MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ.

TABLA DE CONTENIDO

OBJETO 4

ALCANCE 4

DOCUMENTOS DE REFERENCIA 4

DESCRIPCIÓN DE LA RMCAB 4

OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTA – RMCAB 5

1. OPERACIÓN DE ANALIZADORES, MONITORES, SENSORES Y OTROS EQUIPOS 5
2. CONDICIONES AMBIENTALES DE LAS ESTACIONES 16
3. MANTENIMIENTO DE ANALIZADORES, MONITORES DE PARTICULAS, SENSORES Y OTROS EQUIPOS 16

3.1.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO 17

3.1.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO GENERAL 18

3.1.2.1. Verificación y mantenimiento rutinario de la estación 19

- Verificación de interferencias 19
- Verificar la puerta de entrada 19
- Verificar la puerta de los gases de calibración 19
- Verificación del toma muestra 20

3.1.2.2. Verificación del tiempo de residencia 20

3.1.2.3. Verificación/Calibración cero - span en analizadores de gases 20

3.1.2.4. Verificación/Calibración Multipunto en analizadores de gases 21

3.1.2.5. Verificación de flujo, temperatura y presión en monitores de material particulado 21

3.1.2.6. Mantenimiento del analizador de CO2 21

3.1.2.7. Mantenimiento rutinario del generador de aire cero 22

3.1.2.8. Verificación y mantenimiento de los sensores meteorológicos. 22

3.1.2.9. Verificación y mantenimiento del Datalogger. 23

3.1.2.10. Verificación y mantenimiento de los equipos de aire acondicionado. 23

- Verificar el nivel de enfriamiento 24

- Verificar la velocidad del ventilador 24
- Verificar la limpieza del PAD (filtro de aire) 24
- Verificar el estado de los serpentines 24
- Mantenimiento externo 25

3.1.2.11. Mantenimiento de la red eléctrica 25

3.1.2.12. Mantenimiento de la UPS (Unidad Ininterrumpible de Potencia) 25

3.1.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO 26

3.1.4. MANTENIMIENTO CORRECTIVO IN SITU 26

3.1.5. MANTENIMIENTO POR GARANTÍA 26

3.1.1. MANTENIMIENTO POR MEDIO DE CONTRATO EXTERNO 27

4. VERIFICACIÓN Y/O CALIBRACIÓN Y/O MANTENIMIENTO DE EQUIPOS Y/O MATERIAL DE REFERENCIA 27

4.1. Verificación y/o calibración y/o mantenimiento del calibrador dinámico 27

4.2. Verificación los cilindros de gases de referencia 28

4.3. Verificación de los sensores internos de temperatura y humedad relativa 29

4.4. Calibración y mantenimientos de los sensores internos de temperatura y humedad relativa 30

4.5. Calibración del patrón de referencia de temperatura, presión y humedad relativa30

4.6. Calibración y mantenimiento de los medidores de flujo 31

4. TRASLADO DE EQUIPOS 31

5. INTERCOMPRACIÓN DE EQUIPOS 32

BIBLIOGRAFÍA 34

OBJETO

Dar los lineamientos para operar y mantener correctamente los analizadores, monitores de partículas, sensores meteorológicos, estaciones y otros equipos que conforman las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB.

ALCANCE

Este documento abarca todos aquellos procedimientos rutinarios que incluyen tanto el mantenimiento preventivo como correctivo, directamente aplicable a los analizadores, monitores de partículas y sensores de la RMCAB. Así mismo, describe los requerimientos básicos para el manejo de los datos generados por dichos equipos y almacenados en el Servidor Central – SDA.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Para la elaboración de este documento se tuvieron en cuenta los manuales de operación de los analizadores, monitores de partículas, sensores meteorológicos y otros equipos que conforman las estaciones de la RMCAB, el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, en su Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, adoptado por la Resolución 650 de 2010 y ajustado mediante la Resolución 2154 de 2010.

Como otros documentos de referencia, se tienen en cuenta los lineamientos dados por los métodos de referencia de U.S. EPA[1] de acuerdo al Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, para la determinación de cada uno de los contaminantes criterio que se monitorean en la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá.

DESCRIPCIÓN DE LA RMCAB

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB realiza el monitoreo de los contaminantes criterio PM10, PM2.5, O3, SO2, NO2 y CO, y las variables meteorológicas precipitación, temperatura, presión atmosférica, radiación, solar, velocidad y dirección del viento. La RMCAB está conformada por veinte (20) estaciones que cuentan con sensores y analizadores automáticos, que reportan datos actualizados cada hora sobre la calidad del aire

[1] U.S. Environmental Protection Agency

en la ciudad. Cada estación se encuentra ubicada en un lugar específico de la ciudad, atendiendo a los requerimientos definidos en la normatividad vigente (distancia a fuentes de emisión, posibles interferencias, restricciones de funcionamiento), y por lo tanto cada una registra las condiciones de una zona de influencia.

Los equipos y sensores meteorológicos son integrados a una cabina que conforma la estación, que protege a estos de la intemperie y actividades inseguras. Por otra parte, se permite que se cumplan con las condiciones controladas garantizando la operación adecuada de los equipos, así como el aseguramiento de los datos obtenidos. Estas cabinas cuentan con acometidas a redes eléctricas para el suministro de energía y conectividad de internet.

Los datos de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá – RMCAB para la captura, almacenamiento y publicación de datos cuenta con el aplicativo Envidas Ultimate para la adquisición de datos de los analizadores y sensores en cada una de las estaciones por medio de un equipo datalogger y la suite Envista que consolida y custodia la base de datos central de la RMCAB y además permite la validación y procesamiento de datos, que son publicados automáticamente a través del aplicativo Envista Web.

A parte de los equipos de monitoreo y sensores, la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, cuenta con equipos auxiliares y material de referencia que completan la operación de la Red, así como insumos y repuestos para realizar mantenimiento, calibraciones, verificaciones, comprobaciones metrológicas, los cuales se registran en el software de mantenimiento en el cual, adicionalmente se registra la información general de los equipos, registro de inventarios, programación de actividades preventivas y/o correctivas, entre otras.

OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTA – RMCAB

1. OPERACIÓN DE ANALIZADORES, MONITORES, SENSORES Y OTROS EQUIPOS

La RMCAB tiene implementados los procedimientos para el monitoreo y análisis en un sistema automático de vigilancia de la calidad del aire, utilizando los métodos de la U.S. EPA, CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, parte 50 Estándares Nacionales de Calidad Del Aire Ambiente Primario y Secundario, que se describen a continuación:

- **U.S. EPA CFR Título 40, Método Equivalente Automático - Método de Referencia para la determinación de Material Particulado PM 2.5 y PM10 en la atmosfera**

Utiliza el principio de atenuación beta, este método proporciona una determinación de la concentración ambiental de partículas. El elemento C-14 emite una fuente constante de electrones de alta energía conocidos como partículas beta. Estas partículas beta son detectadas y contadas por un detector. Una bomba externa extrae una cantidad medida de aire cargado de polvo a través de una cinta filtro. Una vez que la cinta filtro se carga con polvo ambiental, se coloca automáticamente entre la fuente y el detector, lo que provoca una atenuación de la señal de partículas beta. El grado de atenuación de la señal de partículas beta se utiliza para determinar la concentración másica de material particulado en la cinta filtro y, por tanto, la concentración volumétrica de material particulado en el aire ambiente.

La magnitud de la reducción de las partículas beta detectadas es función de la masa de la materia absorbente entre la fuente beta de C14 y el detector. El número de partículas beta que atraviesan el material absorbente, como el polvo depositado en una cinta filtro, disminuye casi exponencialmente con la masa a través de la cual pasan. La siguiente formula muestra esta relación

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

En la ecuación, I es la medición de la intensidad de los rayos beta (conteo por unidad de tiempo), de los rayos beta atenuados (cinta filtro cargada de polvo), I_0 es la medición de la intensidad de rayos beta de los rayos beta sin atenuar (cinta filtro inicial antes de muestreo), μ es la sección transversal de absorción del material que absorbe los rayos beta (cm2/mg), y x es la densidad de masa de la materia absorbente (g/cm2).

La ecuación anterior puede ser reorganizada para resolver la x, la densidad de masa de la materia absorbente, como se muestra a continuación:

$$-\frac{1}{\mu} ln\left[\frac{I}{I_0}\right] = \frac{1}{\mu} ln\left[\frac{I_0}{I}\right] = x$$

En la práctica, la sección transversal de absorción se determina experimentalmente durante el proceso de calibración. Una vez que se miden experimentalmente I e I_0, es muy sencillo calcular la x, la densidad de masa predicha.

