



Todo sobre medición de presión



Introducción

Junto con la temperatura, la presión es una de las variables más importante y más medida en aplicaciones de investigación y desarrollo.

Muchas tareas de medición son ya indispensables para un amplio rango de aplicaciones en la industria de producción alimentaria, calefacción, aire acondicionado y sanitario, en térmicas y tecnología, en ingeniería de proceso y en muchas otras áreas.

Cualquiera que sea la aplicación, cuando debe medirse presión hay varios parámetros importantes que deben observarse si desea obtener resultados fiables.

Además de conocer las distintas unidades, es fundamental para la medición estar familiarizado con los diferentes tipos de presión y sus definiciones.

Este manual técnico trata primero y sobre todo del contexto en el que se realiza el proceso de medición electrónico de presión.

El objetivo de esta guía práctica es tanto que los principiantes obtengan una visión global de los parámetros principales, como servir de trabajo de referencia para los profesionales en la industria.

Les agradeceremos cualquier sugerencia y estaremos encantados en incorporarla en una próxima edición.

El Consejo Directivo



Burkart Knospe



Wolfgang Hessler



Martin Schulz



Página Contenido

6	I.	Definición de presión
6	II.	Unidades <ul style="list-style-type: none">1. Unidades SI2. Acerca de las unidades
7	III.	Tabla de conversión
8	IV.	Tipos de presión y su definición/bases <ul style="list-style-type: none">1. Presión absoluta = p_{abs}2. Presión positiva3. Presión negativa4. Presión diferencial = Δp5. Presión atmosférica = p_{atm}6. Manómetros y sus áreas de aplicación
10	V.	Procesos de medición de presión <ul style="list-style-type: none">1. Varios manómetros de líquido<ul style="list-style-type: none">- columna- tubo inclinado- flotador2. Manómetros con elemento elástico3. Procesos electrónicos de medición de presión
13	VI.	Ventajas de los manómetros electrónicos
13	VII.	Descripción del principio de medición de Testo <ul style="list-style-type: none">1. Medición de presión según el principio piezoresistivo2. Medición inductiva de presión
15	VIII.	Presión y temperatura

Página Contenido

17	IX. Exactitud	<ol style="list-style-type: none">1. El manómetro adecuado para una aplicación en particular2. Linealidad3. Coeficiente de temperatura4. Histéresis
20	X. El proceso de medición	
20	XI. Sobrepresión frente a presión estática	
22	XII. Medición en líquidos	<ol style="list-style-type: none">1. Admisión estática de presión2. Medir presión en líquidos
25	XIII. ¿Qué gases pueden medirse?	
6	XIV. Golpes de presión	
27	XV. Medir velocidad con un tubo de pitot	<ol style="list-style-type: none">1. Determinar la densidad del aire2. Motivo de error en medición con tubo de pitot3. Medir velocidades superiores a 100 m/s4. Ventajas de medir velocidad con un manómetro de presión diferencial y un tubo de pitot
34	XVI. Calibración	
36	XVII. Algunas aplicaciones	

$$\text{Presión } p = \frac{\text{Fuerza } F}{\text{Superficie } S}$$

I. Definición de presión

Presión se define como una fuerza (F) que actúa en una superficie (S).

II. Unidades

Unidades SI es el nombre que se da a las unidades básicas en el sistema internacional de unidades. El nombre proviene del francés "Système International d' Unités." El SI se estableció por la Conferencia General de Pesos y Medidas (fundada por el Acuerdo Métrico del 20 de mayo de 1875). Actualmente el sistema lo administra y revisa el Bureau International des Poids et Mesures en Sèvres (Francia). Tanto la International Standardization Organization (ISO) como la International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) recogen las recomendaciones internacionales para el uso de SI que después se asentan y fijan como obligatorias a nivel nacional. En Alemania, la Ley de Unidades en Metrología es la fundación legal para indicar las cantidades físicas en unidades estatutarias. Son de uso obligado en transacciones oficiales y comerciales. El "guardian" de las unidades en Alemania es el PTB. La Orden de Implementación de la Ley sobre Unidades en Metrología (clase de unidades) se refiere al estándar DIN 1301. Las unidades estatutarias se listan en orden alfabético en el anexo de Clases de Unidades.

El pascal.

Puede derivarse desde las unidades SI del metro y el Newton. $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. En presión meteorológica normalmente se indica en hPa. Esta unidad ha sustituido a la anteriormente habitual mbar. Se le dió el nombre de pascal por Blaise Pascal (1623 - 1662), matemático y científico Francés. En aplicaciones industriales, se utiliza frecuentemente la unidad bar, Kpa o MPa.

Como el pascal es una unidad de presión muy pequeña, se utiliza básicamente para medir presión en salas blancas. Pero el Pa es una unidad de medición que también se utiliza cuando se mide velocidad con un tubo de pitot (ver también punto 14).

$$1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{\text{m}^2} \text{ where } 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Parámetro
Presión

El hPa (= mbar) se utiliza principalmente en meteorología pero en algunos casos también en comercio e industria.

750 micron = 1 hPa

Las unidades bar, KPa y MPa son unidades estándar en tecnología de medición industrial de presión.
La mmc.d.a. está casi en desuso.

mmHg es la más frecuente en ingeniería médica. La presión de la sangre, por ejemplo, se mide en mmHg.

El micron es la unidad menor (750 micron = 1 hPa) y se utiliza principalmente en vacío, por ej. instalaciones de refrigeración.

Unidades británicas:

- psi (libra por pulgada al cuadrado)
- inH₂O (pulgadas de agua)
- in Hg (pulgadas de mercurio)

Las antiguas unidades como Torr, atü, ata, atu, atm kp/cm² ya no son habituales y bajo la Ley de Unidades ya no se utilizan en transacciones oficiales o comerciales.

III. Tabla de conversión

	Pa	hPa/mbar	kPa	MPa	bar	psi	mm c.d.a	inH ₂ O	mmHg	inHg
Pa	1	100	1,000	1,000,000	100,000	6,895	9,807	249.1	133.3	3,386
hPa/mbar	0.01	1	10	10,000	1,000	68.948	0.09807	2.491	1.333	33.864
kPa	0.001	0.1	1	1,000	100	6.895	0.009807	0.2491	0.1333	3.386
MPa	0.000001	0.0001	0.001	1	0.1	0.006895	0.00009807	0.0002491	0.0001333	0.003386
bar	0.00001	0.001	0.01	10	1	0.0689	0.0009807	0.002491	0.001333	0.0339
psi	0.0001451	0.0145	0.14505	145.05	14.505	1	0.001422	0.0361	0.0193	0.4912
mmc.d.a	0.102	10.2	102	102,000	10,200	704.3	1	25.4	13.62	345.9
inH ₂ O	0.004016	0.4016	4.016	4,016	401.6	27.73	0.0394	1	0.5362	13.62
mmHg	0.007501	0.7501	7.501	7,501	750.1	51.71	0.0734	1.865	1	25.4
inHg	0.0002953	0.0295	2953	295.3	29.35	2.036	0.002891	0.0734	0.0394	1

Esta tabla debe leerse de arriba a abajo, ej. 1 Pa = 0.01 hPa/mbar

IV. Tipos de presión

La medición de presión compara la presión actual con una presión de referencia. La tecnología de medición de presión distingue entre los siguientes tipos de presión, permitiendo establecer la relación entre la presión medida y la presión de referencia.

