

Lección 5

Instrumentos meteorológicos

Meta

Familiarizar al lector con los instrumentos meteorológicos que sirven para medir y registrar las variables atmosféricas de velocidad, dirección del viento, temperatura, radiación solar y altura de mezcla, estas son las variables útiles para los estudios de contaminación del aire en exteriores.

Objetivos

Al completar esta lección, el lector estará capacitado para:

1. Enumerar las cuatro variables meteorológicas claves para los estudios de contaminación del aire en exteriores.
2. Identificar dos tipos de instrumentos para medir la velocidad del viento y describir brevemente cómo opera cada uno.
3. Identificar un instrumento para medir la dirección del viento y describir brevemente cómo opera.
4. Describir cómo se deben ubicar los instrumentos y la importancia de hacerlo en un lugar adecuado.
5. Describir cómo se mide la radiación solar.
6. Describir cómo se miden las alturas de mezcla.
7. Explicar la importancia de mantener un plan de aseguramiento (del inglés *assurance*) de la calidad.

Introducción

Para entender y predecir el transporte y la dispersión de los contaminantes del aire en exteriores es importante comprender los procesos atmosféricos básicos que influyen en los contaminantes de la atmósfera. La medición y el registro de las variables meteorológicas permite obtener información necesaria para controlar la descarga de los contaminantes del aire en la atmósfera y para comprender el transporte y la dispersión de los contaminantes emitidos al aire. Estas variables pueden servir para hacer predicciones cualitativas y cuantitativas sobre las concentraciones de contaminantes en el aire en exteriores.

Las variables meteorológicas que influyen en el transporte y la dispersión del aire incluyen la intensidad de la turbulencia atmosférica y la velocidad y la dirección del viento. La intensidad de la turbulencia atmosférica generalmente se conoce como *estabilidad atmosférica*. En la lección 6, se presenta una caracterización de la estabilidad atmosférica para los modelos de la dispersión atmosférica, incluida la medición de la temperatura, la intensidad de la radiación solar y la velocidad del viento. La altura de mezcla, otra variable atmosférica que influye en el transporte y la dispersión de los contaminantes del aire, generalmente se calcula a partir de los datos reportados a través de radiosondas (una radiosonda es un instrumento transportado por globos que mide las variables atmosféricas y transmite los datos a una estación en la tierra, donde se crea un perfil de la atmósfera).

El tema central de esta lección será revisar el instrumental requerido para medir las variables meteorológicas más útiles en los estudios de contaminación del aire; es decir, la velocidad y la dirección del viento, la temperatura ambiental y la diferencia de la temperatura vertical, la radiación solar y la altura de mezcla.

Se dispone de varios sistemas para medir estos parámetros atmosféricos. La elección de los sensores apropiados depende del tipo de aplicación que se les dará a los datos. Además de los sensores, podrán necesitarse otros equipos para el condicionamiento de la señal y la grabación y tal vez, para el registro electrónico de los datos. Para asegurar la recolección de datos representativos, es necesario seguir rigurosos procedimientos de identificación, instalación y mantenimiento de los instrumentos.

Velocidad del viento

Si bien el viento es una cantidad vectorial y se puede considerar una variable primaria por naturaleza, por lo general en velocidad (la magnitud del vector) y dirección (la orientación del vector) se consideran variables independientes. La velocidad del viento determina la cantidad de dilución inicial que experimenta una pluma. Por lo tanto, la concentración de contaminantes en una pluma está directamente relacionada con la velocidad del viento. Esta también influye en la altura de la elevación de la pluma después de ser emitida. A medida que la velocidad del viento aumenta, la elevación de la pluma disminuye al ser deformada por el viento. Esto hace

que disminuya la altura de la pluma, que se mantiene más cerca del suelo y puede causar un impacto a distancias más cortas a sotavento. Por lo general, la velocidad del viento se usa junto con otras variables para derivar las categorías de la estabilidad atmosférica usadas en las aplicaciones de los modelos de la calidad del aire.

Los dos principales tipos de instrumentos usados para medir la velocidad del viento son el **anemómetro rotativo de cubeta** y el anemómetro de hélice (ilustrado en la figura 5-1). Ambos tipos de anemómetros constan de dos subconjuntos; el sensor y el transductor. El sensor es el dispositivo que rota por acción de la fuerza del viento. El transductor es el que genera la señal que se grabará. Un paquete completo de instrumentos también puede incluir un sistema electrónico para captar y grabar las señales electrónicas que genera el transductor. Por ejemplo, es probable que se necesite acondicionar la señal de modo que produzca una cantidad reportable. Para ello se debe usar un acondicionador de señal. Por último, para usar la señal acondicionada, esta deberá ser registrada y/o grabada a través de grabadores y registradores.

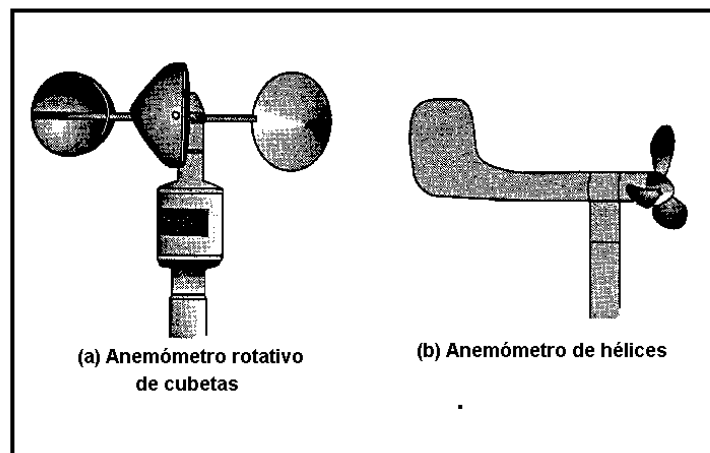


Figura 5-1. Dos tipos de anemómetros

Anemómetros rotativos de cubetas

El anemómetro rotativo de cubetas generalmente consta de tres cubetas cónicas o hemisféricas montadas simétricamente sobre un eje vertical de rotación. La tasa de rotación de las cubetas generalmente es lineal sobre el rango normal de medidas, con una velocidad lineal del viento de aproximadamente 2 a 3 veces la velocidad lineal de un punto en el centro de una cubeta, según sea su ensamblaje.

