

MANUAL 4

OPERACIÓN DE ESTACIONES DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE, MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN DE SUS COMPONENTES



1. INTRODUCCIÓN	5
2. OPERACIÓN DE ESTACIONES DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE.	6
2.1 Inspección de la estación.	6
2.1.1 Entorno de la estación.	7
2.1.2 Exterior de la estación.	7
2.1.3 Interior de la estación.	8
2.2 Inspección de los equipos de medición y periféricos.	10
2.2.1 Muestreadores de partículas.	11
2.2.2 Monitores de partículas.	11
2.2.3 Analizadores de gases.	12
2.2.4 Sistema de toma de muestra para los analizadores de gases.	13
2.2.5 Sensores meteorológicos.	16
2.2.6 Sistema de adquisición de datos.	16
2.3 Registros de las actividades.	17
3. MANTENIMIENTO.	21
3.1 Mantenimiento preventivo.	21
3.1.1 Infraestructura.	22
3.1.2 Equipos de muestreo y monitoreo.	22
3.1.3 Analizadores de gases y sus periféricos.	26
3.1.4 Sensores meteorológicos.	39
3.1.5 Sistema de transmisión y almacenamiento de datos.	41
3.2 Mantenimiento correctivo.	42
3.3 Inventario de equipos y refacciones.	43
4. CALIBRACIÓN.	45

4. CALIBRACIÓN.	45
4.1 Muestreadores de partículas.	46
4.2 Monitores de partículas.	46
4.3 Analizadores automáticos.	47
4.3.1 Verificación cero-span.	47
4.3.2 Calibración multipunto.	50
4.3.3 Calibración de analizadores de SO ₂ , CO y NO _x .	54
4.3.4 Calibración del canal de NO ₂ de analizadores de NO _x	56
4.3.5 Calibración de analizadores de O ₃ .	57
4.4 Verificación de sensores meteorológicos.	60
4.4.1 Transductor de señales.	60
4.4.2 Sensores de dirección de viento.	61
4.4.3 Sensores de velocidad de viento.	66
4.4.4 Sensores de temperatura.	67
4.4.5 Sensores de humedad relativa.	68
5. REFERENCIAS.	73

1. INTRODUCCIÓN.

La operación de un Sistema de Medición de la Calidad del Aire (SMCA) implica diversas tareas y actividades coordinadas y realizadas por personal capacitado y entrenado que garantice, tanto la correcta medición de los contaminantes atmosféricos y los parámetros meteorológicos, como la adecuada adquisición, almacenamiento y procesamiento de los datos generados.

Este documento se refiere a las actividades de operación, mantenimiento y calibración que deben llevarse a cabo para garantizar la adquisición de datos representativos, completos, confiables y comparables.

En el Capítulo 2 se establecen algunas directrices generales para llevar a cabo las visitas rutinarias de inspección a las estaciones de medición, donde se revisan desde las condiciones físicas de la infraestructura de la estación, hasta el estado operativo de los equipos; así mismo, se presentan algunos aspectos relevantes sobre los registros de estas visitas y sobre medidas de seguridad.

El Capítulo 3 define el concepto de mantenimiento preventivo, su programación y sus elementos dentro de este programa, presenta guías generales de mantenimiento para los principales equipos de medición.

También se define el mantenimiento correctivo. Este capítulo finaliza con las características con las que deben contar los inventarios de partes, refacciones, consumibles y equipos.

Por último, en el Capítulo 4 se presentan descripciones generales de la calibración de los equipos de medición de contaminantes criterio (muestreadores de partículas, monitores de partículas y analizadores automáticos), y de la verificación de los equipos de medición de parámetros meteorológicos (transductor

2. OPERACIÓN DE ESTACIONES DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

de señales y sensores).

La operación de los componentes de una estación de medición de la calidad del aire también incluye su mantenimiento y/o calibración; por su importancia, estos temas se presentan en los capítulos 3 y 4 de este manual, respectivamente.

Para garantizar una adecuada operación de una estación se requiere que el personal responsable realice las siguientes actividades:

- Inspección de la estación:

Entorno de la estación.

Exterior de la estación.

Interior de la estación.

- Inspección de los equipos de medición y sus periféricos:

Muestreadores de partículas.

Monitores de partículas.

Analizadores de gases.

Toma de muestra.

Sensores meteorológicos.

Sistema de transmisión y almacenamiento de datos

- Registros de las actividades.

Estas actividades son descritas en los siguientes apartados de éste capítulo.

2.1 Inspección de la estación.

El mantenimiento de una estación comienza desde el cuidado que se le da a su imagen. Una buena imagen reduce las posibilidades de que la estación sufra agresiones y vandalismo, ya que elimina la sensación de abandono que provocan el mal estado de la pintura, la acumulación de basura, el crecimiento de arbustos o follaje y el deterioro normal que inevitablemente se presentan con el paso del tiempo. Para dar una mejor imagen, se sugiere identificar a las estaciones con logotipos o rótulos de las dependencias que operan el SMCA.

Cuando se lleve a cabo la inspección de cada estación, las observaciones que se tengan deberán registrarse en la bitácora de la estación (ver sección 2.3). La inspección de la estación debe incluir la revisión de:

1. su entorno, dado que las condiciones de los alrededores a ésta pueden cambiar;
2. su exterior, en términos de infraestructura seguridad; y
3. su interior, en cuanto a la revisión de los controles ambientales y del equipamiento de soporte.

2.1.1 Entorno de la estación.

La inspección de una estación comienza con la revisión de su entorno, desde que el responsable se encuentra en el trayecto hacia la misma. Se debe estar atento a la evidencia de nuevas fuentes de contaminación, las cuales se detectan normalmente mediante la observación de humo o la presencia de malos olores.

En este sentido, es importante observar el desarrollo de actividades nuevas o extraordinarias en los alrededores de la estación. La construcción de edificaciones, el trazado de nuevas calles o cambios importantes en el uso del suelo podrían obligar a revalorar la representatividad de la estación y tomar con reservas la confiabilidad de la información, pudiendo llegar inclusive a la reubicación o cancelación de la misma si ya no se cumplen con las condiciones para los objetivos que le fueron fijados.

Respecto a las inmediaciones de la estación, el crecimiento excesivo de plantas o la acumulación de basura alrededor de la caseta favorece la proliferación de insectos que pueden internarse en la estación y provocar problemas de diferente índole, que van desde efectos negativos sobre los instrumentos, hasta causar molestias o riesgos a los operadores. Por este motivo, se debe procurar orden y limpieza en el entorno próximo de la estación.

En el caso de que haya árboles en la proximidad de la estación y que las ramas estén cerca, debe verificarse que éstas no obstaculicen el paso de la corriente de aire hacia la toma de muestra ni interfieran con el funcionamiento de los medidores de velocidad y dirección de viento. En caso contrario las ramas deben podarse.

2.1.2 Exterior de la estación.

La inspección del exterior de la estación contempla:

1. las condiciones de la infraestructura de la caseta o del inmueble y, en su caso, de la malla de protección;
2. las condiciones del equipamiento del aire acondicionado; y
3. las condiciones de la estructura de soporte para los equipos de medición de parámetros meteorológicos.

Se debe realizar un recorrido alrededor de la malla de seguridad observando que no existan tramos rotos o cortados, en caso de encontrarlos, el operador deberá repararlos o solicitar la sustitución del tramo de malla en caso de que ésta no sea susceptible de reparación.

El techo de la caseta es importante por su utilidad para evitar el paso de agua durante la época de lluvias y esto se da en función

del buen estado del material impermeable. La revisión por la parte exterior tiene por objeto verificar que no haya riesgos de goteras debido a agrietamientos en el techo o por falta o mal estado del impermeabilizante. La presencia evidente de manchas de humedad y escurrimientos en el interior del albergue o muestras de oxidación en los objetos metálicos serán indicativos de que no son aceptables las condiciones del techo y que es necesario efectuar trabajos de mantenimiento correctivo.

Se deben examinar que las paredes y las uniones de la caseta, la puerta, las esquinas y el soporte, no presenten corrosión o falta de pintura. Se recomienda establecer un programa de mantenimiento preventivo de la caseta, y revisarlo y actualizarlo cada dos o tres años, ya que el deterioro se presenta de manera y a ritmo diferentes como consecuencia de las condiciones climáticas y meteorológicas del lugar en el que se ubica la estación.

Se debe revisar que el cableado eléctrico no presente torceduras o tramos sin la cubierta aislante. Asimismo, la toma de muestra debe estar limpia y sin obstrucciones, el cono de protección de ésta no debe presentar fracturas.

Cualquiera que sea el equipo de acondicionamiento del aire interior de la caseta, la ma-

yoría cuentan con una sección que se instala al exterior; se deben verificar las condiciones de ésta, que no presente golpes o que alguna tubería se encuentre doblada o rota, que el drenaje del agua esté funcionando adecuadamente dirigiéndola hacia un lugar que no afecte la infraestructura de la caseta y que, en general, esté operando en óptimamente, es decir, que se observe su encendido intermitente.

En el caso de que la estación cuente con equipos de medición de parámetros meteorológicos, se debe revisar que la estructura que los soporta esté bien anclada o sujeta y que los cables tensores estén fijos y no presenten roturas.

2.1.3 Interior de la estación.

Los equipos de medición de calidad del aire deben operar en un ambiente limpio, con temperatura controlada, alimentación eléctrica estable y protegidos contra descargas. La inspección del interior de la estación incluye:

1. las condiciones de la infraestructura de la caseta o del inmueble;
2. las condiciones operativas del equipo de acondicionamiento de aire; y
3. los bienes muebles de la caseta.

El interior de la caseta deberá estar en óptimas condiciones posibles de limpieza. El

buen estado de la pintura del techo y paredes evita el desprendimiento excesivo de polvo y materiales de la misma construcción, que de acumularse sobre y dentro de los equipos puede ocasionar problemas debido a que se afecta la disipación del calor que éstos generan, y en condiciones de humedad relativa alta, se corre el riesgo de formación de arcos eléctricos entre componentes electrónicos, con lo que se alterarían algunas de las funciones de los equipos. Se deben examinar que las paredes y las uniones interiores de la caseta no presenten desgaste o falta de pintura.

En el caso del piso, independientemente del material del que estén hechos, es común que se presenten levantamientos o resquebrajamientos, provocando desajustes en las uniones entre paredes y piso, lo que propicia la entrada de humedad excesiva, insectos e inclusive roedores. Por lo tanto, debe revisarse el estado del piso para evitar la influencia negativa de agentes externos. Este tipo de daños, por lo general, se presentan gradualmente y puede haber un lapso significativo de tiempo entre el primer indicio y el momento en que represente un problema serio. La revisión dará elementos para estimar la magnitud del daño y la aplicación de acciones correctivas.

Las variaciones de voltaje son factores que afectan el funcionamiento de los instrumen-

tos, por lo que es necesario que la alimentación de energía eléctrica en una estación se mantenga regulada en el rango establecido por los fabricantes de los equipos. En este sentido, se deben revisar la intensidad de la corriente eléctrica (voltaje) que está dirigido a los equipos de medición, la condición del tablero de distribución eléctrica y los termointerruptores, los cuales deben estar encendidos; en caso de encontrar algún interruptor apagado, se deben revisar las líneas que éste controla, ya que pueden estar sobrecargadas. El sistema de iluminación deberá estar en buenas condiciones, de tal manera que el operador cuente con óptima visibilidad dentro de la estación.

Se recomienda verificar y mantener la hermeticidad de la caseta en las mejores condiciones, por lo que se debe revisar que los empaques en puertas y ventanas presentan buen estado y que el ajuste de estas con sus marcos sea el adecuado. Se estima que se cumple con este aspecto si la temperatura se mantiene estable, si el interior de la caseta permanece libre de polvo y si el equipo de acondicionamiento de aire efectúa sus ciclos de actividad y descanso.

Se debe poner especial atención para evitar escurrimientos o filtraciones de agua, provenientes del equipo de acondicionamiento del aire.

Dado que algunas estaciones cuentan con equipos para la medición de las condiciones ambientales de la caseta (temperatura y humedad relativa), se debe revisar que se encuentren operando adecuadamente; si éstos registran la información en el sistema de adquisición de datos, se debe verificar la correcta transmisión de la información.

Comúnmente, los equipos de acondicionamiento de aire están conectados a estos medidores o cuentan con un componente para controlar su encendido y apagado, el cual puede ser programado para mantener las condiciones dentro del rango deseado. La temperatura del interior debe mantenerse dentro del intervalo establecido, generalmente por debajo de los 28°C. Sin embargo, en algunos lugares la temperatura del exterior aumenta significativamente en verano por lo que debe ajustarse el control de manera que haya una diferencia máxima de 8°C entre el exterior y el interior, para evitar que el aire del interior se enfríe demasiado, ya que en algunas ocasiones la humedad contenida en la muestra se condensa y se acumula dentro de la tubería de los equipos.

También se deben revisar los muebles de la caseta. El gabinete de trabajo, tanto la parte superior como la mesa, deben estar fijos, limpios y en buenas condiciones, por ejemplo, que no presenten roturas y que los cajones o puertas abran fácilmente. Los gabinetes

que soportan los equipos de medición no deben presentar vibraciones y, en su caso, las puertas o paneles deben estar atornillados y cerrados; algunos de éstos cuentan con ventiladores de extracción del aire, se debe revisar que estén operando correctamente. Asimismo, se debe revisar que los cilindros de calibración se encuentren sujetos para evitar su caída. También se debe revisar la vigencia y la presión interna de estos cilindros, los cuales deberán cambiarse cuando la vigencia haya vencido o cuando la presión interna se encuentre por debajo de 300 psig.

2.2 Inspección de los equipos de medición y periféricos.

Una vez realizada la inspección de la estación, el operador deberá llevar a cabo la inspección de los equipos de medición y de los periféricos; esto es, dependiendo del tipo de red, de los muestreadores y/o monitores de partículas, de los analizadores de gases, de la toma de muestra, de los sensores meteorológicos y del sistema de transmisión y almacenamiento de los datos.

Los equipos de medición deben ser operados de acuerdo a los procedimientos descritos en su manual o en los desarrollados por el SMCA. La verificación de la operación de estos equipos requerirá, en algunos casos, el reemplazo de consumibles: filtros, cartas gráficas, plumillas, líneas de muestra, entre otros.

De manera general, se deben revisar todos los equipos, tanto de medición como periféricos, que sus cubiertas, sus accesorios y su interior estén libres de polvo, asimismo, se debe revisar que no exista la presencia de materiales extraños o insectos dentro de los mismos, especialmente sobre las tarjetas electrónicas.

2.2.1 Muestreadores de partículas.

En caso de que la estación cuente con muestreo manual de partículas, se deberá considerar la programación de dos visitas al sitio: la primera para la colocación del filtro sin muestra, y la segunda para retirarlo ya con la muestra después del periodo establecido, normalmente de 24 ± 1 hrs.

Dentro de las principales actividades de supervisión de la operación del equipo se encuentran las siguientes:

- Medir la intensidad de corriente eléctrica (voltaje) que alimenta al temporizador,
- Asegurar que el temporizador del equipo opere adecuadamente y que al permitir el paso de la corriente eléctrica al motor, éste encienda,
- Revisar que la graficadora gire cuando el motor esté encendido,
- Revisar que la plumilla se mueva y que pinte cuando el motor esté encendido.
- En base a los resultados de la calibración

del equipo, el operador debe asegurarse de que el flujo indicado por la gráficasora se encuentra dentro del rango óptimo de operación: de 36 a 44 ft³/min para muestreo de PM₁₀ y PM_{2.5} y de 40 a 60 ft³/min para PST.

2.2.2 Monitores de partículas.

Como se mencionó en el Manual 3, existen diferentes tipos de equipos monitores de partículas, y los más usados actualmente son los que utilizan los métodos de atenuación de radiación beta (BAM, por sus siglas en inglés) y de microbalanza de elemento agudo oscilante (TEOM, por sus siglas en inglés). La verificación de la operación de estos equipos variará de acuerdo al tipo de medición.

De manera general, se debe revisar que el elemento filtrante sea suficiente para operar hasta la siguiente visita al sitio, en caso contrario, se deberá cambiar. También se debe revisar que la toma de muestra y los fraccionadores de partículas se encuentren limpios; el periodo de limpieza lo determinará el operador de acuerdo a la experiencia de las revisiones realizadas. Asimismo, se deben registrar en la bitácora los parámetros de operación del equipo.

2.2.3 Analizadores de gases.

La inspección de los analizadores incluye la revisión física y la revisión de sus parámetros de operación, así como una verificación de su estado de calibración.

Se debe revisar si hay indicios que señalen anomalías en la operación de los equipos, cualquier olor o ruido inusual puede indicar una falla del equipo, mal funcionamiento o una fuga de algún gas. En su caso, debe revisarse cuidadosamente el o los equipos afectados para tomar de inmediato las acciones correctivas necesarias, como mantenimiento o incluso su envío a reparación.

Se debe revisar que se encuentre limpia la tubería que va del múltiple de distribución de la muestra hasta el analizador, la cual es normalmente translúcida; es recomendable reemplazarla una vez al año o antes, en caso de notar mayor rapidez en su degradación o suciedad.

