

# Diseño y construcción de un banco neumático para pruebas y calibración de manómetro tipo Bourdon de rango entre 30 psi y 160 psi<sup>1</sup>

## RESUMEN

Se presenta una guía general para la construcción y validación de un banco de pruebas y calibración de manómetro tipo Bourdon de 30 a 160 psi. Se establece la importancia de la trazabilidad y la incertidumbre en el proceso de medición de presión.

## PALABRAS CLAVE:

Calibración, trazabilidad, incertidumbre.

## 1. Introducción

En este artículo describimos brevemente el procedimiento de calibración de manómetros tipo Bourdon, así como el procesamiento de la información de los datos obtenidos, dándole especial relevancia a los cálculos de incertidumbre de la medición. Se da la importancia necesaria a la trazabilidad de las mediciones, teniendo en cuenta que es la propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones.

Una cadena de trazabilidad metrológica se define mediante una jerarquía de calibración. Se emplea para establecer la trazabilidad metrológica de un resultado de medida.

La incertidumbre de medición es el parámetro asociado con el resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que en forma razonable se le podrían atribuir a la magnitud por medir. El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación estándar (o un múltiplo de ella), o la semilongitud de un intervalo que tenga un nivel de confianza determinado.

Autores

Yulet Omaira Pinilla<sup>2</sup>

Enrique Sánchez Sánchez<sup>3</sup>

Director

Mauricio González Colmenares<sup>4</sup>

1. Proyecto curricular de Ingeniería Mecánica.
2. Ingeniera mecánica. Correo electrónico: yuletoma@yahoo.com
3. Ingeniero mecánico. Correo electrónico: davjua026@yahoo.es
4. Ingeniero mecánico, docente de la Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: mgonzalezc@udistrital.edu.co

En general, la incertidumbre de medición comprende muchos componentes. La distribución estadística de los resultados de una serie de mediciones se puede usar para evaluar algunos de estos componentes, a los que es posible caracterizar mediante desviaciones estándar experimentales. Los otros componentes, que también pueden caracterizarse mediante desviaciones estándar, se evalúan a partir de distribuciones de probabilidad supuestas, basadas en la experiencia o en otra información. El resultado de la medición es la mejor estimación del valor de la magnitud por medir (presión); y que todos los componentes de la incertidumbre, incluyendo los ocasionados por los efectos sistemáticos, como los componentes asociados con correcciones y con patrones de referencia, contribuyen a la dispersión (NTC 2194 3.9).

La calibración es un conjunto de operaciones que establecen, en condiciones específicas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida; o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones.

Todo proceso de medición va acompañado de un procedimiento de calibración y una evaluación de la incertidumbre de medición, ya que no existen mediciones confiables en un 100%. De ahí la importancia de realizar procesos de calibración con patrones de referencia calibrados y en condiciones ambientales controladas.

Teniendo claridad sobre los conceptos de calibración, trazabilidad e incertidumbre en las mediciones, y conociendo la necesidad de la empresa Metrología y Calibración MetroCal Ltda. de prestar un servicio eficaz y eficiente en el área de presión, se diseñó y construyó un banco neumático para pruebas y calibración de manómetros tipo Bourdon, de rangos entre 30 psi y 160 psi. Igualmente, se realizó el análisis de la incertidumbre de medición para garantizar que el método, los procedimientos, los patrones, los medios de generación y el personal técnico cumplan con las características metrologías contempladas en la ISO 17025. De este modo se asegura que se tendrán en cuenta todas las contribu-

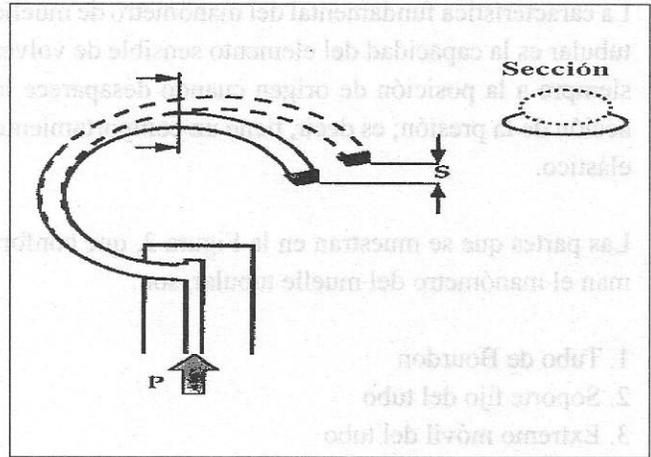


Figura 1. Muelle tubular

ciones de incertidumbre necesarias para lograr una capacidad óptima de medida y responder confiablemente a las demandas de los clientes.