Anemómetros con paletas de orientación y hélices con montura fija

El **anemómetro con paletas de orientación** [figura 5-1 (b)] consta generalmente de una hélice de dos, tres o cuatro paletas radiales que rota sobre un eje de giro horizontal frente al viento. Existen varios anemómetros de hélice que emplean moldes ligeros de plástico o de espuma de poliestireno para que las paletas de la hélice alcancen bajas velocidades umbrales al inicio. Algunos anemómetros de hélice no tienen paletas móviles (véase la figura 5-2). En cambio, para determinar los componentes vectoriales (esto es, la velocidad y la dirección) del viento horizontal se usan hélices ortogonales de montura. Para determinar el componente vertical del viento, se puede emplear una tercera hélice con una montura fija que gira sobre un eje vertical.

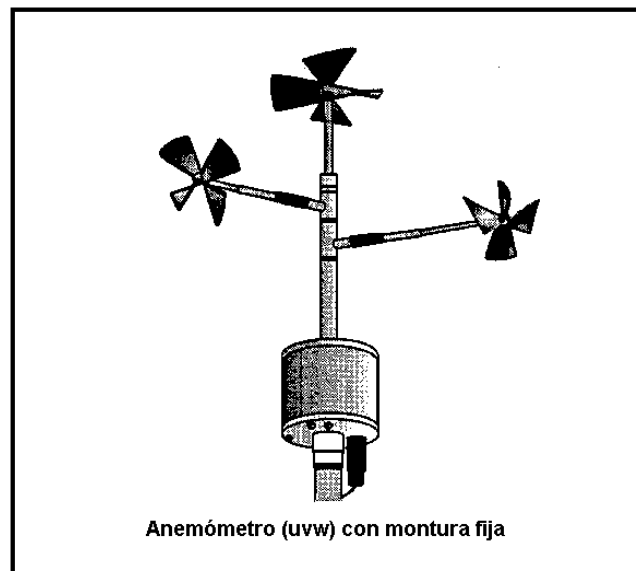


Figura 5-2. Anemómetro (uvw) con montura fija

Transductores de velocidad del viento

Existen varios mecanismos para convertir la tasa de rotación de las cubetas o hélices en una señal eléctrica adecuada para el registro y/o procesamiento. La selección de un transductor depende de la naturaleza del programa de monitoreo –es decir, del grado de sensibilidad requerido y del tipo de registro o lectura de datos que se necesita. Los cuatro transductores más utilizados son: el generador DC, el AC, el contacto eléctrico y el rayo luminoso interrumpido. Muchos tipos de generadores DC y AC de uso frecuente tienen algunas limitaciones para lograr un nivel umbral bajo y respuestas rápidas. Es importante usar instrumentos con bajos niveles umbrales al inicio como los anemómetros que emplean generadores DC miniaturizados. Los transductores con generadores AC eliminan la fricción de

la escobilla pero se debe diseñar cuidadosamente el circuito de acondicionamiento de la señal para evitar la alteración de las oscilaciones en la señal de salida que se puede producir ante velocidades bajas del viento.

Los transductores de **contacto eléctrico** se usan para medir el pasaje total del viento (flujo continuo del viento) en lugar de velocidades instantáneas, y se pueden emplear para determinar la velocidad promedio del viento en un determinado período. En general, no se recomienda usar estos dispositivos en los estudios sobre dispersión de contaminantes del aire. El transductor de **rayo luminoso interrumpido** (troceador de luz) generalmente se usa en aplicaciones de calidad del aire porque presenta menos fricción y, por lo tanto, es más sensible a velocidades menores del viento. Este tipo de transductor usa un eje o disco ranurado, un emisor y un detector de imágenes. El ensamblaje de la cubeta o hélice hace rotar el eje o disco ranurado, con lo que crea un pulso cada vez que la luz pasa a través de una ranura y llega al detector de imágenes.

La frecuencia de salida de un generador AC o transductor troceador de luz se puede transmitir a través de un acondicionador de señal y convertirse en una señal analógica para diversos dispositivos de registro, tales como el registrador continuo de banda de papel o de multipuntos, o de un convertidor analógico digital (A/D) a un registro digital con microprocesador. Varios registradores modernos de datos pueden aceptar directamente la señal por el tipo de frecuencia y, de este modo es posible eliminar la necesidad de un acondicionamiento adicional de la señal. El diseño de un programa de monitoreo debe incluir el registro y el procesamiento de datos.

Dirección del viento

Por lo general, la dirección del viento se define como la orientación del vector del viento en la horizontal. Para propósitos meteorológicos, la dirección del viento se define como la dirección desde la cual sopla el viento, y se mide en grados en la dirección de las agujas del reloj a partir del norte verdadero. Por ejemplo, un viento del oeste sopla del oeste, a 270° del norte. Un viento del norte sopla desde una dirección de 360°. La dirección del viento determina la del transporte de una pluma emitida.

