solo utiliza información de materiales de normas abiertas tales como ASME Boiler and Pressure Vessel Code y ASME B31.1/B31.3. Esta información es generalmente conservadora y es aceptada por la industria. En teoría, Emerson podría utilizar información de proveedores para rellenar nuestra base de datos sobre materiales. Sin embargo, no se recomienda esta práctica, debido a que Emerson no puede garantizar que un lote específico de material usado en un determinado termopozo coincida con un informe en particular. Este no es un método práctico ni fiable para optimizar el rendimiento del termopozo.

### VARIACIONES DE INSTALACIÓN

La manera en que los termopozos se instalan en un proceso puede tener un efecto significativo sobre los cálculos de tensión de termopozos y emisión vortex. Las variaciones descritas aquí están más allá de las instalaciones “estándar”, como termopozos bridados, roscados y soldados, o blindaje parcial del termopozo.

### Instalaciones en codo

ASME PTC 19.3 TW-2010 no proporciona una orientación significativa sobre la instalación de termopozos en un tubo acodado. El modelado del caudal en un tubo acodado es extremadamente difícil debido a las turbulencias y a la complejidad. ASME PTC 19.3 TW-2010 recomienda que, para ser conservadores, se considere la longitud total sin soporte y no blindada, que será expuesta al caudal con las fuerzas que actúan perpendicularmente (es decir “normal”) al eje del termopozo. Para muchos, esta no es una respuesta aceptable. Algunos comentarios de ASME PTC 19.3 TW-2010 e información del comité dio lugar a una alternativa a esta perspectiva demasiado conservadora. Si la punta está lo suficientemente aguas arriba o aguas abajo con respecto al tubo acodado, de modo que el caudal del fluido sea paralelo al eje del termopozo en la punta, entonces el número de Strouhal es muy pequeño, porque el caudal a través de la punta no es considerable. ASME PTC 19.3 TW-2010 establece que esto está más allá del alcance de la norma, mientras que otros de la industria sostienen que este tipo de instalación sería una solución sencilla para los diseños de termopozos que están demasiado cerca de la frecuencia natural.

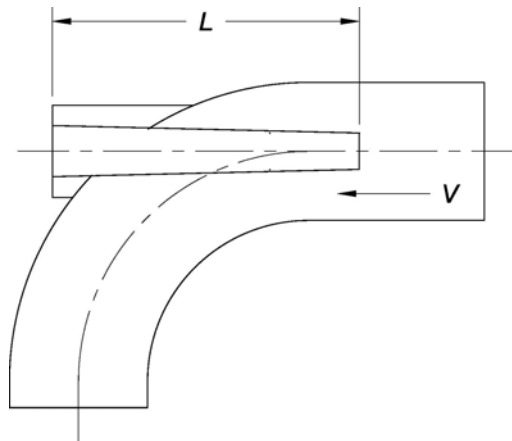


Termopozo instalado con la punta orientada aguas abajo en un tubo acodado.<sup>(1)</sup>

(1) Norma ASME, códigos de prueba de rendimiento 19.3TW-2010.

# Termopozos

ASME PTC 19.3 TW-2010 sugiere que el termopozo orientado la dirección de aguas arriba es la mejor instalación debido a que la cantidad y ubicación de la corriente del caudal aplica un menor momento y fuerza al termopozo y el caudal sobre la punta es mas laminar. Si la punta está orientada aguas abajo, el remolino del líquido después de pasar alrededor del termopozo podría tener algunos componentes de la punta, pero esto es muy difícil de modelar. Al igual que con las instalaciones en ángulo siguientes, el cálculo del momento de fuerza es complicado, por lo tanto los cambios de fuerza, momento de fuerza y tensión, no se pueden predecir fácilmente.



*Termopozo instalado con la punta orientada aguas arriba en un tubo acodado.<sup>(1)</sup>*

Emerson está considerando realizar una investigación más amplia de estos métodos de instalación para proporcionar alguna justificación de las ventajas de estas soluciones.

## Instalaciones en ángulo

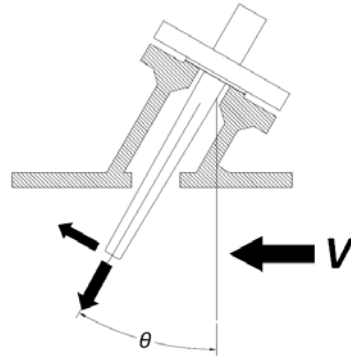
Con frecuencia, los clientes instalan termopozos en un ángulo con el caudal por motivos de accesibilidad, para reducir las fuerzas que actúan sobre el termopozo, o para aumentar la exposición al caudal en tuberías de menor tamaño, con el fin de obtener una lectura de temperatura más precisa. El efecto del ángulo “de guiño” en la velocidad de la punta no es un simple tema de trigonometría. También complica la predicción de las tensiones y fuerzas que actúan sobre el termopozo.