La presión absoluta está relacionada con el espacio vacío del universo (presión cero).

Presión absoluta:

- presión medida por encima del cero absoluto
- referencia, vacío ideal
- la presión de medición siempre es mayor que la presión de referencia

Presión positiva:

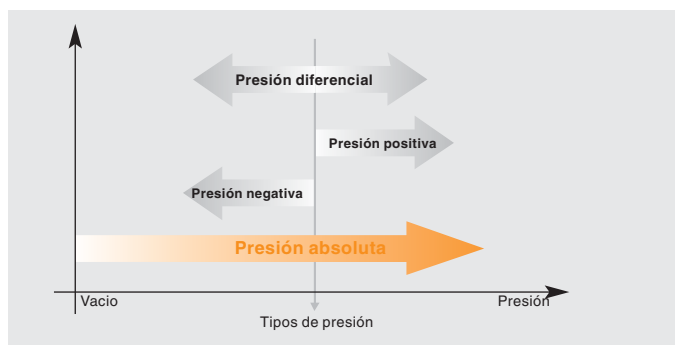
- presión medida por encima de la presión barométrica diaria
- presión ambiente de referencia
- la presión de medición siempre es mayor que la presión de referencia

Presión negativa:

- presión medida por debajo de la presión barométrica diaria
- presión ambiente de referencia
- la presión de medición siempre es menor que la presión de referencia

Presión diferencial:

- presión medida superior o inferior a cualquier presión de referencia deseada
- la presión de medición siempre es mayor que la presión de referencia



P_{atm}

Esta es la presión más importante para la vida en la tierra. La presión atmosférica surge del peso de la atmósfera que rodea la tierra. La atmósfera alcanza hasta una altitud de aprox. 500 km. La presión del aire disminuye constantemente hasta esta altitud (presión absoluta $p_{abs} = zero$). La presión atmosférica también está afectada por fluctuaciones relacionadas con el clima. De promedio, la p_{atm} al nivel del mar es de 1013.25 hPa. De todas formas, puede fluctuar hasta $\pm 5\%$ de acuerdo con clima superior o inferior.

Manómetros y sus áreas de aplicación

Los conocidos como manómetros diferenciales pueden medir presión positiva y negativa así como presión diferencial.

Aquí lo importante es conectar la presión correcta en la conexión correcta, es decir presión positiva en la conexión + y presión negativa en la conexión -. Con la conexión correcta, un manómetro diferencial puede cubrir el rango completo en ambas direcciones, positiva y negativa.

Si un manómetro tiene un rango de 0...200 hPa, por ejemplo, puede medir presión positiva, presión negativa y presión diferencial en un rango hasta 200 hPa.

¿Por que siempre la presión correcta en la conexión correcta?

Si se utiliza un manómetro para medir presión negativa y se conecta en la conexión +, algunos manómetros indicaran una parte de su rango de medición con un signo -, pero se detendrán después de un cierto valor (tanto para proteger el sensor como porque todos los sensores de presión sólo están calibrados en el rango positivo). Si el usuario no tiene esto en cuenta, pueden obtenerse resultados de medición incorrectos. Otros manómetros indicaran "fuera de rango" en el visualizador después de un cierto valor medido.

La presión barométrica puede medirse con manómetros de presión absoluta. Existen dos tipos de presión barométrica atmosférica. Una es la presión relacionada con una altitud determinada, la otra es la presión absoluta convertida al nivel del mar. La presión absoluta convertida se utiliza principalmente en meteorología para garantizar la comparabilidad. Se sabe que el valor promedio relativo al nivel del mar



es 1013.25 hPa. Todos los valores por encima indican alta presión, todos los valores por debajo indican baja presión. También puede utilizarse un manómetro absoluto para medir el vacío (contador de presión = 0). Un manómetro absoluto siempre tiene un solo tubo de conexión y no puede hacerse el cero.

V. Proceso de medición de presión

Probablemente la forma más básica de medir presión es utilizando un manómetro de columna. La presión a medir se compara con el peso de una columna de líquido. Según la presión a medir se utilizan distintos líquidos.

A una altitud de 1 m se obtienen los siguientes valores medidos:

- Alcohol	78.5 hPa
- Agua	98.1 hPa
- Mercurio	1334.2 hPa

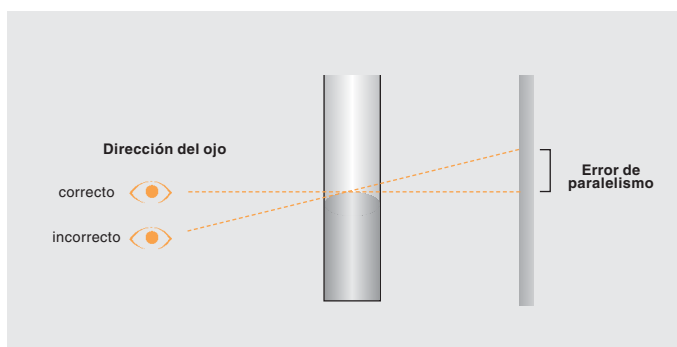
Puede verse que los manómetros de columna están indicados para presiones diferencial/positivas pequeñas.

Aunque las mediciones con estos manómetros son relativamente fiables, deben tenerse en cuenta algunos parámetros importantes.

- Es esencial que la conexión sea absolutamente horizontal, incluso una ligera desviación puede provocar números engañosos.
- Las instrucciones de manejo para mediciones portátiles no son óptimas. Los líquidos deben rellenarse en cada situación y el manómetro debe recalibrarse. Dependiendo del líquido, esto debe realizarse con un cuidado extremo (ej. el mercurio es muy tóxico incluso en concentraciones bajas y por este motivo ya casi no se utiliza).
- ¡Debido a las distintas densidades de los líquidos no deben mezclarse nunca!!!
- **Para evitar errores de paralelismo, el valor medido debe leerse en posición absolutamente horizontal.**

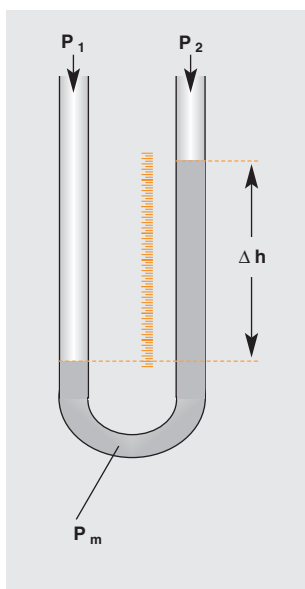
Parámetro Presión

Error de paralelismo

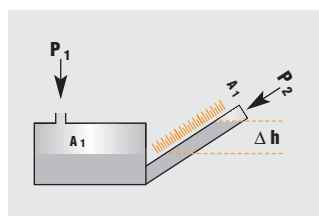


Algunos ejemplos de manómetros de columna.