Paletas de viento

El instrumento más común para medir la dirección del viento es la paleta de viento. Las paletas de viento señalan la dirección desde la cual este sopla. Pueden ser de formas y tamaños diferentes: algunas con dos platos juntos en sus aristas directas y dispersas en un ángulo (paletas separadas), otras con un solo platillo plano o una superficie aerodinámica vertical. Por lo general, son de acero inoxidable, aluminio o plástico. Al igual que con los anemómetros, se debe tener cuidado al seleccionar un sensor a fin de asegurar una durabilidad y sensibilidad adecuadas para una determinada aplicación. La figura 5-3 muestra ejemplos de paletas de viento.

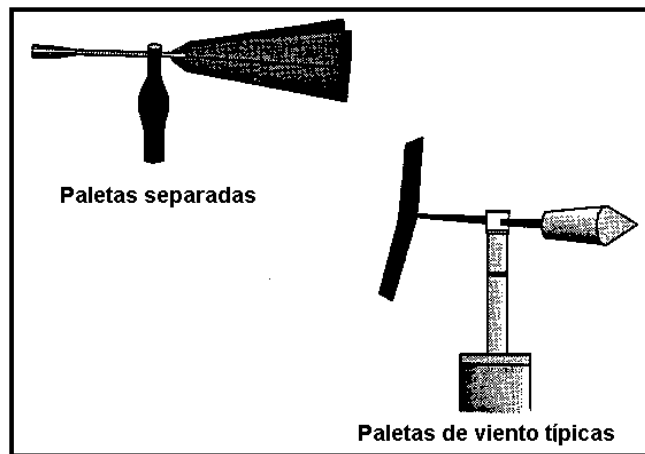


Figure 5-3. Paletas de viento

Los componentes horizontales (azimuth) y verticales (elevación) de la dirección del viento se pueden medir con una paleta bidireccional. Por lo general, esta paleta consta de una aleta anular y dos aletas planas perpendiculares entre sí, contrapesadas y montadas sobre un cardán de modo que cada una puede rotar libremente, tanto en sentido horizontal como vertical.

Anemómetros de hélice con montura fija

Otro método para medir la dirección horizontal y/o vertical del viento es mediante anemómetros de hélice de montura fija (mencionados anteriormente). La dirección horizontal del viento se puede determinar mediante programas de cómputo a partir de los componentes ortogonales de la velocidad del viento. La velocidad vertical también puede ser medida al agregar una tercera hélice montada verticalmente. Este dispositivo generalmente se conoce como anemómetro UVW.

Transductores de dirección del viento

Muchos transductores del tipo conmutador simple se valen del contacto del cepillo para dividir la dirección del viento en 8 ó 16 sectores del compás. Sin embargo, para el estudio de la calidad del aire es mejor usar transductores que provean al menos una resolución de 10° (36 sectores del compás) en la medición de la dirección del viento.

Un transductor comúnmente usado para las aplicaciones de los modelos de la calidad del aire es el **potenciómetro**. El voltaje del potenciómetro varía directamente con la dirección del viento. Un potenciómetro es un resistor variable. Cuando la dirección del viento cambia, el eje de la paleta del viento se mueve y hace que la resistencia del potenciómetro varíe. Esta modificación está directamente relacionada con la dirección del viento.

Ubicación y exposición de los instrumentos de medición del viento

Para obtener datos meteorológicos representativos en los estudios sobre la contaminación del aire es clave la ubicación adecuada de los instrumentos. Estos se deben colocar lejos de obstrucciones que puedan influir en las mediciones. No se debe permitir que consideraciones secundarias, como la accesibilidad y la seguridad, comprometan la calidad de los datos.

La altura estándar de exposición de los instrumentos de viento en un terreno abierto es 10 m sobre el suelo. El terreno abierto se define como una área donde la distancia entre el instrumento y cualquier obstrucción (árboles, edificios, etc.) es al menos 10 veces la altura de la obstrucción (véase la figura 5-4). En los casos en que las descargas de emisión se producen generalmente sobre 10 m, es probable que se requieran mediciones adicionales del viento en mayores elevaciones. Se deberían establecer alturas adecuadas de medición a partir de cada caso y según la aplicación. Se recomienda, en lo posible, colocar los instrumentos de viento sobre una torre de rejas. Además, se deben ubicar en la parte superior de esta o, si están en un lado de la torre, se deben ubicar en botavaras a una distancia de al menos dos veces el diámetro/diagonal de la torre, extendidas hacia afuera en dirección del viento prevalente (véase la figura 5-5).

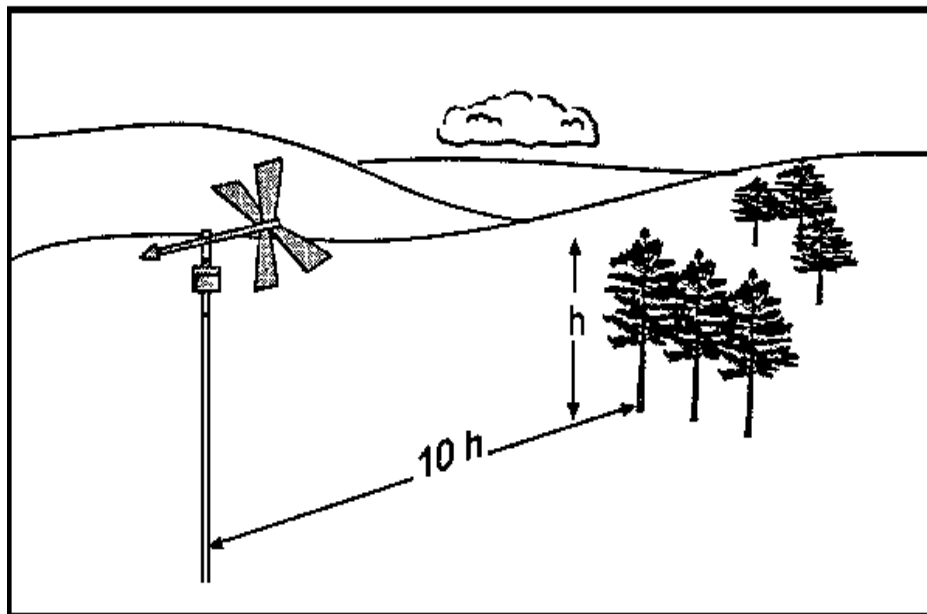


Figura 5-4. Criterios de distancia para la ubicación de los instrumentos de medición del viento.