En la práctica, el aire ambiente se muestrea a un caudal constante (Q) durante un tiempo especificado Δt. Este aire muestreado pasa a través de un filtro de área superficial A. Una vez que se ha determinado x, la densidad de masa de las partículas recolectadas, es posible calcular la concentración ambiental de material particulado con la siguiente ecuación:

$$c\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = \frac{10^6 A(cm^2)}{Q\left(\frac{liter}{min}\right)\Delta t(min)\mu\left(\frac{cm^2}{g}\right)}$$

En la ecuación anterior, c es la concentración de partículas en el ambiente ($\mu g/m^3$), A es el área de la sección transversal de la cinta sobre la cual esta siendo depositada el polvo (cm^2), Q es la velocidad a la que se acumulan las partículas en la cinta filtro (litros/min), y Δt es el tiempo de muestreo (minutos). La combinación de estas ecuaciones da como resultado la expresión final de la concentración de partículas ambientales en términos de cantidades medidas. Como se observa en la siguiente ecuación:

$$c\left(\frac{\mu g}{m^3}\right) = \frac{10^6 A(cm^2)}{Q\left(\frac{liter}{min}\right)\Delta t(min)\mu\left(\frac{cm^2}{g}\right)} ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$$

Las especificaciones técnicas y de operación de cada uno de los monitores de material particulado, varían en función de la marca y el modelo del equipo, por lo que se debe consultar el manual de operación correspondiente para operar de manera apropiada cada uno de los equipos.

- **U.S. EPA CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, parte 50, Apéndice A-1. Métodos equivalentes Automáticos Principio de medición de referencia y procedimiento de calibración para la medición de dióxido de azufre en la atmósfera (método de fluorescencia ultravioleta)**

Utiliza el principio de operación de fluorescencia ultravioleta, basado en la energía de luz discreta descargada o fluorescencia característica del SO_2 cuando es irradiada con luz ultravioleta. Esta luz fluorescente está también en la región ultravioleta (UV) del espectro, aunque a una longitud de onda distinta que la radiación incidental.

Una de las ventajas de este método de detección es que la medición a longitudes de onda comprendidas entre 190 y 230 nm presenta poca interferencia de la fluorescencia debida a otras sustancias que puedan estar presentes en el aire y que no corresponden a lo que se desea medir. La luz es detectada por un tubo fotomultiplicador que produce un voltaje proporcional a la intensidad de la luz, la cual, a su vez, es traducida a concentraciones de SO_2 por medio de factores de calibración.

Esta tecnología utiliza dos tipos de luz, una fuente UV continua, mecánicamente interrumpida, o una fuente de luz UV electrónicamente pulsada. A longitudes de onda específicas, tanto el vapor de agua como el oxígeno, pueden distorsionar la fluorescencia de los óxidos de azufre. Una lámpara de Xenón emite la radiación UV, la cual pasa a través de una cámara de reacción donde las moléculas de SO_2 son excitadas debido a la energía radiada, disipando parte de la energía con movimientos vibracionales y rotacionales. La reacción que describe este fenómeno es:

$$SO_2 + hv_1 \rightarrow la \rightarrow SO_2^*$$

Debido a que, por naturaleza, todo cuerpo o sustancia tiende a recuperar su estado inicial, las moléculas de SO_2 excitadas, comienzan a emitir una radiación superior en longitud de onda a la radiación aplicada (aproximadamente 350 nm) generando así una luz fluorescente que es detectada por el tubo fotomultiplicador (PMT), la cual es proporcional a la concentración de SO_2 en la cámara de reacción.

La absorción de radiación por las moléculas de SO_2 cumple la Ley de Lambert - Beer, que se puede expresar de la siguiente forma:

$$\mathrm{A} = \log\left(\frac{Ia}{Io}\right) = a * x * C_{SO_2}$$

Dónde:

A: Absorbencia de SO2 (adimensional)
la: Intensidad de la luz ultravioleta en cualquier punto del sistema (radiación resultante)
lo: Intensidad de la luz ultravioleta incidente (radiación incidente)
a: Coeficiente de absorción del SO2 o absorbidad molar (l/mol.cm)
x: Longitud de la trayectoria o camino óptico recorrido o tamaño de la celda (cm)
C_{SO2}: Concentración molar de SO2 (mol/l)

Las especificaciones técnicas y de operación de cada uno de los equipos de dióxido de azufre, varían en función de la marca y el modelo del equipo, por lo que se debe consultar el manual de operación correspondiente para operar de manera apropiada cada uno de los equipos.

- **Analizador de Óxidos de Nitrógeno (NO / NO2 / NOx) (Método U.S. EPA. Título 40 Apéndice F de la Parte 50 — Principio de medición y procedimiento de calibración para la medición de dióxido de nitrógeno en la atmósfera (quimioluminiscencia en fase gaseosa)**

La quimioluminiscencia es una técnica empleada en la determinación cuantitativa de la concentración de alguna sustancia en particular presente en una mezcla comúnmente conocida como analito. Es especialmente útil cuando el analito se encuentra en muy bajas concentraciones. El método se fundamenta en emplear la energía emitida por una sustancia química que haya sido excitada previamente a través de radiación generada para lograr tal fin, similar al principio de operación de los métodos por fluorescencia y por espectroscopia de emisión atómica.

Para el caso de medición de los óxidos de nitrógeno, el principio de medición consiste en provocar la reacción del monóxido de nitrógeno con el ozono para formar dióxido de nitrógeno. Parte de estas moléculas que se forman se encuentran en estado excitado como consecuencia del salto de electrones a niveles de energía más altos. Estas moléculas excitadas, al volver a su estado fundamental emiten una radiación quimioluminiscente detectable:

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2^* + O_2$$
$$NO_2^* \rightarrow NO_2 + h\nu$$

El aire que es succionado por el analizador desde el ambiente es filtrado y dividido en dos líneas de flujo, cada uno de las cuales llega a una respectiva cámara. En una de las líneas de flujo la muestra de aire filtrado no sufre ningún tipo de sometimiento a energías radiantes, ni a agentes químicos, es decir, corresponde al valor blanco o testigo. En la segunda línea de flujo, se incita a la reducción del NO_2 a NO mediante acción catalítica. La primera línea de flujo llega a una cámara de reacción, donde se determina la concentración total de NO_X, y la segunda, finaliza en una cámara de reacción diferente a la anterior donde se determina la concentración de NO. La concentración de NO_2 es obtenida por la diferencia matemática entre las concentraciones de NO_X y NO.

La luz emitida es medida en el tubo fotomultiplicador (PMT) después de pasar por un filtro óptico de banda angosta. La intensidad de luz recibida por el PMT es proporcional a la concentración de NO. La medición de NO_2 se logra convirtiendo el NOX de la corriente de aire en NO, haciendo pasar la corriente de aire por un catalizador de molibdeno a 315°C, que convierte el NO_X a NO como se describe en la siguiente reacción:

$$3NO_2 + Mo \rightarrow 3NO + MoO_3$$

Las especificaciones técnicas y de operación de cada uno de los equipos de dióxido de nitrógeno, varían en función de la marca y el modelo del equipo, por lo que se debe consultar el manual de operación correspondiente para operar de manera apropiada cada uno de los equipos.

- **Analizador de Ozono (O3)(Método U.S. EPA. Titulo 40 Apéndice D Parte 50—Principio de medición y procedimiento de calibración para la medición de Ozono en la atmosfera)**

El principio de operación del equipo es similar al analizador de óxidos de nitrógeno, la muestra de aire succionada por la bomba del equipo es filtrada y bifurcada en dos flujos iguales, uno de estos flujos atraviesa una sección que contiene óxidos de molibdeno como catalizador, el cual atrapa el ozono de la muestra que es empleada como patrón en la medida, para lo cual es dirigida a una celda de medición. El otro flujo pasa directamente a una celda de medición diferente sin atravesar por ningún lecho de catalizador. En las celdas se lleva a cabo el proceso de irradiación de las muestras (la radiación UV es generada por una lámpara de mercurio) y la absorbencia en ambas celdas es determinada por un PMT.

La señal de absorbencia de ambas celdas es traducida internamente por el analizador a señales eléctricas y la diferencia entre estas señales es proporcional y equivalente a la concentración de ozono presente en la muestra de aire ingresada originalmente al equipo. Este valor de concentración es traducido a una señal digital la cual es reportada por el datalogger y almacenado en la unidad de procesamiento del analizador, para su posterior transferencia a la central de información del SVCA.

