

GUÍA PARA LA SELECCIÓN, CALIBRACIÓN Y MANTENCIÓN DE INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA EVALUAR LA VENTILACIÓN EN AMBIENTES LABORALES

VERSIÓN 2.0

EDITOR RESPONSABLE:

Pablo Zúñiga Moreno
Sección Seguridad en el Trabajo

COMITÉ DE EXPERTOS REVISOR:

Juan Carlos Lizama,
Experto en Ventilación

Ramiro Plaza
Instituto de Seguridad Laboral

Pablo Aguirre
Instituto de Seguridad del Trabajo

Rómulo Zúñiga
Asociación Chilena de Seguridad

Marcelo Molina
Cámara Chilena de la Construcción

Florín Moreno
Experto en Ventilación

REVISOR:

José Espinosa Robles
Jefe Subdepartamento Seguridad y Tecnologías en el Trabajo

D055-PR-50002-001
Versión 2. Post validación
2021

Para citar el presente documento:

Instituto de Salud Pública de Chile, "Guía para la Selección, Calibración y Mantenimiento de Instrumentos utilizados para Evaluar la Ventilación en Ambientes Laborales", versión 2, 2021.

Consultas o comentarios:

Sección OIRS del Instituto de Salud Pública de Chile, www.ispch.cl.

GUÍA PARA LA SELECCIÓN, CALIBRACIÓN Y MANTENCIÓN DE INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA EVALUAR LA VENTILACIÓN EN AMBIENTES LABORALES

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	4
2. OBJETIVO	4
3. ALCANCE	4
3.1. Alcance teórico	4
3.2. Población Objetivo	4
3.3. Población Usuaría	4
4. MARCO LEGAL	5
5. GENERALIDADES	5
6. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS	6
6.1. De acuerdo al parámetro de la ventilación que se desea medir	6
6.2. De acuerdo a las características del lugar laboral donde se desea medir	7
6.3. Especificaciones técnicas de los instrumentos	8
6.4. Cumplimiento de normativas internacionales	9
7. PLAN PARA LA CALIBRACIÓN Y MANTENCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS	10
7.1. Calibración de los instrumentos	10
7.2. Mantenimiento	12
7.3. Identificación y almacenamiento de los instrumentos	12
8. DEFINICIONES	13
9. REFERENCIAS	13
ANEXO I	14

1. ANTECEDENTES

Con el fin de generar ambientes de trabajo saludables desde el punto de vista del control de contaminantes, es importante evaluar el funcionamiento de la ventilación en los diversos rubros laborales que cuenten con sistemas de ventilación implementados.

La manera de evaluar la ventilación es mediante el análisis de sus parámetros característicos: **velocidad, presión y caudal**, para lo cual se efectúa la comparación entre los valores medidos en terreno y valores estándares (indicados en la normativa chilena vigente o recomendados por algún organismo internacional reconocido). Para hacer las mediciones es necesario contar con instrumentos que sean capaces de generar mediciones confiables y trazables, ya que estos servirán para tomar decisiones y acciones correctivas.

Bajo el contexto anteriormente mencionado, el Instituto de Salud Pública de Chile a través del Subdepartamento Seguridad y Tecnologías en el Trabajo, ha elaborado el presente documento para orientar en la selección, mantención y calibración de los instrumentos utilizados para la evaluación de la ventilación en ambientes laborales.

2. OBJETIVO

Establecer los criterios mínimos de **selección, mantenimiento y calibración** de instrumentos utilizados para evaluar la ventilación en ambientes laborales.

3. ALCANCE

3.1. Alcance teórico

Proporcionar recomendaciones para la selección, uso correcto, calibración y mantención de los instrumentos utilizados para medir los parámetros característicos de ventilación en los distintos ambientes laborales.

Los instrumentos que principalmente se utilizan para evaluar la ventilación en los ambientes laborales, y por tanto los que serán parte del alcance de este documento son anemómetros de *hélice*, *termoanemómetros*, *balómetros* y *micromanómetros digitales con tubos de Pitot estándar* (ver Anexo I).

3.2. Población Objetivo

Trabajadoras y trabajadores que se encuentran expuestos a contaminantes que deban ser controlados por medio del manejo de la ventilación en sus lugares laborales.

3.3. Población Usuaria

Profesionales del área de Prevención de Riesgos, higienistas ocupacionales u otros profesionales relacionados con temas de ventilación en ambientes de trabajo.