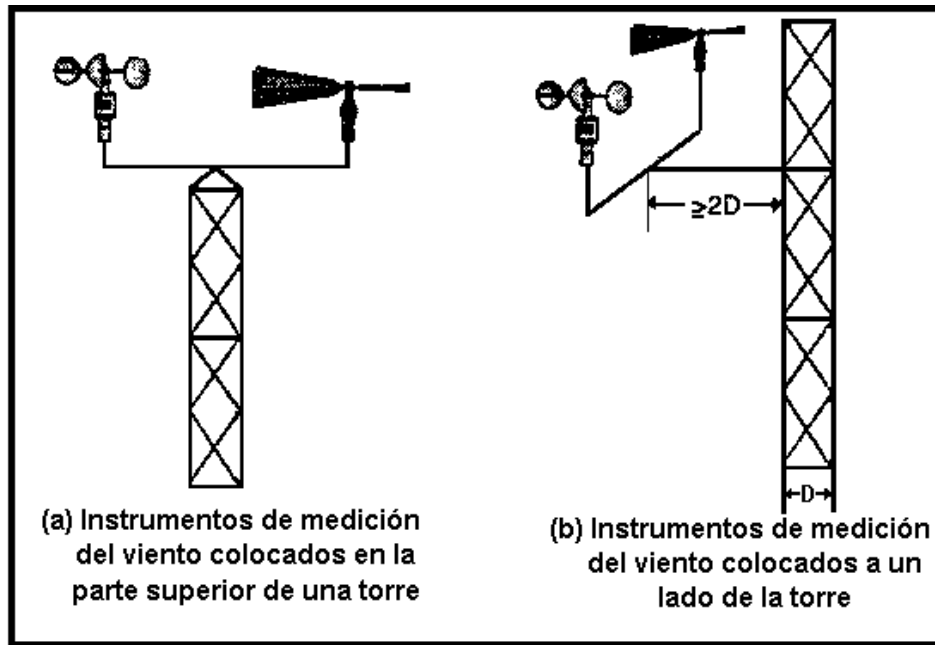


Figure 5-5. Ubicaciones recomendadas para colocar los instrumentos de viento

La temperatura y la diferencia de la temperatura

Para los estudios de contaminación del aire son útiles tanto la temperatura del aire ambiental en un solo nivel (generalmente 1,5 a 2 m sobre el suelo) como la diferencia de temperatura entre dos niveles (generalmente 2 m y 10 m). Estas medidas sirven para realizar cálculos sobre la elevación de la pluma y para determinar la estabilidad atmosférica.

Clases de sensores de temperatura

Las tres clases principales de sensores de temperatura se basan en: (1) la expansión térmica, (2) el cambio de resistencia y (3) las propiedades termoeléctricas de diversas sustancias como una función de la temperatura. Los termómetros de mercurio y alcohol son ejemplos comunes de sensores de expansión térmica. Sin embargo, su valor es limitado en redes de monitoreo in situ o remotas debido a que no tienen la capacidad de registrar datos automatizados.

Un tipo de sensor común en los programas de medición meteorológica in situ es el **detector de temperatura por resistencia (DTR)**. El DTR opera sobre la base de los cambios de resistencia de ciertos metales, principalmente el platino o el cobre, como una función de la temperatura. Estos dos metales son los más usados porque su resistencia muestra un aumento rigurosamente lineal con el incremento de la temperatura. Otro tipo de termómetro de cambio de resistencia es el **termistor**, hecho a partir de una mezcla de óxidos metálicos fusionados entre sí. Por lo general, el termistor arroja un cambio de

resistencia con la temperatura mayor que el DTR. Como la relación entre la resistencia y la temperatura para un termistor no es lineal, estos sistemas generalmente están diseñados para usar una combinación de dos o más termistores y resistores fijos que permitan obtener una respuesta casi lineal sobre un rango específico de temperatura.

El principio de operación de los sensores termoeléctricos es el flujo de corriente eléctrica entre dos metales diferentes y depende de la temperatura. La instalación de tales sensores, llamados termopares, exige requerimientos especiales para evitar corrientes de inducción de fuentes cercanas de corriente alterna que podrían ocasionar errores en la medición. Los termopares también son susceptibles al voltaje espurio causado por la humedad. Por estas razones, su uso es limitado en las mediciones rutinarias de campo.

Diferencia de temperatura

Los requisitos básicos de los sensores destinados a medir la diferencia de la temperatura vertical son fundamentalmente iguales para todas las mediciones de temperatura ambiental. Sin embargo, para lograr una medición con la exactitud deseada se requieren sensores acoplados y una calibración cuidadosa.