## 2. Fabricación

El manómetro a muelle tubular es un instrumento de tipo “directo” para la medida de la presión.

El principio de funcionamiento de este tipo de medidor está basado en la deformación que sufre el elemento elástico sometido a la acción de una presión.

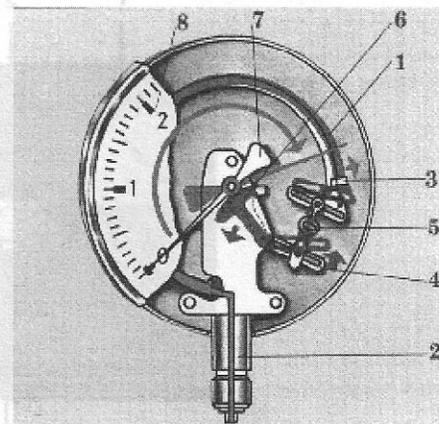


Figura 2. Partes del manómetro de muelle tubular

La característica fundamental del manómetro de muelle tubular es la capacidad del elemento sensible de volver siempre a la posición de origen cuando desaparece la acción de la presión; es decir, tiene un comportamiento elástico.

Las partes que se muestran en la Figura 2, que conforman el manómetro del muelle tubular, son:

1. Tubo de Bourdon
2. Soporte fijo del tubo
3. Extremo móvil del tubo
4. Corredera
5. Biela
6. Engranaje
7. Aguja indicadora
8. Escala calibrada

### 2.1 Metodología

Inicialmente se plantea el bosquejo general de distribución de los diversos elementos, equipos y accesorios necesarios. Se seleccionan los materiales de flauta y accesorios. Se elabora el diseño final, indicando la distribución de cada elemento y su función. Se ajustan los planos de diseño. Luego se realiza la requisición de todos los elementos necesarios para la fabricación del banco neumático. El siguiente paso es la construcción y ensamble del banco neumático en su totalidad. Con el fin de verificar la construcción, se elaboran pruebas de puesta a punto del banco, se realizan los ajustes ne-

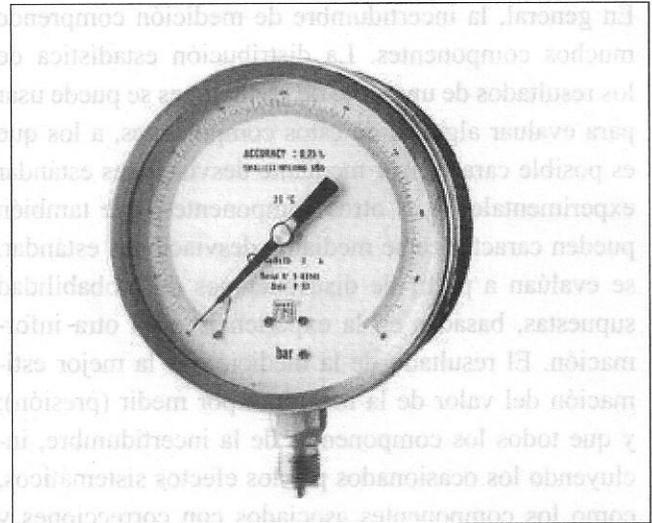


Figura 3. Manómetro patrón

cesarios, se desarrollan procedimientos de cálculo de incertidumbre, de calibración para manómetros tipo Bourdon y, por último, se establece el manual de operación y mantenimiento del banco.

### 2.2. Parámetros de entrada

Los manómetros a calibrar tienen las siguientes especificaciones:

- Rangos de presión: 0 a 15 psi; 0 a 30 psi; 0 a 60 psi, 0 a 100 psi y 0 a 150 psi.
- Diámetros de carátula: 1/2", 2", 3", y 4".
- Racores machos NPT de: 1/8", 1/4", 1/2".