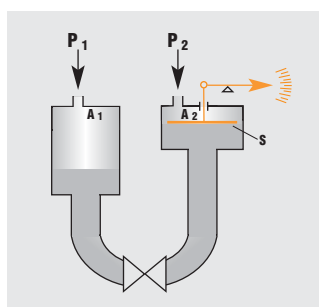
Manómetro de columna



Manómetro columna inclinada



Manómetro flotador



Manómetro mecánico

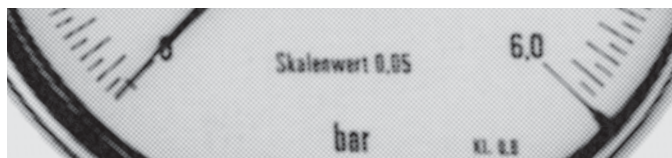
Cuando, después de la revolución industrial (el inicio del siglo 19), se necesitó medir rangos de presión mayores (ej. debido a la introducción de máquinas de vapor) y los manómetros de columna ya no eran suficientes debido a su rango y estrés mecánico (vibraciones), se desarrolló un nuevo tipo de manómetro. Esto condujo al manómetro mecánico. En el manómetro, se deforma un resorte según la presión que se le aplica. Esta deformación puede utilizarse para mover un dial de forma que la presión correspondiente se lea en una escala. En la práctica se utilizan varios tipos de resorte, ej. resorte tubular, cápsula de presión, resortes de membrana, etc). La línea de medición del resorte puede ser desde unas pocas décimas de milímetro hasta un máximo de 10 mm.



Los manómetros mecánicos se caracterizan por su resistencia y por su sencillo manejo. También tienen un coste de fabricación relativamente barato. Pero tienen algunas desventajas. La deformación mecánica significa que existe un riesgo de que la fatiga del material evite que el resorte retorne a su posición original. La función de retorno del resorte a su posición original también se llama histéresis (ver punto 9.4).

Los manómetros mecánicos sólo pueden utilizarse para medir presión relativa/positiva o presión absoluta (según la versión). Además, su clase (exactitud) está sólo en un 1 %fe (ver también punto 9), es decir las mediciones no son especialmente precisas.

Information en la cara del dial.



Otro proceso de medición de presión incluye:

- balanza de presión
- medidor de pistón de presión
- balanza de pistón de presión

En la medición de presión electrónica se utilizan predominantemente los siguientes principios y procesos:

- piezoresistivo
- galga laminar
- galga de membrana fina
- galga de membrana gruesa
- capacitivo
- inductivo
- piezoelectrico

VI. Ventajas de los manómetros eléctricos

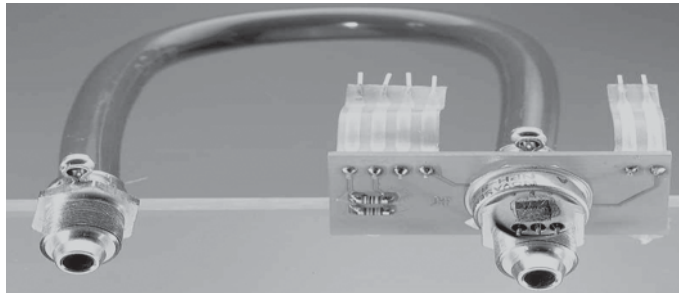
- elevada exactitud (hasta clase 0.05)
- excelente conducta histéresis (menor deformación del sensor)
- buena reproducibilidad
- alimentación integrada en el medidor (utilizable en todo el mundo)
- registro de datos => documentación
- humedad
- sencillo de manejar

VII. Descripción del principio de medición de Testo

En la práctica, y especialmente en Testo, el principio piezoresistivo y la medición de presión inductiva son los que mayormente se aplican.

Medición de presión piezoresistiva.

En el principio piezoresistivo, el elemento de medición consta de un chip de silicona con varios resistores (normalmente 4-6). Si el chip de silicona se carga con presión, se deforma (sólo unos pocos μm = por tanto un excelente comportamiento histéresis). Esta deformación conduce a cambios en los valores de resistencia, lo que permite calcular la presión calculada.



Ventajas:

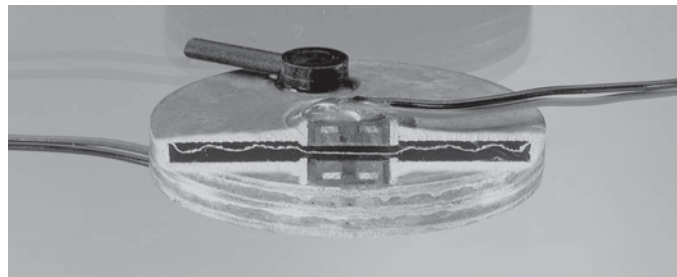
- sensor de pequeño tamaño
- excelente comportamiento histéresis
- elevada exactitud

Desventajas:

- su pequeño tamaño lo convierte en bastante susceptible a las fluctuaciones de temperatura (el sensor debe tener compensada la temperatura)

Proceso de percepción del desplazamiento inductivo.

En el proceso de percepción de la distancia inductiva se utilizan dos sensores de medición de berilio cúprico. El berilio cúprico se caracteriza por su excelente comportamiento dinámico y su elevada elasticidad. Los dos sensores de medición se acoplan el uno al otro (uno para presión positiva, el otro para presión negativa). En cuanto se cargan con presión, los sensores de medición se alargan. Esta prolongación se mide mediante una galga de desplazamiento inductivo, es decir se mide la prolongación del sensor de medición.



Ventajas:

- elevada exactitud
- buen comportamiento elástico del sensor de medición de presión (buena histéresis)
- las fluctuaciones de temperatura tienen un efecto relativamente pequeño en la medición.

Desventajas:

- tamaño del sensor relativamente grande

VIII. Presión y temperatura

Los dos parámetros, presión y temperatura, están directamente relacionados.

Breve consideración sobre la presión en gases:

Las moléculas de los gases se mueven aleatoriamente en un sistema de presión cerrado. Cuando estas moléculas colisionan con las paredes del sistema de presión, se genera presión. Mientras la temperatura permanezca constante, también lo hará la presión.

Si el gas se calienta, la velocidad de las moléculas y la presión en el sistema aumenta (las moléculas colisionan con las paredes del sistema a una velocidad mayor = expansión). Si el gas se enfría, se aplica lo contrario y la presión disminuye.

Al contrario que los líquidos y los sólidos, los gases pueden comprimirse extraordinariamente.