Se debe revisar el filtro de entrada de muestra al analizador, el periodo de reemplazo deberá definirse en base a la observación de su saturación.

Es posible verificar la operación de los analizadores por medio de las lecturas de los sensores internos del equipo. Ésta puede hacerse mediante la lectura directa de los medidores de los equipos o mediante la lectura obtenida en la pantalla del analizador. Exis-

ten analizadores que cuentan con la función de autodiagnóstico, en estos, si el sensor detecta algún error, una señal de alerta se despliega en la pantalla de manera automática. Además de la temperatura, la presión y la velocidad de flujo, se pueden revisar otros parámetros de operación de los analizadores, por ejemplo: intensidad de la lámpara, voltajes, señales digitales y analógicas, entre otros, los cuales dependen del tipo de contaminante medido, de la marca y del modelo del analizador. Los procedimientos para la verificación de estos parámetros y la interpretación de los mismos pueden encontrarse en los manuales de operación del equipo.

Como medida de control de calidad, es conveniente realizar en cada visita una verificación de la calibración. Este control puede realizarse mediante las verificaciones de cero y span, cuyos procedimientos serán descritos en capítulo 4 del presente documento.

Las verificaciones de cero y span son utilizadas para observar el desempeño de los analizadores y la estabilidad de la calibración. Deben realizarse al menos una vez a la semana para todos los analizadores de gases.

Si algún analizador presenta una desviación mayor a $\pm 10\%$ de los valores de control de la última calibración, se requerirá una calibración multipunto. Si algún equipo cuenta con verificación automática de cero y span, éstas

deben programarse para que se lleven a cabo durante la madrugada, a menos que los niveles de contaminación en el sitio, durante ese periodo sean representativos, el objetivo es minimizar la pérdida de datos significativos.

Si las verificaciones se pueden programar para que se realicen automáticamente, es importante que se revisen la presión de los cilindros de gases de calibración para verificar que se cuente con el gas que requieren las calibraciones y se anoten en la bitácora. Se recomienda reemplazar un cilindro cuando la presión interna desciende debajo 300 psig o cuando esté pronta la fecha de caducidad de certificación (lo que ocurra primero). La presión mínima para cilindros de aire cero será de 200 psig. Es importante observar la disminución en la presión interna de los cilindros, una disminución excesiva en corto de tiempo, puede deberse a fugas en las conexiones.

2.2.4 Sistema de toma de muestra para los analizadores de gases.

El sistema que forman la toma de muestra, el múltiple que la distribuye entre los diferentes analizadores, la trampa de agua y partículas grandes, y el motor extractor (ver Figura 1) son la primera etapa en el trayecto del flujo de la muestra y están en contacto directo con la misma y con todas las impurezas que transporta, ya que no hay ningún tratamiento previo. Por esta razón, la acumulación de polvo, además de insectos pequeños es frecuente en el interior de las paredes de los tubos y de la trampa. Dichas impurezas, de permanecer por periodos prolongados, pueden provocar que parte de los contaminantes reaccionen o queden atrapados entre ellas, alterando las mediciones de los equipos.

Cualquier mancha oscura que se note a través de las paredes del tubo será indicador de que requiere limpieza, siendo ésta una actividad que debe formar parte de los trabajos de mantenimiento preventivo. La periodicidad dependerá de las condiciones del lugar y de la época del año, aunque lo recomendable es que no sea mayor a tres meses.

Se define el tiempo de residencia como el tiempo de recorrido de la muestra desde la entrada de la toma de muestra hasta la entrada al analizador.

El flujo de la muestra del múltiple de distribución debe ser tal que se mantenga un tiempo de residencia menor a 20 segundos, y que en los puertos de muestreo no se genere una presión negativa mayor a 1 inH₂O, la cual puede ser medida conectando un manómetro en uno de los puertos.

El tiempo de residencia está determinado de la siguiente manera:

Volumen total.

$$V_T = Cv + Mv + Lv$$

Donde:

Cv: Volumen de la toma de muestra;

Mv: Volumen del múltiple de muestra y la trampa de humedad;

Lv: Volumen de las líneas de los equipos.

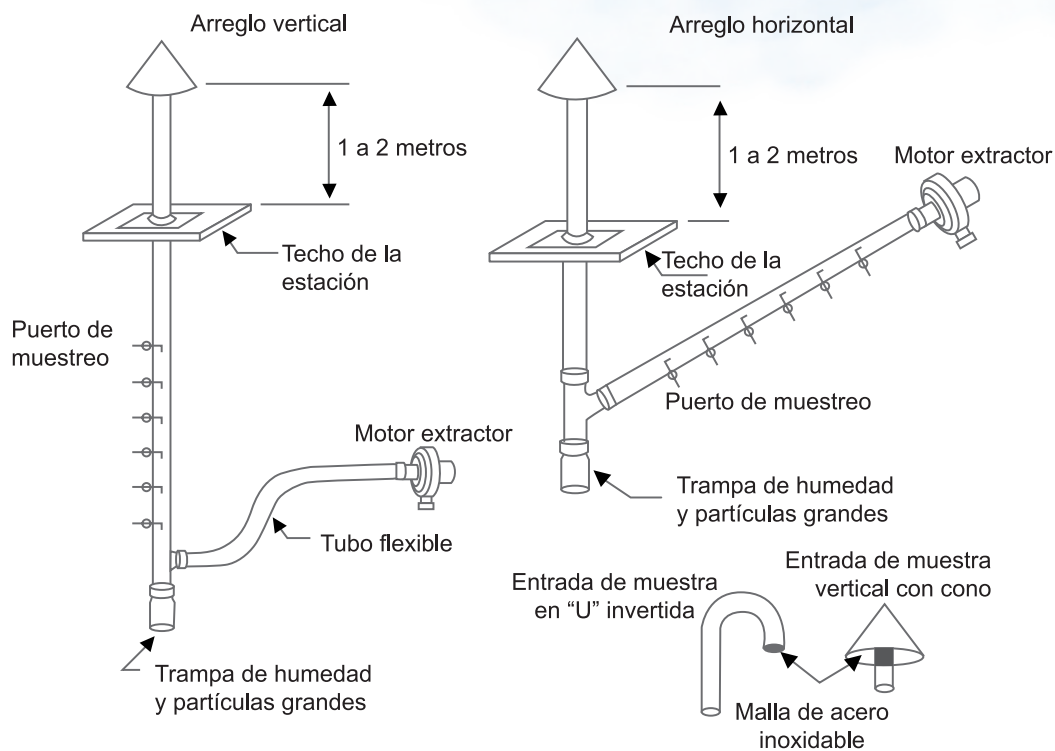


Figura 1. Sistema de toma de muestra

Fuente: Environment Canada, 2004 (modificación).

Cada uno de los componentes del sistema de muestreo debe ser medido individualmente. Para medir el volumen de los componentes, se debe utilizar la siguiente ecuación.

$$V = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \times L$$

Donde:

- V: Volumen del componente;
- d: Diámetro interior del componente;
- L: Longitud del componente.

Una vez que el volumen total es determinado, éste se divide entre el flujo de todos los equipos. Esto dará como resultado el tiempo de residencia. Si es mayor a 10 segundos, entonces se deberá manipular el voltaje del extractor o cambiarlo para variar el flujo y disminuir el tiempo de residencia.

2.2.5 Sensores meteorológicos.

La verificación operativa de los sensores meteorológicos se presenta detalladamente en el capítulo 4 de este manual. En este apartado, se presentan las consideraciones generales para la revisión estos equipos.

Se debe revisar que el anemómetro esté colocado adecuadamente, horizontal o vertical dependiendo de la marca del sensor, y que tanto éste como la veleta giren en la presencia de viento.

En el caso de los sensores de humedad relativa y de temperatura, se debe revisar que el escudo de radiación que los protege, no presente obstrucciones de aire y que no permita el paso directo de la luz solar al sensor.

El sensor de presión barométrica cuenta con dispositivos electrónicos que deben estar libres de polvo.

Se debe revisar que la superficie y la entrada de agua del sensor de precipitación pluvial se encuentren limpias y libres de obstrucciones.

Los sensores de radiación ultravioleta deben estar nivelados horizontalmente, libres de polvo y expuestos completamente a la luz solar, evitando que reciban sombras.

Se deben revisar las conexiones de todos los sensores, comprobando el envío de los datos al sistema de adquisición. El cableado de todos los sensores debe estar unido y fijado, de tal manera que se eviten enredos o se tense hasta, evitando su ruptura o desconexión.

2.2.6 Sistema de adquisición de datos.

Los monitores de partículas, los analizadores de gases y los sensores meteorológicos al llevar a cabo su método específico de medición (ver Manual 3) generan una señal eléctrica, análoga y/o digital, la cual se interpreta como un dato. Cada equipo genera datos en diferentes tiempos y en diferentes formas pero todos ellos en tiempo casi real, es decir, en cuestión de segundos. Los datos generados son almacenados en un sistema de adquisición de datos (SAD) dentro de la estación y pueden ser transmitidos simultáneamente al centro de control del SMCA.

Se debe revisar la correcta adquisición de los datos mediante la comparación entre las lecturas reportadas de cada equipo de medición y las reportadas por el SAD. En el caso

de que la conexión entre analizador y SAD sea de manera analógica, es conveniente revisar el voltaje de la salida de la señal del analizador con ayuda de un multímetro.

Como ya se mencionó, los equipos cuentan con sensores internos que permiten detectar fallas operativas de los mismos. Sin embargo, en ocasiones surgen problemas imposibles de ser detectados por estos sensores, por lo que una alternativa para determinar si la medición se está realizando adecuadamente es por medio de la revisión visual de los datos recopilados y/o una verificación cero-span. La primera consiste en verificar la variación de la concentración de los datos (que normalmente cubren el periodo de una semana medida desde el más reciente mantenimiento y/o verificación realizado hasta el momento) contra el tiempo; la segunda se describe en el apartado 4.3.1. La inspección visual de los datos también es útil para determinar la correcta adquisición de los mismos.

2.3 Registros de las actividades.

Es indispensable que los responsables de la operación de la estación realicen los registros de las actividades durante su visita a la misma. La importancia de estos registros radica en que son, por un lado, una herramienta para evaluar el desempeño del SMCA y para soportar documentalmente los problemas y sus soluciones; por el otro, un respal-

do para la validación de los datos. El registro de las actividades se puede llevar a cabo en bitácoras (cuadernillos o un conjunto de formatos foliados) y formatos preestablecidos (documentos estructurados empleados para realizar registros en actividades sistemáticas).

Cada estación deberá tener una bitácora en donde se registren cronológicamente las actividades realizadas durante la visita del operador. Primero se debe anotar la hora y la fecha de su llegada; cualquier actividad subsecuente como las calibraciones y los mantenimientos preventivos se anotarán junto con su hora de inicio y término por cada actividad. Cualquier problema en la operación del sitio o en el funcionamiento de cualquier equipo se debe anotar en la bitácora.

Se recomienda que estas bitácoras contengan anotaciones más de tipo narrativo que detalles de tipo técnico ya que estos últimos deben registrarse en la correspondiente bitácora de cada equipo o formatos preestablecidos. Los aspectos que debe incluir la bitácora de una estación son los siguientes:

- Registro de visitas (fecha, hora, nombre y firma del personal que acude al sitio).
- Descripción del propósito de la visita al sitio (calibración de equipos, mantenimiento preventivo o correctivo, sustitución de equipos,

entre otros), anotando la hora de inicio y de término de cada actividad.

- Breve descripción de las condiciones climáticas (despejado, nublado, lluvia, tolvánicas o vientos fuertes, contaminación significativa, olores inusuales, tránsito excesivamente pesado, entre otros).
- Descripción breve de cambios en los alrededores del sitio que puedan afectar los datos.
- Cualesquiera ruidos o vibraciones inusuales, o cualquier otro evento extraño.
- Información detallada de los equipos periféricos que requieren mantenimiento o que presentan fallas.
- Si es necesario desactivar algún equipo se deberá registrar la hora, tanto del apagado como del encendido y explicar la razón de estas acciones.
- En su caso, registrar la hora y fecha de colocación y retiro de filtros de los muestreadores manuales de partículas, incluyendo el número de identificación del filtro y del muestreador.

A continuación se describen algunas de las directrices que se recomiendan para asegurar que los registros de la bitácora de la estación sean útiles para cualquier revisión:

- La bitácora no debe retirarse de la estación.
- Las hojas de la bitácora no deben ser desprendibles, deben estar foliadas y contar con copias de papel carbón, de modo que la página original permanezca en el cuaderno y la copia pueda ser llevada al centro de control.
- Todos los registros deberán escribirse con tinta y con letra legible.
- Durante cada visita deberá registrarse la fecha, hora de llegada y hora de salida del técnico en la parte superior de la hoja.
- Todos los eventos deberán describirse con el mayor detalle posible para facilitar su interpretación por parte de terceros ya que cualquier información no registrada en tiempo y forma podría perderse.
- Se deberá registrar la hora exacta del inicio y terminación de las calibraciones y anotar si los resultados de calibración estuvieron dentro de los límites de control establecidos.

Es recomendable que se cuente con un formato para la solicitud de mantenimiento correctivo, el cual deberá ser llenado por el operador en caso de que haya encontrado fallas en uno o varios equipos y no haya sido posible repararlas durante la visita. Este formato específicamente debe documentar: la o las fallas, la hora en que ocurrieron, las

actividades realizadas para intentar corregirlas, la acción correctiva necesaria y los datos del personal encargado de corregir dichas fallas. El formato también puede ser llenado por personal de procesamiento de datos si los problemas son notados durante esta actividad.

El uso de formatos optimiza el tiempo de los registros. Éstos son desarrollados de acuerdo a las necesidades de los procedimientos y contienen información específica y claramente definida. La mayoría de los manuales de los equipos incluyen las actividades de supervisión de la operación de los equipos, las cuales deben ser tomadas en cuenta para la elaboración de los formatos. En el Cuadro 1, se presenta un ejemplo de formato utilizado durante la visita a la estación.

Además de la bitácora de la estación, es recomendable que cada equipo cuente con una bitácora o expediente en donde se registren cronológicamente las actividades realizadas al mismo o almacenen los formatos de operación, calibración y mantenimiento correspondientes.

La bitácora o el expediente debe contener el historial del equipo, iniciando con la fecha de instalación y activación, registrando cualquier actividad de calibración, mantenimiento, reparación o cambio de ubicación, describiendo con detalle los trabajos realizados y sus resultados.

En caso de cambio de ubicación por cualquier causa, el equipo debe ir siempre acompañado de su bitácora o expediente ya que la información que contiene será de mucha utilidad para quién lo reciba y facilitará la aplicación de acciones preventivas y/o correctivas.

CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD
HOJA DE CALIDAD PARA REVISIÓN Y MANTENIMIENTO MENSUAL
ANALIZADOR API MODELO 100A SO2

Ubicación: _____ Mes/Año: _____

Número de Estación: _____ Técnico: _____

Número de Inventario: _____ Estado: _____

PARÁMETROS DE OPERACIÓN

LECTURAS

	DATE		
TIME Range	HORA ACTUAL HH:MM:SS 500 ppb		
Press	25 - 35 in-Hg		
Sample Flow Pmt	650 ± 10 % 0 - 5000		
UV Lamp	2000 - 4000 mV		
Str Light Slope	25 - 100 ppb 1.0 ± .3		
Offset HVPS DCPS	50 - 250 mV 550- 900 V constant 2500 V ± 200		
Rcell Temp Box Temp Pmt Temp	50 ± 1° C 8 - 50° C 7 ± 1° C		

Flujo Actual del Indicador =Actual

INSTRUCCIONES DEL OPERADOR

1. Revisión Diaria: Revisión de datos y registros de graficadores
2. Revisión Semanal : Prueba de Parámetros graduados
Cambio del filtro de partículas de entrada: Fecha: / / / /
3. Según se requiera: Ajustar la lámpara UV mientras se monitorea el indicador a 3500 ± 200 mV
4. Semestral: Calibrar analizadores. Fecha de la última calibración:

Fecha Comentarios sobre el mantenimiento realizado

Revisado por: _____ Fecha: _____

Fuente: California Air Resources Board (modificado)

Cuadro 1. Ejemplo de formato operativo

3. MANTENIMIENTO

Las estaciones de medición, ya sean fijas o móviles, representan la infraestructura remota de los SMCA, por lo que requieren de buenas y oportunas prácticas de mantenimiento preventivo, debido a que los equipos que las conforman operan gran parte del tiempo en ausencia de personal.

3.1 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo puede definirse como la programación de actividades de inspección de los equipos, tanto de funcionamiento como de limpieza y calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica con base en un plan de aseguramiento y control de calidad. Su propósito es prevenir las fallas, manteniendo los equipos en óptima operación.

La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos, detectar las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno. Con un buen mantenimiento preventivo se obtiene experiencia en diagnóstico de fallas y del tiempo de operación seguro de un equipo.