La determinación de ozono se realiza por absorción ultravioleta se basa en la Ley de Lambert - Beer:

$$A = \log\left(\frac{Ia}{Io}\right) = a * x * C_{O_3}$$

Dónde:

A: Absorbencia de O3 (adimensional)
la: Intensidad de la luz ultravioleta en cualquier punto del sistema (radiación resultante)
lo: Intensidad de la luz ultravioleta incidente (radiación incidente)
a: Coeficiente de absorción del O3 o absorbidad molar (l/mol.cm)
x: Longitud de la trayectoria o camino óptico recorrido o tamaño de la celda (cm)
C_{O3}: Concentración molar de O3 (mol/l)

Las especificaciones técnicas y de operación de cada uno de los equipos de ozono, varían en función de la marca y el modelo del equipo, por lo que se debe consultar el manual de operación correspondiente para operar de manera apropiada cada uno de los equipos.

- **Analizador de Monóxido de Carbono (CO)(Método U.S. EPA. Titulo 40 Apéndice C Parte 50—Principio y procedimiento de calibración para la medición de Monóxido de Carbono en la Atmosfera (Fotometría infrarroja no dispersiva)**

Utiliza el principio de operación de correlación de filtro gas (GFC). La incidencia de radiación infrarroja (IR) atraviesa una rueda rotatoria filtrante de gas (una mitad contiene CO y la otra mitad contiene nitrógeno) antes de ingresar a la celda de muestra. Cuando la radiación infrarroja pasa a través de la mitad de la rueda que contiene CO, todas las longitudes de onda absorbidas por el CO son completamente removidas de la radiación, creando un rayo de "referencia" el cual no resulta afectado por el CO en la muestra que se mide. Cuando la energía IR atraviesa la mitad de la rueda que contiene nitrógeno, las longitudes de onda específicas de CO no son removidas de la radiación y un rayo de "medición" será atenuado por CO en la muestra.

La rotación de la rueda de filtro de gas crea un haz que alterna entre fases de "referencia" y "medición". La energía infrarroja que atraviesa el filtro y la celda de muestra es detectada por un sensor de estado líquido y es convertida a un valor de concentración. Los analizadores infrarrojos GFC son, en general, menos sensibles a los gases interferentes, las fluctuaciones de potencia de la fuente IR, la vibración y la acumulación de polvo en el medio óptico.

El principio básico por el cual funciona el analizador se llama la Ley de Beer. Esta define como la luz de una longitud de onda específica es absorbida por una molécula de gas particular a una cierta distancia- La relación matemática entre esos tres parámetros es:

$$I = I_0 e^{-\propto Lc}$$

Donde:

l: Es la intensidad con absorción
I_0: Es la intensidad de la luz si no hay absorción
L: Es la ruta de absorción, o la distancia que recorre la luz mientras se absorbe
c: Es la concentración del gas absorbido (CO)
α: Es el coeficiente de absorción que indica que tan bien absorbe el CO la luz en la longitud de onda específica de interés

Las especificaciones técnicas y de operación de cada uno de los equipos de monóxido de carbono, varían en función de la marca y el modelo del equipo, por lo que se debe consultar el manual de operación correspondiente para operar de manera apropiada cada uno de los equipos.

- **Analizador de Dióxido de Carbono (CO_2)**

Utiliza el mismo principio de operación de correlación de filtro gas (GFC), empleado en la medición de CO, mediante la incidencia de radiación infrarroja (IR) que atraviesa una rueda rotatoria filtrante de gas, (una mitad contiene CO_2 y la otra mitad contiene nitrógeno). Teniendo como principio básico por el cual funciona el analizador se llama la Ley de Beer. Esta define como la luz de una longitud de onda específica es absorbida por una molécula de gas particular a una cierta distancia- La relación matemática entre esos tres parámetros es:

$$I = I_0 e^{-\propto Lc}$$

Donde:

l: Es la intensidad con absorción
I_0: Es la intensidad de la luz si no hay absorción
L: Es la ruta de absorción, o la distancia que recorre la luz mientras se absorbe
c: Es la concentración del gas absorbido (CO)
α: Es el coeficiente de absorción que indica que tan bien absorbe el CO la luz en la longitud de onda específica de interés

Las especificaciones técnicas y de operación de cada uno de los equipos de dióxido de carbono, varían en función de la marca y el modelo del equipo, por lo que se debe consultar el manual de operación correspondiente para operar de manera apropiada cada uno de los equipos.

- **Analizador de Black carbón (Aetalometro)**

El aetalometro recoge continuamente partículas de aerosol del aire en la cinta de filtro. Analiza el aerosol mediante la medición de la transmisión de luz por una parte de la cinta de filtro que contiene la muestra, en comparación con la transmisión a través de una parte descargada de la cinta de filtro que actúa como zona de referencia. Este análisis se realiza en siete longitudes de onda ópticas que abarcan el rango desde infrarrojo cercano hasta ultravioleta cercano. El aetalometro calcula la concentración instantánea de aerosoles que se absorben ópticamente desde la tasa de cambio de atenuación de la luz transmitida a través del filtro cargado con partículas. Se obtienen simultáneamente dos mediciones desde dos puntos de muestra con diferentes índices de acumulación de la muestra. Ambos puntos derivan sus muestras desde el mismo flujo de aire de entrada. Los dos resultados se combinan matemáticamente para eliminar no linealidades y proporcionar la absorción de las partículas de luz compensadas y la concentración masiva de carbono negro (CN).

Las especificaciones técnicas y de operación de cada uno de los equipos de black carbón, varían en función al modelo del equipo, por lo que se debe consultar el manual de operación correspondiente para operar de manera apropiada cada uno de los equipos. Adicional se debe consultar los instructivos del procedimiento PA10-*PR12 "Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de Black Carbon (BC)"* se encuentra el procedimiento y los instructivos para el manejo de este analizador.

- **Sensor de Precipitación**

Es un conjunto de cubeta basculante de dos cámaras se encuentra debajo del embudo de recolección. Cuando se ha acumulado una cantidad precisa de precipitación en un lado del balde, la gravedad inclina el conjunto y activa un interruptor de lengüeta. Se proporciona un cierre de contacto eléctrico momentáneo a través del interruptor para cada incremento de lluvia (OMM, 2017). La muestra de agua captada es descargada a través de la base del medidor.

En cada movimiento de volcado, un relé de láminas accionado por un imán permanente conmuta un circuito eléctrico, produciendo un impulso eléctrico que es transferido al sistema de adquisición de datos - SAD.

- **Sensor de Temperatura y Humedad Relativa**

El sensor de humedad relativa se basa en el cambio de capacitancia de un capacitor de película delgada de polímero. Una capa de polímero dieléctrico de un micrón de espesor absorbe moléculas de agua a través de un electrodo metálico delgado y provoca un cambio de capacitancia proporcional a la humedad relativa.

La fina capa de polímero reacciona muy rápido y, por lo tanto, el tiempo de respuesta es muy corto: menos de cinco segundos al 90% del valor final de humedad relativa. El sensor responde al rango completo de 0-100% de humedad relativa. Su respuesta es esencialmente lineal, con pequeña histéresis y una dependencia de la temperatura insignificante.

Para el caso del sensor de temperatura basa en una resistencia eléctrica que cambia con la temperatura denominada termistor. Los termistores utilizan platino dado que posee un coeficiente de temperatura positivo de la resistencia. Los termistores y los cables de platino se incluyen fácilmente en los puentes de resistencia que permiten una medición de voltaje aceptablemente lineal y precisa cuya señal se envía al sistema de adquisición de datos (SAD)

- **Sensor de Radiación Solar**

El sensor de radiación está compuesto por un piranómetro que utilizan el principio de la detección termoeléctrica, por el que la radiación entrante es absorbida casi en su totalidad por una superficie horizontal ennegrecida, para una gama de longitudes de onda muy amplia. El incremento de la temperatura resultante se mide a través de termopares conectados en serie o en serie/paralelo para conformar la termopila. Las uniones activas (calientes) se sitúan por debajo de la superficie ennegrecida del receptor y utilizan la radiación absorbida por el revestimiento negro para calentarse. Las uniones pasivas (frías) de la termopila mantienen un contacto térmico con la carcasa del piranómetro, que actúa como disipador térmico.

- **Sensor de Dirección y Velocidad del Viento**

Sensor de dirección y velocidad de viento tipo veleta:

La veleta consiste en una lámina de material conveniente y de forma apropiada fija a una varilla metálica, que pilotea y es capaz de rotar alrededor de un eje vertical con un mínimo de fricción. El peso de la lámina metálica es equilibrado por un contrapeso metálico en el otro extremo de la varilla (OMM, 2017). El sensor incorpora un potenciómetro bobinado de precisión para una resolución precisa de la dirección del viento. El potenciómetro está acoplado directamente al conjunto de paletas. Las variaciones en la dirección del viento producen un voltaje variable correspondiente, cuya señal es enviada al (SAD).