En los manómetros electrónicos, la influencia de la temperatura sobre la electrónica también juega un papel importante. Las señales de los componentes electrónicos se comportan de forma distinta con temperaturas variantes. En la práctica, los manómetros tienen habitualmente compensada la temperatura. La compensación de temperatura es muy importante cuando se registran datos (función de registro).



Un ejemplo:

Supuesto: En una fábrica sin turno de noche, es decir que no funciona durante la noche, se produce un funcionamiento defectuoso en una instalación con un sistema de medición de presión conectado. Por motivos económicos, la calefacción de la fábrica se desconecta durante la noche. Una cápsula manométrica conectada al sistema efectúa un registro a largo plazo. La presión del sistema se mantiene constante mediante un compresor.

¿Qué registrará y visualizará un manómetro?

Manómetro 1 = sin compensación de temperatura

El manómetro indica un error en los valores ya que la sala se está enfriando. Cuando esta sala se calienta de nuevo al día siguiente, el manómetro indica que la presión está aumentando de nuevo hasta que se consiga una temperatura constante. En realidad, la presión en el sistema se ha mantenido constante.

Manómetro 2 = con compensación de temperatura

El manómetro indica el valor actual (siempre el mismo) del sistema, incluso si varía la temperatura ambiente.

Conclusión: Para efectuar controles a largo plazo, es esencial que el manómetro tenga la temperatura compensada.

Sólo cuando se realizan chequeos breves o mediciones cortas de un sistema de presión, no es necesario tener compensación de la deriva de temperatura mientras se haga el cero del manómetro antes de la medición de forma que la influencia de la temperatura no sea un factor.

Atención: Diferencias extremas de temperatura como las que pueden producirse en invierno (el manómetro puede estar en el coche durante la noche a por ej. -10°C y después se utiliza para medir en una sala a 20°C) no puede corregirse incluso por una óptima compensación de temperatura. Por lo tanto es esencial que el manómetro se ajuste a la temperatura durante un periodo prolongado (aprox. 0.5 h, dependiendo de la diferencia de temperatura). La solución óptima es dejar ajustar el manómetro sin presión y después poner en marcha.

La compensación de temperatura es una cuestión engorrosa y cara, mientras que los manómetros se ajustan en cámaras climática a 2 - 3 temperaturas. Se necesita algún tiempo para que las temperaturas en la cámara climática se estabilice.

IX. Exactitud (factores influyentes)

La exactitud de los manómetros se indica normalmente en clases. Así, clase 1.0 = exactitud dentro de 1% del rango de medición (f_e = fondo de escala, v_f = valor final).

Ejemplo:

Manómetro de presión diferencial con un rango de 1000 hPa, clase 1 => exactitud absoluta ± 10 hPa.

Es importante recordar la base en la que el fabricante establece su exactitud. Existen dos variantes:

f_e / v_f = fondo de escala / valor final
 mv = del valor medido

En medición de presión, no existe un único manómetro para todas las aplicaciones. Esto se debe a su clase. Mientras el error se indica como un % del valor final, el error absoluto aumenta al aumentar el rango de medición. Esto significa que si la mayoría de aplicaciones están en un rango bajo de hPa y solo se miden esporádicamente presiones altas, un manómetro con un rango alto de medición no será apropiado. Después de todo, mientras el error absoluto en el rango alto de medición es relativamente alto, el error de medición en los rangos bajos es mucho mayor (ver apartado "El manómetro adecuado a la aplicación"). Una alternativa para estos casos con rango limitado es utilizar manómetros de rango de medición variable. De todas formas, en estos manómetros uno de los dos rangos tiene una clase superior y la otra inferior (ejemplo: el testo 520 para rangos bajos tiene clase 0.5; para un rango mayor clase 0.2). Por tanto puede ser que deban utilizarse dos o más manómetros para conseguir mediciones precisas tanto en el rango de medición menor como en el mayor.



La exactitud esta compuesta por los parámetros siguientes:
linealidad / coeficiente de temperatura / histéresis

Presión	*testo 525 (0 ... 200 hPa)		*testo 525 (0 ... 7 bar)	
	Desviación	Dev. % del vm	Desviación	Dev. % del vm
10 hPa	0.4 hPa	4 %	14 hPa	140 %
20 hPa	0.4 hPa	2 %	14 hPa	70 %
50 hPa	0.4 hPa	0.80 %	14 hPa	28 %
100 hPa	0.4 hPa	0.40 %	14 hPa	14 %
150 hPa	0.4 hPa	0.27 %	14 hPa	9.33 %
200 hPa	0.4 hPa	0.20 %	14 hPa	7.0 %
500 hPa	fuera de rango	0.20 %	14 hPa	2.8 %

Los ejemplos muestran que si se elige un manómetro equivocado, puede producirse un error en la medición del 140 % en el rango de 10 hPa. A 20 hPa el error de medición aún es del 70 %.
*Exactitud: 0.2 % del valor final

Linealidad

Linealidad es el valor de la desviación máxima de la curva característica de la línea ideal entre el punto cero y el punto final.

Si el manómetro no tiene compensada la temperatura (o sólo en un rango limitado de temperatura), el fabricante indica el coeficiente de temperatura. Por tanto, los detalles para el testo 512 son por ej. $\pm 0.04 \% \text{ vf} / \text{K}$ relativo a una temperatura nominal de 25 °C.

¿O sea, que significa?

El testo 512 tiene una exactitud de clase 0.5 a 25 °C. A modo de ejemplo se utiliza el rango de medición 0...20 hPa. Por tanto el manómetro tiene un error absoluto de $\pm 0.1 \text{ hPa}$ a 25 °C.

Si esta temperatura varía en 2 K (de 25 °C a 27 °C), este error absoluto está exacerbado por un error de temperatura de $\pm 0.0016 \text{ hPa}$.

Si se carga al sensor con presión, se doblará. El alargamiento máximo se alcanzará con el valor final del rango de medición (dejando de lado momentáneamente la sobrepresión). Si se elimina

Parámetro Presión

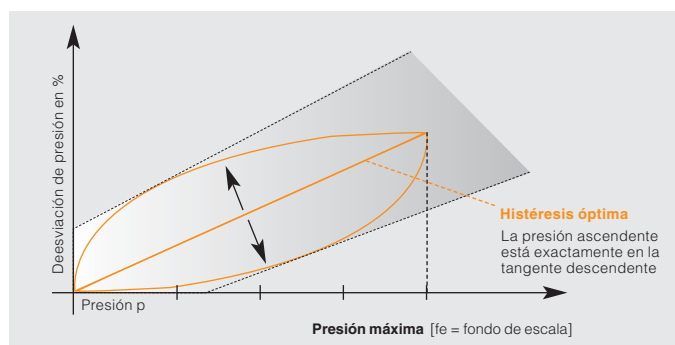
esta presión del sensor, un sensor con un correcto funcionamiento volverá a su forma original (al punto cero). Dicho de otro modo: si un resorte se extiende hasta el máximo y después esta extensión se afloja, el resorte adopta de nuevo su estado original.