Los responsables de la operación del SMCA deben desarrollar un programa de mantenimiento preventivo (PMP), basado en un esquema de aseguramiento y control de calidad para mantener operando correctamente los equipos y componentes de las estacio-

nes, con la finalidad de reducir la pérdida de información, previniendo reparaciones, el deterioro de los equipos y evitando gastos extraordinarios.

El PMP debe incluir además de las estaciones de medición con todos sus equipos (equipos de calibración y equipos periféricos, fuentes de energía, sistemas de iluminación y de control de condiciones ambientales) a las instalaciones centrales de los SMCA (centro de control, laboratorios, áreas de mantenimiento y de almacenamiento de partes, consumibles y equipos).

La aplicación del PMP es un proceso dinámico que debe actualizarse cuando se adquieren nuevos modelos o tipos de equipos, cuando hay cambios, ya sea en los métodos de prueba, en los programas de cómputo o en el sistema de adquisición de datos.

En general en los PMP se deben incorporar todos los registros documentados de las actividades de rutina, de las calibraciones e inspecciones, así como de las acciones de mantenimiento correctivo realizadas debido a fallas o a eventos no programados.

Los PMP deben incluir elementos tales como:

- Inventarios de equipo por organización o estación.
- Listas de partes y refacciones por equipo, incluyendo datos de los proveedores.

- Frecuencia de inspección / mantenimiento por equipo.
- Programas de calibración.
- Programas de sustitución de equipos.
- Lugares y responsables de reparación de equipos.
- Contratos de servicios.
- Registros mensuales de las actividades de prueba, inspección y mantenimiento
- Formatos de verificación y recepción de consumibles, refacciones y equipos.
- Requisiciones y/o órdenes de compra.
- Registros sobre movimiento o cambio de ubicación de equipos.

A continuación se describen las principales actividades que intervienen en un PMP de los componentes de un SMCA.

3.1.1 Mantenimiento preventivo de la infraestructura.

En lo referente a las instalaciones centrales de los SMCA y a las estaciones de medición, las prácticas de mantenimiento general de los inmuebles deben orientarse sobre todo a la prevención de su deterioro y a mejorar su imagen de acuerdo con la importancia de sus funciones. Por lo tanto, el SMCA debe disponer de programas generales de mantenimiento y conservación que incluyan las actividades de:

- Pintura de exteriores e interiores,

- Impermeabilización,
- Cableado e instalaciones eléctricas generales,
- Instalaciones hidráulicas y sanitarias,
- Jardinería, en su caso, y
- Ventilación general.

3.1.2 Mantenimiento preventivo de los equipos de muestreo y monitoreo

Es importante que los procedimientos operativos de los equipos incluyan los aspectos básicos del mantenimiento preventivo, basado en los manuales de operación respectivos. Lo anterior, para asegurar la óptima operación de los equipos y así evitar una falla operativa que pueda afectar la calidad de los datos.

Se debe tener en cuenta que tanto los equipos como sus respectivas partes y accesorios tienen una determinada vida útil, la cual puede variar en función de las horas efectivas de operación, las condiciones ambientales de la localidad y la época del año (por ejemplo, los filtros para eliminar partículas en los analizadores se tienen que cambiar con más frecuencia en época de secas que en lluvias).

A continuación se presentan algunas actividades básicas de mantenimiento preventivo de equipos de muestreo y de monitoreo de partículas.

3.1.2.1 Equipos de muestreo de partículas

Las actividades de mantenimiento preventivo para equipos de muestreo de partículas son:

- Realizar al menos una vez al mes la limpieza general del equipo con un trapo húmedo, cuidando de no humedecer las conexiones eléctricas.
- Revisar periódicamente los carbones de los motores de succión y, en su caso, cambiarlos cada 15 muestreos de 24 hrs. Si se cuentan con datos históricos de la concentración de PST, se recomienda programar los periodos de mantenimiento preventivo de acuerdo a lo mostrado en el Cuadro 2.
- Revisar las conexiones del temporizador y del regulador de voltaje.
- Verificar el funcionamiento correcto del graficador de flujo.

Concentración de PST estimada en el sitio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Número de días de muestreo.	Frecuencia de mantenimiento (asumiendo un muestreo cada 6 días).
40	30	6 meses
75	15	3 meses
150	10	2 meses
200	5	1 mes

Cuadro 2 Frecuencia de mantenimiento de muestreadores de partículas

3.1.2.2 Equipos de monitoreo de partículas

En el Cuadro 3 se presenta una guía para el mantenimiento del monitor de partículas suspendidas por el método de atenuación beta.

Cuadro 3. Guía de Mantenimiento para Monitores de Partículas Suspendidas - Método de Atenuación Beta

o : Revisión(incluyendo limpieza y ajuste) □: Reemplazo y suplemento

Aspectos a revisar		Criterios de revisión contenido	Activación	Frecuencia de revisión					Método de ejecución	
				1 semana	2 semanas	1 mes	3 meses	6 meses		1 año
Objeto	Concepto									
Toma de muestra	Tubo para la toma de muestra de aire	Suciedad de la pared interna	Que no sea evidente la suciedad.	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	Inspección visual y reemplazo
		Dobleza	Que no haya doblez.				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		Inspección visual
		Succión de objetos extraños	Que no haya insecto dentro del tubo.				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		Inspección visual
Cuerpo principal	Separador	Limpieza de la pared interna del impactador y aplicación de la grasa	Se limpia la pared interna y se aplica la grasa en la placa de impacto.				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		Inspección visual y limpieza del interior
	Medidores de flujo	Funcionamiento	Que no haya suciedad en la pared interna ni obstrucción del flotador.	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		Inspección visual
		Lavado	Tipo flotador: lavado en la pared interna y el flotador.					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Lavado
		Flujo másico: Mantenimiento					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
	Estabilizador del flujo	Verificación del flujo	Verificar y regular el flujo real de acuerdo con el valor preestablecido.	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>			Se verifica y se regula el flujo real utilizando el medidor de flujo de área tipo flotador previamente calibrado.
		Verificación del funcionamiento	Que se pueda regular el flujo sin mayores problemas.	<input type="radio"/>						
Bomba de succión para la muestra de aire	Funcionamiento	Que no haya ruidos ni vibraciones extraños.	<input type="radio"/>					<input type="checkbox"/>	De acuerdo con la necesidad, se desarma y se hace la limpieza de la bomba, el reemplazo del componente o de la bomba.	
	Desarme y revisión	Que la temperatura de escape no esté alta. Que no haya desgaste en la placa.	<input type="radio"/>					<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Tubería del paso de gas	Suciedad en la pared interna	Que no sea evidente la suciedad.				<input type="radio"/>		<input type="checkbox"/>	Inspección visual y limpieza o reemplazo	
	Dobleza o desvío	Que no haya doblez ni desvío.				<input type="radio"/>			Inspección visual	
Sección para recolectar la muestra	Adhesividad	Que el contorno del spot esté claro.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>					Inspección visual	



	Filtro	Cantidad restante del filtro	Que tenga la cantidad suficiente del filtro.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Inspección visual y reemplazo
		Estado de enrollado	Que se pueda enrollar sin mayores problemas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		Inspección visual
		Spot	Que el intervalo del spot e esté estable.	<input type="radio"/>			Inspección visual
	Fuente lineal	Suciedad	Que no haya suciedad en la superficie de la capa protectora de la fuente lineal.			<input type="radio"/>	Inspección visual y limpieza
	Detector	Suciedad	Que no haya suciedad en la superficie de la capa protectora del detector.			<input type="radio"/>	Inspección visual y limpieza
	Controlador	Funcionamiento	Que no haya anomalía	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	Verificación del funcionamiento
Impresora	Impresión	Falta de la tinta o cartucho	Que no haya falta de tinta. Que la impresión esté clara y legible	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	Se lava con el dispositivo especial para este fin
	Papel para el registro	Falta del papel	Verificación de la cantidad restante del papel	<input type="radio"/>		<input type="checkbox"/>	Inspección visual y reemplazo
Funcionamiento general	Verificación de cero	Cero Prueba de vacío	Estado en el momento de suspender la succión del aire de muestra. Estado de succión del aire de muestra	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	Se verifica colocando el filtro cero en la parte interna
	Calibración de Span	Prueba de capa equivalente	Que se pueda hacer la calibración Span	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	Prueba estática utilizando la capa equivalente
	Control del flujo	Verificación del flujo real Prueba del flujo real	Verificación y regulación del flujo real de acuerdo con el valor programado. Verificar si el flujo real mantiene al programado inmediatamente antes de la presión diferencial límite	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Cuadro 3. Guía de Mantenimiento para Monitores de Partículas Suspensas - Método de Atenuación Beta

3.1.3 Mantenimiento preventivo de los analizadores de gases y sus periféricos.

El mantenimiento preventivo a los equipos automáticos incluye la inspección y limpieza de sus accesorios y de los componentes de la toma de muestra, los cuales se enlistan a continuación:

- Revisar todo el sistema de conducción de la muestra: la toma, la distribución a los analizadores y la salida.
- Realizar limpieza interna y externa de todo el sistema de muestreo cada 3 meses o antes dependiendo de la rapidez de acumulación de suciedad.
- En cada visita al sitio se debe revisar que el extractor de la muestra esté operando adecuadamente.

En el caso particular de los equipos automáticos, los detalles de la revisión periódica que se realice por ciclo específico varían según la marca y los modelos, por lo que el encargado deberá estar capacitado por medio de un programa de entrenamiento adecuado basado en el “Manual del fabricante” o bien utilizando el “Manual de mantenimiento” elaborado de manera independiente. En el presente documento se resumen algunos aspectos a considerar y se presentan las actividades generales para hacer la revisión, independientemente del modelo de los equipos. Del Cuadro 4 al Cuadro 9, se indican la descripción y las frecuencias de cada trabajo clasificadas por el principio de medición que utilizan.

Cuadro 4. Analizador de SO₂ (Método de fluorescencia pulsante)

○: Revisión (incluyendo limpieza y ajuste) □: Reemplazo y suplemento

Puntos a controlar		Criterios de revisión/ Descripción	Frecuencia de revisión					Método de ejecución	
			1 semana	2 semanas	1 mes	3 meses	6 meses		1 año
Objeto	Concepto								
Entrada	Toma de muestra de aire (tubo de teflón)	Suciedad de la pared interna			○	□		□	Inspección visual, reemplazo Prueba de fuga
		Doblez de la tubería			○				
		Fuga en la parte de conexión			○				
Cuerpo principal	Filtro	Suciedad, obstrucción de los orificios	□	□					Inspección visual, reemplazo
		Limpieza				○			
	Medidores de flujo	Funcionamiento				○	○		Inspección visual, lavado y verificación de la alarma.
		Indicación del flujo		○	○				
	Bomba de succión	Movimiento Flujo	Que no haya sonidos extraños ni vibraciones.			○			Verificar con la vista, oído y el tacto. Reemplazo de la válvula, entre otros
			Que no presente alta temperatura. Que mantenga el flujo establecido				○	□	
	Válvula de cambio	Movimiento	Que el movimiento del cambio de paso del flujo sea suave.				○		Verificación del funcionamiento de cambio
Cortador HC	Capacidad de eliminación	Verificación de la capacidad.				○	○	Reemplazar periódicamente	
		Cambio periódico					□		□
Fuente óptica	Volumen óptico	Volumen óptico regulado	○					Verificación del valor indicado.	
		Reemplazo periódico.						□	Reemplazar periódicamente.
Absorbente Catalizador	Capacidad	Reemplazo periódico					□	□	Reemplazar periódicamente.



Funcionamiento general	Capilar.	Suciedad y obstrucción de los orificios.	Que no haya obstrucción de los orificios						<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	Lavar o reemplazar
	Sección fluorescente	Limpieza	Que se pueda hacer la calibración de cero y Span.						<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		Limpieza de la pared interna de la celda y el vidrio traslúcido
	Parte fotométrica	Temperatura	Que tenga la temperatura reglamentada						<input type="radio"/>			Inspección visual. Verificar tipo de revisión
	Ajuste de cero	Funcionamiento	Que se pueda hacer el ajuste de cero (con una variación de ± 4 ppb que la calibración anterior)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>							Ajustar después de que se estabilicen los valores indicados.
	Ajuste de Span	Funcionamiento	Que se pueda hacer el ajuste de Span (con una variación menor a $\pm 4\%$ con respecto al ajuste anterior)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>							Calibrar después de que se estabilicen los valores indicados
	Repetibilidad	Funcionamiento	$\pm 2\%$ del alcance de la escala						<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		Introducir varias veces el gas de calibración de la misma concentración
	Linealidad	Funcionamiento	$\pm 4\%$ del alcance de la escala						<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		Introducir otras 3 concentraciones intermedias entre cero y Span
	Desviación de cero	Funcionamiento	$\pm 2\%$ del alcance de la escala							<input type="radio"/>		Introducir el gas Span durante 24hrs.
	Desviación de Span	Funcionamiento	$\pm 2\%$ del alcance de la escala							<input type="radio"/>		Introducir el gas Span durante 24hrs
	Tiempo de respuesta (95%)	Funcionamiento	1 minuto							<input type="radio"/>		Después de introducir el aire cero, se introduce el gas Span y se mide el tiempo.

Cuadro 4. Analizador de SO₂ (Método de fluorescencia pulsante)

Cuadro 5. Analizador de NOx (Método de Quimiluminiscencia)

o: Revisión (incluyendo limpieza y ajuste) □: Reemplazo y suplemento

Puntos a controlar		Criterios de revisión/ Descripción	Frecuencia de revisión					Método de ejecución		
			1 semana	2 semanas	1 mes	3 meses	6 meses		1 año	
Objeto	Concepto									
Entrada	Toma de muestra de aire (tubo de teflón)	Suciedad de la pared interna			○	□		□	Inspección visual, reemplazo Prueba de fuga	
		Dobleza de la tubería			○					
		Fuga en la parte de conexión			○					
Cuerpo principal	Filtro (línea de muestra)	Suciedad, obstrucción de los orificios	□	□					Inspección visual, reemplazo	
		Limpieza				○				
	Medidores de flujo	Funcionamiento				○	○		Inspección visual, lavado y verificación de la alarma.	
		Indicación del flujo	○	○						
	Manómetro	Indicación de la presión		○	○				Inspección visual, ajuste de la presión y verificación de la alarma.	
	Controlador del flujo de gas	Presión y flujo	Que se encuentre dentro del intervalo establecido.			○	○		Verificar la obstrucción en los orificios y los tubos capilares, así como el funcionamiento del regulador de presión a través del manómetro y el medidor de flujo	
Filtro (otras líneas)	Suciedad, obstrucción de los orificios, limpieza	Sin obstrucción en los orificios.				□	○	○	Inspección visual y reemplazo	
Bomba de succión	Movimiento Flujo	Que no haya sonidos extraños ni vibraciones. Que no presente alta temperatura. Que mantenga el flujo establecido			○			○	□	Verificar con la vista, oído y el tacto. Reemplazo de la válvula, entre otros



Cuerpo principal	Válvula de cambio	Funcionamiento	Que sea suave el movimiento para cambiar el paso del flujo en la línea de medición NO y NOx.					<input type="radio"/>		Verificación del funcionamiento de cambio a través del sonido y el tacto	
	Dehumecedor para generar ozono	Reemplazo	Reemplazo del desecante Reemplazo del secador puro permanente					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Se reemplaza periódicamente	
	Procesador de ozono	Reemplazo	Reemplazo del absorbente o catalizador					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Se reemplaza periódicamente	
	Convertidor de NO ₂ → NO	Temperatura Eficiencia de la conversión Catalizador	Que se encuentre dentro de la temperatura preestablecida. Que sea mayor al 95%.	<input type="radio"/>				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	Se reemplaza periódicamente
	Cámara de reacción	Limpieza	Que no haya suciedad							<input type="radio"/>	Se hace la limpieza de la pared interna de la celda, así como el filtro óptico (se deberá utilizar el alcohol no fluorescente.)
	Sección de medición óptica	Temperatura	Que funcione correctamente el control de la temperatura (detector, regulador del flujo, enfriador de PMT, etc.).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>					<input type="radio"/>	Verificación de los valores indicados. Inspección visual
Funcionamiento general	Calibración cero	Funcionamiento	Que se pueda hacer la calibración cero (con una variación de ± 4 ppb con respecto a la calibración anterior)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>					Calibrar después de que se estabilicen los valores indicados	
	Calibración Span	Funcionamiento	Que se pueda hacer la calibración Span (con una variación menor a $\pm 4\%$ con respecto a la calibración anterior)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>					Calibrar después de que se estabilicen los valores indicados	
	Repetibilidad	Funcionamiento	$\pm 2\%$ del alcance de la escala					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Introducir varias veces el gas de calibración de la misma concentración	
	Linealidad	Funcionamiento	$\pm 4\%$ del alcance de la escala					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Introducir otras 3 concentraciones intermedias entre cero y Span	
	Desviación de cero	Funcionamiento	$\pm 2\%$ del alcance de la escala						<input type="radio"/>	Introducir el gas Span durante 24hrs.	
	Desviación de Span	Funcionamiento	$\pm 2\%$ del alcance de la escala						<input type="radio"/>	Introducir el gas Span durante 24hrs	
	Tiempo de respuesta (95%)	Funcionamiento	1 minuto						<input type="radio"/>	Después de introducir el aire cero, se introduce el gas Span y se mide el tiempo.	