Sensor anemómetro de cazoletas:

Tres o cuatro cazoletas de plástico o aluminio montadas simétricamente alrededor de un eje vertical en los extremos de un número igual de brazos sobresalen del cubo del molinete. Debido a que la fuerza del viento es mayor sobre el lado cóncavo de la cazoleta en comparación con el lado convexo, la corriente de aire hace rotar el molinete. Existe una velocidad del viento mínima que pondrá en movimiento el anemómetro de cazoletas según la fricción en los cojinetes del molinete y los parámetros de diseño del instrumento (OMM, 2017).

El sensor utiliza un interruptor de lectura magnético sellado. Este interruptor produce una serie de cierres de contactos a una tasa proporcional a la velocidad del viento. Con su salida pulsada, se presta a aplicaciones que involucran sistemas de medición tanto digitales como analógicos. La señal pulsada es enviada al (SAD).

Sensor Anemómetros ultrasónicos:

Los anemómetros sónicos miden la velocidad del viento detectando el efecto del viento en los tiempos de tránsito de los pulsos acústicos que viajan en direcciones opuestas a través de una trayectoria conocida. Los anemómetros sónicos pueden ser de tipo pulso o de onda continua. El primero mide las diferencias de tiempo de tránsito directamente para calcular el componente de velocidad a lo largo de la ruta, mientras que el segundo mide las diferencias de fase que se pueden convertir en diferencias de tiempo. Ambas medidas se relacionan directamente con la velocidad del viento (Kaimal & Finnigan, 1994). La señal eléctrica de estos sensores es enviada a un (SAD).

- **Sensor de Presión Barométrica**

Es un transductor de presión de estado sólido, con electrónica de linealización y amplificación cuya señal es transmitida al sistema de adquisición de datos. Los pequeños orificios de entrada permiten que la presión atmosférica acceda al elemento sensor.

2. CONDICIONES AMBIENTALES DE LAS ESTACIONES

Las estaciones de la RMCAB deben tener las condiciones físicas adecuadas, para garantizar un entorno que no pueda afectar la estabilidad del monitoreo de los analizadores, monitores, sensores y otros los equipos, las cuales se relacionan a continuación:

- Temperatura interna de la estación debe ser de 20° C a 30° C, la cual debe tener una desviación estándar de <+/- 2,1°C durante un período de 24 horas.
- Debe ser de fácil acceso para garantizar el mantenimiento de los analizadores, monitores, sensores y demás equipos.
- Contar con condiciones de seguridad para evitar vandalismo, por los que el cercado, así como las puertas de entrada a la estación, deben encontrares en buen estado, sin roturas, bien puestas y firmes. Las cerraduras, deben estar en buenas condiciones sin bloqueos.
- La estación debe ser hermética evitando permeabilizaciones que generen humedad al interior de esta, así mismo para evitar que la luz externa caiga sobre los equipos.
- La conexión eléctrica debe proporcionar voltaje de 110/220 VCA. Los circuitos eléctricos deberán ser suficientes para la carga actual de los equipos más otros instrumentos que pueden ser conectados al interior de las estaciones.
- Los equipos que se encuentran en la actividad de monitoreo deben estar puestos en el rack.
- Debe contar con el suministro de servicios de energía eléctrica y acceso a internet.

3. MANTENIMIENTO DE ANALIZADORES, MONITORES DE PARTICULAS, SENSORES Y OTROS EQUIPOS

El programa de mantenimiento define las rutinas de chequeo y limpieza de equipos analizadores, monitores, sensores y otros equipos, que aseguran el funcionamiento del sistema, así como también las frecuencias de estas actividades. En casos especiales se referirá en el procedimiento o instructivo consultar el manual del fabricante para rutinas de mantenimiento específicas.

Con el fin de desarrollar las actividades de operación y mantenimiento de los equipos de monitoreo que conforman las estaciones de la RMCAB cada una de éstas es visitada por lo menos una vez a la semana. Con esto se busca asegurar la realización de labores de mantenimiento preventivo y correctivo según el caso.

Generalmente, en cada visita se realizan actividades de inspección rutinaria por medio de las cuales se diagnostica la operación de cada equipo instalado en la estación, teniendo en cuenta que los equipos de la RMCAB son automáticos y tienen la capacidad de realizar pruebas automáticas que diagnostican su estado. Con base en este diagnóstico se pueden identificar las actividades de mantenimiento correctivo a realizar en la estación. Las visitas tienen unos objetivos específicos:

- El mantenimiento preventivo, el cual está programado semanalmente mediante el software de mantenimiento.
- El mantenimiento correctivo, el cual es programado por el personal de la oficina con base en las actividades de validación. Esta actividad se comunica al personal de campo mediante la adición de actividades correctivas en el software de mantenimiento.

Con respecto al cumplimiento de la periodicidad de ejecución de las actividades, este puede verse afectada por limitaciones logísticas, administrativas e imprevistos que se puedan presentar en la RMCAB y generan retrasos en la ejecución de estas. Cuando esto ocurre, se realiza una verificación estricta del comportamiento de los datos y se analiza si estos presentan alguna variación que podría asociarse a la falta de ejecución en la periodicidad establecida de alguna de las actividades que se encuentran retrasadas y de ser este el caso, los datos afectados se invalidan conforme al procedimiento establecido para tal fin. Si no se identifica ninguna afectación, los datos se mantienen válidos y siempre se prioriza la atención a esta estación una vez superados los impedimentos logísticos y/o administrativos.

3.1.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo se refiere a todas las acciones que comprenden una serie de procedimientos enfocados a lograr el correcto funcionamiento de los equipos y sensores que conforman las estaciones de la RMCAB.

A continuación, se describen las principales actividades de mantenimiento general que se deben efectuar con cierta periodicidad durante las visitas a las estaciones de monitoreo de

calidad del aire de Bogotá. Dichas actividades deben realizarse para asegurar la confiabilidad en la operación y mantenimiento de los equipos y sensores de la RMCAB. Es importante anotar que cada actividad puede tener una periodicidad diferente de acuerdo con su nivel de importancia o pertinencia.

Como muchas de estas actividades son de inspección, se ha definido que, en el caso de presentarse alguna anomalía o novedad, esta deberá ser registrada en el software de mantenimiento. Si durante la visita no es posible registrar las actividades en dicho software, se registrará la información de las actividades de mantenimiento realizadas en el formato PA10-PR01-F2 *"Hoja de vida - Historial de servicios"* en la pestaña *"Historial de Servicios de los Equipos"*.

3.1.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO GENERAL

Antes de realizar la medición de los contaminantes, es necesario realizar una revisión general de los analizadores, monitores, sensores y otros equipos auxiliares en cada una de las estaciones, la cual se debe realizar conforme a los procedimientos específicos para cada tipo de equipo, en donde se hace referencia a las actividades de rutina. Los procedimientos se listan a continuación:

- PA10-PR01 *"Gestión metrológica para el monitoreo y control de la calidad de los recursos naturales en el D.C."*
- PA10-PR03 *"Aseguramiento de Calidad de los Resultados emitidos por el Laboratorio Ambiental SDA"*
- PA10-PR05 *"Revisión y validación de datos de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB"*
- PA10-PR06 *"Monitoreo y revisión rutinaria de la operación analizadores, monitores de partículas y sensores meteorológicos"*
- PA10-PR12 *"Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de Black Carbon (BC)"*

A continuación, se describen las principales actividades de mantenimiento rutinario que se deben efectuar durante cada una de las visitas a las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Bogotá[2]. Dichas actividades hacen parte del programa de mantenimiento y deben realizarse para asegurar la confiabilidad en la operación, mantenimiento de los equipos y sensores de la RMCAB. Adicionalmente, éstas quedarán registradas y las actividades

[2] Para el detalle de las actividades se tiene como insumo básico de operación los manuales de cada uno de los equipos que se operan en la RMCAB.

realizadas deberán registrarse en la bitácora de cada una de las estaciones mediante el uso del software de mantenimiento.