Histéresis

En términos técnicos, histéresis significa la diferencia de la señal de salida de presión de camino hacia el rango final de medición y retorno.

En la medición de presión, debido a la histéresis, el manómetro puede visualizar un valor diferente en el mismo punto del camino de subida (hacia el valor final del rango de medición) que en el de retorno (hacia el punto cero).

Si en las especificaciones técnicas del manómetro sólo se indica la exactitud, normalmente están incluidos todos los parámetros descritos.



Nota:

Las exactitudes indicadas en la hoja de datos son siempre en "el peor de los casos". Esto significa que el manómetro puede tener este error, pero no necesariamente. Si se requieren mediciones extremadamente precisas, se recomienda calibrar el manómetro (ver también punto 17) así determinaremos la desviación absoluta real del manómetro utilizado. Con algunos manómetros se entrega un informe de calibración (ej. testo 520/525).

X. El proceso de medición

- ajuste de temperatura (preferentemente mientras el manómetro está funcionando)
- ajuste del cero sin presión
- conectar el manómetro al sistema de presión (presión correcta en conexión correcta => alta presión (o presión positiva) en + / baja presión (presión negativa) en -
- realizar la medición

XI. Sobrepresión frente a presión estática

Cada manómetro acepta una sobrepresión. La sobrepresión se expresa tanto como un valor absoluto (por ej. 1000 hPa) o como un múltiplo del rango de medición (por ej. dos de todo = rango de medición 1000 hPa = sobrepresión = 2000 hPa). Se entiende por sobrepresión la presión máxima (presión positiva) que puede ejercerse en una conexión sin que se dañe el sensor. Si se excede la sobrepresión, el sensor se "sobrepresuriza" y se daña de forma irreparable.

La presión estática de un manómetro puede ser significativamente superior que la sobrepresión. La presión estática debe llevarse a ambas conexiones del manómetro al mismo tiempo.

¿Donde se producen presiones estáticas elevadas?

Un buen ejemplo son los sistemas de presión en los que se mide velocidad. Para poder medir velocidades bajas (m/s) se necesita un manómetro con un rango de medición relativamente pequeño (error). Pero, ¿que pasa cuando un sistema de presión tiene una presión estática de por ej. 7 bar? Si se utiliza un manómetro con un rango de 0...7 bar y clase 0.1, una velocidad de 10 m/s puede tener un error máximo de

Parámetro Presión

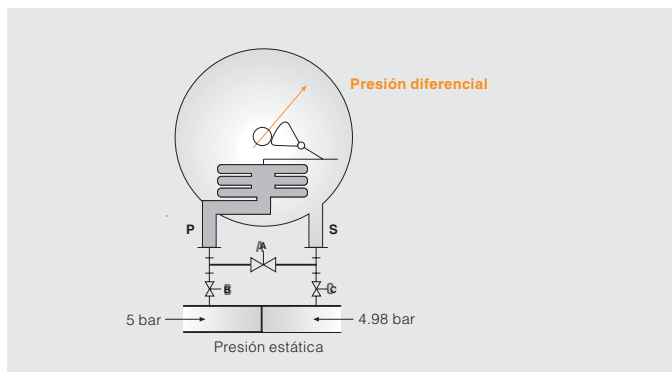
± 54.11 m/s. ¡Los números hablan por si mismos!

Puede verse, que el rango de medición de 7 bar es demasiado grande. ¿Como seguir? Debe utilizarse un manómetro con un rango pequeño pero que soporte una elevada presión estática. Si hacemos los mismos cálculos que antes, pero utilizando un testo 525 con un rango de medición de 0...25 hPa y clase 0.1 (este manómetro acepta una presión estática de máximo 7 bar incluso en el pequeño rango de medición de 25 hPa), ahora el error máximo a una velocidad de 10 m/s es solo de ± 0.1933 m/s.

¿Como puede llevarse la presión estática a ambas conexiones al mismo tiempo?

1. Primero despresurizar el sistema, luego conectar el manómetro (o introducir el tubo de pitot en el sistema) y conducir la presión equitativamente hasta la de funcionamiento.
2. Si no es fácil despresurizar el sistema, puede instalarse un bypass:

Bypass:





Se abre el Regulador A. Se cierran los Reguladores B y C. Después se abre el regulador B. Ahora toda la presión estática se aplica al sensor. Luego se abre el regulador C y se cierra el A. Por tanto la presión reducida se aplica en la parte después de la constricción. Ahora puede medirse la presión diferencial.

Importante: Al terminar la medición debe proceder a la inversa, de lo contrario el sensor se destruirá.

XII. Medición en líquidos

Cuando se mide presión en líquidos, debe asegurarse de que el manómetro está a la misma altitud que el punto de medición. Si el manómetro está situado por debajo del punto de medición, indicará un valor mayor; si está situado por encima, indicará un valor menor. Esto se debe a que la fuerza del peso del agua se añade a la presión actual del sistema.

Si no puede evitarse una diferencia de altitud, puede utilizarse la fórmula siguiente para calcular la diferencia de presión:

$$\Delta p = (\rho_F - \rho_L) \times g \times \Delta h \times 10 \text{ (bar)}$$

Δp = diferencia del rango de medición (bar)
 ρ_F = densidad del líquido (kg/m³)
 ρ_L = densidad del aire (1.205 kg/m³)
 g = aceleración gravitacional (9.81 m/s²)
 Δh = diferencia altitud (m)

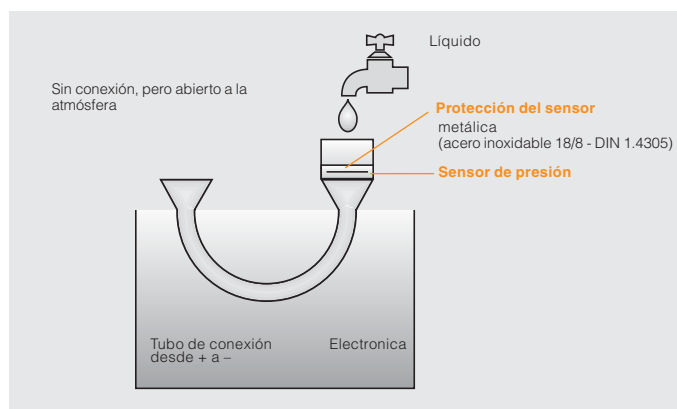
En principio, los sensores piezoresistivos no deben cargarse directamente con líquidos. Como el sensor está abierto (no encapsulado), puede producirse un cortocircuito que dañe el sensor. Si deben realizarse las mediciones en líquidos, existen dos maneras distintas:

Opción 1: Medición breve a presión bastante baja

En este caso debe utilizarse un tubo bastante largo. Este tubo debe tener forma de U.

¿Por qué?