Ubicación y exposición de los instrumentos para medir la temperatura y la diferencia de temperatura

La temperatura del aire ambiental (superficial) se debe medir a una altura de 2 m. La altura estándar para medir la diferencia de temperatura es 2 y 10 m. Si los niveles de emisión son considerables, puede ser apropiado efectuar mediciones adicionales de la temperatura en elevaciones más altas. Estas elevaciones estarían determinadas según el caso y la aplicación. El sensor de la temperatura se debe ubicar en una área abierta, plana y bien ventilada de al menos 9 m de diámetro. Además, los sensores de temperatura se deben colocar a una distancia de al menos cuatro veces la altura de cualquier obstrucción y al menos a 30 m de áreas pavimentadas amplias. La superficie donde se localice el sensor debe estar cubierta por una capa natural de tierra o pasto y estar lejos de áreas con agua estancada. Los instrumentos deben estar blindados para protegerlos de la radiación térmica y bien ventilados con sistemas apropiados.

Radiación solar

La radiación solar está relacionada con la estabilidad de la atmósfera. Los datos sobre la cobertura y la altitud de las nubes (altura de la base de la cima de la nube que obscurece casi la mitad del cielo) proporcionan una estimación indirecta de los efectos de la radiación solar y se

usan junto con la velocidad del viento para derivar una categoría de estabilidad atmosférica.

El instrumento más usado en la medición de la radiación solar es el piranómetro, ilustrado en la figura 5-6. El **piranómetro** mide la radiación directa y difusa sobre una superficie horizontal. Consta de un pequeño disco plano con sectores pintados alternativamente de blanco y negro. Cuando el aparato es expuesto a la radiación solar, los sectores negros se vuelven más cálidos que los blancos. Esta diferencia de temperatura se puede detectar electrónicamente. Se produce un voltaje eléctrico proporcional a la radiación solar incidente. Se instala una cúpula de vidrio óptico estándar sobre el disco que es transparente a longitudes de onda que oscilan aproximadamente entre 280 y 2.800 nm. Algunos piranómetros usan una cúpula de vidrio de silicio para medir la radiación en diferentes intervalos espectrales.

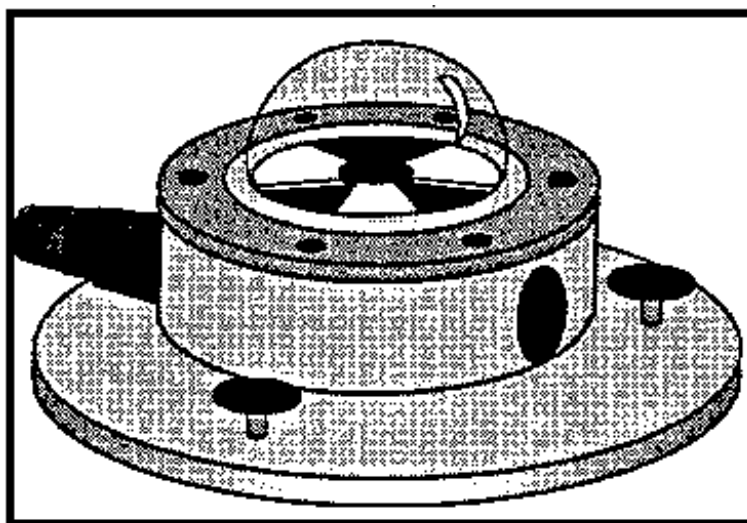


Figura 5-6. Piranómetro

Otro tipo de sensor es el **radiómetro neto**, diseñado para medir la diferencia entre la radiación ascendente (solar) y la descendente (terrestre), a través de una superficie horizontal. La aplicación básica de un radiómetro neto es determinar la radiación diurna y nocturna como un indicador de la estabilidad. Sin embargo, las categorías de estabilidad nocturnas generalmente usadas en los estudios de contaminación del aire se basan exclusivamente en la velocidad del viento y en el aspecto del cielo.

Ubicación y exposición de los instrumentos para medir la radiación solar

Los piranómetros usados para medir la radiación incidente (solar) se deben colocar en áreas abiertas con una amplia vista del cielo hacia todas las direcciones y durante todas las estaciones. Deben localizarse en puntos donde no se produzcan obstrucciones que proyecten una sombra sobre el sensor en cualquier momento. Además, se debe evitar colocarlos cerca de paredes de colores claros y fuentes artificiales de radiación. La altura del sensor no es un factor determinante para los piranómetros. Una ubicación recomendable es sobre una plataforma elevada.

Los radiómetros netos se deben colocar aproximadamente a 1 m sobre el nivel del suelo. El subsuelo que está bajo el instrumento debe ser representativo del área general. También se deben colocar radiómetros netos para evitar obstrucciones en el campo de vista tanto ascendente como descendente.

Altura de mezcla

La profundidad vertical de la atmósfera donde se produce el mezclado se denomina *capa de mezcla*. La parte superior de esta capa se conoce como *altura de mezcla*. Esta determina el alcance vertical del proceso de dispersión de los contaminantes liberados debajo de ella. Se trata de una variable importante para los estudios de calidad del aire ya que limita la dispersión vertical de los contaminantes. Si bien las alturas de mezcla generalmente no se miden directamente, es posible obtener cálculos aproximados a partir de las mediciones meteorológicas rutinarias.

Por lo general, las alturas de mezclado producidas por la mañana y por la tarde se estiman a partir de los perfiles tanto de temperatura vertical tomados a la salida y puesta del sol, como de temperatura superficial. Los perfiles de la temperatura vertical se miden con radiosondas, instrumentos transportados elevados a través de globos más ligeros que el aire (esto es, globos generalmente llenos de hidrógeno o helio). Para los modelos de la calidad del aire, las alturas de mezcla por hora se pueden estimar a partir de los valores de altura de mezcla tomados dos veces al día –a la salida y la puesta del sol- y las categorías de estabilidad atmosférica de cada hora.