3.1.2.1. Verificación y mantenimiento rutinario de la estación

Corresponde a la verificación visual externa del estado físico general de la estación, teniendo en cuenta lo siguiente:

- **Verificación de interferencias**

Verificar visualmente el alrededor de las estaciones si existen elementos, situaciones y/o condiciones tales como árboles que obstaculicen o sobrepasen los muestradores de los equipos, incendios, construcciones u obras civiles que por su cercanía y altura genere interferencia en la medición, entre otros. Esto debe ir consignado en el software de mantenimiento informando brevemente las observaciones del caso y posteriormente se realiza un informe en el modelo PA10-PR02-M1 *"Modelo Informe de operación de la RMCAB"* por parte de los ingenieros de campo que tengan esta actividad, donde se relacionen el estado de las estaciones con un análisis de las diferentes verificaciones realizadas y las gestiones realizadas o proyectadas para controlar o minimizar el impacto de las interferencias en la operación de las estaciones de la RMCAB. Este informe se revisa en el comité mensual de inventarios.

- **Verificar la puerta de entrada**

Verificar el estado general de las puertas (enmallado y de ingreso a la estación), las cuales deben estar cerradas al momento de ingreso a la estación y no deben presentar evidencia de violación a la cerradura. Comprobar al momento de abandonar la estación que éstas queden debidamente cerradas y aseguradas.

- **Verificar la puerta de los gases de calibración**

En algunas estaciones que cuentan con compartimento exclusivo para el almacenamiento de los gases de referencia, por lo que se debe verificar el estado general de la puerta en las estaciones donde aplique, esta deberá estar cerrada al momento de ingreso a la estación y no debe presentar evidencia de violación a la cerradura.

Comprobar al momento de abandonar la estación que esta quede debidamente cerrada y asegurada.

- **Verificación de la toma muestra**

Verificar la apariencia física de la toma muestras de los analizadores de calidad del aire, así como de la toma muestra del PM_{10}, $PM_{2.5,}$ para estos se revisa la trampa ubicada en el toma muestra con el fin de determinar si se encuentra con agua o polvo. En este caso deberá ser limpiado y drenada el agua encontrada.

3.1.2.2. Verificación del tiempo de residencia

El tiempo de residencia se define como la cantidad de tiempo que tarda una muestra de aire en viajar desde él toma muestra hasta la entrada del analizador de gases. Este tiempo de residencia se debe calcular para todos los analizadores de gases, incluyendo él toma muestra, manifold o colector, las líneas de muestreo y la parte posterior del analizador. Este tiempo de residencia no debe supera sea inferior a 10 segundos (hasta un total máximo permitido de 20 segundos).

Para evaluar el tiempo de residencia se debe revisar el instructivo PA10-PR06-INS06 *"Instructivo para el cálculo del tiempo de residencia en las estaciones de la RMCAB"*

3.1.2.3. Verificación/Calibración cero - span en analizadores de gases

La verificación del cero consiste en dejar pasar aire cero entre 10 a 15 minutos al analizador de gases hasta que se obtengan lecturas estables, posterior se realiza la verificación del span que consiste en dejar pasar al analizador una concentración conocida de un gas patrón en un lapso de 10 a 15 minutos. Si el cero o el span no se encuentran dentro de los criterios admisibles según el gas a evaluar, se deberá realizar la calibración (ajuste). Lo referente a la Verificación/Calibración cero-span se encuentra en los instructivos PA10-PR06-INS2 "Instructivo para la revisión rutinaria de la operación del analizador de óxidos de nitrógeno (NOx)", PA10-PR06-INS3 "Instructivo para la revisión rutinaria de la operación del analizador de dióxido de azufre (SO2)", PA10-PR06-INS4 "Instructivo para la revisión rutinaria de la operación del analizador de monóxido de carbono (CO)" y PA10-PR06-INS5 "Instructivo para la revisión rutinaria de la operación del analizador de ozono (O3)".

3.1.2.4. Verificación/Calibración Multipunto en analizadores de gases

La verificación/calibración multipunto del analizador de gases a evaluar, consiste básicamente en efectuar al menos tres puntos diferentes de mezclas de concentraciones conocidas adicionales al Cero y al Span, las cuales se hacen pasar a través del analizador con el fin de evaluar la precisión y exactitud de los datos arrojados por dicho equipo a lo largo del rango. Los criterios de aceptación para la verificación/calibración multipunto se realiza conforme a los instructivos PA10-PR06-INS2 “Instructivo para la revisión rutinaria de la operación del analizador de óxidos de nitrógeno (NOx)”, PA10-PR06-INS3 “Instructivo para la revisión rutinaria de la operación del analizador de dióxido de azufre (SO2)”, PA10-PR06-INS4 “Instructivo para la revisión rutinaria de la operación del analizador de monóxido de carbono (CO)” y PA10-PR06-INS5 “Instructivo para la revisión rutinaria de la operación del analizador de ozono (O3)”.

3.1.2.5. Verificación de flujo, temperatura y presión en monitores de material particulado

Consiste en realizar la verificación de temperatura, presión y flujo reportado por el equipo monitor de partículas frente a un medidor de flujo, en la cual debe cumplir con unos criterios especificaos conforme al método de referencia. Dicha actividad se encuentra especificada en el instructivo PA10-PR06-INS01 “Instructivo para la revisión rutinaria de la operación de los monitores de partículas”

3.1.2.6. Mantenimiento del analizador de CO2

Verificar estado general del equipo, es decir, si presenta alguna alarma o estado de error en su pantalla principal. En el caso que presente alguna falla o error deberá revisar los parámetros de funcionamiento de acuerdo con lo recomendado en el manual de cada fabricante. Realizar actividades de cambio de filtro de partículas cada quince (15) días, así mismo como las actividades de verificación y/o calibración. Estas actividades se deben registrar en el software de mantenimiento y verificar el dato registrado en pantalla, comparándolo con el registrado en el datalogger con el fin de identificar inconsistencias. Dicha verificación puede ayudar a identificar fallas internas, fallas de conexión o de transmisión y configuración.

Se debe registrar el mantenimiento rutinario general realizado o en caso de presentarse alguna anomalía, deberá ser registrada en el software de mantenimiento.

3.1.2.7. Mantenimiento rutinario del generador de aire cero

El generador de aire cero es un sistema simple capaz de producir aire seco de alta calidad libre de partículas. Están diseñados para reemplazar cilindros de gas como fuente estándar de calibración, y la operación de este equipo, consiste en llevar el aire ambiente al generador de aire cero donde este es comprimido y luego purificado usando una combinación de desecantes y filtros.

Para realizar actividades de mantenimiento de forma mensual, a los generadores de aire cero que poseen compresores de aire externos, a los cuales se le debe verificar la presión de salida de este equipo, la cual debe estar entre 20 y 30 psi máximo. (En las estaciones que aplique).

Para la purga es necesario que el compresor se encuentre encendido para permitir que alcance la presión de salida máxima. Posteriormente se debe efectuar un drenaje de agua mediante el dispositivo ubicado en la parte más baja del tanque (purga). Esta se efectúa abriendo las válvulas lentamente para dejar salir la presión de modo regular hasta liberar completamente la presión y poder purgar por completo el compresor.

Adicionalmente, es necesario efectuar una serie de cambios de repuestos y consumibles, los cuales deben ser efectuados de acuerdo con las indicaciones y la periodicidad descritas en el manual de operación del equipo.

3.1.2.8. Verificación y mantenimiento de los sensores meteorológicos.

Verificar la apariencia física de los sensores y su correcto estado. Esto consiste en determinar si hay anomalías de índole físico, como rupturas, quiebres, falta de componentes, deterioro etc.

Corresponde a la ejecución de las actividades propias del mantenimiento preventivo entre las cuales se encuentran las actividades de limpieza externa de los sensores meteorológicos, y chequeo general de los parámetros de cada uno de los ellos. Es importante efectuar una adecuada limpieza de estos, y adicionalmente efectuar un mantenimiento de los rodamientos y las diferentes piezas que se puedan desgastar con el funcionamiento diario.

Adicional para realizar la verificación de los sensores meteorológicos, remítase al instructivo PA10-PR02_INS7 *“Verificación y operación sensores meteorológicos”*

3.1.2.9. Verificación y mantenimiento del Datalogger.

El datalogger es el equipo que almacena y transmite la información registrada por cada equipo o sensor. En la estación se verifica que el datalogger este funcionado, es decir una inspección que los datos en la pantalla se estén visualizando y actualizando de acuerdo con los datos reportados por los equipos.

El datalogger debe estar conectado a los analizadores y sensores, los datos reportados por los analizadores y sensores se deben estar actualizando constantemente, visualizando los datos instantáneamente, promediando cada 10 minutos y cada hora. Así mismo, debe estar conectado a una base de datos contenida en su disco duro, con el fin de almacenar los registros de los sensores y analizadores, para ser transmitidos automáticamente por medio de conexión IP al servidor central de la SDA, de esta manera se asegura el resguardo de la información.