Cuadro 5. Analizador de NOx (Método de Quimiluminiscencia)

Cuadro 6. Analizador de O₃ (Método de Fotometría en el Ultravioleta)

o: Revisión (incluyendo limpieza y ajuste) □: Reemplazo y suplemento

Puntos a controlar		Criterios de revisión	Activación	Frecuencia de revisión					Método de ejecución	Observ.	
				1 semana	2 semanas	1 mes	3 meses	6 meses			1 año
Objeto	Concepto										
Entrada	Entrada de la muestra del aire	1. Suciedad en la pared interna	Que no sea evidente la suciedad.	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Inspección visual y reemplazo	
		2. Doblez	Que no haya doblez.	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>			Inspección visual	
		3. Fuga de la parte de conexión	Que no haya fuga	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>			Prueba de fuga	
Cuerpo principal	Filtro	Suciedad, obstrucción de los orificios Limpieza	Sin obstrucción de los orificios. Limpieza del interior del porta filtro	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				Inspección visual, reemplazo	Se utiliza el filtro determinado.
	Medidor de flujo	Funcionamiento	Que no haya suciedad. Que no haya inmovilidad del flotador	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		Inspección visual y lavado	
	Válvula de cierre	Suciedad Obstrucción en los orificios	Que se pueda regular o programar el flujo sin mayores problemas	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		Se verifica operando la válvula de cierre y se realiza la limpiezas	
	Bomba de succión	Funcionamiento Flujo programado	Que no haya ruidos ni vibraciones extraños. Que se encuentre dentro del intervalo de flujo programado	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>			Inspección visual, regulación del flujo, desarme y limpieza, reemplazo periódico del diafragma	
	Válvula electromagnética de 3 vías (válvula rotatoria)	Funcionamiento	Que no haya fuga	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>		<input type="checkbox"/>	Revisión a través del medidor de flujo. Reemplazo de la válvula de 3 vías (válvula rotatoria) Reemplazo del empaque	
	Separador de ozono	Funcionamiento	Que se pueda separar el ozono y que no tenga la influencia de otros elementos como la humedad.				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		<input type="checkbox"/>	Verificación utilizando el gas ozono. Reemplazo



	Lámpara de la fuente óptica	Voltaje Volumen óptico	Que se pueda prender en el voltaje programado y que no presente la vibración.	<input type="radio"/>				<input type="radio"/>	Medición del voltaje (Revisión de la indicación del voltaje).	
			Que no haya suciedad ni manchas negras en la lámpara.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				Reemplazo de la lámpara	
			Que tenga el volumen programado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			<input type="checkbox"/>		
	Celda para la muestra	Suciedad	Que no haya suciedad				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Se desarma y se limpia en forma periódica	
	Tuberías	Fuga	Que no haya anomalía	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>		Se revisan las conexiones de las tuberías	
Funcionamiento general	Calibración cero	Funcionamiento	Que se pueda hacer la calibración cero (con una variación de ± 4 ppb con respecto a la calibración anterior)				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Introducir el aire purificado.	
	Calibración de Span	Prueba de capa equivalente	Que se pueda hacer la calibración cero (con una variación de ± 4 ppb con respecto a la calibración anterior)				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Se utiliza el generador de ozono	
	Verificación de la repetibilidad	Funcionamiento	$\pm 2\%$ de la escala máxima				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Introducir 3 veces	Verificar la desviación
	Verificación de la linealidad	Funcionamiento	$\pm 4\%$ de la escala máxima				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Introducir el gas ozono de 20, 40 y 80%.	Verificar la desviación

Cuadro 6. Analizador de O₃ (Método de Fotometría en el Ultravioleta)

Cuadro 7. Analizador de CO (Método de absorción en el infrarrojo no dispersivo / Correlación de filtro)

o: Revisión (incluyendo limpieza y ajuste) □: Reemplazo y suplemento

Puntos a controlar		Criterios de revisión/ Descripción	Frecuencia de revisión					Método de ejecución		
			1 semana	2 semanas	1 mes	3 meses	6 meses		1 año	
Objeto	Concepto									
Entrada	Toma de muestra de aire (tubo de teflón)	Suciedad de la pared interna			○	□		□	Inspección visual, reemplazo Prueba de fuga	
		Doblez de la tubería			○					
		Fuga en la parte de conexión			○					
Cuerpo principal	Filtro (línea de muestra)	Suciedad, obstrucción de los orificios.	□	□					Inspección visual, reemplazo	
		Limpieza				○				
	Medidores de flujo	Funcionamiento	Suciedad de la pared interna y el flotador.				○	○	Inspección visual, lavado y verificación de la alarma.	
		Indicación del flujo	Que se encuentre dentro del intervalo del flujo establecido	○	○					
	Manómetro	Indicación de la presión	Que se encuentre dentro de la presión preestablecida	○	○				Inspección visual, ajuste de la presión y verificación de la alarma.	
	Controlador del flujo de gas	Presión y flujo	Que se encuentre dentro del intervalo establecido.			○	○		Verificar la obstrucción en los orificios y los tubos capilares, así como el funcionamiento del regulador de presión a través del manómetro y el medidor de flujo	
Termómetro	Indicación de la temperatura	Que se encuentre dentro de la temperatura preestablecida.	○	○				Inspección visual y verificación de la alarma.		
Bomba de succión	Movimiento Flujo	Que no haya sonidos extraños ni vibraciones. Que no presente alta temperatura. Que mantenga el flujo establecido			○			○	□	Verificar con la vista, oído y el tacto. Reemplazo de la válvula, entre otros



Cuerpo principal	Fuente óptica	Volumen óptico	Volumen óptico preestablecido Reemplazo periódico	<input type="radio"/>					<input type="checkbox"/>	Verificación de los valores indicados. Reemplazo periódico
	Engrane del filtro de gas (Gas Filter Wheel)	Suciedad Rotación	Que no haya suciedad en las ventanas. Que esté girando sin mayores problemas.				<input type="radio"/>			Inspección visual. Verificación del estatus
	Celda para la muestra	Suciedad	Que no haya suciedad.						<input type="radio"/>	Se hace la limpieza en la pared interna de la celda, así como el reflector.
	Filtro óptico	Suciedad	Que no haya suciedad.						<input type="radio"/>	Limpieza
	Detector	Temperatura	Que esté funcionando correctamente el controlador de la temperatura.						<input type="radio"/>	Verificación de los valores indicados.
	Tubería	Suciedad. Obstrucción en los orificios. Fuga en la parte de conexión Temperatura	Que no haya suciedad, doblez, obstrucción en los orificios ni la fuga					<input type="radio"/>		Inspección visual.
Funcionamiento general	Calibración cero	Funcionamiento	Que se pueda hacer la calibración cero (con una variación de ± 4 ppb con respecto a la calibración anterior)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>					Calibrar después de que se estabilicen los valores indicados
	Calibración Span	Funcionamiento	Que se pueda hacer la calibración Span (con una variación menor a $\pm 4\%$ con respecto a la calibración anterior)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>					Calibrar después de que se estabilicen los valores indicados
	Repetibilidad	Funcionamiento	$\pm 2\%$ del alcance de la escala					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Introducir varias veces el gas de calibración de la misma concentración
	Linealidad	Funcionamiento	$\pm 4\%$ del alcance de la escala					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Introducir otras 3 concentraciones intermedias entre cero y Span
	Desviación de cero	Funcionamiento	$\pm 2\%$ del alcance de la escala						<input type="radio"/>	Introducir el gas Span durante 24hrs.
	Desviación de Span	Funcionamiento	$\pm 2\%$ del alcance de la escala						<input type="radio"/>	Introducir el gas Span durante 24hrs
	Tiempo de respuesta (95%)	Funcionamiento	1 minuto						<input type="radio"/>	Después de introducir el aire cero, se introduce el gas Span y se mide el tiempo.

Cuadro 7. Analizador de CO (Método de absorción en el infrarrojo no dispersivo / Correlación de filtro)

Cuadro 8. Guía para el mantenimiento de calibradores dinámicos

o : Revisión (incluyendo limpieza y ajuste) □: Reemplazo y suplemento

Puntos a controlar		Criterios de revisión	Activación	Frecuencia del control					Método de ejecución		
Objeto	Concepto			1 semana	2 semanas	1 mes	3 meses	6 meses		1 año	
Tubería / Cuerpo principal	Filtro de entrada	Obstrucción en los orificios y fuga	Que se pueda suministrar el gas en una presión predeterminada. Que el filtro esté fijo.	<input type="radio"/>						<input type="checkbox"/>	Verificar si se puede suministrar el gas correctamente bajo la presión predeterminada.
	Tubería externa	Estado de la tubería de entrada y de salida	Que no haya doblez, daños ni obstrucción en los orificios. Que la tubería esté de acuerdo lo establecido. Que no haya deterioro.	<input type="radio"/>							Verificación a través de la inspección visual.
	Conexión de la tubería externa	Estado de colocación de la tubería externa	Que no esté flojo ni que haya fuga.	<input type="radio"/>							Después de apretar la conexión, se verifica la fuga utilizando el agua enjabonada
	Tubería interna y Block	Estado de la tubería y el block en el paso de flujo	No haya doblez, daños ni obstrucción en los orificios. Que la tubería esté de acuerdo lo establecido. Que no haya deterioro.							<input type="radio"/>	Verificación a través de la inspección visual. En caso de presentar la obstrucción o la suciedad, se desarma y se lava.
Partes Funcionales	Manómetro	Regulación de la presión	Que se pueda indicar la presión específica.	<input type="radio"/>							Verificación de la presión.
	Regulador de la presión	Regulación de la presión	Que se pueda indicar la presión específica.	<input type="radio"/>						<input type="radio"/> <input type="checkbox"/>	Verificación de la presión o el flujo generado. Reemplazo del anillo <input type="radio"/>
	Válvula de cierre	Estado de programación	Que funcione sin desfassamiento ni fuga	<input type="radio"/>						<input type="radio"/>	Verificación de la programación y la operación. Desarme y lavado.



	Medidor de flujo	Estado de la indicación	Que el movimiento del flotador esté suave sin fuga.	<input type="radio"/>							<input type="radio"/>	Verificación del movimiento del flotador pasando el gas generado. <input type="radio"/> Desarme y lavado.
	Válvula	Funcionamiento	Que se abra y se cierre correctamente sin mayores problemas	<input type="radio"/>								Se abre y se cierra la válvula varias veces, y se verifica a través del medidor de flujo
	Válvula electromagnética	Funcionamiento	Que haya control normal sin ruidos extraños durante la operación	<input type="radio"/>								Se repite ON-OFF y se verifica con el medidor de flujo
	Tubo secador	Eliminación de la humedad	Que más de ½ de gels de sílice sea de color rosa	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>							Verificación a través de la inspección visual y reemplazo
	Lámpara de ozono	Estabilidad	Que no haya falla de encendido ni flasheo	<input type="radio"/>							<input type="radio"/>	Verificación a través de la inspección visual
	Tubo del catalizador	Capacidad	Reemplazo del catalizador	<input type="radio"/>							<input type="checkbox"/>	Reemplazo
	Tubo de absorción	Capacidad	Reemplazo de carbón activo y cal	<input type="radio"/>							<input type="checkbox"/>	Reemplazo. En el caso del deterioro importante, se reduce la frecuencia del reemplazo.
Ajuste general	Flujo generado	Revisión del flujo	Que el flujo generado esté de acuerdo con las especificaciones	<input type="radio"/>							<input type="radio"/>	Verificación a través del medidor de flujo.
	Presión generada	Revisión de la presión	Que la presión generada esté de acuerdo con las especificaciones.	<input type="radio"/>							<input type="radio"/>	Verificación a través del manómetro
	Generación de aire cero	Capacidad de purificación	Que esté de acuerdo con las especificaciones.								<input type="radio"/>	Comparación con el gas cero envasado, o bien la comparación con el gas obtenido desde el equipo de preparación de gas para la calibración

Cuadro 8. Guía para el mantenimiento de calibradores dinámicos

Cuadro 9. Guía de mantenimiento para generadores de aire limpio

o: Revisión (incluyendo limpieza y ajuste) □: Reemplazo y suplemento

Puntos a controlar			Criterios de revisión	Activación	Frecuencia del control						Método de ejecución
Objeto	Concepto				1 semana	2 semanas	1 mes	3 meses	6 meses	1 año	
Tubería / Cuerpo principal	Filtro de entrada	Obstrucción en los orificios y fuga	Que se pueda suministrar el gas en una presión predeterminada. Que el filtro esté fijo.	<input type="radio"/>						<input type="checkbox"/>	Verificar si se puede suministrar el gas correctamente bajo la presión predeterminada.
	Tubería externa	Estado de la tubería de entrada y de salida	Que no haya doblez, daños ni obstrucción en los orificios. Que la tubería esté de acuerdo lo establecido. Que no haya deterioro.	<input type="radio"/>							Verificación a través de la inspección visual.
	Conexión de la tubería externa	Estado de colocación de la tubería externa	Que no esté flojo ni que haya fuga.	<input type="radio"/>							Después de apretar la conexión, se verifica la fuga utilizando el agua enjabonada
	Tubería interna y Block	Estado de la tubería y el block en el paso de flujo	No haya doblez, daños ni obstrucción en los orificios. Que la tubería esté de acuerdo lo establecido. Que no haya deterioro.							<input type="radio"/>	Verificación a través de la inspección visual. En caso de presentar la obstrucción o la suciedad, se desarma y se lava.
Partes Funcionales	Prueba de fuga de gas	Fuga	Cuando se carga de N2 con la presión utilizada o de aire, entre la entrada y la salida, que la reducción de la presión durante los 5 minutos sea menor al 1%.	<input type="radio"/>							Verificación de la reducción de la presión
	Tapa de cambio	Estado de programación	Que se pueda hacer el cambio sin problemas y que se pueda fijar o cerrar en una posición determinada.	<input type="radio"/>						<input type="radio"/> <input type="checkbox"/>	Después de realizar la programación se verifica. Reemplazo del anillo O.
	Válvula de cierre	Estado de programación	Que funcione sin desfassamiento ni fuga	<input type="radio"/>						<input type="radio"/>	Verificación de la programación y la operación. Desarme y lavado.



	Medidor de flujo	Estado de la indicación	Que el movimiento del flotador esté suave sin fuga.	<input type="radio"/>								<input type="radio"/> Verificación del movimiento del flotador pasando el gas generado. <input type="radio"/> Desarme y lavado.
	Regulador de la presión	Regulación de la presión	Que se pueda indicar la presión específica.	<input type="radio"/>								<input type="radio"/> Verificación de la presión o el flujo generado. Reemplazo del anillo O
	Válvula	Funcionamiento	Que se abra y se cierre correctamente sin mayores problemas	<input type="radio"/>								Se abre y se cierra la válvula varias veces, y se verifica a través del medidor de flujo
	Válvula electromagnética	Funcionamiento	Que haya control normal sin ruidos extraños durante la operación	<input type="radio"/>								Se repite ON-OFF y se verifica con el medidor de flujo
Ajuste general	Flujo generado	Revisión del flujo	Que el flujo generado esté de acuerdo con las especificaciones	<input type="radio"/>								<input type="radio"/> Verificación a través del medidor de flujo.
	Presión generada	Revisión de la presión	Que la presión generada esté de acuerdo con las especificaciones.	<input type="radio"/>								<input type="radio"/> Verificación a través del manómetro
	Precisión	Desviación del gas patrón.	Que esté de acuerdo con las especificaciones.									<input type="radio"/> Comparación con el gas cero envasado, gas patrón de baja concentración en contenido en cilindro o bien la comparación con el gas obtenido desde el equipo de preparación de gas para la calibración.

Cuadro 9. Guía de mantenimiento para generadores de aire limpio

3.1.4 Mantenimiento preventivo de los sensores meteorológicos.

El mantenimiento preventivo que se debe dar a los sensores meteorológicos (dirección y velocidad del viento, radiación solar, temperatura y humedad relativa) consiste básicamente en operaciones de limpieza, lubricación y sustitución de partes dañadas que por lo general presentan polvo depositado.

En caso de que surjan anomalías en las lecturas se deberán seguir las instrucciones específicas de los manuales de los equipos o en su caso consultar directamente a los fabricantes.

Cuando un sensor meteorológico se somete a un mantenimiento mayor deberá verificarse la calibración después de éste. Todas las actividades de mantenimiento deben registrarse en la bitácora del equipo correspondiente. En el Cuadro 10 se encuentran algunos ejemplos de mantenimiento y periodos de mantenimiento para los equipos de medición de parámetros meteorológicos.

Cuadro 10. Mantenimiento preventivo de equipos meteorológicos.