Cuando se utiliza un tubo de conexión largo, el aire bloquea el tubo antes del líquido. Presiona el sensor y no lo daña. Pero si transcurre un cierto tiempo, el líquido penetrará hasta al sensor. Si este tubo tiene forma de U, el líquido al ser más pesado que el aire, se quedará el parte baja de la U.



Opción 2: Medición (a largo plazo) a alta presión.

Puede utilizarse tanto un manómetro compatible con el medio como un adaptador (transmisor de presión) conectado al manómetro.

Manómetro compatible con el medio:

Estos manómetros permiten llevar hasta el sensor cualquier líquido compatible con acero inoxidable 18/8 (DIN 1.4305). El sensor está encapsulado, y está protegido por el acero. De todas formas, los manómetros compatibles con el medio sólo pueden utilizarse para medir presión positiva (sólo tienen una conexión para presión; la otra está dentro del manómetro abierta al ambiente).



La estructura de los sensores piezoresistivos no permiten encapsular ambas conexiones al mismo tiempo, ya que la electrónica está inmediatamente detrás del sensor.

Medir con un o dos adaptadores.

En muchos manómetros puede conectarse un adaptador. Este adaptador contiene una membrana separadora que mantiene separado el sensor del líquido. Debe tenerse en cuenta que no todos los adaptadores son adecuados para cualquier manómetro.

¿Por qué es así?

Si el adaptador está conectado a un manómetro, un volumen muerto de aire exactamente definido está bloqueado. Si la membrana de separación se carga luego con presión de líquido, la membrana se deforma, comprime el volumen muerto de aire y presiona el sensor. Si este volumen muerto no coincide exactamente con el manómetro, no sólo se visualizarán valores de medición incorrectos, sino que puede no llegar al fondo de escala de medición del manómetro o excederlo.

Es muy importante que el adaptador esté siempre conectado al manómetro cuando se despresurice y después cargarlo con presión.



Adaptador

La utilización de adaptadores ofrece la ventaja de que el manómetro puede utilizarse tanto para gases como para líquidos.

Si sólo se mide presión positiva, se utiliza un adaptador; si se mide presión diferencial, se utilizan dos adaptadores.

XIII. ¿Qué gases pueden medirse?

Debe prestarse especial atención al contenido de humedad de la mezcla gaseosa, ya que esto puede producir condensación de agua dependiendo de la temperatura del punto de rocío. Los condensados y partículas de polvo pueden dañar el sensor o conducir a lecturas incorrectas!

Están permitidos los siguientes gases:
Gases nobles (por ej. argon, xenon etc.)
Aire del instrumento (seco, aire limpio)

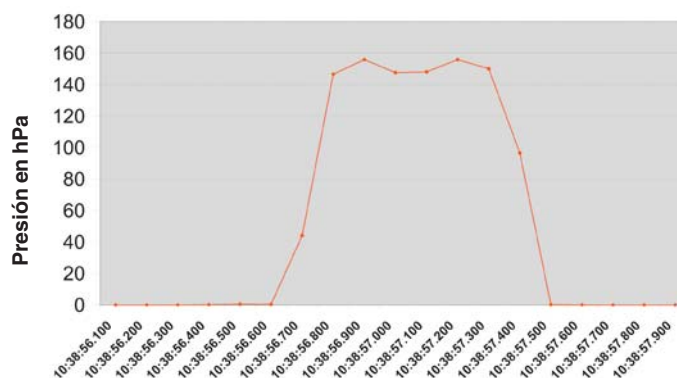
O ₂	Oxígeno
H ₂	Hidrógeno
N ₂	Nitrógeno
O ₂ /N ₂	Mezcla oxígeno/nitrógeno
CO ₂ /N ₂	Dióxido de carbono/nitrógeno
CO/N ₂	Monóxido de carbono/nitrógeno
C ₃ /H ₈	Propano
He	Helio
H ₂ /He	Hidrógeno/helio
NO/N ₂	Monóxido de nitrógeno/nitrógeno
SF ₆	Hexafluorido de sulfuro

Gas natural (no demasiado húmedo)

XIV. Golpes de presión

Ahora vamos a medir lo que se conoce como golpes de presión. El problema con estos golpes de presión es que se producen en fracción de segundos. Por tanto debe utilizarse un manómetro que permita intervalos de medición muy rápidos. No tiene sentido, por ejemplo, utilizar un manómetro con intervalos mínimos de memoria de 1 segundo, ya que los golpes de presión se producen en fracciones de segundo. El manómetro debe realizar varias mediciones cada segundo y deben poder registrarse.

Golpe de presión



Los golpes de presión pueden producirse en:

- instalaciones de extracción industrial (donde los filtros se limpian mediante golpes de presión)
- sobrecargas de presión en sistemas de tuberías de servicio domésticas
- golpes de presión en moldes metálicos
- sobrecargas de presión en tuberías de líquidos (a menudo se producen cuando se pone en marcha y se desconecta una bomba)
- sobrecargas de presión en sistemas como resultado de válvulas de acción rápida y sanitarias
- golpes de presión en compresores de sistemas de refrigeración

Para medir y evaluar los golpes de presión, utilizaremos como

Parámetro
Presión

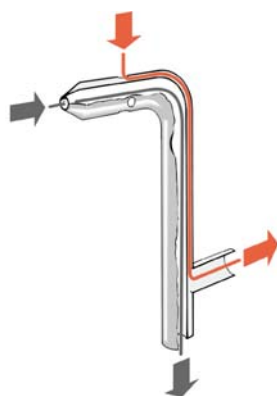
ejemplo el testo 525. El manómetro realiza 10 / 20 mediciones por segundo. El software desarrollado para este manómetro permite transmitir estas 10 / 20 mediciones por segundo a un pc para ser almacenadas y procesadas.

Tabelle [testhighspeed3.onl]	
	Druck
Maximalwert	1020.7
Mittelwert	1012.43
Minimalwert	1000.4
06.11.2001 - 15:53:38.000 #1	1004.9
06.11.2001 - 15:53:38.100 #2	1011.7
06.11.2001 - 15:53:38.200 #3	1010.8
06.11.2001 - 15:53:38.300 #4	1013.5
06.11.2001 - 15:53:38.400 #5	1018.4

XV. Medición de velocidad con tubo de pitot

La velocidad del aire puede medirse utilizando un manómetro de presión diferencial y un tubo de pitot.

Principio de medición.



El principio de medición

La presión de fondo se alcanza en la punta del tubo cuando está orientado frente a la dirección del flujo. Dos tubos conectan el tubo de pitot al sensor de medición actual; sensor de presión (conectar "a" en + y conectar "b" en -). Al sensor de presión se transmiten tanto la suma de la presión dinámica + presión estática y la presión estática pura.