Dentro de las actividades rutinarias también se incluye la validación de datos en campo, la cual consta fundamentalmente en identificar datos erróneos en el datalogger, en el que se identifican aquellos datos que se encuentren fuera del rango lógico, así como la notificación a través del software de mantenimiento de los sucesos que se hayan presentado y que puedan haber influenciado directamente la veracidad de la información, como por ejemplo: canales bloqueados, interrupciones por procesos de calibración o por falta de energía, problemas en el datalogger o en cualquier otro instrumento. De acuerdo con lo anterior, se deberán utilizar controles o banderas que identifiquen el problema del dato. Esta verificación se realiza básicamente observando en modo grafico el historial semanal del sensor o equipo y determinando mediante esta observación su comportamiento.

El mantenimiento preventivo y/o correctivo sigue los lineamientos presentados en el manual 126MSGSI *"Manual del Subsistema de Gestión de Seguridad de la Información (SGSPI) de la SDA"*, la verificación de funcionamiento está a cargo de Profesionales y técnicos de campo-monitoreo de la RMCAB, para lo cual cualquier anomalía en su hardware o software que no pueda ser solucionada en campo se reporta en la en la mesa de servicios ARANDA.

3.1.2.10. Verificación y mantenimiento de los equipos de aire acondicionado.

La actividad de verificación es desarrollada por los ingenieros de campo que corresponde a la verificación visual y actividades de limpieza externa a la unidad evaporadora, la cual se debe registrar en software de mantenimiento de la RMCAB y realizará de forma mensual o cuando se presenten anomalías con estos cuando se realice las visitas a las estaciones.

- **Verificar el nivel de enfriamiento**

Verificar el nivel de enfriamiento en que se encuentra la unidad de aire acondicionado. Se debe programar de tal manera que se garantice que la temperatura interna de la cabina se encuentre entre 20°C y 30°C, para monitorear la temperatura interna de la estación se ha dispuesto de un sensor interno que envía los datos al Envidas donde son registrados y almacenados; además se debe revisar que el nivel de enfriamiento no produzca congelamiento en los serpentines. En caso de presentarse alguna anomalía deberá ser registrada en el software de mantenimiento y notificada al coordinador.

- **Verificar la velocidad del ventilador**

Verificar la velocidad del ventilador de la unidad de aire acondicionado, la cual normalmente debe encontrarse entre velocidad media y alta. Esta verificación se puede realizar fácilmente para aires acondicionados *minisplit* ya que estos equipos presentan en su menú de operación la velocidad del ventilador ajustable.

- **Verificar la limpieza del PAD (filtro de aire)**

Verificar el estado general del PAD, el cual no debe presentar polvo ni partículas adheridas al mismo. De ser así, este se debe retirar y limpiar por fuera de la estación para evitar que el polvo retenido por este filtro se disperse dentro de ella. Adicionalmente, se debe verificar la posición de la rendija de salida del aire acondicionado, ésta nunca debe apuntar directamente hacia el *rack* de los equipos ni tampoco hacia los serpentines de la unidad. Esta actividad deberá realizarse cada 6 meses por parte de los proveedores externos de mantenimiento de los equipos o por el equipo de la RMCAB.

- **Verificar el estado de los serpentines**

Los serpentines no deben presentar congelamiento en su parte externa. De lo contrario, es necesario apagar la unidad de enfriamiento y los analizadores de gases hasta que la unidad se descongele. Posteriormente, se debe reiniciar su operación en los niveles de enfriamiento adecuados.

En caso de que los serpentines sigan presentando problemas de congelamiento es necesario acudir a personal especializado en la reparación de aires acondicionados puesto que la unidad puede estar presentando alguna falla interna o en el gas refrigerante.

- **Mantenimiento externo**

Corresponde a la ejecución de las actividades propias del mantenimiento preventivo y correctivo entre las cuales se encuentran las actividades de limpieza externa e interna, chequeo general, verificación externa del estado de la unidad de aire acondicionado. Cualquier anomalía como por ejemplo fugas, desconexiones, rupturas o algún evento anormal, deberá ser registrada en el software de mantenimiento y reportada al coordinador.

Se realiza un mantenimiento más exhaustivo a estas unidades, por lo que la Entidad debe contratar un servicio de mantenimiento especializado para prestar los servicios de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de aire acondicionado. Dicha actividad se registra en el software de mantenimiento.

3.1.2.11. Mantenimiento de la red eléctrica

Corresponde a la revisión visual eléctrica de toma corrientes, portalámparas y acometidas eléctricas. En caso de presentarse alguna anomalía como por ejemplo cables en mal estado, toma corrientes sueltos, alambres salidos etc., deberá corregirse y registrar la anomalía en el software de mantenimiento.

- **Verificar estado de las luces internas**

Se debe comprobar el correcto funcionamiento de las lámparas y elementos de iluminación, asegurando su funcionamiento, así como la adecuada luminosidad dentro de la estación. Además, es importante verificar el funcionamiento de los interruptores. En caso de anomalía deberá registrase en el software de mantenimiento y reportarlo al coordinador.

3.1.2.12. Mantenimiento de la UPS (Unidad Ininterrumpible de Potencia)

Corresponde a la ejecución de las actividades propias del mantenimiento preventivo entre las cuales se encuentran las actividades de limpieza externa e interna y chequeo de los parámetros generales del equipo.

Se debe revisar en cada visita que la UPS se encuentre encendida y no se presente alarmas de operación. También se debe revisar mensualmente que la carga conectada a la UPS no sobrepase la carga máxima que puede soportar la misma y verificar la tensión de entrada a la UPS con la ayuda de un multímetro. Esta tensión debe ser constante presentando valores de 110 VAC ± 5VAC (UPS Monofásica) o 220 VAC ± 10VAC (UPS Bifásica).

Cabe anotar que es necesario efectuar ciertas actividades de mantenimiento específicas; las cuales deben ser realizadas por personal debidamente capacitado para dichas labores, por lo que la Entidad debe contratar un servicio de mantenimiento especializado para las UPS cada dos (2) años. En caso de presentarse alguna anomalía deberá registrase en el software de mantenimiento y reportarlo al coordinador.

3.1.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo se realiza con base en las alertas que se detectan en la validación de datos o en el diagnóstico efectuado por las visitas durante la operación semanal. Una vez evidenciado un daño, se procede a revisar el equipo, evaluar el daño y dar un diagnóstico y posible solución al problema.

El mantenimiento correctivo puede desarrollarse de las siguientes formas que se describen a continuación:

3.1.4. MANTENIMIENTO CORRECTIVO IN SITU

El que se desarrolla dentro de la estación. El mantenimiento *In Situ* se lleva a cabo en caso de tratarse de una reparación sencilla, ésta se realiza en el menor tiempo posible, sin retirar el equipo de la estación.

3.1.5. MANTENIMIENTO POR GARANTÍA

Los equipos también pueden ser retirados de la estación para su reparación o restitución cuando presenten falla grave y se encuentren en periodo de garantía, en cuyo caso quien asumirá el mantenimiento será el proveedor.

3.1.1. MANTENIMIENTO POR MEDIO DE CONTRATO EXTERNO

La RMCAB podrá contratar el mantenimiento de los equipos externamente en caso de requerirse la intervención de un mantenimiento especializado que no podrá ser resuelto por el personal interno.

4. VERIFICACIÓN Y/O CALIBRACIÓN Y/O MANTENIMIENTO DE EQUIPOS Y/O MATERIAL DE REFERENCIA

4.1. Verificación y/o calibración y/o mantenimiento del calibrador dinámico

Un calibrador dinámico es un equipo que realiza una dilución de un gas de referencia (mezcla de CO, NO, SO_2 y metano – CH_4 y propano – C_3H_8 como gas portador se utiliza el N_2) con aire puro (aire cero) en proporciones deseadas. De esta forma el calibrador dinámico proporciona un gas cuya concentración de CO, NO, SO_2, O3 y CO_2 puede ser especificada por el usuario.

El calibrador dinámico consta de una entrada para aire, cuatro entradas para gases y la salida de la mezcla. Los calibradores dinámicos se utilizan para verificar y calibrar los analizadores de CO, NO_x SO_2, O3 y CO_2.

Los calibradores dinámicos realizan la mezcla usando dos o más controladores de flujo másico. Uno de estos está específicamente destinado a controlar los flujos de aire cero para rangos entre 0 y 10 L/min., y el otro es para controlar los flujos de gases para rangos entre 0 a 50 cm^3/min o 0 a 100 cm^3/min, dichos flujos son establecidos mediante el menú del equipo, ya sea por medio de comandos numéricos o por medio del teclado del calibrador dinámico.