Puntos a controlar		Criterios de revisión contenido	Frecuencia de control				Método de ejecución	Observ.
			1 mes	3 meses	6 meses	1 año		
Objeto	Concepto							
Velocidad y Dirección de Viento	Torre meteorológica. Transmisor.	Que no tuviera anomalías en su forma.	<input type="radio"/>				Inspección visual.	Punto cero
	Estado de registro.	Que no tuviera anomalías en su forma.					Inspección visual.	Cada 45°
	Prueba de precisión para la dirección del viento.	Que no tuviera anomalías como indicaciones en línea recta.	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	Detener la hélice. Separar el cable.	Cada 5m/s
	Prueba de precisión para la velocidad del viento.	Menor a 10m/s es menor a 0.3m/s Mayor a 10m/s es menor a 0.3%	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	Utilizar el disco de orientación de dirección de viento. Utilizar el aparato de prueba rotación para medición de la velocidad del viento.	
Temperatura	Transmisor.	Que no tuviera anomalías en su forma.	<input type="radio"/>				Inspección visual.	N° de veces
	Estado de registro.	Que haga un registro fluido.	<input type="radio"/>				Inspección visual.	
	Ventilador.	Que esté girando y que esté ventilando.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			Inspección visual.	Cada 10°C
	Radiación.	Que no tenga polvo o telaraña.	<input type="radio"/>				Utilizar el desecador de humedad Assman.	
	Shield.	Que sea menor de ±5%.	<input type="radio"/>				Utilizar la resistencia falsa o alterna.	
	Prueba de comparación Assman.	Que sea menor de ±5°C	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	Comparar con el aparato de transferencia de estándar.	
	Prueba de eficiencia del convertidor.	Que sea menor de ±3%				<input type="radio"/>		
Humedad	Transmisor.	Que no haya anomalías en su forma.	<input type="radio"/>				Inspección visual	N° de veces
	Estado de registro.	Que haga un registro fluido.	<input type="radio"/>				Inspección visual	
	Prueba de comparación Assman.	Que sea menor de ±5%.		<input type="radio"/>			Utilizar el desecador de humedad Assman	
	Prueba de calibración para la humedad.	Que sea menor de ±3%.				<input type="radio"/>	Utilizar el Kit de calibración para la humedad.	
	Prueba de comparación del aparato de transferencia de estándar.	Que sea menor de ±3%.				<input type="radio"/>	Comparar el aparatado de referencia	



Medidor de radiación	Transmisor. Estado de registro. Prueba de precisión. Calibración.	Que no haya anomalías en el domo de vidrio. Que los datos picos se ubique Que sea menor de $\pm 3\%$. Prueba de comparación con el medidor de radiación patrón.	<input type="radio"/>			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Insertar al convertidor de presión falsa o alterno, y observar el proceso	Después de 10, 20, 30 ,60 min.
Medidor de radiación neta	Transmisor. Estado de registro. Prueba de precisión. Calibración.	Que no haya anomalías en el domo de polietileno. Verificar la relatividad con la radiación. Que esté haciendo el cambio de registro diurno y nocturno. Solicitar la calibración del incinerador de cuerpo negro.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="radio"/>	Inspección visual, reemplazo. Inspección visual. Inspección visual.	
Medidor de lluvia	Transmisor. Estado de registro. Prueba de precisión.	Que la forma esté normal y sin suciedad. En el caso de la válvula de inversión, que el cambio de los valores indicados sea progresiva Que sea menor de $\pm 3\%$.	<input type="radio"/>				<input type="radio"/>	Inspección visual y limpieza. Inspección visual. Aplicar pulsos falsos o alternos.	Cada 10mm

Cuadro 10. Mantenimiento preventivo de equipos meteorológicos.

3.1.5 Mantenimiento preventivo al sistema de transmisión y almacenamiento de datos.

El sistema de transmisión y almacenamiento de datos es un elemento que sin duda debe ser integrado al PMP de la organización, toda vez que en este se concentra y transmite la información de la calidad del aire y el estado de operación de las redes y de las estaciones de medición. Para garantizar una operación continua y proteger tanto la integridad física de las bases de datos, de los equipos y de la instalación en general, el PMP debe incluir lo descrito en el Cuadro 11.

Actividad de mantenimiento preventivo		Frecuencia mínima
1	Revisión y limpieza de equipo de cómputo	Cuatrimestral
2	Prueba de arranque de equipo de emergencia para cortes del suministro de energía eléctrica.	Quincenal
3	Revisión del estado de conexiones, tierras físicas y luminarias	Semestral
4	Revisión de instalaciones eléctricas mayores	Anual
5	Revisión de techos, paredes, ventanas, entre otros, para detección de humedad, goteras, acumulación de polvo, entre otros.	Anual

Cuadro 11. Tipo y frecuencia del PMP para el sistema de transmisión y almacenamiento de datos.

3.2 Mantenimiento correctivo

Además de las actividades de mantenimiento preventivo, también es necesario considerar actividades de mantenimiento no programadas, esto es de mantenimiento correctivo, derivadas de un funcionamiento anormal de los equipos. Éstas se determinan a través de las visitas a la estación o bien de los propios indicadores de fallas de los equipos y deben atenderse conforme a las instrucciones de los manuales de operación y mantenimiento de los equipos.

Además de las prácticas de supervisión, comunicación y diagnóstico eficientes, los factores determinantes para responder en forma eficaz a este tipo de contingencias incluyen:

- Disponibilidad de partes y refacciones.
- Disponibilidad de equipos para sustitución (muestreadores, monitores, analizadores, entre otros).
- Personal entrenado y dispuesto a laborar por periodos extraordinarios o, en su caso, disponibilidad de proveedores de servicio externos competentes y comprometidos.

Ya que las fallas son detectadas a partir de las inspecciones de rutina, se debe realizar un reporte que incluya los resultados de éstas. Se recomienda elaborar un formato de reporte que incluya los aspectos descritos en las secciones anteriores que permitan detectar fallas en los equipos y/o infraestructura. El reporte debe ser elaborado por el técnico que realiza la visita. Éste deberá entregarlo a su superior o al personal encargado de realizar la revisión, diagnóstico de fallas y corrección de las mismas cuando corresponda.

En las estaciones de medición se llevan a cabo tareas de reemplazo periódico de consumibles y de reparación de averías que no requieren un mantenimiento a fondo. Los mantenimientos preventivos y/o correctivos que requieran de mayor capacidad técnica y de infraestructura deberán realizarse fuera de la estación, en las áreas correspondientes de mantenimiento. En el Manual 2, Sistemas de Medición de la Calidad del Aire, se presentan las características de estas áreas.

3.3. Inventario de equipos y refacciones

Los responsables de los PMP deberán mantener actualizado un inventario detallado de la totalidad de equipos, así como de refacciones, consumibles y accesorios principales, ya sean propios o asignados en como-dato, de los que dispone el SMCA. Por medio de estos inventarios se puede controlar en forma efectiva la cantidad, localización y estado operativo de materiales y equipos, así como los datos del personal responsable de su resguardo y buen uso.

Un aspecto fundamental en el control de inventarios es la correcta identificación de los equipos a partir de la asignación de un número de inventario único. Dicho código de identificación debe estar adherido o prendido, según corresponda, en el componente inventariado, en un lugar visible y en forma segura. Se trata de disponer de un sistema codificado que facilite sustancialmente la identificación, localización y, en particular, las tareas de mantenimiento preventivo.

El PMP también debe disponer de una lista de partes actualizadas. Ésta se debe realizar, aunque sea en forma provisional, antes de recibir los equipos de nueva adquisición, a partir de consultas con el proveedor para disponer de lotes de consumibles y refacciones críticas a la llegada de los equipos. Dichas listas de partes deben contener por lo menos la siguiente información:

- Marca, modelo y descripción del equipo al que pertenecen,
- Número de parte y datos del proveedor,
- Especificaciones o tipo,
- Precio unitario en la última adquisición,
- Tiempo promedio de entrega,
- Disponibilidad del proveedor (en existencia o sobre pedido),
- Cantidad deseable en existencia,
- Cantidad actual en existencia,
- Estado en términos de su importancia,
- Fecha de revisión (corrección).

En la actualidad, el uso de computadoras y hojas de cálculo permite el diseño de bases de datos interactivas para el manejo de inventarios y listas de partes que puedan incluso dar avisos preventivos o de alarma cuando se llega a un número crítico de las existencias de un determinado consumible, refacción o componente.

El diseño de estos formatos computarizados puede requerir tiempo y muchas horas de trabajo la primera vez, pero una vez elaboradas se convierten en poderosas herramientas que facilitan los PMP.

4. CALIBRACIÓN

La calibración se define como: “la comparación de un estándar de medición, o de un equipo, con un estándar o equipo de mayor exactitud, para detectar y cuantificar imprecisiones y reportarlas o eliminarlas mediante un ajuste” (EPA, 2008). En este sentido, la calibración es la actividad de control de calidad más importante dentro de la medición, ya que establece la relación del valor medido por un equipo con un valor convencionalmente real, dando validez y trazabilidad a la medición.

La trazabilidad es un concepto fundamental que debe considerarse en los programas de calibración. Según la NMX-Z-055:1996 INMC se define trazabilidad como: “propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, tal que ésta pueda ser relacionada con referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas incertidumbres determinadas”

Cuando se utilizan los equipos de medición de manera continua, la exactitud y la precisión de la medición varían gradualmente a causa del desgaste de sus partes o por interferencias causadas por la acumulación de polvo o mugre, por lo que es necesario validarlas por medio de una calibración y corregirlas, si es necesario.

Los SMCA requieren de programas consistentes de calibración para todos los equipos de muestreo y de medición. Es recomendable que todos los datos y cálculos derivados de la calibración se registren en la bitácora o expediente del equipo.

Cada equipo debe calibrarse apegándose a las condiciones de operación, conforme a procedimientos basados tanto en las instrucciones específicas del manual de operación del equipo, como en las directrices generales provistas por los métodos normalizados (Normas Oficiales Mexicanas para la medición de contaminantes).

Durante la ejecución de los programas de calibración se efectúan diferentes tipos de calibraciones cuya complejidad y aplicación pueden variar en función de las circunstancias y de los objetivos establecidos. Sin embargo, es importante que en las calibraciones se consideren los siguientes aspectos:

- Trazabilidad de los estándares o materiales de referencia;
- Procedimientos establecidos y validados;
- Programación; y
- Documentación de los resultados.

En las siguientes secciones se presentan algunas metodologías generales para la calibración de los diversos equipos utilizados en la medición de la calidad del aire.

4.1. Calibración de muestreadores de partículas

Los equipos utilizados para el muestreo manual de PST, PM₁₀ y PM_{2.5} son los muestreadores de alto volumen (ver Manual 3). La calibración de este tipo de muestreadores se realiza usando un estándar de transferencia de flujo de alto volumen (Figura 2). Este equipo se compone de un adaptador para la base del filtro, un cilindro con orificio, cinco placas con 18, 13, 10, 7 y 5 orificios respectivamente, empaques, un manómetro de agua y manguera para conectarlo al cilindro. Actualmente son utilizados dispositivos que en lugar de placas, tienen una adaptación en el cilindro que permite variar el tamaño de apertura de los orificios. Estos son utilizados de la misma manera que los de placas, la única diferencia es que sustituye el uso de las mismas. Cualquiera de los dos tipos de equipos es conocido también como kit de calibración para muestreadores de alto volumen.



Figura 2. Estándar de transferencia de flujo de alto volumen.

El principio de la calibración es la transferencia de un flujo conocido que está referenciado directamente a la caída de presión que se ejerce en el cilindro, por la restricción provocada por las placas al momento de succionar el aire. El estándar de transferencia debe ser calibrado cada año contra un patrón de flujo de desplazamiento positivo.

El procedimiento para la calibración de los muestreadores de alto volumen se encuentra establecido en la sección 11 de la Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993.

4.2 Calibración de monitores de partículas

Actualmente no existe en México ninguna Norma o Método de Referencia para la calibración de este tipo de equipos. La US-EPA sugiere diversos métodos para la calibración del flujo y otros parámetros críticos de operación (presión, temperatura, entre otros) de este tipo de equipos. Debido a la diversidad y a las diferencias que existen entre los monitores de partículas, se recomienda llevar a cabo el procedimiento establecido en los manuales de operación de estos equipos de medición.

4.3 Calibración de analizadores automáticos.

Existen dos tipos principales de calibraciones y/o verificaciones para el caso de los analizadores de gases: la calibración/verificación cero-span y la calibración multipunto. La primera es utilizada con mayor frecuencia como una herramienta de control de calidad; la segunda se utiliza para verificar la linealidad de los analizadores y, en su caso, ajustarlos.

Como se mencionó en el Manual 3, para la calibración de los analizadores de gases se utilizan: un calibrador dinámico con generador de ozono, una fuente de aire cero y un cilindro con el gas patrón. Por lo tanto para asegurar la trazabilidad de la medición de los analizadores, además de un adecuado programa de calibración, es indispensable considerar lo siguiente:

- Realizar la verificación y el ajuste continuo de los controladores de flujo másico de los calibradores dinámicos.

En el capítulo 12 (Calibraciones) del Manual de Aseguramiento de Calidad Vol. II, dic. 2008, publicado por la US-EPA se encuentran los métodos para la calibración y la referencia en la medición de flujos.

- En el caso de la medición de CO, NO_x y SO₂, contar con uno o varios cilindros que contienen el gas y que además éste tenga trazabilidad hacia materiales de referencia nacionales o internacionales. En el caso de

la medición de O₃, contar con un estándar de transferencia, esto es, un sistema de calibración con generador interno de ozono o sólo un equipo generador de ozono, que haya sido calibrado contra un patrón de referencia.

Cabe resaltar la importancia que tiene el uso de graficadoras para observar con mayor detalle el comportamiento de cada equipo, no sólo durante la calibración, sino también en la operación.

En las siguientes dos secciones se describen los dos tipos de calibraciones, posteriormente se presentan los procedimientos generales para la calibración multipunto de los analizadores.

4.3.1 Verificación cero-span.

La verificación cero-span es utilizada para evaluar el desempeño de los analizadores y la estabilidad de la calibración. Aunque carece de las ventajas de una calibración multipunto, como la verificación de la linealidad (ver sección 4.3.2), la verificación cero-span se puede y se debe realizar con mayor frecuencia, ya que es uno de los controles de calidad, mediante la observación de los corrimientos de la respuesta en el cero y en el span de cada analizador. Dependiendo de la marca y modelo de analizadores que se utilicen; este tipo de verificación puede ser automatizada

Los analizadores de NO/NO₂/NO_x pueden no contar con controles individuales de cero-span para cada canal. Si este es el caso, los controles deben ser ajustados bajo las condiciones especificadas en el procedimiento de calibración del manual del equipo.

El procedimiento general para la verificación cero-span se describe a continuación:

1. Desconectar la entrada de la toma de muestra de aire ambiente del analizador y conectarla al sistema de calibración .
2. Generar la concentración span (generalmente al 80 % del rango de operación del analizador).
3. Sin ajustar y una vez estable la lectura, registrar la respuesta del analizador con respecto a la concentración generada.
4. Generar aire cero.
5. Sin ajustar y una vez estable la lectura, registrar la respuesta del analizador.

NOTA: en el caso de las verificaciones automáticas, el uso de graficadoras o el datalogger proveen los registros correspondientes al analizador.

En el Cuadro 12 se presentan los criterios para que, a partir de los registros de las verificaciones cero-span, se determine realizar una calibración multipunto.

	Determinación para la realización	Medidores de SO ₂ , NO _x , O ₃ y CO	Medidor de PM ₁₀
Calibración del cero	No se requiere calibrar	±0.5% RO	
	Se puede calibrar	±0.5 a ± 1% RO	Menor a 5µg/m ³
	Calibrar	Mayor a ± 1% RO	Mayor a 5µg/m ³
Calibración del Span	No se requiere calibrar	±1% RO	
	Se puede calibrar	±1 a ± 10% RO	
	Calibrar	Mayor a ± 10% RO	

RO: Rango de Operación.

Cuadro 12. Criterios para realizar la calibración multipunto (en base a las verificaciones cero-span).

Como ya se mencionó, como herramienta de registro, es recomendable el uso del graficador. Cuando se tiene la respuesta de que en el momento de la introducción del gas patrón no se estabiliza el equipo, puede significar la existencia de una falla operativa del analizador o inclusive del calibrador, por lo que no se debe hacer la calibración y se deben realizar los arreglos o las reparaciones pertinentes.

Algunos comportamientos anormales de respuestas en el momento de la introducción del aire cero y/o span son: saltos pronunciados (cambios bruscos sin una secuencia en los valores de medición), indicaciones zigzagueantes, descenso y ascenso continuos.

En las Figura 3 y Figura 4 se pueden observar los comportamientos esperados y anormales en las calibraciones de cero y span.