4. MARCO LEGAL

- 4.1. **Decreto Supremo N°594/1999**, Reglamento de las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, del Ministerio de Salud.
- 4.2. **Decreto Supremo N°72/1986**, Aprueba Reglamento de Seguridad Minera, del Ministerio de Minería.
- 4.3. **Decreto Supremo N°43/2015**, Aprueba Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas, del Ministerio de Salud.
- 4.4. **Resolución Exenta N°238/2015**, Aprueba Protocolo de Vigilancia del Ambiente y de la Salud de los Trabajadores con Exposición a Sílice, del Ministerio de Salud.

5. GENERALIDADES

La ventilación puede entenderse como el manejo de un volumen de aire para generar un ambiente con condiciones adecuadas en cuanto a la calidad del aire circundante en un lugar, con la finalidad tanto de proteger la salud de las y los trabajadores frente a la exposición a ciertos contaminantes como para generar condiciones de confortabilidad térmica.

En general, la ventilación puede darse de forma **natural**, es decir, flujos de aire producidos por diferencias de presión o de temperatura; o de forma **forzada** por la acción de ventiladores que inducen el movimiento artificial en un flujo de aire estanco (ventilación forzada). En los ambientes laborales, el manejo de aire y de la ventilación se realiza a nivel de volumen total del recinto o identificando lugares específicos que requieran controlar emisiones, con lo cual se definen los conceptos de **ventilación general** y **ventilación localizada**.

La **ventilación general** corresponde a la renovación o recambio de un volumen de aire por otro con mejores características en términos de la calidad del aire y se emplea principalmente para generar confort térmico en los ambientes de trabajo. Por otro lado, la **ventilación localizada** se define como la captura de un contaminante en el foco o en cercanías de la emisión, impidiendo que éste se disperse por el local de trabajo. Esta definición hace que sea el método ingenieril por excelencia para controlar la exposición a contaminantes químicos y biológicos. Independiente del tipo de ventilación que sea implementada en los lugares de trabajo, se debe dar cumplimiento a lo que estipula la normativa chilena vigente, la cual está regida por los siguientes cuerpos legales:

DS N°594/99 MINSAL

Se indican criterios generales para la ventilación en lugares laborales en los Artículos 32, 33, 34 y 35. Adicionalmente, el Artículo 99 se indica sensación térmica que experimenta una persona al estar expuesta a vientos (exposición a frío), en función de la velocidad y temperatura del aire.

DS N°72/86 MIN. MINERÍA

Respecto a la ventilación, en los Artículos 390 y 398 se establecen la velocidad y caudal de aire al interior de minas subterráneas, en función tanto de población laboral como de la concentración de polvos en el ambiente.

**DS N°43/2015
MINSAL**

Los Artículos 23, 26, 40 y 66 se refieren a la ventilación, ya sea forzada o natural, en bodegas de almacenamiento de sustancias peligrosas

**DS N°43/2015
MINSAL**

Los Artículos 23, 26, 40 y 66 se refieren a la ventilación, ya sea forzada o natural, en bodegas de almacenamiento de sustancias peligrosas.

6. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS

Los criterios de selección presentados a continuación deben ser aplicados en conjunto y de acuerdo a los requerimientos y condiciones de la evaluación de la ventilación en el lugar de trabajo.

6.1. Especificaciones técnicas de los instrumentos

Debido a la diversidad de lugares laborales, se tendrán diferentes condiciones de operación, desde el punto de vista de los parámetros de la ventilación. Por lo tanto, es recomendable seleccionar aquel instrumento que cumpla con un amplio rango, de modo que pueda abarcar los distintos lugares a evaluar.

De acuerdo a los instrumentos disponibles en el mercado, las especificaciones técnicas de éstos son las siguientes:

TERMOANEMÓMETRO

- **Rango de velocidad:** 0,15 – 30 m/s; 30 – 6000 pie/min
- **Exactitud:** 3 – 5% de la lectura
- **Resolución:** 0,01 m/s; 1 pie/min

**ANEMÓMETRO DE
HÉLICE**

- **Rango de velocidad:** 0,2 – 30 m/s; 40 – 6000 pie/min
- **Exactitud:** 3 – 5% de la lectura
- **Resolución:** 0,01 m/s; 1 pie/min

MICROMANÓMETRO

- **Rango de presión:** -2000 – 2000 mbar; -800 – 800 pulgadas c.a.
- **Exactitud:** 0,5 – 1% de la lectura
- **Resolución:** 0,1 – 1 mbar

BALÓMETRO

- **Rango de caudal:** 30 – 4000 m³/h; 20 – 2500 pie³/min
- **Exactitud:** 3% de la lectura
- **Resolución:** 1 m³/h; 1 pie³/min

6.2. De acuerdo al parámetro de la ventilación que se desea medir

Para medir los parámetros característicos de ventilación indicados en la Figura N°1 existen instrumentos específicos que los cuantifican; no obstante, en la actualidad un instrumento puede medir más de uno de estos parámetros, como se muestra en la Tabla N°1.