Es importante anotar que solamente se puede realizar una dilución a la vez, esto quiere decir que se utiliza la entrada de aire y solamente una de las concentraciones de la entrada de gases para poder realizarla dilución deseada.

Dentro de las actividades de mantenimiento a los calibradores dinámicos de gases, se les realiza mantenimiento correctivo cuando presente alguna falla, por lo que es consultado el manual del fabricante con el fin de atender las indicaciones dadas por el fabricante del equipo.

Por otra parte, para garantizar la trazabilidad metrológica del calibrador dinámico se debe realiza un proceso de calibración anual al fotómetro interno por un laboratorio externo que tenga dentro de su alcance esta variable; así mismo se deberá realizar la verificación de a los equipos que tengan generador de gases. Por otro lado, se debe realizar sí como la verificación anual de los controladores de flujo másico- MFC, las cuales se pueden realizar de forma interna y/o externa; si esta verificación se realiza de forma interna, se deberá seguir lo estableció en el documento PA10-PR02-INS6*. "Verificación controladores de flujo másico"* y los registros se realizan en el formato PA10-PR02-F4 *"Resultados de verificación MFC de calibradores multigas"*

4.2. Verificación los cilindros de gases de referencia

Verificar la apariencia física de los cilindros, los cuales deben estar debidamente conectados a los reguladores sin evidencia de fugas. Revisar las presiones del cilindro para efectos de calibración, fecha de vencimiento y de la línea de gas, con el fin de determinar el posible cambio o recarga de este para lo cual debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Cuando se instale un nuevo cilindro se debe registrar en la bitácora la presión del cilindro, fecha de vencimiento y concentración de los gases en el formato PA10-PR01-F1 *"Inventario de especificaciones técnicas equipos/patrones/material de referencia/insumos/consumibles y programa de mantenimiento calibración y verificación"*
- Con el fin de poder asegurarse de que no existen fugas se debe realizar el siguiente procedimiento cada tres meses:
  - Una vez conectado el cilindro a todo el sistema neumático, se debe abrir y presurizar el sistema entre 20 y 30 psi. Una vez presurizado el sistema se debe cerrar el registro del cilindro. Es aquí donde deberá tomarse nota de la presión registrada en el regulador. En la siguiente visita se debe registrar nuevamente la presión, entonces si la presión es exactamente la misma, esto significa que el sistema no tiene fugas, de lo contrario deberá revisarse el sistema neumático para ubicar la fuga y corregirla. Una vez corregida deberá realizarse el mismo procedimiento anterior hasta encontrar y corregir la falla. Lo anterior garantiza que no habrá fugas de la mezcla de gases.

Cuando el gas de referencia se agote y/o caduque este deberá ser adquirido conforme a las concentraciones necesarias para realizar las verificaciones correspondientes a los analizadores de gases y este debe contar con trazabilidad NIST, que se certificará con el resultados de análisis de la mezcla y de los patrones con los que fue elaborada.

4.3. Verificación de los sensores internos de temperatura y humedad relativa

Estos sensores permiten medir la temperatura interna de la estación, para garantizar el control de la misma la cual debe ser de 20° C a 30° C y debe tener una desviación estándar de <± 2,1°C durante un período de 24 horas.

El objetivo de la verificación de los sensores de temperatura y humedad relativa es verificar la validez de los datos y el correcto funcionamiento de los sensores de temperatura interna de las estaciones, con el fin de realizar una verificación intermedia entre calibraciones, así como cumplir las recomendaciones sugeridas por los fabricantes, acerca de la temperatura de operación de los equipos aprobados por la U.S. EPA, el cual en 7.2.2 Sampling Environment del Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Handbook Volume II indica l *"El dispositivo debe tener una precisión de + 2°C y comprobado cada 6 meses por un estándar trazable por NIST"*

Siendo así las cosas, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones para realizar la verificación interna:

- Se debe contar con un equipo y/o elemento de referencia calibrado con trazabilidad NIST, en la variable a verificar, la cual es temperatura.
- Verificar visualmente que el equipo de referencia este en buenas condiciones físicas, sin averías y que este encienda.
- Se debe contar con el sensor objeto de comparación en buenas condiciones físicas y que este esté encendido.
- Se debe garantizar que la verificación se realice al interior de la cabina de la estación, con la finalidad de no exponer los equipos a cambios fuertes de corrientes de aire, humedad o tránsito alto de personas.
- Se deben generar las mismas condiciones tanto para el sensor de referencia, como para los sensores a comparar, ubicándolos lo más próximos posible y en un lugar que no tenga cambios bruscos de temperatura (flujo directo del aire acondicionado, interferencia directa de ventiladores de los analizadores y viento externo, entre otros).
- Se debe dejar encendido en un lapso de una hora el equipo de referencia, con el fin de que este se estabilice al momento de realizar la medición.
- Antes de iniciar la verificación, registre los datos del lugar y fecha, así como las condiciones ambientales en las que se realizará esta actividad, entre estas están temperatura ambiente, presión y humedad relativa del interior de la cabina.

- Comience la medición, comparando mínimo 30 mediciones entre el sensor y patrón de referencia, con un intervalo de tiempo entre cada medición de cinco minutos, durante una hora, registrando los valores dados para cada hora que cumpla con el intervalo. Estos datos se deberán registrar en el formato PA10-PR03-F8 *"Verificación de instrumentos de medición"*.
- Al terminar la captura y registro de datos se debe realizar un análisis de los datos en el cual la diferencia máxima aceptable es de ±2.1°C.
- Realizar una gráfica de los valores de temperatura obtenidos tanto por el sensor de referencia como del sensor de temperatura interna, en función del tiempo (hora del dato), con el fin de mostrar la línea de comportamiento de ambos sensores y comprobar si el sensor de temperatura interna se encuentra dentro de un rango específico de diferencia.

4.4. Calibración y mantenimientos de los sensores internos de temperatura y humedad relativa

Conforme al requerimiento de la US EPA del establecido el Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Handbook Volume II, de verificar cada 182 días o dos veces al año, por ende se determina que la calibración se debe realizar de forma anual. Esta calibración debe hacerse de forma externa por un laboratorio de calibración acreditado bajo los criterios de la ISO/IEC 17025, en las variables de temperatura y humedad relativa en puntos que cubran los históricos de mediciones de los equipos.

Adicional, en caso de presentarse alguna anomalía en el equipo, informar dicho evento, de tal manera que se realice la misma verificación, con el fin de determinar las posibles causas y se gestione el mantenimiento externo del mismo.

4.5. Calibración del patrón de referencia de temperatura, presión y humedad relativa

Este equipo es el estándar utilizado para realizar las verificaciones a los sensores de temperatura y humedad interna de las estaciones de la RMCAB, con la finalidad de cumplir el criterio establecido por la U.S. EPA, del Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Handbook Volume II indica que a los sensores que miden la temperatura interna de la cabina deberán verificarse cada 6 meses por un estándar trazable por NIST; así como equipos de referencia para realizar comprobaciones a la variable de humedad relativa interna y externa, y presión.

La calibración de este equipo debe hacerse de forma externa por un laboratorio de calibración acreditado bajo los criterios de la ISO/IEC 17025, en las variables de temperatura, humedad relativa y presión en puntos que cubran los históricos de mediciones de los equipos que se verificaran con el mismo. La trazabilidad de la calibración debe garantizar que sea NIST.

Adicional, en caso de presentarse alguna anomalía en el equipo, informar dicho evento, de tal manera que se realice la misma verificación, con el fin de determinar las posibles causas y se gestione el mantenimiento externo del mismo.

4.6. Calibración y mantenimiento de los medidores de flujo

Este equipo es utilizado para realizar las verificaciones y calibraciones en los monitores de partículas, equipos Black Carbon y analizadores de gases en el flujo del equipo, temperatura y presión cuando sea el caso. Estos equipos varían según la capacidad de flujo que pueda medir las diferentes referencias del mismo. La RMCAB cuenta con medidores de flujo de alta que miden de 0 a 20 lpm, de media que mide de 0 a 5 lpm y de baja que mide de a 0,5 lpm.

La calibración de este equipo debe hacerse de forma externa por un laboratorio de calibración acreditado bajo los criterios de la ISO/IEC 17025, en las variables de flujo, temperatura y presión en puntos que cubran los intervalos de medición de cada tipo de equipo. La trazabilidad de la calibración debe garantizar que sea NIST, conforme a lo establecido en el Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume ii Apendice D en donde se indica que la calibración de este equipo se debe hacer con una frecuencia anual y con un rango de aceptabilidad rango aceptable: <+ 2.1% del estándar trazable NIST.