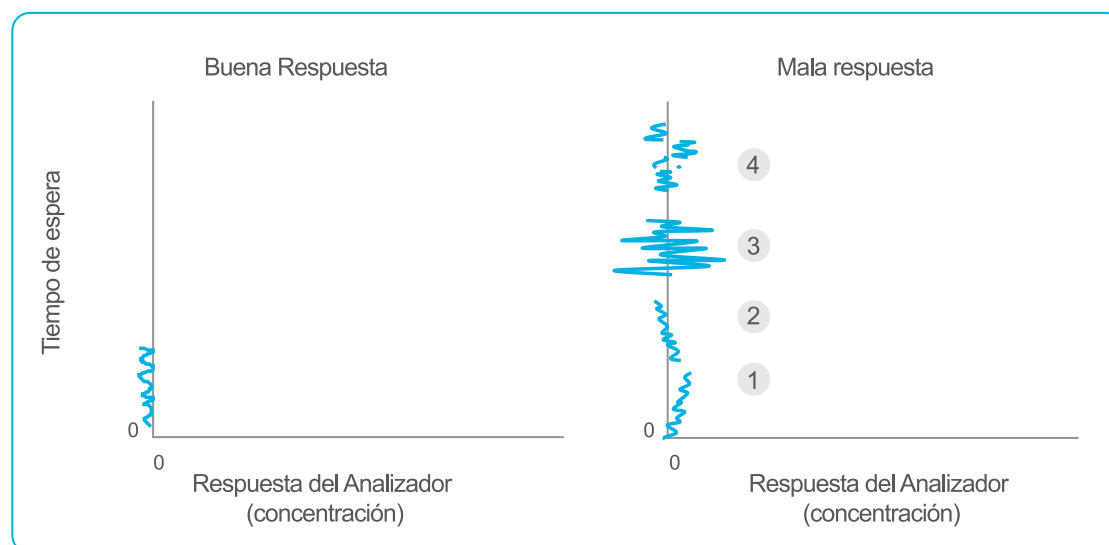


Figura 3. Comportamientos normales y anormales en la respuesta del analizador al generar aire cero

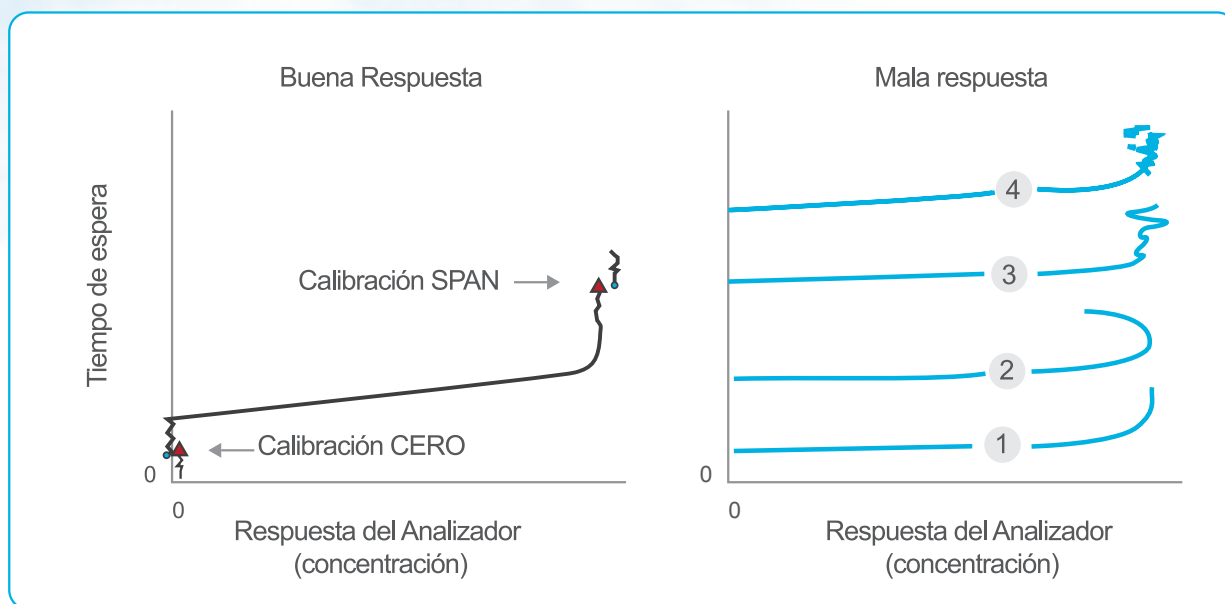


Figura 4. Comportamientos normales y anormales en la respuesta del analizador al generar la concentración span.

4.3.2 Calibración multipunto.

Las calibraciones multipunto consisten en suministrar tres o más concentraciones de prueba, incluyendo el cero, el span y una o más concentraciones intermedias espaciadas en intervalos aproximadamente iguales dentro del intervalo de operación. Al diluir el gas contenido dentro del cilindro con el aire cero utilizando el calibrador dinámico, se genera el gas de calibración con las concentraciones necesarias. Se introduce la concentración de calibración y se observa la respuesta del equipo de medición durante un tiempo mínimo de 10 minutos.

Los criterios a considerar para realizar una calibración multipunto son los siguientes:

- En la instalación inicial de un equipo,
- Después de la reubicación del equipo,
- Después de cualquier reparación o servicio,
- Después de una interrupción de varios días en su operación y cuando aparezca alguna indicación de mal funcionamiento.

- Una calibración multipunto cada 3 meses para todos los analizadores en operación normal,
- Cuando en los analizadores que se encuentran en operación exceden un corrimiento de cero (1% del rango de operación) y/o span ($\pm 10\%$), o cuando se utilizan gráficas de control, el corrimiento es 3 veces la desviación estándar del valor de control,
- En analizadores nuevos, se recomienda una primera calibración multipunto en su instalación y una segunda en un periodo menor a 3 meses.

Como se ha mencionado, estas calibraciones multipunto son usadas para establecer y/o verificar la linealidad de los analizadores una vez instalados, después de reparaciones mayores y/o cada determinado tiempo (según el programa de calibración). En el Cuadro 13 se indican los intervalos de concentración utilizados en la práctica para este tipo de calibraciones en analizadores de contaminantes criterio.

No.	Punto de prueba	SO ₂ ,NO _X y O ₃ (ppb)	CO (ppm)
1	Cero	0 - 0	0.0
2	Span	350 -450	35.0 - 45.0
3	Primer punto	275 - 325	27.5 - 32.5
4	Segundo punto	150 - 200	15.0 - 20.0
5	Tercer punto	80 - 100	8.0 - 10.0
6	Cuartopunto	30 - 80	3.0 - 8.0

Cuadro 13. Intervalos comunes de concentración en una calibración multipunto

El cálculo de las concentraciones de los gases de calibración para SO₂, NO_x y CO, se lleva a cabo aplicando la siguiente ecuación:

$$C_G = \frac{C_C \times Q_C}{Q_C + Q_Z}$$

Donde:

CG: Concentración generada del gas de calibración (ppb = ppm*1000)

CC: Concentración del gas en el cilindro (ppm)

QC: Flujo de gas del cilindro a través del calibrador (cc/min), y

QZ: Flujo de aire cero a través del calibrador (cc/min)

El cálculo del porcentaje de diferencia por punto de prueba permite observar con mayor detalle la linealidad del analizador. Este se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$\%Diff = \frac{C_A - C_G}{C_G} \times 100$$

Donde:

% Diff: Porcentaje de diferencia

CA: Concentración observada por el analizador y registrada por el sistema de datos, en las mismas unidades que C, y

CG: Concentración generada del gas de calibración (ppm o ppb).

Cuando se efectúa este tipo de calibración, se recomienda registrar las lecturas de respuesta de cero y span antes de realizar cualquier ajuste al analizador, ya que estos registros sin ajustar proporcionan valiosa información para confirmar la validez de las mediciones obtenidas previamente.

El procedimiento general para la calibración multipunto se describe a continuación:

1. Desconectar la entrada de la toma de muestra de aire ambiente del analizador y conectarla al sistema de calibración. Nota: cuando la estación cuenta con el sistema de calibración, este tipo de calibraciones pueden realizarse utilizando los puertos del analizador destinados para tal fin; en este caso, no se realizan cambio alguno en las tuberías.
2. Generar aire cero.
3. Sin ajustar y una vez estable la lectura, registrar la respuesta del analizador (Z').
4. Ajustar el cero en el analizador y permitir nuevamente su estabilización.
5. Una vez estable la lectura, registrar nuevamente la respuesta del analizador en cero (Z). NOTA: Desplazar hasta el 1% de la escala, la lectura del cero, puede ayudar a observar cualquier desplazamiento negativo durante las mediciones. Si un desplazamiento (A) es usado, registrar la lectura sin desplazamiento como, Z-A.

6. Generar la concentración span.
7. Sin ajustar y una vez estable la lectura, registrar la respuesta del analizador (S') con respecto a la concentración generada.
8. Ajustar el span en el analizador y permitir nuevamente su estabilización.
9. Una vez estable la lectura, registrar nuevamente la respuesta del analizador en el span (S)
10. Generar las concentraciones intermedias y una vez estable la lectura, registrarla.
11. Generar nuevamente aire cero, permitir la estabilización de la lectura y registrarla.

Con los datos registrados, graficar la respuesta del analizador contra las concentraciones enviadas para generar una curva de calibración como se muestra en la Figura 5.

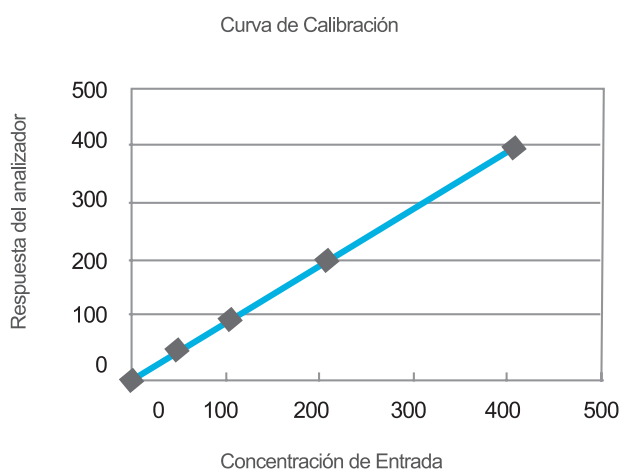


Figura 5. Curva de calibración.

En general los datos de calibración del analizador son graficados contra sus respectivas concentraciones de prueba, y la mejor curva de ajuste lineal para los puntos debe determinarse a partir de la regresión de mínimos cuadrados conducente, donde la pendiente y el punto de intersección de la curva de calibración es obtenida por la siguiente ecuación:

$$y = mx + b$$

Donde:

y: respuesta del analizador,

x: concentración del contaminante

m: pendiente, y

b: punto de intersección de la mejor curva de ajuste.

Se puede despejar x de la ecuación anterior para expresar las lecturas del analizador (y) en términos de la concentración de la calibración.

$$x = \frac{y - b}{m}$$

Un indicador usado para el control de calidad sobre las calibraciones es el coeficiente de correlación, el cual también es calculado con la regresión lineal correspondiente. Una

carta de control con el coeficiente de correlación puede elaborarse para monitorear el grado de dispersión de los puntos de calibración y verificar que se encuentran dentro de los límites de aceptación establecidos.

4.3.3 Calibración de analizadores de SO₂, CO y NO_x.

La calibración multipunto de los analizadores de SO₂, CO y NO_x se realiza de acuerdo a lo descrito en la sección 4.3.2. En esta sección se presenta el procedimiento general.

Antes de iniciar la calibración se debe verificar que la presión del cilindro que contiene el gas es mayor a 500 psi. El cilindro deberá reemplazarse cuando la presión interior sea menor a la indicada.

Es recomendable que las lecturas de respuesta del analizador se obtengan del mismo dispositivo de registro (graficadora, pantalla del equipo, sistema de adquisición de datos) que será usado para las subsecuentes mediciones de las concentraciones en el aire ambiente.

Los recursos materiales necesarios y el procedimiento general para la calibración de analizadores de SO₂, CO y NO_x, utilizando el método de dilución, es el siguiente:

Equipos y materiales

- Cilindro que contenga el o los gases de los contaminantes y que cuente con trazabilidad a los materiales de referencia correspondientes.
- Cilindro que contenga aire cero o equipo generador de aire cero.
- Calibrador dinámico, que genera el gas de calibración a diferentes concentraciones diluyendo el gas del cilindro con aire cero.
- Analizador a calibrar.
- Sistema de adquisición de datos.
- Graficadora (opcional).
- Sondas de acero inoxidable, teflón u otro material inerte.
- Conexiones de acero inoxidable, teflón u otro material inerte.
- Solución de jabón especial para detección de fugas, no corrosiva, no tóxica y no inflamable.

Procedimiento de calibración.

1. Conectar el sistema de calibración: conectar el cilindro y la salida del aire cero a los puertos de entrada del calibrador dinámico.
2. Desconectar la tubería de muestra del analizador a calibrar del múltiple de distribución.
3. Conectar la salida del gas de calibración del calibrador dinámico al puerto de entrada de muestra del analizador a calibrar .

4. Conectar la graficadora al analizador y encenderla. En caso de no contar con un graficador, las respuestas serán tomadas del sistema de adquisición de datos o de la pantalla del analizador.
5. Encender el calibrador dinámico y, en su caso, el generador de aire cero.
6. Abrir las válvulas del cilindro y de la generación de aire cero y regular la presión de las líneas en un intervalo de 20 a 30 psia.
7. Verificar las conexiones del sistema de calibración (calibrador dinámico, cilindro de gas y cilindro o generador de aire cero) con la solución jabonosa para la detección de fugas. Nota: La solución jabonosa se deberá aplicar alrededor de las conexiones que estrictamente mantengan una presión positiva en la línea, de tal manera que se evite la succión de la solución y que pueda dañar los dispositivos internos de los equipos.
8. En caso de encontrar una fuga, eliminarla utilizando cinta teflón en la conexión o sustituyendo las conexiones con nuevas.
9. Generar aire cero con el calibrador dinámico.
10. Esperar al menos una hora para la estabilización de los componentes del sistema de calibración (se da por hecho que el analizador a calibrar ha estado operando y por lo tanto sus componentes están estabilizados).
11. Generar aire cero, se recomienda generarlo a una tasa de 5 l/min, ya que este valor es la mitad del intervalo de operación del controlador de flujo másico de aire y en este punto se observa la mayor precisión y exactitud del equipo .
12. Esperar cuando menos 10 minutos para la estabilización de la lectura (si es posible, observar el comportamiento del analizador en la gráfica).
13. Una vez estabilizada la respuesta, anotar la lectura que reporta el sistema de adquisición de datos para el analizador a calibrar.
14. Repetir los tres pasos anteriores cambiando el aire cero por la generación del span (80% del rango del analizador) y las concentraciones intermedias, terminando con la generación de aire cero .
15. Apagar y desconectar el sistema de calibración.
16. Conectar el analizador al múltiple de distribución de la muestra.

4.3.4 Calibración del canal de NO₂ de analizadores de NO_x.

Un analizador de NO_x cuenta con tres canales para reportar las lecturas de NO, NO_x y NO₂. Como ya se describió en el Manual 3, los analizadores de NO_x son utilizados para determinar la concentración del NO₂ en forma indirecta mediante un proceso en dos etapas: en la primera, mide la cantidad de NO presente en la muestra y es reportada en el canal de NO; en la segunda etapa, la muestra pasa por un catalizador térmico que convierte el NO₂ presente en la muestra en NO, la medición del NO representa la suma del NO de las dos etapas y es reportada en el canal de NO_x. La diferencia entre el NO_x y el NO es la cantidad resultante de NO₂.

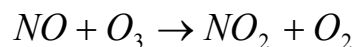
La eficiencia de conversión de un catalizador nuevo es prácticamente de 100%. Sin embargo, con el uso se deteriora gradualmente sobre todo cuanto más alta sea la concentración del NO_x en la medición. Normalmente el nivel de deterioro se acelera cuando la eficiencia llega a 97%, el cual es un límite de operación aceptable y éste puede ser alcanzado en uno o dos años.

Para la calibración de los canales de NO y NO_x se requiere de un cilindro que contenga NO balance nitrógeno. El procedimiento de calibración es el establecido en la sección anterior.

La calibración del canal de NO₂ se realiza para verificar la eficiencia del convertidor de NO₂ en NO. Para esto se lleva a cabo el método de titulación en fase gaseosa (GPT, por sus siglas en inglés).

El método de GPT fue desarrollado por la US-EPA en el año 1971. Es un método para generar NO₂ a partir de la combinación de NO y O₃ a diferentes concentraciones.

El principio del método de GPT es la generación de NO₂ a partir del NO del cilindro y el O₃ generado por el calibrador, de acuerdo a la siguiente relación estequiométrica:



El procedimiento para realizar un GPT es el siguiente:

1. Mantener el sistema de calibración conectado al analizador de óxidos de nitrógeno de la misma forma en que fue instalado para la calibración de dicho analizador.
2. Generar aire cero, esperar que la lectura del equipo bajo calibración sea estable y anotar los valores de NO, NO₂ y NO_x.
3. Para cada punto de calibración, generar una concentración de NO que sea aproxi-

madamente 0.08 a 0.12 ppm más alta que el nivel requerido de NO₂, esto es, generar aproximadamente 0.08 a 0.12 ppm de ozono por debajo de la concentración de NO de entrada. Permitir que el analizador mida esta concentración hasta que se obtenga una respuesta estable (de ser posible, auxiliarse de una graficadora).