Los sistemas SODAR (acrónimo para **S**ound **D**etection **A**nd **R**anging [detección y exploración del sonido]) y radar perfilador de vientos Doppler están adquiriendo importancia como herramientas eficaces para efectuar mediciones remotas de variables meteorológicas en alturas que alcanzan varios cientos de metros sobre la superficie. Un SODAR transmite un fuerte pulso acústico a la atmósfera y capta la parte del pulso que se expande y regresa. Un radar perfilador de vientos usa principios de operación semipares al SODAR, pero en vez de transmitir pulsos acústicos, se transmite pulsos electromagnéticos. Se observa un creciente interés en el uso del SODAR y del radar perfilador de vientos para el desarrollo de bases de datos meteorológicos requeridas como aporte para los modelos de dispersión. El análisis de los retornos de SODAR y de los radares perfiladores de viento también puede servir para estimar la altura de mezclado.

Desempeño del sistema

En un programa de monitoreo es muy importante monitorear las variables meteorológicas adecuadas, que son representativas de las condiciones de dispersión atmosférica en una determinada ubicación. Así mismo, es importante asegurar un desempeño adecuado del monitoreo para la obtención de datos representativos. La exactitud y las características de las

respuestas de los sistemas de monitoreo meteorológico son factores importantes para definir el desempeño del sistema.

Exactitud del sistema

La **exactitud** del sistema es el monto en que una variable medida se desvía de un valor aceptado como válido o estándar. La exactitud se puede concebir para un componente individual o para el sistema general. Por ejemplo, la exactitud general de un sistema de medición del viento incluye las exactitudes del componente individual de un anemómetro de cubeta o de hélice, circuito electrónico colocado como un condicionador de señal y registrador de datos.

El cuadro 5-1 enumera valores de exactitud recomendados para los sistemas in situ de monitoreo meteorológico destinados a aplicaciones de estudios de calidad del aire. Están establecidos en función de los valores de exactitud del sistema general, ya que los datos usados en los análisis de calidad del aire son los del sistema de medición. El cuadro 5-1 también incluye las **resoluciones recomendadas de medición**; es decir, los aumentos mínimos visibles. Estas resoluciones son necesarias para mantener los valores recomendados de exactitud.

Las especificaciones y resoluciones relativas a la exactitud presentadas en el cuadro 5-1 se pueden aplicar al sistema primario de medición (el más recomendable es uno digital basado en un microprocesador). En el caso de los sistemas análogos usados como reservas o *backrups*, los límites de exactitud recomendados en el cuadro 5-1 pueden aumentar en 50%. Las resoluciones de estos sistemas deben ser adecuadas para mantener los valores recomendados de exactitud.

Cuadro 5-1. Valores de exactitud y resoluciones recomendadas para el sistema		
Variable meteorológica	Exactitud de la variable	Resolución de la medición
Velocidad del viento	$\pm (0,2 \text{ m/s} + 5\% \text{ del observado})$	0,1 m/s
Dirección del viento	± 5 grados	1 grado
Temperatura ambiental	$\pm 0,5$ °C	0,1 °C
Diferencia de la temperatura vertical	$\pm 0,1$ °C	0,02 °C
Radiación solar	$\pm 5\%$ del observado o W/m^2 *	10 W/m^2
Tiempo	± 5 minutos	

*El que sea mayor

Fuente: U.S. EPA 1987 (revisado en febrero de 1993).

Características de las respuestas de los sensores meteorológicos in situ

Las características de las respuestas ayudan a definir la velocidad con la que un instrumento responderá a los cambios de las variables meteorológicas. Es necesario conocer algunas características de las respuestas de los sensores meteorológicos propuestos para los programas de monitoreo in situ a fin de garantizar que los datos recolectados sean apropiados para la aplicación deseada.

Las siguientes definiciones se aplican para términos generalmente relacionados con las características de respuesta del instrumento y las propiedades inherentes a los sensores meteorológicos:

Calma – Cualquier velocidad promedio del viento por debajo del nivel umbral de inicio de la velocidad del viento o del sensor de dirección, el que sea mayor.

Razón de amortiguamiento – El movimiento de una paleta de viento es una oscilación amortiguada y la razón en la que disminuye la amplitud de las oscilaciones sucesivas es independiente de la velocidad del viento. La razón de amortiguamiento es la razón de la oscilación real y la oscilación crítica, que es la medida de una resistencia mecánica de la paleta al movimiento.

Distancia de retardo – Es la longitud de una columna de aire que pasa por una paleta de viento tal que esta responderá a 50% de un cambio angular repentino en la dirección del viento.

Constante de distancia – La constante de distancia de un sensor es la longitud por donde pasa el fluido requerido para causar una respuesta a un determinado cambio en la velocidad del viento. La constante de distancia es una característica de los anemómetros de cubeta y de hélice (rotativos).

Rango – Es un término general usado para identificar los límites de operación de un sensor, dentro del cual muchas veces se especifica la exactitud.

Nivel umbral (velocidad inicial) – La velocidad del viento a la que un anemómetro o paleta empieza a trabajar según sus especificaciones.

Constante de tiempo – Período requerido para obtener la respuesta de un sensor a un determinado cambio en el parámetro que mide.

El cuadro 5-2 enumera las características recomendadas para las respuestas de los sensores con miras a aplicarlas en modelos de regulación.