A medida que cambia el ángulo de instalación, la velocidad de la punta se reduce.

$$V_{\text{axial cruzada}} = V_{\text{caudal}} \cdot \cos(\theta) \text{ para } \theta \text{ hasta } 30^\circ \text{ }^{(2)}$$

(1) Norma ASME, códigos de prueba de rendimiento 19.3TW-2010.

(2) S. E. Ramberg, “The Effects of Yaw and Finite Length upon the Vortex Wakes of Stationary and Vibrating Cylinders,” *Journal of Fluid Mechanics* 128, 81-107 (1983).



Vectores de velocidad en instalaciones en ángulo

A medida que el ángulo se aproxima a 0°, el componente de la velocidad en la punta se aproxima a la unidad, o al 100% de la velocidad de caudal. Esto puede ser útil en la reducción de la frecuencia de Strouhal para instalaciones donde las tensiones no son el factor limitante.

Esta misma lógica no es válida para las fuerzas que actúan sobre el termopozo. A medida que el ángulo cambia, la superficie aumenta, la longitud del termopozo aumenta, lo que aumenta las fuerzas de rozamiento. El caudal del fluido alrededor del termopozo es cada vez más complicado de modelar y, por lo tanto, los

cambios de la fuerza, del momento de fuerza y de la tensión, no se pueden predecir fácilmente. ASME PTC 19.3 TW-2010 establece que esto está fuera del alcance de la norma; sin embargo, Emerson está considerando realizar una investigación más amplia de este método de instalación para proporcionar alguna justificación de las ventajas de esta solución. Existen aplicaciones de clientes complicadas donde este puede ser el único método viable para la instalación.

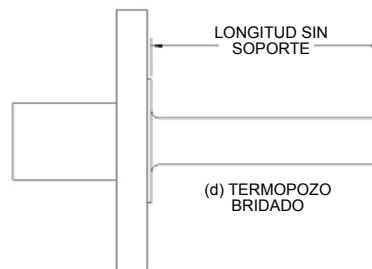
### Conductos cuadrados y tubos redondos

Debido a que la nueva norma utiliza la velocidad media, no es necesario conocer o modelar el perfil de caudal de conductos cuadrados y la forma en que este podría diferir con respecto a tuberías redondas. El diseñador simplemente tiene que conocer el caudal másico, la densidad y el área transversal para calcular la velocidad media. Para obtener más información sobre esto, consultar la sección de Velocidad media.

### DEFINICIÓN DE LONGITUD SIN SOPORTE

La definición de longitud sin soporte ha cambiado con el lanzamiento de ASME PTC 19.3 TW-2010. El modelo de la teoría de viga que se emplea en ASME PTC 19.3 TW-2010 es muy sensible a los cambios de longitud sin soporte, por lo que es necesario hacer que la definición sea clara y coherente.

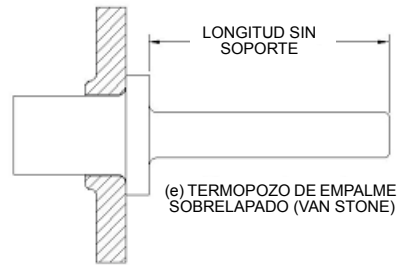
Para termopozos bridados (incluyendo brida superpuesta / Van Stone), la longitud de inmersión es la misma que la longitud sin soporte.



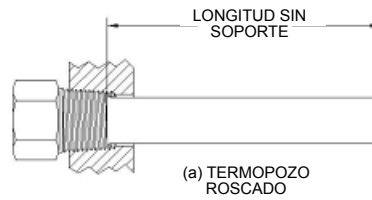
Termopozo bridado<sup>(1)</sup>

(1) Norma ASME, códigos de prueba de rendimiento 19.3TW-2010.

# Termopozos



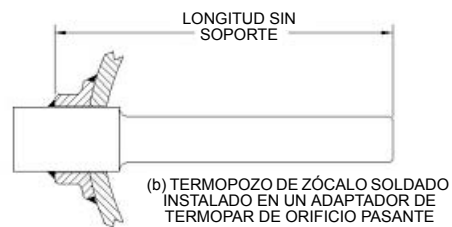
Termopozo de brida superpuesta / Van Stone<sup>(1)</sup>



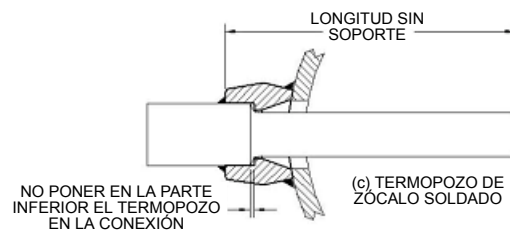
Termopozo roscado<sup>(1)</sup>

En el caso de termopozos roscados la longitud de inmersión es la misma que la longitud sin soporte, pero los resultados experimentales han demostrado que la longitud sin soporte comienza aproximadamente 2 o 3 roscas en la sección roscada. Esto se toma en cuenta en ASME PTC 19.3 TW-2010 aplicando un factor de corrección para termopozos roscados.