Figura N°1:

Parámetros medibles de la ventilación

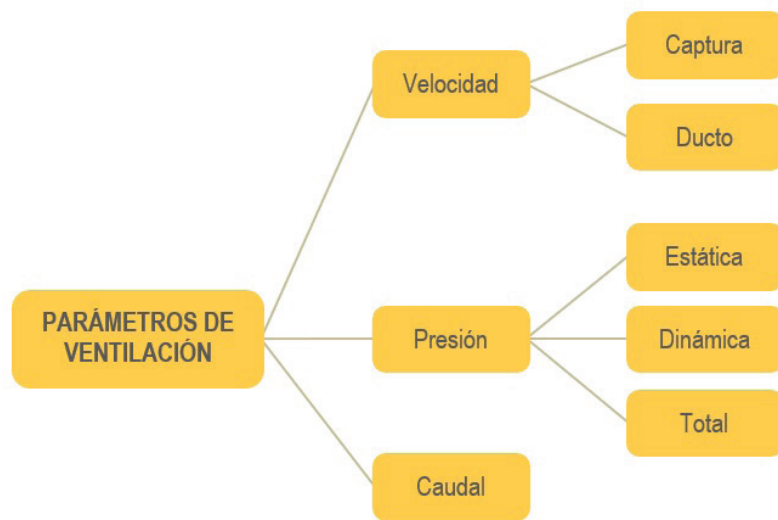


Tabla N°1:

Clasificación de los instrumentos de acuerdo a los parámetros de la ventilación

Instrumento	Velocidad		Presión			Caudal
	Captura	Ducto	Estática	Dinámica	Total	
Termoanemómetro	×	×				
Anemómetro de hélice ¹	×	×				
Micromanómetro			×	×	×	
Micromanómetro y tubo de Pitot		×	×	×	×	
Balómetro						×

1 Se puede aplicar siempre y cuando la sección donde se esté midiendo sea mucho mayor a la sección del sensor del instrumento (ver Punto 6.2).

6.3. De acuerdo a las características del lugar laboral donde se desea medir

En función al lugar laboral donde se efectuarán las mediciones, se debe tener en cuenta los siguientes criterios al momento de seleccionar el instrumento:

6.3.1. Espacio físico donde se medirá

La selección de un instrumento deber ser compatible con las dimensiones del lugar específico donde se quiera medir. En los ambientes laborales se pueden distinguir los siguientes espacios físicos:

CAMPO ABIERTO

Se refiere a lugares laborales donde el aire fluye por todo el volumen del recinto disponible o en la intemperie. En este caso, no existe un foco de emisión del contaminante que esté encerrado o exista una abertura de sección limitada que lo capte.

SECCIÓN LIMITADA

Se refiere a aquellos lugares donde el punto de medición está delimitado por una sección determinada. Por lo general, son áreas de entrada o salida del flujo de aire.

ENCERRAMIENTOS

Se refiere a aquellos lugares donde los puntos de medición se encuentran al interior de una estructura física. En estos casos, la fuente de emisión de contaminante se encuentra confinada.

Algunos ejemplos de estos lugares son:

CAMPO ABIERTO

- Frigoríficos
- Túneles de minería
- Almacenamiento de contenedores
- Estacionamientos
- Subestaciones eléctricas
- Etc.

SECCIÓN LIMITADA

- Inyectores de aire acondicionado
- Extractores de aire
- Abertura de campanas
- Bocas de ductos
- Etc.

ENCERRAMIENTOS

- Interior de campanas
- Interior de cabinas
- Interior de ductos
- Etc.

El instrumento puede producir perturbaciones en el flujo de aire, las cuales afectarían a las mediciones, por lo que su selección debe considerar minimizar este efecto. En la Tabla N°2 se recomiendan los instrumentos en función de los espacios físicos anteriormente mencionados.

Tabla N°2:

Clasificación de los instrumentos de acuerdo a los lugares de medición

Instrumento	Campo abierto	Encerramientos	Sección limitada
Termoanemómetro		×	×
Anemómetro de hélice ²	×		×
Micromanómetro	×	×	×
Micromanómetro y tubo de Pitot		×	
Balómetro			×

6.3.2. Condiciones ambientales del lugar laboral

Las condiciones ambientales en el lugar laboral donde se efectuarán las mediciones pueden influir de manera negativa en el sensor del instrumento, dañándolo y acortando su vida útil. Esto se refiere principalmente a la presencia de agentes químicos y biológicos como también a las condiciones de temperatura y humedad de los lugares laborales.