Este sensor determina la diferencia entre dos presiones. El resultado es la presión dinámica del flujo. Esta presión está directamente relacionada con la velocidad predominante del flujo. Si se conoce la densidad del gas, convertir la presión en velocidad del flujo es cuestión de calcular la raíz cuadrada conocida como ecuación de Bernoulli (de Daniel Bernoulli, Matemático suizo, 1700-1782).

$$v \text{ (m/s)} = \sqrt{\frac{2 \cdot p \text{ diff}}{\rho}}$$

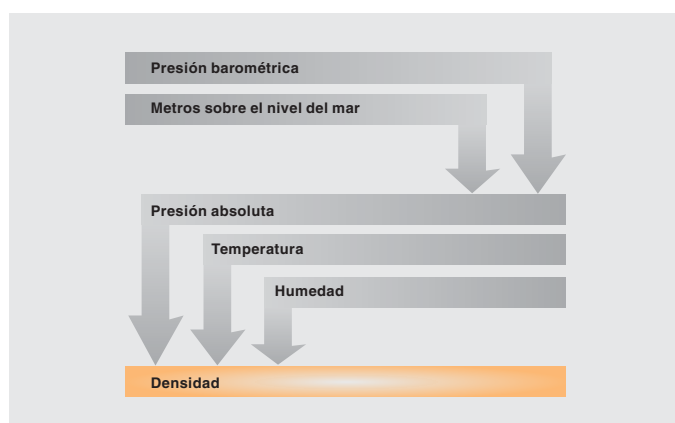
v (m/s) = velocidad en m/s

p diff = presión dinámica diferencial en Pa

rho = densidad del aire en (kg/m³)

La densidad del aire tiene un papel importante cuando se mide con tubo de pitot.

Factores en la densidad del aire.



Por tanto la densidad del aire está muy influenciada por:

- presión absoluta del aire
- temperatura del gas
- contenido en vapor de agua (humedad)

Medir la densidad es muy engorroso. El usuario debe medir los parámetros que determinan la densidad y luego calcularla o sacarla de tablas.

Primero debe estar seguro que el medio de medición es aire. El aire es una mezcla gaseosa con una composición constante. Las fluctuaciones normales en la composición no tienen ningún efecto significativo en el resultado de la medición.

En general, si no se calcula la densidad del aire, se asume la densidad del aire normal de 1293 g/m³ (presión absoluta = 1013.25 hPa/mbar; temperatura = 0 °C; humedad del aire = 0 %HR).

Errores en medición con tubo de pitot

Para información: valor a 1013 hPa/mbar, temperatura = 20 °C, humedad del aire = 50 % es 1199 g/m³.

Valor incorrecto de densidad del aire

La influencia de parámetros individuales en la densidad parece convincente. El aire frío es más pesado mientras que el aire cálido es más ligero. Si el aire es cálido se asume, por tanto, que su densidad será menor y la velocidad de flujo calculada será demasiado rápida. Lo mismo sucede cuando el aire está más húmedo de lo supuesto. Si Vd. olvida ajustar la presión del aire cuando viaja a la montaña, la presión y por lo tanto la densidad baja. Los valores calculados de velocidad de flujo serán demasiado bajos.

Pitot tube ocluído

El mantenimiento y servicio del tubo de pitot es relativamente sencillo. Por contra, no hay ningún molinete que pueda ensuciarse ni doblarse. Por tanto, antes de cada medición debe realizarse una inspección visual (¿está doblado el tubo? ¿se ve algún daño?) y también un chequeo de oclusión (soplar en las conexiones a y b y comprobar que este aire sale por el final del tubo de pitot).

Posición incorrecta en el conducto

Otro factor importante es la posición del tubo de pitot en el conducto. Si la apertura no está exactamente orientada en la dirección del flujo, los resultados de medición pueden ser erróneos. Si no puede verse la punta del conducto, puede utilizarse como referencia la conexión "b". Está situada exactamente en paralelo a la punta de medición. Para garantizar la correcta orientación gire lentamente el tubo y compare los resultados de medición. El tubo de pitot estará en la posición óptima cuando se lea el valor mayor.

Tubos doblados

Es importante comprobar que los tubos no están doblados entre el tubo de pitot y el sensor de presión (¡tener cuidado con los tubos flexibles!!) ya que puede producir resultados de medición erróneos.

Los tubos no están conectados correctamente

Conectar el tubo de la conexión "a" al + y el tubo de la conexión "b" al - del sensor de presión.

Inexactitud del sensor de presión

No todo sensor de presión es adecuado para medir flujo, especialmente en el rango bajo. Lo que es importante es la exactitud del sensor, para calcular los errores se utiliza la exactitud absoluta.

Un ejemplo:

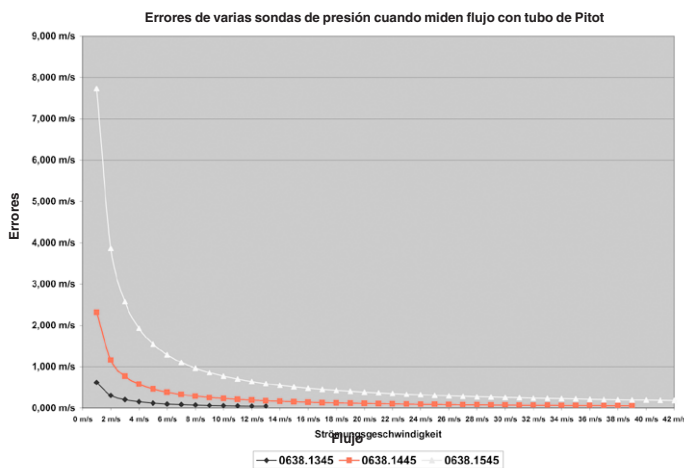
Sondas de presión Testo para manómetros multi-función

0638.1345; rango 0...100 Pa; exactitud $\pm(0.3 \text{ Pa} + 0.5 \% \text{ mv})$

0638.1445; rango 0...10 hPa; exactitud $\pm 0.03 \text{ hPa} (= 3 \text{ Pa})$

0638.1545; rango 0...100 hPa; exactitud (0...20 hPa) $\pm 0.1 \text{ hPa} (= 10 \text{ Pa})$

En el gráfico puede verse que la sonda con el rango 0...100 hPa tiene una desviación de $\pm 1.55 \text{ m/s}$ (= 31 % error de medición) en el rango menor de por ej. 5 m/s. La más precisa sonda de 100 Pa tiene un error sólo de $\pm 0.12 \text{ m/s}$ (= $\pm 2.4 \%$).



A mayor velocidad de flujo, menor exactitud de las sondas de presión en el cálculo de error.

Factor tubo de Pitot

El tubo con ángulo de pitot de testo tiene siempre un factor de 1. Si se conecta otro tipo a los manómetros de presión de testo, es esencial que se utilice el factor correcto del tubo de pitot para los cálculos. Puede alcanzarse una presión de fondo mayor con tubos de pitot rectos (modelos 0635.2045 / 2145 / 2245 / 2345) que con los normales. La exactitud es casi el doble de buena. El factor para los tubos de pitot rectos es de 0.67. Otra ventaja considerable de los tubos de pitot rectos es su diseño. Se necesitan menos agujeros para introducir estos tubos de pitot en los conductos, en especial si son tubos aislados.