El mayor cambio se observa en termopozos soldados. El uso incorrecto de la longitud de inmersión acorta la longitud sin soporte y aumenta la frecuencia natural del termopozo.



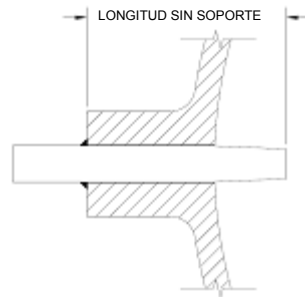
Termopozo soldado de orificio pasante<sup>(1)</sup>.



Termopozo soldado en zócalo.<sup>(1)</sup>

(1) Norma ASME, códigos de prueba de rendimiento 19.3TW-2010.

El lugar correcto para el cálculo de la longitud sin soporte es desde el punto de soldadura, pero como Emerson no conoce el punto exacto de soldadura, este debe ser estimado para el cálculo o se debe usar la longitud general del termopozo. Esto asegurará que no importa el modo en que se instale el termopozo, el cálculo proporcionado siempre estará en el lado conservador seguro.



Termopozo soldado según  
DIN 43772.

Un método alternativo sería marcar una línea en el termopozo para mostrar donde debe ser soldado para que el cálculo sea exacto o conservador. Esto estaría más implicado y requeriría el conocimiento de las dimensiones del zócalo.

Un caso especial en el que se debe especificar la longitud sin soporte es para termopozos soldados instalados según DIN 43772. Estos están diseñados con un orificio de estrecha tolerancia perforado en un tubo y un termopozo de barra de acero maquinado con una estrecha tolerancia.

Debido a que existe una tolerancia para la instalación, es imposible garantizar un ajuste de interferencia que se requiera para mover la longitud sin soporte (consultar la sección Collares de velocidad). En ausencia de otra información, la longitud sin soporte de esta instalación se define según el detalle de la izquierda.

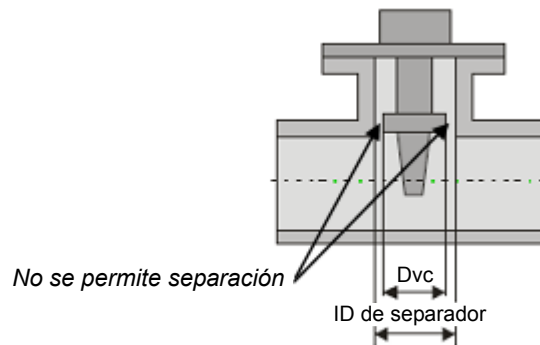
## COLLARES DE VELOCIDAD

El uso de collares de velocidad (o frecuencia) se aborda también en ASME PTC 19.3 TW-2010. La norma establece que no se recomienda el uso de collares como un soporte rígido para fines de acortar la longitud sin soporte. Esto solo se puede lograr usando un ajuste de interferencia. Esto es porque los desplazamientos de la punta del termopozo generalmente son muy pequeños (menores que 0,5 mm)<sup>(1)(2)</sup> y cualquier separación entre el collar y el diámetro interno del tubo separador ocasionará que el collar no sea eficaz para reducir la longitud efectiva sin soporte. Además, de manera similar a un martillo golpeando repetidamente una superficie metálica, el termopozo o el tubo continuará deformándose y la separación se ampliará hasta que no haya ningún contacto. Esto podría generar elementos de tensión en el termopozo debido a las muescas, o podría llegar a romper las soldaduras que pueden encontrarse cerca del collar. El collar debe ser un ajuste de interferencia para que sea eficaz y debido a que Emerson no puede garantizar el ajuste final, se recomienda utilizar cambios de geometría o de instalaciones para satisfacer las condiciones de proceso en lugar de utilizar collares.

(1) Finch, P., Hamblin, M., and Constable, D., "In-situ Measurement of Thermowell Vibration during Production Train Pressurisation," Woodside Energy Ltd. Report (fecha desconocida – después de 2001 y antes de 2010).

(2) Haslinger, K.H., Westinghouse Electric Company, "Flow-induced vibration testing of replacement thermowell designs," Journal of Fluids and Structures (2003).