En el caso de la temperatura, las condiciones de frío o calor extremos pueden afectar la forma y funcionalidad de los sensores de los instrumentos si el material de fabricación de éstos no resiste estas condiciones. Además, en el caso del termoanemómetro, el principio su funcionamiento está basado en la transferencia de calor entre el flujo de aire y la superficie del sensor, por lo que una diferencia de temperatura pronunciada puede afectar el normal funcionamiento.

En el caso de los contaminantes químicos, el sensor puede sufrir daños si el flujo de aire contiene sustancias **abrasivas, corrosivas u oxidantes**, entre otros. Por lo tanto, se debe considerar el material de fabricación del sensor y analizar si es resistente a los contaminantes presentes en la zona de medición. Por otro lado, contaminantes biológicos no provocan daño alguno en los sensores de los instrumentos³. No obstante, es recomendable programar una limpieza una vez hayan finalizado las mediciones, con la finalidad de evitar que proliferen microorganismos a partir de los residuos que puedan haberse adherido en la superficie del sensor, de acuerdo con las indicaciones del fabricante.

Es importante indicar que en el manual del fabricante del equipamiento se deben especificar las condiciones óptimas de uso en función de parámetros como: temperatura ambiental, humedad y tipos de atmósferas⁴, entre otros.

6.4. Cumplimiento de normativas internacionales

En el ámbito de la instrumentación para la evaluación de los parámetros de la ventilación no existe normativa específica que rija tanto la manufactura como su funcionamiento⁵. Sin embargo, existen criterios genéricos desde el punto de vista de compatibilidad electromagnética, clasificadas en las normas IEC, las cuales pueden tenerse en consideración al momento de seleccionar un instrumento por sobre otro.

2 En el caso de sección limitada, el uso de este instrumento solo puede ser posible si la sección del sensor es igual a la del ducto, de modo que el flujo de aire pase completamente por la sección del sensor.

3 En el caso del tubo de Pitot, podría generarse un taponamiento en caso que el contaminante biológico sea sólido.

4 Esto se refiere a atmósferas con presencia de agentes corrosivos, oxidantes, reductores, abrasivos entre otros.

5 Para el caso del Tubo de Pitot existen criterios de diseño de acuerdo a la normativa ISO 3966:2007

7. PLAN PARA LA CALIBRACIÓN Y MANTENCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

La calendarización de estas actividades permite organizar los tiempos destinados a la mantención y calibración de los equipos, de modo que no interfiera con el desarrollo de las mediciones a realizar.

7.1. Calibración de los instrumentos

El proceso de calibración corresponde a la comparación de las mediciones del instrumento con las mediciones de un patrón, incluyendo las incertidumbres asociadas a cada medición. Respecto a este proceso, se deben considerar los siguientes puntos:

7.1.1. Certificado de calibración inicial

Cada instrumento nuevo adquirido debe incluir un **certificado de calibración inicial o de fábrica** el cual, para asegurar la trazabilidad de las mediciones, debe haber sido emitido por un laboratorio con las características descritas en 7.1.2.

7.1.2. Laboratorio de calibración

El laboratorio debe definir el alcance de sus servicios de calibración, estableciendo los procedimientos estandarizados correspondientes para la verificación de la calibración del instrumento en específico⁶. Estos procedimientos deben ser acreditados bajo la normativa internacional ISO 17025 (en Chile esta acreditación la hace el INN), o en su defecto, contar con reconocimiento equivalente del país o región de origen o por una institución reconocida internacionalmente, como por ejemplo ENAC en España o COFRAC en Francia.

Es importante hacer hincapié que la acreditación está asociada al alcance que tenga el laboratorio, ya sea para los procedimientos como para los parámetros de ventilación del instrumento, teniendo en cuenta el rango sobre el cual se trabaja, ya que la trazabilidad y confiabilidad de las mediciones será válida en ese rango.