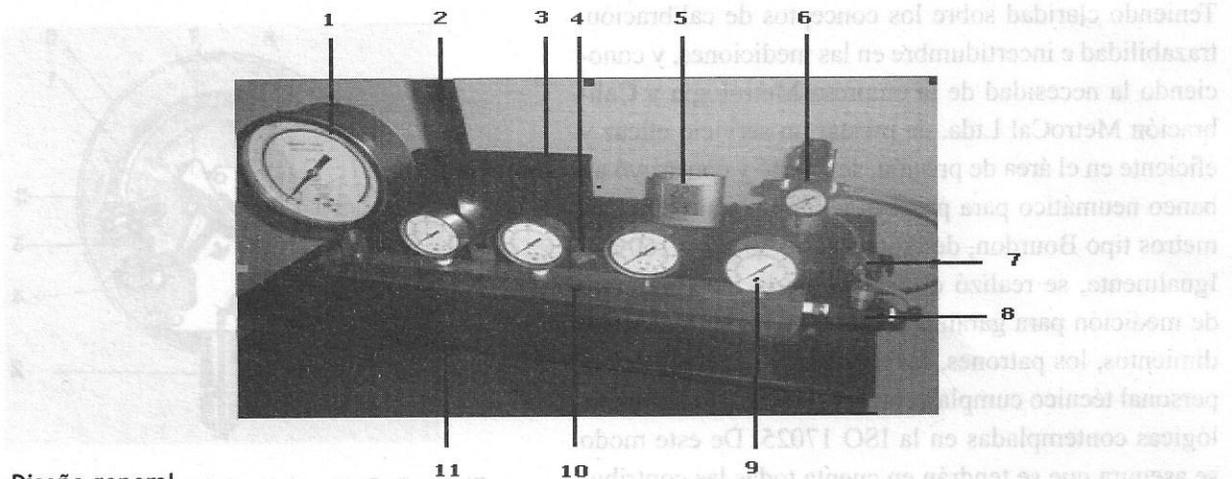


Figura 4. Diseño general

En la Figura 4 se pueden observar los siguientes elementos:

1. Manómetro patrón
2. Regla
3. Caja de herramientas y accesorios
4. Nivel circular
5. Termohigrómetro
6. Filtro regulador
7. Válvula 3/2 normalmente cerrada
8. Válvula de aguja
9. Manómetros bajo prueba
10. Flauta
11. Platina

El diseño del banco de pruebas y calibración de manómetros es de circuito abierto. De este modo cumple las especificaciones de estabilidad y hermeticidad para la calibración de manómetros tipo Bourdon (muelle tubular), y las especificaciones de los parámetros de entrada.

Los elementos que componen el banco son:

- La flauta: distribuidor de alimentación para los manómetros, con tomas de entrada y salida de aire.
- Estructura: soporte sobre el cual se hará el montaje del banco de pruebas.
- Regulador de presión: dispositivo que mantiene la presión constante e independiente de la presión de consumo en la flauta y la línea de entrada.
- Filtro: elemento capaz de retener las partículas sólidas mayores de 40 micras para que no pasen a la flauta.
- Válvula 3/2: permite orientar o detener el flujo de aire hacia la flauta y los manómetros.
- Nivel: dispositivo que visualiza y permite nivelar el banco de pruebas accionando los puntos de apoyo.
- Válvula de aguja: permite despresurizar paulatinamente la presión de salida del banco de pruebas.
- Racores: dispositivos que permiten realizar el ensamble entre los diversos elementos del banco y las mangueras.
- Mangueras: son los tubos flexibles que interconectan el circuito neumático del banco.

### 3. Procedimiento de calibración

El método de evaluación tipo A está basado en un análisis estadístico. Cuando la distribución estándar se determina a partir de los datos obtenidos se tiene una incertidumbre tipo B.

Cuando la incertidumbre estándar se determina por medios diferentes al análisis estadístico de una serie de datos obtenidos experimentalmente, se dice que estamos ante un caso de evaluación tipo B. Experimentalmente se habla de una evaluación tipo A, "presión de línea", que es diferente del vacío o de la presión atmosférica.

La incertidumbre tipo B se tiene cuando la incertidumbre estándar se determina por medios diferentes al análisis estadístico de una serie de datos obtenidos experimentalmente.

La incertidumbre tipo A está basada en un análisis estadístico. Cuando la distribución estándar se determina a partir de los datos obtenidos experimentalmente, se habla de una evaluación tipo A.