Atención: respete la inmersión mínima de 150 mm.

Medir flujos superiores a 100 m/s

La ecuación de Bernoulli normal ya no se aplica a partir de 100 m/s. Si se desea obtener mediciones precisas, a estas altas velocidades de gas, la compresibilidad del fluido debe tenerse en cuenta en el factor de ajuste siguiente.

$$K = \left[1 - \frac{1}{2 * \kappa} * \frac{\Delta p}{p_{st}} + \frac{\kappa - 1}{6 * (\kappa)^2} * \left(\frac{\Delta p}{p_{st}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{donde } \kappa = 1.4 \text{ (para aire)}$$

o

$$K = (1 + 0.25 * (Ma)^2)^{-1/2}$$

Utilizando este factor de ajuste, puede calcularse la velocidad del aire como sigue:

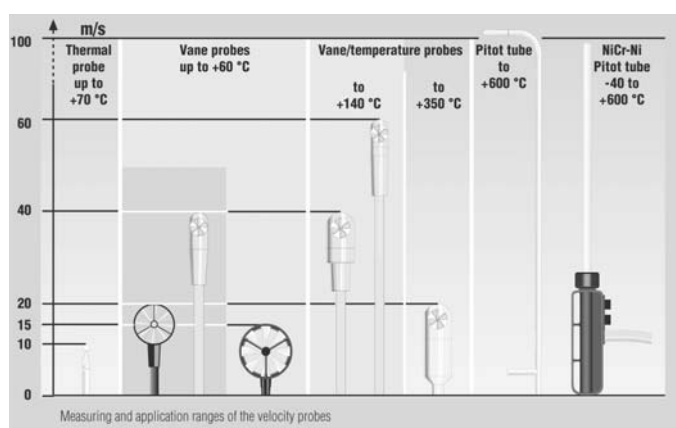
$$v = \alpha * K * \sqrt{\frac{2 * \Delta p}{\rho}}$$

Parámetro
Presión

Símbolo	Variable representada	Unidad SI *)
v	Velocidad del fluido	m/s
pst	Presión estática del fluido	Pa
ΔP	Presión diferencial, presión de fondo	Pa
ρ	Densidad de fluido	kg/m ³
κ	Exponente isentrópico	1
K	Factor de ajuste	1
α	Factor tubo de pitot	1
Ma	Mach =	1
	Relación entre la velocidad del fluido y la velocidad del sonido del fluido	

Ventajas de medir el flujo con un tubo de pitot y presión diferencial

El tubo de pitot destaca en entornos contaminados y temperaturas elevadas, así como en altas velocidades.



Calibración

XVI. Calibración

En la calibración de manómetros, es normal proceder en 5 etapas hasta el valor final de medición y en 3 etapas al regresar al 0. Debe tener especial cuidado en no exceder los puntos de medición ya que de lo contrario la histéresis (ver punto 9.3.3) se convertirá en un factor.

Un ejemplo:

Supongamos que desea calibrar el punto de medición 100 hPa. Con un generador de presión se consigue una presión cercana a los 100 hPa. Después Vd. se aproxima cuidadosamente al punto de medición hasta alcanzarlo. Si por cualquier razón excede el punto de medición (ej. 105 hPa), no es suficiente con liberar la presión y bajar de nuevo hasta 100 hPa, ya que así puede obtener valores diferentes subiendo que bajando. En este caso debe iniciar otra vez con presión 0. También es importante hacer una pausa cuando se genera presión. Si mediante un generador de presión se comprime el aire, se calienta y se expande = la presión aumenta. Por tanto debe esperar hasta que el aire se adapte a la temperatura ambiente. Este es el caso cuando el valor de medición permanece estable.

Parámetro
Presión



Kalibrier-Protokoll

Calibration Protocol • Protocole d'étalonnage
Protocollo di calibrazione • Informe de Calibración

Gerät / Instrument / Instrument / Instrument / Instrument Digital Manometer
 Typ / Type / Type / Type / Type testo 525AD10000
 Seriennummer / Serial No. / No de serie / Numero di serie / No de serie 1003481
 Umgebungstemperatur / ambient temp. / temp. d'env. / temp. d'ambiente / temp. ambiente 22°C ±0.2°C
 Stromaufnahme / power supply / alimentazione / alimentazione / alimentación 9.0 V

Prozessmedium / Calibration medium / medium de mes. / medium di misura / medium de medida air/gas
 Messbereich / Range / Gamme de mesure / Gamma di misura / Gama de medida 1100.00 mbar abs
 Klasse / Class / Classe / Classe / Clase 0.20 % FS
 Referenzgerät / Reference / Référence / Referencia / Referência Sperry ADT 525 0790040 1100 mbar abs

↓			↑		
SOLLWERT VALUE PREVUE SETTING VALUE VALORE FISSO VALOR FIJO	ABWEICHUNG DEVIATION DIFFERENZA DIFERENCIA	%FS	SOLLWERT VALUE PREVUE SETTING VALUE VALORE FISSO VALOR FIJO	ABWEICHUNG DEVIATION DIFFERENZA DIFERENCIA	%FS
1100.00	0.30	0.00	1100.00	-0.10	-0.01
1025.00	0.30	0.00			
950.00	0.30	0.00	875.00	0.30	0.00
875.00	0.30	0.00			
800.00	-0.10	-0.01	725.00	-0.10	-0.01
Max. Tolerance %	0.20	0.20	Max. Tolerance %	0.20	0.20

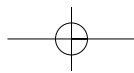
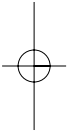


Datum / Date / Date / Date / Fecha 14.09.06 10:20:40
 Prüfer / Inspector / Verifier / Inspecteur / Inspector

XVII. Algunas aplicaciones

- Presión positiva / presión negativa en salas blancas
- Mediciones en sistemas de presión (realizadas por compresor)
- En quemadores (medición hPa + lazo neumático + velocidad aire suministrado m/s + carga aire m/s)
- Ensayo de estanqueidad según DVGW / TRGI (inspección preliminar/principal)
- Chequear filtro
- Golpes de presión (sistemas de extracción)
- Mediciones meteorológicas (presión absoluta)
- Mediciones en laboratorios (cambios en presión ambiente durante experimentos/ ensayos)
- Buscar fugas / proporción consumo en sistemas de aire comprimido mediante la función de estanqueidad (pérdida de presión / dimensionado del sistema)
- Medición de presión en sistemas de refrigeración
- Calibración
- Servicio y mantenimiento de bombas
- Medición de consumo de gases midiendo las pérdidas de presión

Parámetro
Presión





Instrumentos **testo** S.A.

Zona Industrial, c/B, nº2
08348 Cabrils (Barcelona)
Tel. 93 7 53 95 20
Fax 93 7 53 95 26
e-mail: info@testo.es
<http://www.testo.es>