7.1.3. Contenido del certificado de calibración

El certificado de calibración es un documento que resume la información del proceso de la verificación del servicio de calibración. Según la norma ISO 17025, este documento debe incluir lo siguiente:

- Título que defina el documento, por ejemplo “Certificado de Calibración”.
- Nombre y dirección del laboratorio.
- Lugar en que se realizan las actividades del laboratorio.
- Identificación única de que todos los componentes que conforman el certificado se reconocen como una parte de un informe completo y una clara identificación del final.
- Nombre e información de contacto del cliente.
- Descripción, identificación inequívoca y, cuando sea necesario, la condición del instrumento y componentes.
- Fechas de recepción del instrumento y sus componentes, de ejecución del proceso de verificación y fecha de emisión del certificado.

6 Un mismo laboratorio puede acreditarse para la verificación de la calibración de más de uno de los instrumentos mencionados. Debe tener un procedimiento para cada uno de éstos.

- Declaración acerca de que los resultados se relacionan solo con el instrumento sometido a la verificación de la calibración⁷.
- Resultados con las unidades de medición, cuando corresponda.
- Adiciones, desviaciones o exclusiones del método de calibración utilizado.
- Identificación de las personas que autorizan el certificado.
- Información de la incertidumbre⁸ de medición presentado en la misma unidad que la unidad del parámetro (mensurando) o en un término relativo a dicha unidad, como por ejemplo porcentaje.
- Información de condiciones en las que se hizo la verificación de la calibración.
- Declaración que identifique cómo las mediciones son trazables metrológicamente, de acuerdo al Anexo A de la norma 17025.
- Resultados antes y después de cualquier ajuste o reparación del instrumento, siempre que sea posible.
- Declaración de conformidad con los requisitos o especificaciones, indicando claramente sobre qué resultados se aplica, qué especificaciones, normas o partes de ésta se cumplen y la regla de decisión aplicada, cuando sea pertinente.
- Opiniones e interpretaciones, emitidas por personal autorizado por el laboratorio y se deben basar en los resultados, cuando sea apropiado.

7.1.4. Frecuencia de la calibración

De acuerdo con la norma ISO 17025, la frecuencia de calibración es decidida por el usuario del instrumento, por lo que éste deberá establecer un criterio con bases. Sin embargo, se establecerá que estos certificados tendrán una validez de máximo dos años. No obstante, en el caso de que existan sospechas de mal funcionamiento del instrumento derivadas del deterioro físico del sensor o de otro componente, producidos por golpes o exposición a ambientes no recomendados u otro factor se requerirá de una calibración antes del cumplimiento de la fecha límite de validez del certificado.

7.1.5. Verificación de mediciones

De manera opcional, si se cuenta con recursos tales como equipos e infraestructura para generar flujos de aire, puede ser recomendable que el usuario del instrumento verifique las mediciones como una forma de estimar la deriva de un instrumento o en caso de sospechas de mal funcionamiento.

Básicamente, es necesario contar con un medidor del parámetro que se desea verificar, del cual se pueda demostrar trazabilidad (por ejemplo, otro instrumento del mismo tipo que sea similar en características) y para el diseño de una infraestructura en donde se efectuarán las mediciones se recomienda consultar bibliografía especializada, como ACGIH⁹, y que esta sea acorde al tipo de instrumentos, tomando como referencia lo descrito en el punto 6 del presente documento.

El objetivo de esta verificación es comparar las lecturas obtenidas de la medición del instrumento bajo sospecha y del medidor utilizado.

7 Algunos instrumentos pueden medir más de un parámetro, por lo que debe estar explícito cada uno en certificados por separado.

8 Se debe indicar si la incertidumbre reportada corresponde a la del proceso o al instrumento.

9 Del inglés, American Conference of Governmental Industrial Hygienists

7.2. Mantenimiento

En relación a la mantención de los instrumentos, se debe contemplar como mínimo los siguientes requerimientos, los cuales se recomienda chequear antes de utilizar el instrumento y al finalizar la jornada de mediciones:

7.2.1. Verificación de la integridad física de cada componente del instrumento

Corresponde a la inspección visual del instrumento, con el fin de verificar los siguientes puntos:

- Verificación de componentes originales.
- Identificación de golpes, abolladuras u otra anomalía en los componentes.
- Verificación de cambios estructurales a raíz de la acción de compuestos químicos.

7.2.2. Limpieza del instrumento

En el caso que las mediciones hayan sido efectuadas en lugares laborales con presencia de agentes químicos o biológicos, los cuales puedan haber quedado adheridos al instrumento.