#### 3.1. Descripción del proceso de calibración

- Se comprobará que el manómetro esté identificado con su marca, modelo y número de serie correspondiente, o con un código interno del usuario. En este tipo de manómetros es bastante corriente encontrarse instrumentos sin modelo, marca o número de serie. En este caso se le asignará un código de identificación que se grabará o fijará de forma adecuada sobre el instrumento.
- Se comprobará el estado de la carátula y la aguja indicadora; además, se comprobará la respuesta a las variaciones de presión.
- Los manómetros que vayan a ser utilizados con oxígeno, acetileno o cualquier fluido tóxico o inflamable, deberán estar igualmente identificados, siguiendo la normativa vigente. Cualquier duda sobre el fluido utilizado (líquido o gas) se consultará con el usuario de la calibración. Cualquier anomalía detectada se hará saber al cliente antes de realizar alguna medida.

- Las condiciones ambientales, en cuanto a temperatura y humedad, estarán dentro de los márgenes especificados por los fabricantes del manómetro a calibrar y del manómetro utilizado como patrón.
- Más importante que estar a una temperatura determinada es su estabilidad; deberán medirse las oscilaciones térmicas durante la calibración para realizar las correcciones si fuesen necesarias (en función de la incertidumbre esperada), y calcular la incertidumbre correspondiente a este factor de influencia.
- Se comprobarán fugas en los sistemas neumáticos y se desperezará el manómetro subiendo y bajando la presión dos o tres veces hasta el fondo de escala. Una idea de la existencia de fugas nos la dará una indicación del manómetro inestable que va disminuyendo de forma continua.
- Manómetro y patrón se colocarán al mismo nivel de referencia, siempre que sea posible, para minimizar las variaciones de presión por diferencia de alturas. En caso contrario se harán correcciones.
- El patrón tendrá, de ser posible, las mismas unidades que el manómetro a calibrar.
- Una vez que se ha comprobado el estado de todos los equipos y medios auxiliares y que estos han alcanzado la estabilidad térmica, se procederá a la calibración del manómetro.

### 3.2. Secuencias de calibración

El proceso de calibración seguirá las secuencias descritas a continuación:

- Comprobación inicial en tres puntos, 1/3, 2/3 y 3/3, del rango máximo del manómetro. Previamente a la calibración deberán chequearse tres valores en la parte baja, media y alta del manómetro. Estos datos iniciales nos indicarán cómo se encuentra el instrumento y si es necesario su ajuste. De esta forma tendremos información del estado del instrumento.
- La calibración cubrirá todo el rango del instrumento. Se realizarán al menos cinco puntos que estarán regularmente espaciados, desde el 10% al 100% de su rango, además del cero si no tiene tope. Deberá tenerse en cuenta la posibilidad de que el usuario del instrumento elija los puntos de calibración; en este caso, el procedimiento se realizará de la misma forma pero en los valores definidos por el cliente.
- Una vez desperezado el manómetro y definidos los puntos de calibración, se procederá a calibrar el instrumento.
- La lectura se realizará después de haber hecho vibrar ligeramente para evitar errores producidos por fricciones mecánicas.