4. Generar las concentraciones de NO₂ correspondientes al span y los puntos intermedios, en forma secuencial. Para cada punto de calibración, esperar a que el analizador presente una respuesta estable.

5. Anotar los valores de NO, NO₂ y de NO_x. Se debe calcular la concentración de NO₂ mediante la siguiente ecuación:

$$[NO_2]_A = [NO]_{Orig} - [NO]_{REM}$$

Donde:

[NO₂]_A: Concentración de NO₂ generada por GPT;

[NO]_{Orig}: Concentración de NO de entrada;

[NO]_{Rem}: Concentración de NO resultante después de GPT

6. Registrar todos los datos

Cálculo de eficiencia del convertidor.

Se calcula el NO₂ convertido con la siguiente ecuación:

$$[NO_2]_{CONV} = [NO_2]_A - [NOx]_{Orig} - [NOx]_{REM}$$

Este valor se utiliza para determinar la eficiencia del convertidor usando la siguiente ecuación:

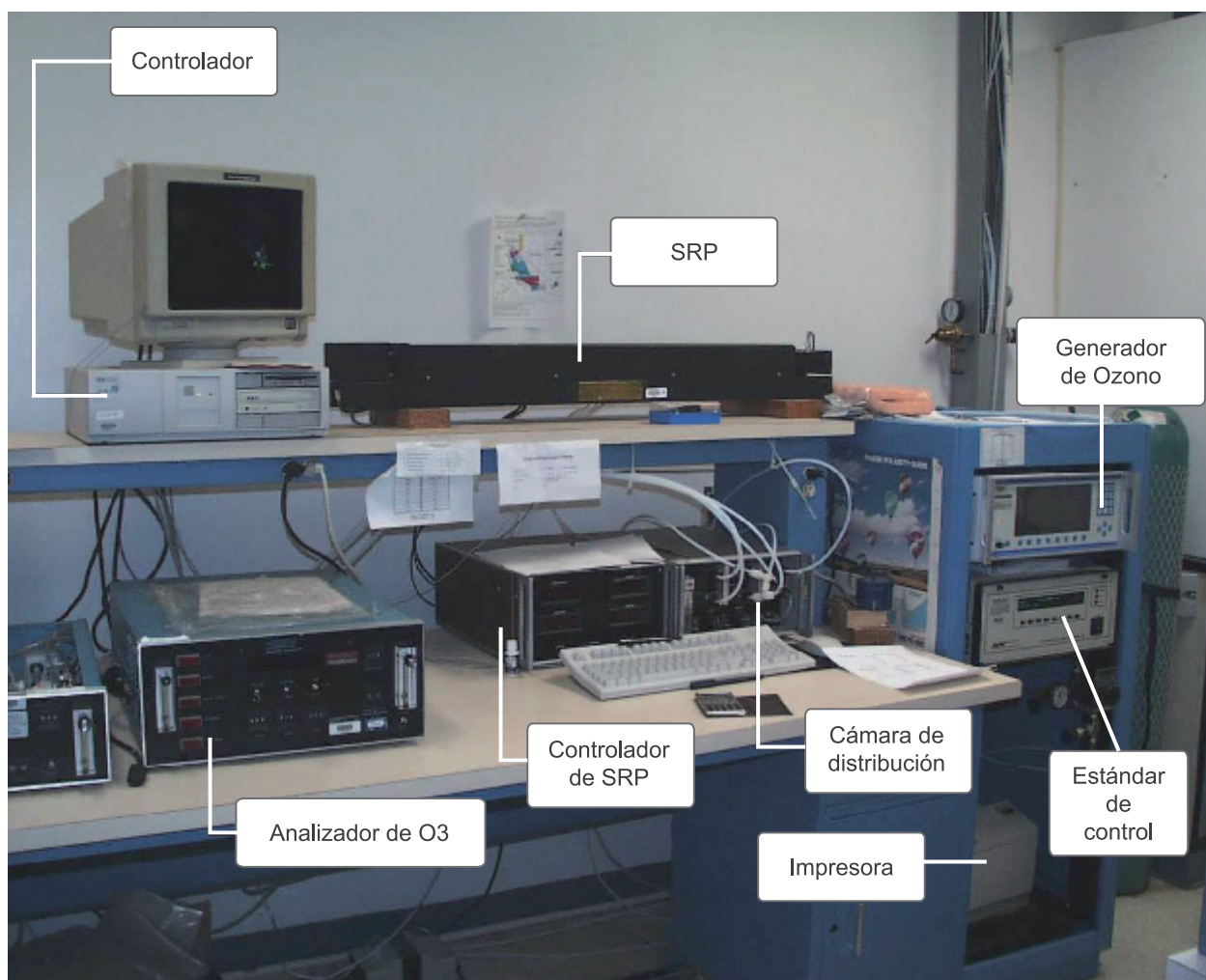
$$\%ef_{CONV} = \frac{[NO_2]_{CONV}}{[NO_2]_A}$$

4.3.5 Calibración de analizadores de O₃.

La calibración de analizadores de ozono se puede realizar mediante una titulación en fase gaseosa y también mediante el uso de estándares de transferencia, como los calibradores dinámicos con generadores de ozono, este último es el más común.

Con el objetivo de asegurar la trazabilidad de la medición, se utiliza un estándar de referencia (SRP, por sus siglas en inglés) para calibrar los generadores y/o analizadores de ozono.

El estándar de transferencia debe ser utilizado únicamente para la calibración de los analizadores de ozono y nunca debe muestrear aire ambiente. Se debe calibrar comparándolo contra un SRP al menos una vez al año. En la Figura 6 se observa un SRP y el arreglo típico en la calibración de estándares de transferencia.



Fuente: California Air Resources Board

Figura 5. Curva de calibración.

El procedimiento de calibración de analizadores de O₃ utilizando estándares de transferencia es básicamente el mismo que en el caso de la calibración de los analizadores de CO y SO₂ (ver sección 4.3.3); también se generan aire cero, span y las concentraciones intermedias. Los cambios a este procedimiento dependerán del sistema de calibración que se utilice. El calibrador con generador de ozono puede ser también el estándar de transferencia si ha sido calibrado contra un SRP. En la Figura 4.8 se muestra un arreglo para la calibración de un analizador de ozono con otro analizador como estándar de transferencia.

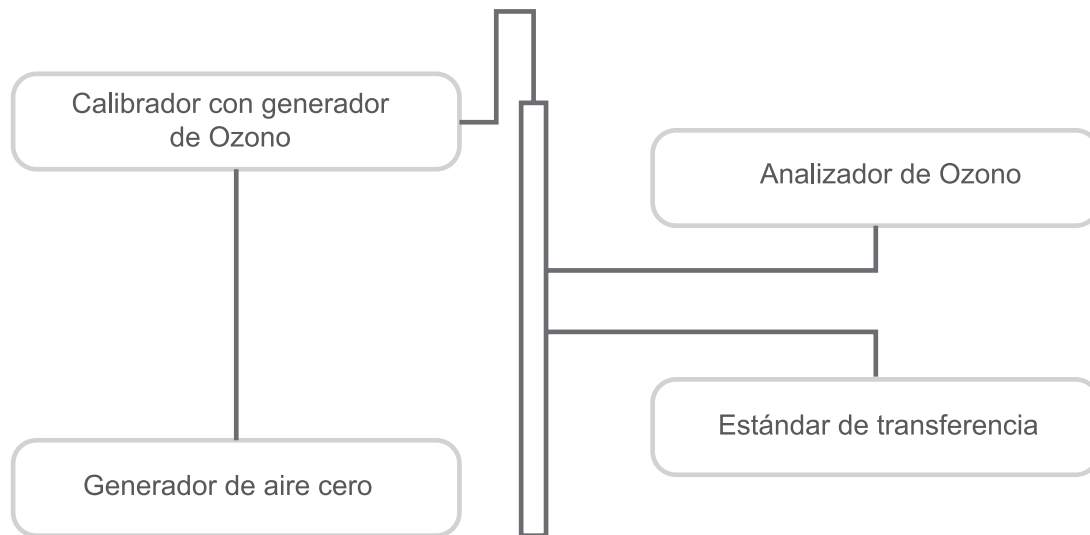


Figura 7. Calibración de un analizador de ozono

4.4 Verificación de sensores meteorológicos.

Existen dos formas para verificar los sensores de las estaciones meteorológicas: la primera es aquella donde la respuesta del sensor puede compararse contra una medida de referencia de valor conocido mientras el sensor y el dispositivo de referencia se someten a una misma condición ambiental; la segunda consiste en someter el sensor a una condición artificial en la cual la respuesta es predecible teóricamente.

Para los casos de dirección y velocidad del viento, radiación solar y precipitación pluvial es común verificar los sensores contra elementos de condición artificial, mientras que los sensores de temperatura y presión pueden ser comparados con patrones trazables.

4.4.1 Verificación del transductor de señales.

Los parámetros de medición meteorológica más frecuentes son: la dirección y velocidad del viento, temperatura, y humedad relativa que se miden a través de sensores individuales. Generalmente las señales de salida originadas por la medición de estos sensores son: el voltaje, la corriente y el pulso. Es por esto que para poder acoplar dichas señales a un sistema de adquisición de datos, se requiere del uso de un transductor de señales.

Los transductores son equipos que acoplan las señales de medición meteorológica y reenvían las señales de manera analógica al Sistema de Adquisición de Datos de la estación de medición o a un sistema de cómputo.

Dado que el buen funcionamiento de los sensores se determina observando los valores de las señales procesados en el transductor, se deberá verificar primero si éste está funcionando correctamente.

La mayor parte de los transductores cuenta con una función para verificar el correcto funcionamiento de los circuitos de procesamiento de las señales. En lugar de sensores se dispone de un circuito de prueba para generar valores específicos de resistencia, voltaje, corriente eléctrica, así como pulsos. Es decir, se envían señales simuladas al circuito y cuando las señales de salida generadas en el circuito coinciden con los valores preestablecidos se determina que éste está funcionando correctamente.

Existen diferentes tipos de circuitos. Un ejemplo es el que verifica el cero y un punto alto dentro del intervalo de medición, mediante el apagado y encendido de un interruptor y otro es en el que se coloca manualmente una resistencia eléctrica de prueba. Para confirmar que se obtiene el valor correcto en el momento de enviar las señales de prueba al circuito, se requiere conectar un multímetro

digital en las terminales de salida del transductor y verificar la lectura correspondiente de voltaje o de la corriente eléctrica.

En cuanto al sistema de adquisición de datos, se deberá confirmar que se indiquen los mismos valores que los esperados. A través de esta verificación se podrá comprobar si la salida de medición desde el sensor hasta el sistema de adquisición de datos está siendo transmitida correctamente. Cabe mencionar que esta inspección, mediante la aplicación de una señal de prueba, no es suficiente, simplemente se trata de una verificación de la parte en que se conducen y procesan las señales.

4.4.2 Verificación de los sensores de dirección de viento.

El principio de operación de las diferentes marcas y modelos de sensores de dirección de viento que existen en el mercado, es el mismo: un potenciómetro emite una señal la cual varía dependiendo de la posición del sensor.

El procedimiento general de calibración consiste en verificar la linealidad del sensor y el umbral de torque o la fuerza mínima detectable para moverlo. En ambas pruebas, será necesario referirse al manual del equipo para verificar si los resultados de dichas pruebas se encuentran dentro o fuera de los límites

aceptables de operación del equipo, ya que el torque difiere entre marcas y modelos.

Sin embargo, antes de la verificación del sensor de dirección de viento se debe verificar la orientación del mismo. Para esto existen varios métodos que se pueden aplicar, utilizando una brújula o un sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés).

Después de verificar la orientación, se debe colocar la torre meteorológica de manera que el sensor esté al alcance del técnico. Para llevar a cabo el procedimiento de calibración, es necesaria la participación de dos operadores, uno para manipular el sensor en sitio y el otro para anotar las lecturas que reporta el sistema de adquisición de datos. Al menos uno de ellos debe estar familiarizado con los equipos meteorológicos para hacer los movimientos requeridos en la torre y en los sensores.

Antes de iniciar la verificación de la linealidad, se debe manipular el sensor girándolo para detectar fricciones significativas o alteraciones mayores en su funcionamiento. A continuación se presentan paso a paso, los dos componentes del procedimiento de calibración para los sensores de dirección de viento.

Verificación de la linealidad.

1. Sin desmontar el sensor, alinearlos a 0° procurando mantenerlo inmóvil.
2. Anotar la lectura del sistema de adquisición de datos.
3. Girar el sensor en el sentido de las manecillas del reloj y alinearlos a 90°.
4. Anotar la lectura del sistema de adquisición de datos.
5. Girar el sensor en el sentido de las manecillas del reloj y alinearlos a 180°.
6. Anotar la lectura del sistema de adquisición de datos.
7. Girar el sensor en el sentido de las manecillas del reloj y alinearlos a 270°.
8. Anotar la lectura del sistema de adquisición de datos.
9. Girar el sensor en el sentido de las manecillas del reloj y alinearlos a 450°. Nota: esto se realiza para los sensores cuyo intervalo sea de 540°.
10. Anotar la lectura del sistema de adquisición de datos.

11. Verificar la linealidad de los resultados y comparar con lo establecido en el manual del equipo.

12. Si los resultados se encuentran fuera de los límites aceptables, realizar el ajuste de acuerdo a lo establecido en el manual del equipo.

13. Si se realiza algún ajuste, se debe realizar nuevamente la verificación de la linealidad.

14. Si después del ajuste los resultados de la verificación siguen estando fuera de los límites aceptables de operación, se deberá reemplazar el sensor.

Verificación del umbral de torque.

Para realizar la verificación de esta fuerza existen distintos tipos de equipos. Dependiendo de la marca y modelo del sensor se seleccionará el medidor de torque. En este manual se presentan dos verificaciones para dos tipos de sensores. En primer lugar se presenta la verificación para sensores de copas, la cual se realiza comúnmente con discos de torque (Figura 8).

1. Desmontar el sensor y llevarlo dentro de la caseta.

2. Desmontar las copas del sensor.

3. Montar el disco en el eje de giro del sensor.
4. Colocar el tornillo de 1 gramo en el tercer orificio del disco.
5. Colocar el sensor en forma vertical sosteniéndolo contra la mesa de trabajo.
6. Soltar el disco y verificar el giro. Hacerlo de ambos lados. Repetir varias veces.
7. Si el disco gira más de 90°, cambiar el tornillo al siguiente orificio interno.
8. Repetir los dos pasos anteriores hasta que el disco gire al menos 90°. En caso de que en el último orificio interno siga girando más de 90°, se debe verificar el peso del tornillo (0.1 gramos).
9. Calcular el torque con la siguiente ecuación:

T [g•cm] = Peso del tornillo x Número de Orificio

10. Calcular el umbral de torque:

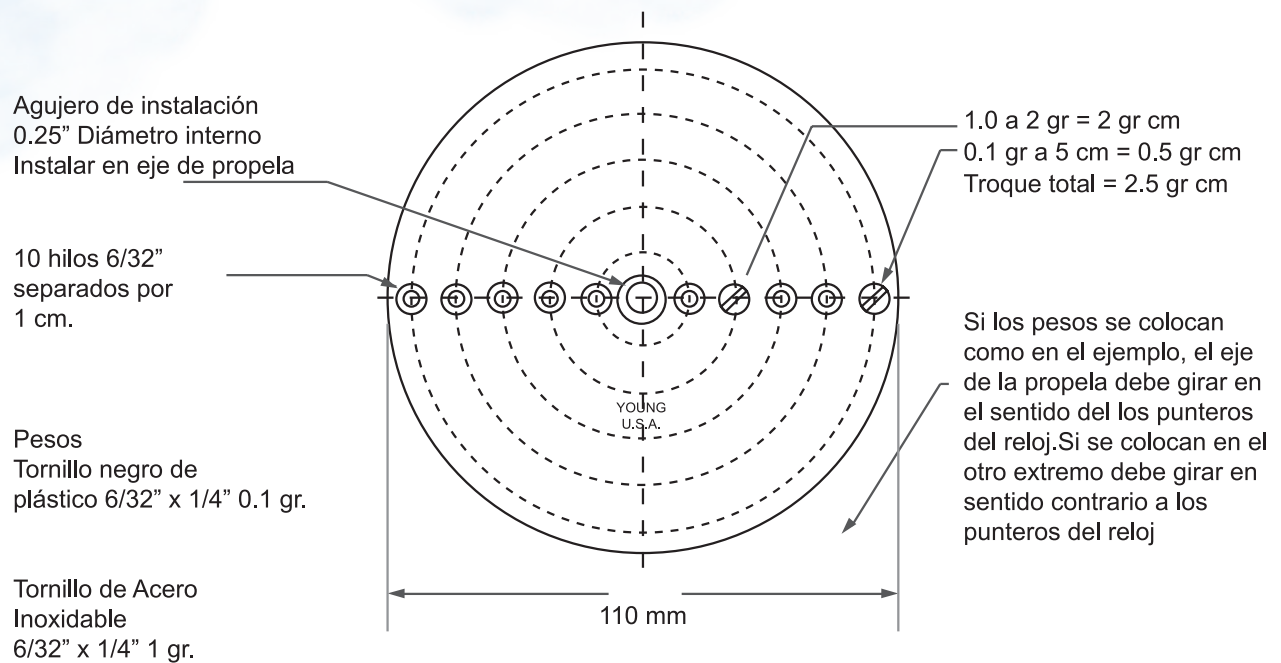
$$u = \left(\frac{T}{K} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

T = torque.