7.3. Identificación y almacenamiento de los instrumentos

Con el fin de llevar un registro de cada uno de los instrumentos, se debe contemplar lo siguiente:

7.3.1. Ficha técnica específica del instrumento

Esta ficha se debe confeccionar teniendo en cuenta, como mínimo, los siguientes datos:

- Número de codificación interna. La codificación debe ser visible y única para cada instrumento.
- Especificaciones técnicas del instrumento. Tipo de equipo, Marca, Modelo y Número de serie.
- Historial de mantenimientos.
- Historial de calibraciones.
- Indicar si el instrumento está “en uso” o “fuera de servicio”¹⁰

Adicionalmente, debe ser accesible y actualizable. Puede ser en formato físico o digital.

7.3.2. Lugar para almacenar los instrumentos

Este lugar de almacenamiento debe reunir las condiciones mínimas para asegurar la integridad del equipo cuando no estén siendo usados, de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

10 Los instrumentos fuera de servicio deberán estar almacenados separados de los que estén operativos, para evitar confusiones.

8. DEFINICIONES

- 8.1. Velocidad: Corresponde a la magnitud física o rapidez con la cual el aire se desplaza de un lugar a otro, ya sea en campo abierto o a lo largo de un tramo de ductos.
- 8.2. Velocidad de captura: Es la velocidad del aire en el entorno de una captación a distancia o en la sección abierta de una captación, la cual se opone a las corrientes de aire siendo capaz de capturar el contaminante y transportarlo hacia la captación.
- 8.3. Velocidad de ducto: Es la velocidad del aire con la cual escurre al interior de una red de ductos. No confundir con velocidad de transporte.
- 8.4. Velocidad de transporte: Velocidad mínima a la cual debe escurrir el aire en los ductos para asegurar el arrastre de los contaminantes e impedir la acumulación de estos durante el recorrido.
- 8.5. Presión: Corresponde a la fuerza que ejerce el aire sobre un objeto por unidad de área.
- 8.6. Presión Estática: Es la presión que ejerce un fluido sobre un objeto al estar inmerso en él. Se ejerce en todas las direcciones. Cuando el flujo de aire está en movimiento, la presión estática se mide perpendicularmente a su desplazamiento. Ésta puede ser positiva o negativa.
- 8.7. Presión Dinámica: También se denomina presión de velocidad y es la presión que ejerce un fluido sobre un objeto debido a su velocidad. Esta presión es siempre positiva.
- 8.8. Presión Total: Es la suma algebraica de la presión estática más la presión dinámica. Esta puede ser positiva o negativa.
- 8.9. Caudal: Corresponde a la cuantificación de un volumen de aire determinado por unidad de tiempo.

9. REFERENCIAS

- 9.1. Instituto de Salud Pública de Chile, “Guía para la Evaluación Cualitativa de Sistemas de Ventilación Localizados”, Chile, 2012.
- 9.2. Instituto de Salud Pública de Chile, “Guía para la Evaluación Cuantitativa de Sistemas de Ventilación Localizada”, Chile, 2013.
- 9.3. Normativa ISO 3966:2007, “Measurements fluid flow in closed conduits – Velocity area method using Pitot static tubes”.
- 9.4. Instituto de Salud Pública, “Instrumentación para la Caracterización de los Sistemas de Ventilación en Ambientes Laborales”, Chile, 2017

ANEXO I

DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

A. Anemómetro de hélice

Este instrumento es utilizado para medir de forma directa la velocidad del aire en diversos ambientes laborales, consta de una hélice montada en un eje de rotación horizontal, la cual está rodeada por una estructura circular abierta axialmente para permitir que el flujo de aire pase a través de ella y registrar una lectura. La hélice está conectada a un dispositivo de control del instrumento, el cual incluye una pantalla para visualizar las lecturas de cada medición, como se muestra en la Figura N°4.

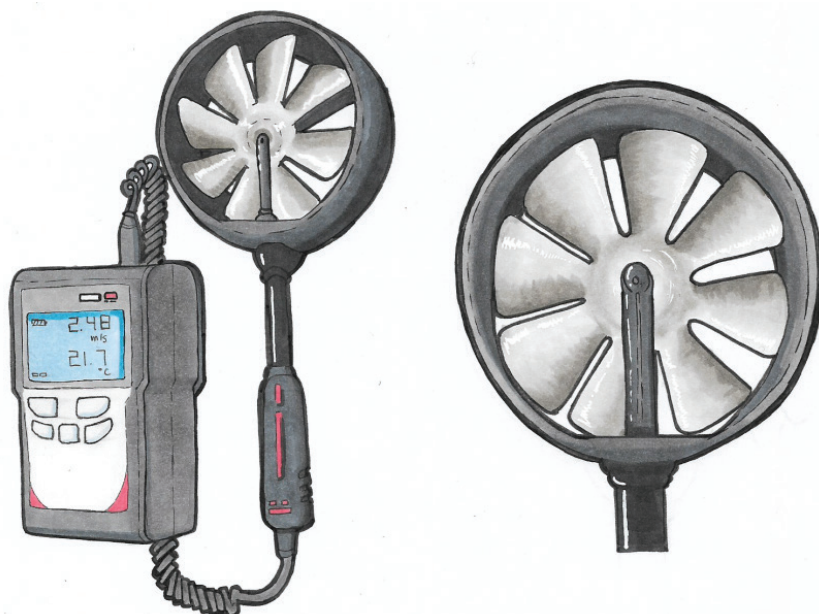


Figura N°4:
Anemómetro de hélice (figura de referencia)