Cuadro 5-2. Características recomendadas de las respuestas para los sensores meteorológicos	
VARIABLES METEOROLÓGICAS	ESPECIFICACIONES DEL SENSOR
Velocidad del viento	Velocidad inicial $\leq 0,5$ m/s Constante de la distancia ≤ 5 m
Dirección del viento	Velocidad inicial $\leq 0,5$ m/s Razón de amortiguamiento 0,4 a 0,7 Distancia de retardo ≤ 5 m
Temperatura	Constante de tiempo ≤ 1 min
Diferencia de temperatura	Constante de tiempo ≤ 1 min
Radiación solar	Constante de tiempo ~ 5 segundos Rango de la temperatura de operación -20 °C a $+40$ °C en un valor específico de exactitud

Aseguramiento y control de la calidad

El aseguramiento de la calidad (AC) aplicado al monitoreo meteorológico abarca tanto “el sistema de actividades destinado a proporcionar un producto de calidad” (control tradicional de la calidad) como “el sistema de actividades destinado a proporcionar el aseguramiento del desempeño adecuado del sistema de control de calidad” (aseguramiento tradicional de la calidad) (Finkelstein, P.L. y otros, 1983). La primera de estas funciones de control de calidad (CC) consiste en aquellas actividades realizadas directamente por los operadores del equipo con los instrumentos; por ejemplo, el mantenimiento preventivo, las calibraciones, etc. La finalidad del segundo grupo de actividades es manejar la calidad de los datos y tomar las medidas correctivas necesarias para asegurar que se cumplan los requerimientos correspondientes. Los planes oficiales para el aseguramiento de la calidad se deben presentar en un documento llamado “Plan AC”. Este documento enumera todos los procedimientos necesarios relacionados con la calidad e indica la frecuencia con la que se deben llevar a cabo. Es imprescindible elaborar y seguir un plan AC para asegurar la obtención de datos representativos de buena calidad. Un plan AC debe contener la siguiente información:

Responsabilidades del personal del proyecto: responsabilidades del personal que realiza tareas relacionadas con la calidad de los datos.

Procedimientos para el informe de datos: breve descripción de cómo se producen los datos y cómo se realizan las actividades durante cada paso de la secuencia del procesamiento.

Procedimientos de validación de los datos: lista detallada de criterios que se deben aplicar a los datos para probar su validez, cómo se debe llevar a cabo el proceso de validación y el tratamiento de datos calificados como cuestionables o no válidos.

Procedimientos de auditoría: descripción de qué auditorías se deben llevar a cabo, con qué frecuencia, y detalle de un procedimiento de auditoría (con referencia a procedimientos que involucren documentos, cuando sea posible). Además, supone una descripción de sistemas de

auditoría internos y externos, incluyendo inspecciones del sitio por personal de supervisión u otros.

Procedimientos de calibración: descripción detallada de técnicas y de la frecuencia de calibración de cada uno de los sensores o instrumentos que se utilizan. Es necesario definir tanto las calibraciones completas como las verificaciones del cero y del punto final de la escala de medición.

Cronograma de mantenimiento preventivo: lista detallada de las funciones específicas de mantenimiento preventivo y de la frecuencia con que se deben ejercer. No sólo incluye la inspección rutinaria del equipo y la reposición de repuestos, sino también texto de funciones que se realizan en equipo.

Informes de calidad: cronograma y contenido de informes presentados a la administración que describen el estado del programa de aseguramiento de la calidad. Este programa incluye la implementación de todas las funciones especificadas en el plan AC. Esta implementación involucra al personal de todos los niveles de la organización. Los técnicos que operan con el equipo deben llevar a cabo un mantenimiento preventivo y verificaciones de CC en los sistemas de mediciones que están bajo su responsabilidad. Deben realizar calibraciones y, cuando se requiera, participar en auditorías internas de estaciones operadas por otros técnicos. Estos supervisores inmediatos deben verificar la ejecución de todas las tareas de AC y revisar los apuntes y cuadros de control para asegurar la corrección de los problemas potenciales antes de que se produzca una pérdida de datos importantes.

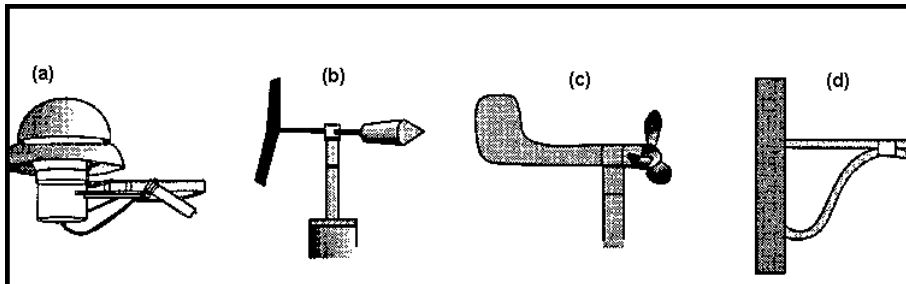
Ejercicio de revisión

1. Enumere cuatro variables meteorológicas claves en los estudios sobre contaminación del aire.

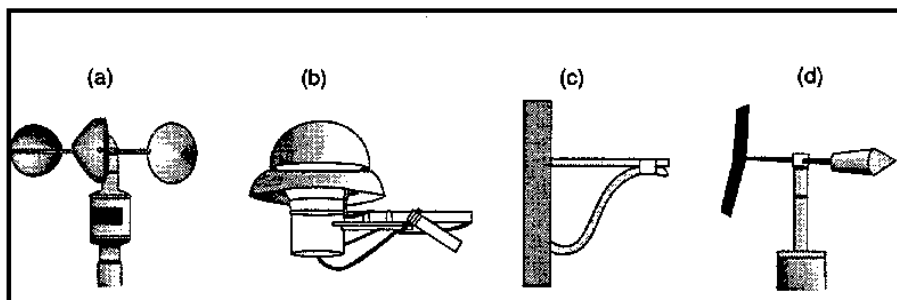
Para las preguntas 2 a 4, indique cuál es la variable atmosférica que mide cada uno de los instrumentos meteorológicos.