K = constante aerodinámica del sensor (se encuentra en el manual del equipo).

11. Verificar en el manual del equipo si el resultado se encuentra dentro de los límites aceptables.



Fuente: RM Young

Figura 8. Disco de torque para sensores meteorológicos

En segundo lugar se presenta la verificación del torque para los sensores de propela, la cual se realiza con un medidor de torque de la misma marca (Figura 9).

1. Desmontar el sensor y llevarlo dentro de la caseta.
2. Montar el medidor de torque sobre la veleta y comprobar que se encuentre en posición horizontal.
3. Jalar del cordón y medir el torque requerido para mover la veleta.

4. Repetir el paso anterior para ambas direcciones hasta obtener un valor del torque.

5. Desmontar y guardar el medidor de torque.

6. Calcular el umbral de torque:

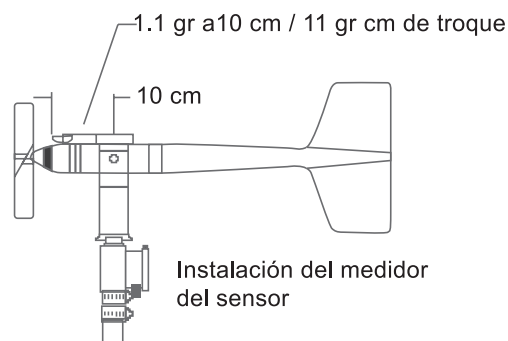
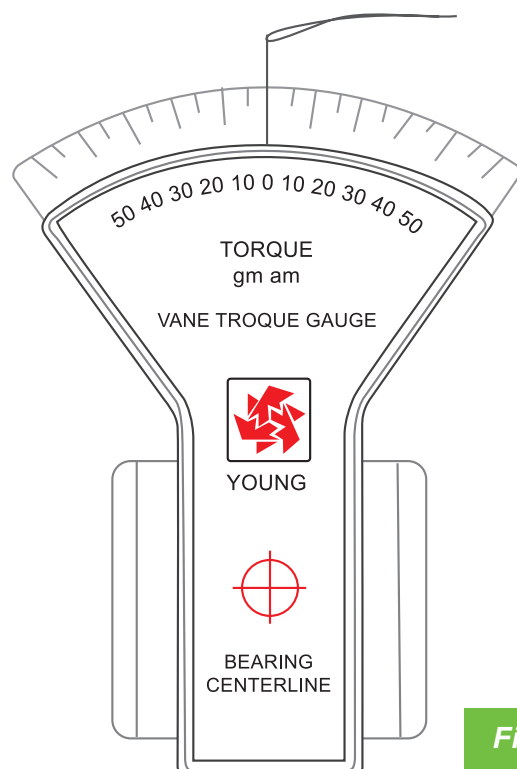
$$u = \left(\frac{T}{K} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

T = torque.

K = constante aerodinámica del sensor (se encuentra en el manual del equipo).

7. Verificar en el manual del equipo si el resultado se encuentra dentro de los límites aceptables.



Fuente: RM Young

Figura 9. Medidor de torque para veleta RM Young.

4.4.3 Verificación de los sensores de velocidad de viento.

Al igual que los sensores de dirección de viento, en el mercado existen también diferentes modelos de sensores de velocidad de viento, en este caso el principio de operación puede variar de una marca a otra. Sin embargo, es posible aplicar el mismo método de calibración para las marcas más utilizadas.

De la misma manera que en la calibración de los sensores de dirección, el procedimiento general de calibración de los sensores de velocidad consiste en verificar su linealidad y el umbral de torque o la fuerza mínima detectable para moverlo. En ambas pruebas, será necesario referirse al manual del equipo para verificar si los resultados de dichas pruebas se encuentran dentro o fuera de los límites aceptables de operación.

Para llevar a cabo esta calibración también se debe bajar la torre meteorológica de manera que el sensor esté al alcance del técnico; siendo necesaria, como se mencionó en el procedimiento anterior, la participación de dos operadores, uno para manipular el sensor en sitio y el otro para anotar las lecturas que reporta el sistema de adquisición de datos. Se reitera que uno de ellos debe estar familiarizado con los equipos meteorológicos para hacer los movimientos requeridos en la torre y en los sensores y que antes de iniciar la verificación de la linealidad, se debe manipular el sensor girándolo para detectar

fricciones significativas o alteraciones mayores en su funcionamiento. A continuación se presentan paso a paso los dos componentes del procedimiento de calibración para los sensores de velocidad de viento.

Verificación de linealidad.

Para la verificación de la linealidad se pueden utilizar distintos tipos de equipos. Anteriormente se llevaban los sensores a un laboratorio que contaba con un túnel de viento. Se generaban diferentes velocidades de viento y se verificaba la respuesta del sensor. Actualmente se utilizan los generadores de revoluciones, equipos que se basan en el principio de operación de los sensores. Estos realizan giros sobre un eje y a su vez mantienen un control sobre las revoluciones por unidad de tiempo, generalmente minuto (rpm, revoluciones por minuto). El procedimiento de verificación que se describe a continuación utiliza estos equipos.

1. Sin desmontar el sensor, retirar las copas o las propelas, según corresponda al tipo de equipo.
2. Montar el generador de revoluciones sobre el eje de rotación del sensor.
3. Consultar el manual del sensor para calcular la correspondencia entre la velocidad en metros por segundo (m/s) y la velocidad en revoluciones por minuto (rpm).

4. Calcular las rpm que se deben generar para el 10, 50 y 90% del rango del sensor.

5. Cero rpm corresponde al umbral de torque del sensor, este puede verificarse en el manual.

6. Generar las rpm de los puntos de calibración en forma ascendente y descendente.

7. Anotar la lectura del sistema de adquisición de datos para cada punto.

8. Verificar en el manual del equipo si el resultado se encuentra dentro de los límites aceptables del equipo.

Verificación del umbral de torque.

Para la verificación del umbral de torque se lleva a cabo el mismo procedimiento que se realiza con los sensores de dirección utilizando los discos de torque. Este procedimiento puede ser aplicado para cualquier tipo de sensor de velocidad de viento con eje de rotación.

4.4.4 Verificación de los sensores de temperatura.

La calibración de los sensores de temperatura consiste en comparar la respuesta de este contra un valor conocido o con la respuesta de un termómetro de referencia (con trazabi-

lidad a patrones nacionales o internacionales) y determinar si la diferencia está dentro de los límites aceptables. La mayoría de los sensores modernos no necesitan ajustarse para que la lectura coincida con el valor conocido o de referencia; de esta forma el resultado de la verificación sirve para aceptar o rechazar el funcionamiento del sensor. Algunas veces, la fuente de falla puede presentarse en un cable de señal inadecuado o en el mal procesamiento de las señales.

Las guías de la US-EPA especifican un límite de tolerancia de la diferencia entre la lectura del sensor y el valor de referencia de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

En la actualidad, no todos los sensores de temperatura que se utilizan son de inmersión. En este caso, la verificación puede hacerse comparando el sensor contra un termómetro de referencia, procurando mantener las puntas de los sensores lo más cercano posible una de la otra, sin que se junten. Para obtener mayor información del desempeño del sensor, se pueden hacer pruebas en diferentes ambientes (cerca de la salida del aire acondicionado, en un lugar con mayor temperatura, entre otros.). Se recomienda que la verificación se realice en al menos 3 puntos.

En este caso también deberá colocarse la torre meteorológica de manera que el sensor esté al alcance del técnico; siendo necesario la participación de dos operadores, uno para manipular el sensor en sitio y el otro para

anotar las lecturas que reporta el sistema de adquisición de datos. Se reitera que al menos uno de ellos debe estar familiarizado con los equipos meteorológicos para hacer los movimientos requeridos en la torre y en los sensores. A continuación se presenta paso a paso el procedimiento de calibración para un sensor de temperatura de inmersión.

Procedimiento general.

La verificación se debe realizar en tres o más niveles de temperatura, espaciados dentro del rango del sensor. Se recomienda realizarlo en valores cercanos a 0, 20 y 40°C.

1. Sin desconectarlo, retirar el sensor de la torre.
2. Preparar el baño según la temperatura establecida para el primer punto.
3. Colocar las puntas del sensor y del termómetro de referencia en el baño.
4. Permitir que los sensores alcancen el equilibrio térmico.
5. Anotar la lectura del termómetro de referencia y la del sensor, reportada en el sistema de adquisición de datos.
6. Realizar los pasos II, III, IV y V para los otros dos puntos de verificación .

4.4.5 Verificación de los sensores de humedad relativa.

La verificación de los sensores de humedad relativa consiste en comparar la medición del equipo contra un valor de referencia, ya sea mediante el uso de una cámara de generación de humedad, comparación contra un equipo de referencia y mediante el uso de soluciones salinas; y determinar si la diferencia resultante se encuentra dentro de los límites aceptables (entre 2 y 5% dependiendo la marca y modelo). Actualmente, algunos sensores de humedad relativa pueden incluir un software de calibración que está directamente asociado al sistema de adquisición de datos del equipo y con el cual se puede ajustar su respuesta.

Una cámara de generación de humedad relativa cuenta con equipos internos de medición de humedad y temperatura con trazabilidad a estándares de referencia, así como con componentes de humidificación, desecado, enfriamiento y calentamiento de aire. Su funcionamiento está basado en la medición de estos parámetros en el aire ambiente, que es introducido a través de la cámara. Dependiendo de las condiciones del aire de entrada y del punto de prueba a generar, entran en operación los componentes correspondientes para alcanzar las condiciones requeridas, tanto de temperatura como de humedad (Figura 10). El procedimiento general indica:

1. que el sensor de humedad a calibrar debe ser introducido en la cámara,
2. generar al menos 3 diferentes puntos (30%, 60% y 90%), y
3. esperar que la respuesta del sensor se estabilice y anotar el resultado.

Se recomienda que la temperatura dentro de la cámara sea muy similar a la del aire ambiente.

En una verificación directa contra un equipo de referencia, un factor esencial para obtener mediciones comparables de humedad relativa es que ambos sensores estén tan cercanos como sea posible y a la misma temperatura. El valor reportado de humedad relativa se debe a la aplicación de algoritmos que incluyen la temperatura, es por esto que dos sensores a una temperatura significativamente diferente reportarán diferentes valores de salida para la misma exposición de humedad.

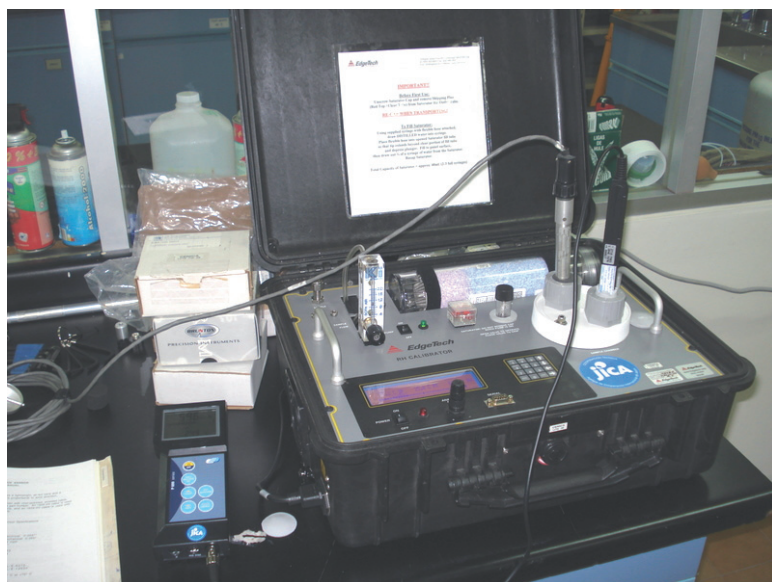


Figura 10. Cámara de generación de humedad relativa

La norma internacional ASTM E104 describe procedimientos para generar niveles de humedad estables usando sales en soluciones acuosas. Pequeños recipientes pueden utilizarse para mantener los niveles de humedad requeridos. Es importante mencionar que durante este tipo de verificaciones, se requiere mantener una temperatura estable, por lo que es necesario llevarla a cabo dentro de un cuarto con ambiente controlado.

En el Cuadro 14 se encuentran ejemplificadas algunas de las sales utilizadas para la verificación, la cantidad de humedad relativa que generan y su precisión.

Solución Saturada	Humedad relativa %RH	Precisión %RH
LiCl	11	±1.3
MgCl ₂	33	±1.2
NaCl	75	±1.5
K ₂ SO ₄	97	±2.0

Cuadro 14. Soluciones saturadas para la verificación de sensores de humedad

A continuación se presenta paso a paso el procedimiento de calibración para un sensor de humedad relativa.

Procedimiento general.

Para la generación de diferentes ambientes de humedad relativa mediante el uso de sales saturadas en soluciones acuosas se debe consultar la norma internacional ASTM E104.

1. Desmontar el sensor de humedad relativa sin desconectarlo.
2. Preparar la cámara con las soluciones e insertar el termómetro en la solución correspondiente.
3. Retirar la tapa protectora del sensor (Figura 11).



Figura 11. Sensor con su tapa desmontada.

4. Destapar la cámara que contiene la solución acuosa correspondiente.
5. Insertar el sensor en el orificio de la cámara (Figura 12).

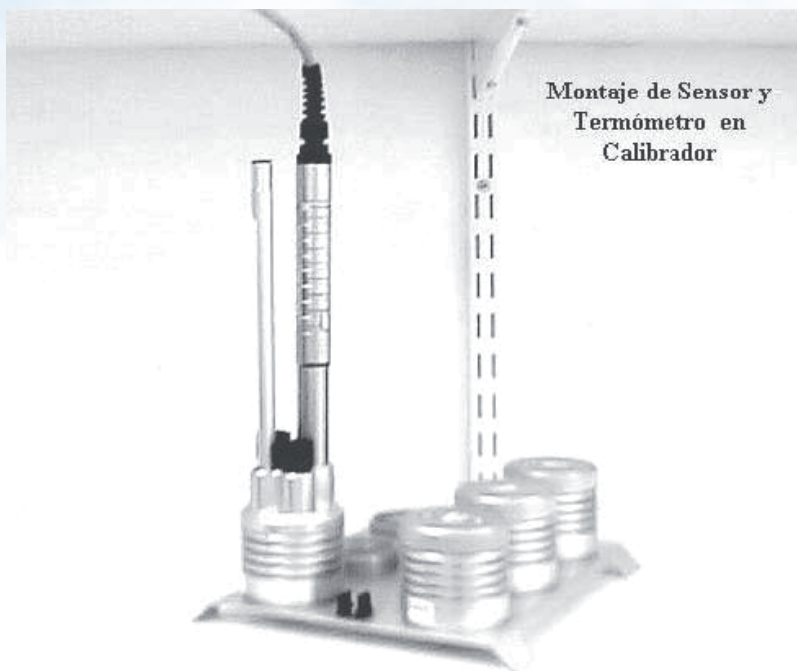


Figura 12. Montaje de sensor y termómetro en la cámara.

6. Esperar alrededor de 15 a 20 minutos para una lectura estable.
7. Anotar la lectura reportada en el sistema de adquisición de datos.
8. Retirar el sensor y enjuagar con agua destilada la punta del mismo.
9. Tapar la cámara de la solución acuosa.
10. Repetir los pasos del 4 al 9 para las demás soluciones acuosas.
11. Si es necesario realizar ajustes al sensor, se deberá realizar nuevamente la verificación.

5. REFERENCIAS

- ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (1989). Air sampling Instruments. Susanne Hering, Technical editors, 7th edition, Cincinnati, Ohio.
- ASTM E104, 2007. Standard Practice for Maintaining Constant Relative Humidity by Means of Aqueous Solutions. American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, www.astm.org.
- CARB, California Air Resources Board (1997). Standard Operating Procedures for Air Quality Monitoring. Vol. II, Appendix A, B, C. California Air resources Board, State of California.
- DOF, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-034-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.
- DOF, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.
- DOF, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-036-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.
- DOF, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-037-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de dióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.

- DOF, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-038-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de dióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.
- EPA, Environmental Protection Agency (2008). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Vol. II; Part 1. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, USA.
- EPA, Environmental Protection Agency (2006). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Vol. IV: Meteorological Measurements. Vol. 1.0.
- Radian, (1992). Operation manual Ambient Air Monitoring Systems-SIMA. Radian Corporation, Austin, Texas.
- CFR, Code of Federal Regulations (2004). Title 40. Protection of Environment, PART 58-AMBIENT AIR QUALITY SURVEILLANCE.
- CENMA, 2004. Instructivos para la calibración de sensores meteorológicos. Comisión Nacional de Medio Ambiente. Santiago de Chile, 2003.