Adicional, en caso de presentarse alguna anomalía en el equipo, informar dicho evento, de tal manera que se realice la misma verificación, con el fin de determinar las posibles causas y se gestione el mantenimiento externo del mismo.

4. TRASLADO DE EQUIPOS

Corresponde al proceso de transportar equipos y analizadores entre las estaciones de la RMCAB y de las estaciones a la central (SDA) de manera segura, con el fin de realizar intercomparaciones o realizar procesos de reparación o calibración.

La tarea de trasladar un analizador de una estación a otra debe hacerse de manera segura para evitar que el analizador se averíe o se extravíe durante este proceso, se deberá seguir lo establecido en el instructivo PA10-PR02-INS5 *"Instructivo manipulación, transporte y almacenamiento de equipos"*

Luego de realizar un mantenimiento en un monitor, analizador o sensor se debe determinar el estado en el que queda y registrarlo en el software de mantenimiento. Los estados son los siguientes:

- Funcionando: cuando un monitor, analizador o sensor se encuentra dentro de sus parámetros de operación.
- Observación operativa: cuando un monitor, analizador o sensor ha sido intervenido pero se queda a la espera de que genere datos, durante un periodo de 24 horas, para nuevamente verificar su comportamiento y si es el adecuado, dar de alta al equipo y sino, retirarlo nuevamente de operación y ponerlo como pendiente de reparación o fuera de servicio según sea el caso.
- Pendiente de reparación: cuando luego del mantenimiento realizado no se cuenta con los elementos o condiciones para solucionarlo de inmediato, pero se puede programar su reparación en el corto plazo.
- Fuera de Servicio: cuando un monitor, analizador o sensor no se encuentra dentro de sus parámetros de operación y no se cuenta con los elementos a corto plazo para su puesta en operación.
- Dar de Baja: cuando un monitor, analizador o sensor no se encuentra dentro de sus parámetros de operación, no se puede reparar o su reparación supera el costo total del equipo.

5. INTERCOMPRACIÓN DE EQUIPOS

Como parte de los procesos de vigilancia y validación de los datos generados por la RMCAB, en ocasiones se detectan comportamientos que se apartan de la tendencia habitual del parámetro en una estación determinada, en la que los registros históricos permiten realizar dicho análisis. Cuando no se tiene este recurso ya sea porque se trata de una estación nueva o un equipo nuevo para monitorear un contaminante que antes no se media en una estación puntual, se deben realizar como parte del mantenimiento preventivo y correctivo, ejercicios de Inter comparación de equipos.

La Inter comparación de equipos consiste en poner a operar otro equipo de forma paralela para medir el mismo parámetro del cual se tienen dudas. Este equipo se somete a todos los procesos de calibración y mantenimiento que se realizan a los equipos de la RMCAB. El proceso se desarrolló por un tiempo de como mínimo una semana y los datos son monitoreados permanentemente por el equipo de análisis y validación de la red.

Posteriormente, los datos generados por los dos equipos se analizan y se evalúa si el comportamiento de los datos es similar o si presenta diferentes significativas debido a problemas técnicos. También se evalúa si la magnitud de los registros es coherente entre los dos equipos para evaluar si se presentan problemas con el ajuste del cero y el span en el equipo en cuestión.

FIN DEL DOCUMENTO

BIBLIOGRAFÍA

- Baldasano Recio. Cátedra de medioambiente tecnología y cultura. Universidad Politécnica de Cataluña. 1999.

- Bower, J. S. A Pragmatic View on Optimizing Performance of Air Monitoring Networks, Measurement and Control. 1989

- Broughton, G. F. J.; Bower, J. S.; Stevenson, K. J. et al. Air Quality in the UK: A Summary of Results from Instrumented Air Monitoring Networks in 1991/92. Stevenage, Warren Spring Laboratory, informe LR 941 (AP). 1993.

- Code of Federal Regulations. Title 40 Protection of Environment. Chapter I Environmental Protection Agency. Volume 5, part 58 Ambient Air Quality Surveillance. July 1999. www.epa.gov/ttn/amtic/files/cfr/pt58/40cfr58a.pdf

- Galvis, B. Cálculo de límites de validación para parámetros meteorológicos y de calidad del aire para la red de calidad de Bogotá. IDEAM. Enero de 2004".

- Environmental Protection Agency - US - EPA. Guidance for the Data Quality Objectives Process. EPA QA/G4. 1996. www.epa.gov/ttn/amtic/cpeldoc.html

- Environmental Protection Agency – US - EPA, SLAMS/NAMS/PAMS Network Review Guidance. 1998, EPA-454/R-98-003. March 1998.

- Environmental Protection Agency - US – EPA. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II: Part 1 Ambient Air Quality Monitoring Program Quality System Development. 1998

- Environmental Protection Agency - US – EPA. Technical Note- Clarifications and Guidance on Residence Time Determination. June 2019.

- EPA. (2008). *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems.* (Vol. Volume IV: Meteorological Measurements Version 2.0 (Final)).

- Fonseca Enrique, 2008. Manual de Procedimientos para Estaciones Meteorológicas. Organización para estudios tropicales.

- Guía ISO – GUM “Guide to the expression of Uncertainty in Measurement” CEM first ed. 1999

- Good –practice guide for air quality monitoring and data management. The Ministry of Environment of New Zealand. December 2000.

- Kaimal, J. C.; Finnigan, J. J. (1994). Atmospheric Boundary Laver Flows: Their Structure and Measurement. New York.

- National Air Pollution Surveillance Network. Quality Assurance and Quality Control Guidelines. Report series No. PMD 95-8. Environment Technology Center. Pollution Measurement Division. Environment Canadá. 1995

- OMM. (2017). Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. Genova, Suiza.

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA. Organización Mundial de la Salud - WHO GEMS/Aire. Serie de Manuales de Metodología Volumen 1. Aseguramiento de la calidad en el monitoreo de la calidad del aire urbano. 1994

- Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo territorial.

CONTROL DE CAMBIOS

Versión	Descripción de la Modificación	No. Acto Administrativo y fecha
10	Se agregó dentro de las actividades de mantenimiento rutinario de la estación, el tiempo de residencia. Se eliminaron las actividades de verificaciones y calibraciones. Se agregaron los principios de operación de los sensores meteorológicos. Se eliminó la descripción de la verificación de los sensores meteorológicos Se agregaron las condiciones de operación Se agregó el principio de operación de los equipos de black carbon. Se agregó el mantenimiento de los patrones de referencia. Se eliminó la acción de mantenimiento correctivo en el taller. Se agregó los estados que puede tener un equipo luego de un mantenimiento.	Radicado 2020IE240328 del 30 de diciembre de 2020
11	Se agregó la palabra estaciones en el objetivo del documento. Se complementa el principio de operación de los equipos de material particulado. Se agregó la ecuación la ecuación del principio de operación de los equipos de Monóxido de Carbono. Se complementa la información del principio de operación de los equipos analizadores de CO y CO_2 Se incluye la declaración de que, para mayor información sobre el modelo del equipo, remitirse al manual del mismo. Se incluye el registro de las verificaciones de interferencias. Se retira el paso a paso para realizar la actividad de verificación del tiempo de residencia, referenciando allí solamente la finalidad de esta verificación. Se adiciona la referencia las actividades de verificación de flujo, temperatura y presión para equipos de material particulado, verificación/Calibración cero – span y calibración multipunto en analizadores de gases. Para el mantenimiento del analizador de CO_2, se incluye el registro en el software de mantenimiento. Se adecua el párrafo de la verificación y mantenimiento de los datalogger la identificación datos erróneos ya que estaba en la actividad de verificación de la estación. Se reestructuró el numeral 2.1.1.10. Mantenimiento de patrones de referencia y se estructuró el capítulo de 4. VERIFICACIÓN Y/O CALIBRACIÓN Y/O MANTENIMIENTO DE EQUIPOS Y/O MATERIAL DE REFERENCIA. Inclusión en el capítulo 4. VERIFICACIÓN Y/O CALIBRACIÓN Y/O MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	Radicado No. 2021IE238488 del 3 de noviembre del 2021.

	Y/O MATERIAL DE REFERENCIA las actividades para los calibradores dinámicos y cilindros que contienen los gases de referencia. Se reestructuró el paso a paso para realizar la actividad de verificación de los sensores internos de temperatura y humedad relativa. En todos los equipos de referencia se estableció la temporalidad de calibración. Se eliminó el párrafo que indicaba los aspectos que se debe tener en cuenta para dar de baja un equipo. Se adiciona el capítulo de intercomparaciones de equipos en la RMCAB.	