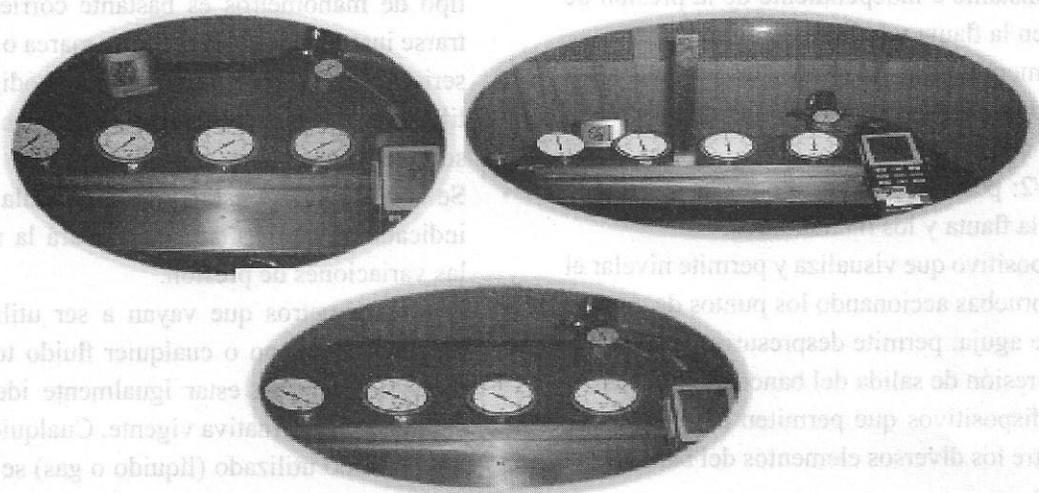


Figura 5. Secuencias de calibración

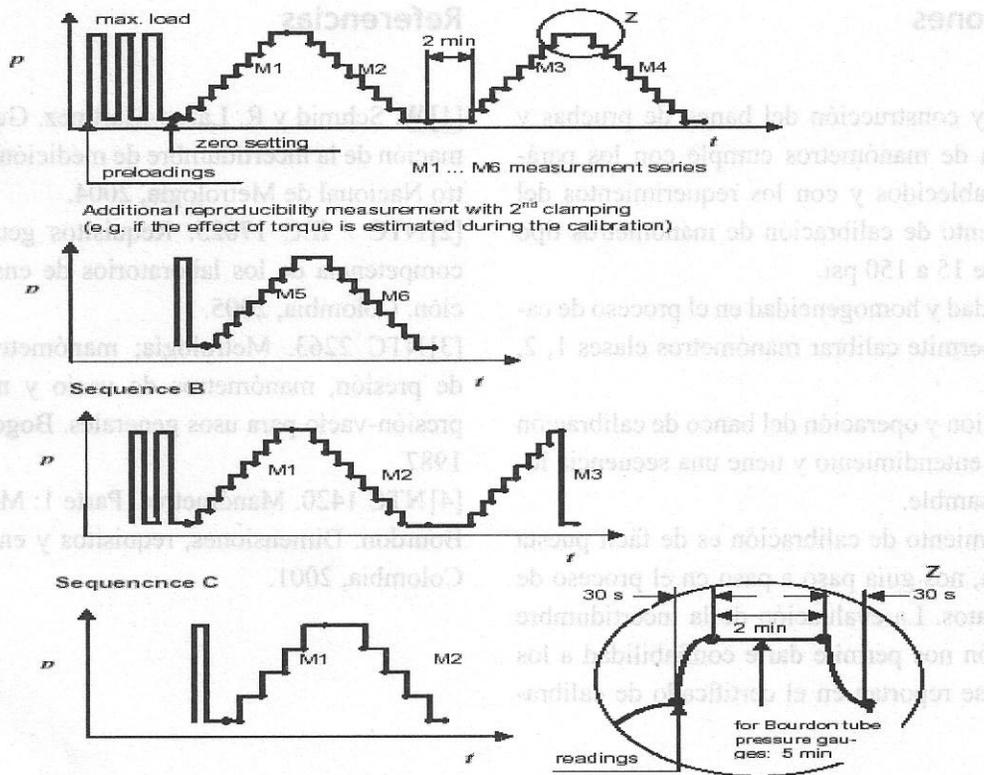


Figura 6. Ciclos de calibración

- La medida será válida siempre que el sistema sea estable y no se observen saltos o variaciones en las indicaciones del patrón e instrumento.
- Los valores de presión se distribuyen uniformemente en todo el rango y las lecturas se realizan de forma creciente y decreciente.
- El tiempo entre dos lecturas sucesivas no debe ser menor de treinta segundos y las lecturas se deben anotar después de treinta segundos de haberse estabilizado el valor de presión.
- Una vez conseguido el valor máximo de presión, se escribe la indicación del instrumento a calibrar y el patrón. Se debe dejar en este valor de presión durante cinco minutos.
- Al finalizar cada ciclo de medidas, se debe escribir la lectura del cero después de treinta segundos, cuando se haya conseguido el valor de presión cero.