El paso constante del flujo de aire provoca la rotación de la hélice sobre el eje en el cual se encuentra montada. De esta forma, el dispositivo de medición establece una relación entre las revoluciones por minuto producidas por la continua rotación del eje con la velocidad lineal del flujo de aire que está pasando.

B. Termoanemómetros

Este instrumento se utiliza para medir directamente la velocidad del aire, y adicionalmente puede dar lecturas de temperatura, humedad y caudal, dependiendo de la complejidad del instrumento. Consiste en un filamento dispuesto en un extremo del instrumento, el cual está conectado a un dispositivo con pantalla que muestra las lecturas del parámetro medido, como se muestra en la Figura N°5.

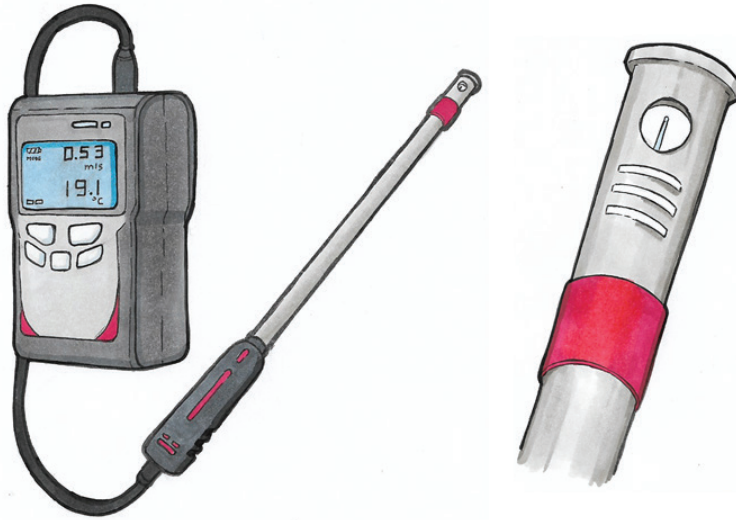


Figura N°5:

Termoanemómetro (figura de referencia)

El filamento es calentado eléctricamente y es expuesto a un flujo de aire de menor temperatura, transfiriéndose calor desde el elemento calefaccionado hacia el flujo de aire. El enfriamiento del alambre provoca un cambio en la conductividad eléctrica del alambre y, por tanto, una diferencia de potencial detectada por un sistema de compensación basado en resistencias eléctricas; este sistema envía corriente al alambre para que alcance su temperatura inicial. La diferencia de potencial resultante se traduce en una lectura de la velocidad del aire circundante.

C. Balómetro o Caudalímetro

Este instrumento mide el caudal directamente proveniente de inyecciones de aire. Está constituido por una estructura circular, en donde está montado un sistema de numerosos tubos de Pitot. Para asegurar una lectura de caudal correcta, cuenta con una estructura de encerramiento de sección convergente que permite el ordenamiento del flujo de aire hacia el sistema de medición, como se muestra en la Figura N°6.

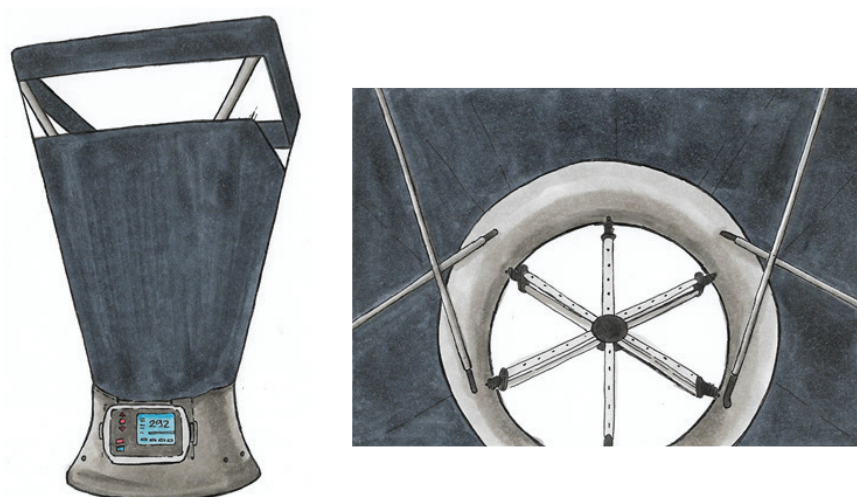


Figura N°6:

Balómetro o Caudalímetro (figura de referencia)

Los tubos de Pitot presentes en este instrumento están conectados a un sistema de sensores que miden el caudal para distintas áreas de inyección, gracias a que cuenta con adaptadores de distinto ángulo, los cuales están afectos a un coeficiente determinado de pérdidas de carga. Luego, la lectura se registra en la pantalla digital del balómetro.

D. Micromanómetro

Este instrumento es multifuncional, pudiendo medir directamente la velocidad y presión del aire. Cuenta con dos entradas superiores para acoplar un dispositivo o accesorio adecuado para realizar la medición como por ejemplo un tubo de Pitot. En la Figura N°7 se muestra un ejemplo de micromanómetro.

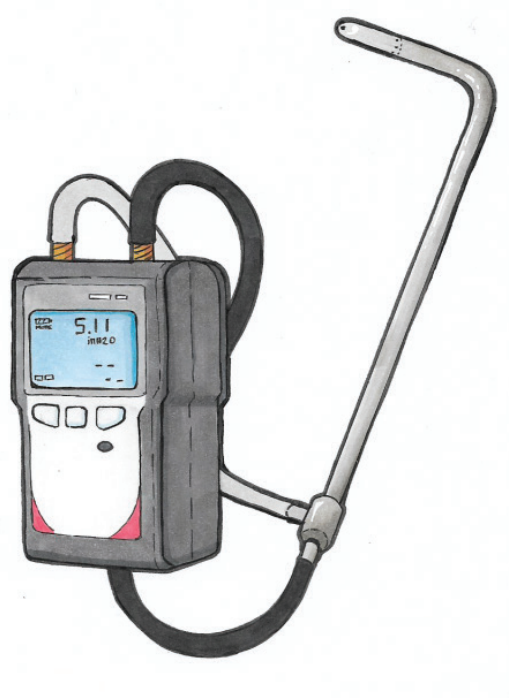


Figura N°7:

Micromanómetro (figura de referencia)

Este tipo de manómetro cuenta con una pantalla digital que da la lectura de las mediciones realizadas, de acuerdo al efecto que el aire tiene en el mecanismo interno.

Como se mencionó, generalmente los micromanómetros se acoplan a tubos de Pitot en su forma estándar, el cual consiste en dos tubos concéntricos con dos salidas inferiores para acoplarlos al medidor de presión (Figura N°7), como se muestra en la Figura N°8.

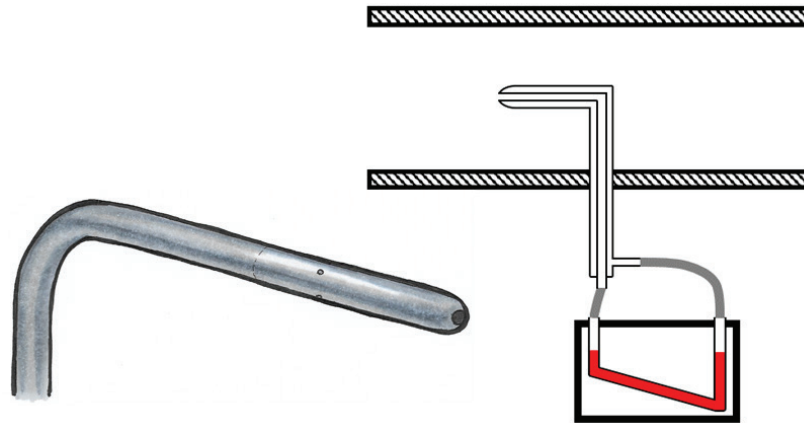


Figura N°8:
Tubo de Pitot

El tubo central tiene una perforación frontal que es por donde impacta el flujo de aire, obteniéndose así la presión total en el manómetro; por otro lado, el tubo exterior al central tiene un conjunto de perforaciones radiales perpendiculares al sentido del flujo de aire, por las cuales ingresa el aire llenándolo y de este modo se detecta la presión estática en el manómetro. Finalmente, el medidor de presión da una lectura de presión dinámica aire.