# Termopozos

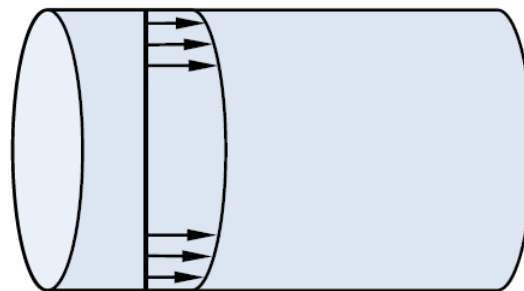


*No se permite separación entre el collar y el ID del separador de tubo.*

Emerson continuará ofreciendo termopozos con collares de velocidad contruidos según las especificaciones de sus clientes, pero no podemos proporcionar asesoramiento sobre el tamaño del collar de velocidad y no proporcionaremos informes de cálculos para instalaciones que utilicen collares de velocidad. Cualquier otra política sería aparentar que aprobamos ese método. Los termopozos soldados DIN 43772 también se tratan de la misma manera que los collares de velocidad, así como otras instalaciones de similares intenciones.

## VELOCIDAD PROMEDIO CON RESPECTO AL PERFIL DE VELOCIDAD

Uno pensaría que la mejor manera de calcular las fuerzas en un termopozo sería la utilización del método Análisis de elementos finitos (FEA) para ganar una cantidad considerable de detalle y precisión. La dificultad de utilizar el método FEA es que los parámetros para las entradas cambian continuamente, por lo que la precisión generada supera considerablemente la utilidad de un momento a otro. Tanto la norma ASME PTC 19.3 -1974 como la norma ASME PTC 19.3 TW-2010 usan una velocidad media para sus cálculos. La lógica detrás de esto es que el diseñador generalmente conoce el caudal másico y puede saber muy poco sobre el perfil de caudal en la tubería. El diseñador simplemente usa el caudal másico, la densidad del fluido y el área transversal para calcular la velocidad media. Con el uso de la velocidad media también se consigue que los cálculos sean más sencillos, lo que promueve una amplia aceptación por parte del usuario.



*Ejemplo de un perfil de caudal turbulento completamente desarrollado en una tubería.*



**REQUISITOS DE  
CONSTRUCCIÓN DE  
TERMOPOZO**

Al calcular la frecuencia natural in situ, ASME PTC 19.3 TW-2010 supone que el termopozo está fabricado de barra de acero sólida, para usar el modelo sencillo de viga. Los vástagos de termopozos pueden ser de material forjado o formado en rollo, pero no puede ser de tubería ni de material de tubo. Esta restricción significa que los termopozos que sean de construcción soldada de 3 piezas o que sean fabricados por perforación a través de la punta con tapa soldada no son cubiertos por ASME PTC 19.3 TW-2010.

Se recomienda utilizar soldaduras de penetración completa para termopozos bridados a fin de conseguir la máxima resistencia a la fatiga (consultar límites permisibles de tensión por fatiga (Límites permisibles de tensión por fatiga) en ASME PTC 19.3 TW-2010). Los termopozos forjados logran el mismo objetivo sin soldaduras, pero a un costo mucho más alto. Los termopozos tipo Van Stone logran esto sin el costo, pero muchos clientes no utilizan este tipo de termopozo.

Otra preocupación sobre la construcción son las tolerancias de fabricación de los termopozos. Las tolerancias que son demasiado flexibles pueden ocasionar que las ecuaciones de la viga sean inexactas y pueden usar todo el margen de seguridad incorporado en las ecuaciones. Pero al restringir las tolerancias se ocasiona que aumenten los costos de fabricación de los termopozos. Las tolerancias de corrosión también se deben tener en cuenta para las dimensiones.

*Rosemount y el logotipo de Rosemount son marcas comerciales registradas de Rosemount Inc.  
PlantWeb es una marca comercial registrada de una de las compañías del grupo Emerson Process Management.  
Todas las demás marcas son propiedad de sus respectivos dueños.*

**Emerson Process Management  
Rosemount Measurement**  
8200 Market Boulevard  
Chanhassen MN 55317, EE. UU.  
Tel. (EE.UU.) 1 800 999 9307  
Tel. (Internacional) +1 952 906 8888  
Fax +1 952 906 8889

**Emerson Process Management, SL**  
C/ Francisco Gervás, 1  
28108 Alcobendas – MADRID  
España  
Tel. +34 91 358 6000  
Fax +34 91 358 9145

**Emerson Process Management  
Shared Services Ltd.**  
Heath Place  
Bognor Regis  
West Sussex PO22 9SH  
Inglaterra  
Tel. 44 (1243) 863 121  
Fax 44 (1243) 867 554

**Emerson Process Management  
Asia Pacific Pte Ltd**  
1 Pandan Crescent  
Singapur 128461  
Tel. +65 6777 8211  
Fax +65 6777 0947  
Línea de asistencia telefónica: +65 6770 8711  
Correo electrónico:  
Enquiries@AP.EmersonProcess.com