### 3.3. Cálculo de incertidumbres

Modelo matemático para el cálculo de incertidumbres

Las componentes de la incertidumbre son:

- Debida al patrón (certificado de calibración). Tipo B
- Debida a la deriva del patrón. Tipo B
- Debida a temperatura del patrón. Tipo B
- Debida a resolución del manómetro a calibrar. Tipo B
- Debida a temperatura del instrumento. Tipo B
- Debida a histéresis. Tipo A
- Debida a la repetibilidad de las medidas. Tipo A
- La incertidumbre típica combinada asociada a la calibración del manómetro se obtiene combinando sus distintas contribuciones:
- La incertidumbre expandida, para un intervalo de confianza del 95,45%, se obtiene multiplicando la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura, es decir,

### 4. Conclusiones

- El diseño y construcción del banco de pruebas y calibración de manómetros cumple con los parámetros establecidos y con los requerimientos del procedimiento de calibración de manómetros tipo Bourdon de 15 a 150 psi.
- La estabilidad y homogeneidad en el proceso de calibración permite calibrar manómetros clases 1, 2, 3, 4, 5.
- La instalación y operación del banco de calibración es de fácil entendimiento y tiene una secuencia lógica de ensamble.
- El procedimiento de calibración es de fácil puesta en práctica, nos guía paso a paso en el proceso de toma de datos. La evaluación de la incertidumbre de medición nos permite darle confiabilidad a los datos que se reportan en el certificado de calibración.

### Referencias

[1] W. Schmid y R. Lazos-Martínez. Guía para la estimación de la incertidumbre de medición. México: Centro Nacional de Metrología, 2004.

[2] NTC / IEC 17025. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Colombia, 2005.

[3] NTC 2263. Metrología; manómetros indicadores de presión, manómetros de vacío y manómetros de presión-vacío para usos generales. Bogotá, Colombia, 1987.

[4] NTC 1420. Manómetros. Parte 1: Manómetros tipo Bourdon. Dimensiones, requisitos y ensayos. Bogotá, Colombia, 2001.

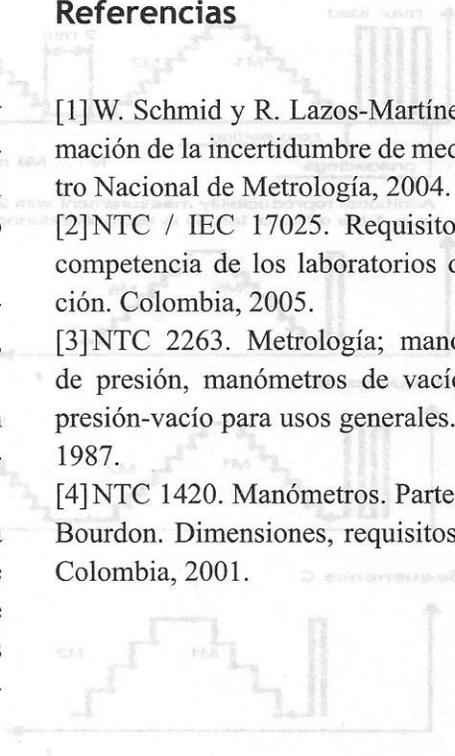


Figura 6. Ciclos de calibración

3.3. Cálculo de incertidumbres

Modelo matemático para el cálculo de incertidumbres

Las componentes de la incertidumbre son:

- Debido al patrón (certificado de calibración). Tipo B
- Debido a la deriva del patrón. Tipo B
- Debido a temperatura del patrón. Tipo B
- Debido a resolución del manómetro a calibrar. Tipo B
- Debido a temperatura del instrumento. Tipo B
- Debido a histéresis. Tipo A
- Debido a la repetibilidad de las medidas. Tipo A
- La incertidumbre típica combinada asociada a la calibración del manómetro se obtiene combinando sus distintas contribuciones.
- La incertidumbre expandida para un intervalo de confianza del 95.45%, se obtiene multiplicando la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura, es decir:

- La medida será válida siempre que el sistema sea estable y no se observen saltos o variaciones en las indicaciones del patrón e instrumento.
- Los valores de presión se distribuyen uniformemente en todo el rango y las lecturas se realicen de forma creciente y decreciente.
- El tiempo entre dos lecturas sucesivas no debe ser menor de treinta segundos y las lecturas se deben anotar después de treinta segundos de haberse estabilizado el valor de presión.
- Una vez conseguido el valor máximo de presión se escribe la indicación del instrumento a calibrar y el patrón. Se debe dejar en este valor de presión durante cinco minutos.
- Al finalizar cada ciclo de medidas, se debe escribir la lectura del cero después de treinta segundos cuando se haya conseguido el valor de presión cero.