2. Anemómetro a. Dirección del viento
3. Paleta de viento b. Velocidad del viento
4. Termómetro c. Temperatura

5. Indique cuál de los siguientes instrumentos meteorológicos es un anemómetro.



6. Indique cuál de los siguientes instrumentos meteorológicos es una paleta de viento.



7. El sistema de un anemómetro requiere un transductor para:
- Convertir el movimiento rotativo en una señal eléctrica
 - Registrar la información del viento
 - Registrar el tiempo de operación del instrumento
 - Ninguna de las anteriores
8. ¿Verdadero o falso? El tipo de sensor más usado en los estudios sobre contaminación del aire es uno de temperatura con un sistema de aspiración que se vale de la resistencia eléctrica para medir la temperatura.
- Verdadero
 - Falso
9. ¿Qué tan lejos se deben colocar los instrumentos de una obstrucción?
- Una vez la altura de la obstrucción
 - Dos veces la altura de la obstrucción
 - Diez veces la altura de la obstrucción
10. Un sensor de temperatura:
- Se debe colocar siempre cerca de sensores de viento
 - Nunca se debe colocar cerca de fuentes de calor
 - No es necesario para los estudios sobre contaminación del aire
 - Mide la radiación solar total a través de lecturas de temperatura
11. ¿Cuál es la altura típica a que se coloca un sensor de temperatura de un solo nivel?
- 1 m
 - 2 m
 - 10 m
12. El instrumento que sirve para medir la radiación solar directa y difusa se denomina _____ .
13. El sensor que sirve para medir la diferencia entre la radiación solar y la terrestre a través de la superficie horizontal se denomina _____ .

14. ¿Verdadero o falso? Las características de las respuestas ayudan a definir la rapidez con que un instrumento responderá al cambio de las variables meteorológicas.
- a. Verdadero
 - b. Falso
15. ¿Verdadero o falso? Las alturas de mezcla generalmente se pueden determinar a partir de radiosondas lanzadas dos veces al día.
- a. Verdadero
 - b. Falso
16. ¿Verdadero o falso? Para garantizar la obtención de datos representativos de buena calidad es necesario desarrollar planes de aseguramiento de la calidad.
- a. Verdadero
 - b. Falso
17. ¿Verdadero o falso? La altura del sensor es un factor determinante en la ubicación de los piranómetros.
- a. Verdadero
 - b. Falso

Respuestas del ejercicio de revisión

1. Velocidad y dirección del viento

Temperatura ambiental y diferencia de la temperatura vertical

Radiación solar

Altura de mezcla

Cuatro variables meteorológicas claves en los estudios de contaminación del aire son (1) la velocidad y dirección del viento, (2) la temperatura ambiental y la diferencia de la temperatura vertical, (c) la radiación solar y (d) la altura de mezcla.

2. b. Velocidad del viento

Los anemómetros miden la velocidad del viento.

3. a. Dirección del viento

Las paletas de viento miden la dirección del viento.

4. c. Temperatura

Los termómetros miden la temperatura.

5. c.

La opción “c” representa un anemómetro.

6. d.

La opción “d” muestra una paleta de viento.

7. a. Convierte el movimiento rotativo en una señal eléctrica

Para convertir el movimiento rotativo en una señal eléctrica se requiere un transductor.

8. a. Verdadero

El tipo de sensor más usado en los estudios sobre contaminación del aire es uno de temperatura con sistema de aspiración que se vale de la resistencia eléctrica para medir la temperatura.

9. **c. Diez veces la altura de la obstrucción**

La distancia a la que se deben colocar los instrumentos de viento es igual a diez veces la altura de la obstrucción.

10. **b. Nunca se deben colocar cerca de fuentes de calor**

Un sensor de temperatura nunca se debe colocar cerca de fuentes de calor.

11. **b. 2 m**

La altura típica para un sensor de temperatura de un solo nivel es 2 m.

12. **Piranómetro**

El instrumento que sirve para medir la radiación solar directa y difusa se denomina piranómetro

13. **Radiómetro neto**

El sensor que sirve para medir la diferencia entre la radiación solar y la terrestre a través de la superficie horizontal se denomina radiómetro neto.

14. **a. Verdadero**

Las características de las respuestas ayudan a definir la velocidad con la que un instrumento responderá al cambio de las variables meteorológicas.

15. **a. Verdadero**

Las alturas de mezcla generalmente se pueden determinar a partir de radiosondas lanzadas dos veces al día

16. **a. Verdadero**

Para garantizar la obtención de datos representativos de buena calidad es necesario desarrollar planes de aseguramiento de la calidad.

17. **b. Falso**

La altura del sensor no es un factor determinante en la ubicación de los piranómetros.

Bibliografía

Finkelstein, P.L. y otros, 1983. *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: Vol. IV. Meteorological Measurements*. EPA-600/4-82-060. U.S. Environmental Protection Agency.

Holzworth, G.C., 1972, enero. *Mixing Heights, Wind Speeds, and Potential for Urban Air Pollution Throughout the Contiguous United States*. Office of Air Programs Publication No. AP-101. U.S. Environmental Protection Agency.

Randerson, D., 1984. *Atmospheric Science and Power Production*. DOE/TIC-27601. U.S. Department of Energy.

U.S. Environmental Protection Agency (Office of Air Quality Planning and Standards), 1987 (Revised 1993). *On-Site Meteorological Program Guidance for Regulatory Modeling Applications*. EPA-45/4-87-013.

U.S. Environmental Protection Agency (Environmental Services Division). 1993. *Guidance for Ambient Air Monitoring at Superfund Sites*. Informe ASF-4.

World Meteorological Organization, 1983. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. 5^a ed. WMO-No. 8. Ginebra, Suiza.