

MANUAL 6

LINEAMIENTOS TÉCNICOS Y
ADMINISTRATIVOS PARA LA
AUDITORÍA DE SISTEMAS DE
MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE



1. INTRODUCCIÓN	5
2.. AUDITORÍAS DE SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	7
2.1 Tipos de auditoría de sistemas de medición	7
2.1.1 Auditoría de Sistema.	7
2.1.2 Auditoría de Datos.	8
2.1.3 Auditoría de Desempeño de los Componentes del Sistema.	10
2.2 Esquema de aplicación y Periodicidad de las Auditorías.	11
3. PROCEDIMIENTO ADMINISTRATIVO PARA LA REALIZACIÓN DE AUDITORÍAS A SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE.	13
3.1 Descripción general de los pasos de la auditoría.	13
3.1.1. Planeación de la Auditoría.	13
3.1.2. Ejecución de la auditoría.	13
3.1.3 Postauditoría.	13
3.2 Planeación de la auditoría.	13
3.2.1 Selección del auditor y planeación.	13
3.2.2 Obligaciones de las instituciones responsables del SMCA que será auditado.	14
3.2.3 Obligaciones del auditor.	15
3.3 Plan de Auditoría	15
3.3.1 Elaboración del documento - Plan de Auditoría.	15
3.3.2 Visita Preliminar.	16
3.3.3 Contenido del Plan de Auditoría..	16
3.3.4 Metodología y procedimientos de auditoría.	16
3.3.5 Programa de actividades.	17
3.4 Ejecución de la Auditoría.	17
3.4.1 Reunión de inicio.	17
3.4.2 Conducción de la auditoría.	18
3.4.3 Reunión de cierre de trabajos de campo.	19

3.5 Postauditoría.	19
3.5.1 Informe de la auditoría.	19
3.5.2 Plan de Acción.	21
3.5.3 Seguimiento.	21
3.5.4 Cierre del proceso.	21
4. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE AUDITORÍAS DE DESEMPEÑO PARA SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE.	22
4.1 Auditoría de Gases Mediante Sistema de Dilución.	22
4.2 Auditoría para mediciones meteorológicas	23
4.2.1 Velocidad del viento.	23
4.2.2 Dirección del viento.	23
4.2.3 Temperatura.	24
4.2.4 Humedad Relativa.	24
4.2.5 Presión atmosférica.	25
4.3 Auditoría para muestreadores de alto volumen	25
4.4 Auditoría para monitores para partículas suspendidas	26
5. REFERENCIAS	28
ANEXO 1. PROCEDIMIENTO DE AUDITORÍA MULTIGAS MEDIANTE SISTEMA DE DILUCIÓN	31
ANEXO 2. PROCEDIMIENTO DE AUDITORÍA PARA SENSO- RES METEOROLÓGICOS	55
ANEXO 3. PROCEDIMIENTO GENERAL DE AUDITORÍA DE FLUJOS DE MUESTREADORES DE ALTO VOLUMEN	101

1. INTRODUCCIÓN.

Para garantizar la calidad de la información que generan los sistemas de medición de la calidad del aire (SMCA) y que ésta pueda ser útil en la toma de decisiones, se debe tener un aseguramiento y control de calidad (AC y CC). En este sentido, es de suma importancia que la administración del SMCA se comprometa a sustentar la operación del programa de AC y CC, destinando los suficientes recursos financieros, técnicos y humanos para llevar a cabo las actividades del programa.

Para este propósito, la instancia federal deberá asegurar la homogeneidad de los métodos y procedimientos en la medición de la calidad del aire. Asimismo, deberá evaluar el desempeño técnico de la organización responsable de llevar a cabo la medición de la calidad del aire por medio de auditorías técnicas; establecer estándares de calidad, y asistir técnicamente a las instituciones que llevan a cabo la medición de la calidad del aire.

Dada la importancia de los SMCA en la Gestión de la Calidad del Aire, el Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (PNMA) del Instituto Nacional de Ecología considera un esquema de auditorías técnicas para evaluar periódicamente el desempeño de los SMCA con la finalidad de asegurar la calidad de la información generada.

Según lo establecido por la Organización de Estándares Internacionales (ISO), tanto el desempeño del SMCA, como la realización de auditorías técnicas son requerimientos básicos de los sistemas de calidad. De esta manera, el propósito de llevar a cabo una auditoría técnica es fortalecer los programas de aseguramiento y control de la calidad de los SMCA con la finalidad de garantizar el cumplimiento de los lineamientos básicos y la aplicación de procedimientos específicos que den como resultado que la información generada cumpla con las características de objetivos de calidad de los datos (OCD), tales como precisión, exactitud, representatividad, compleción y comparabilidad.

Por lo anterior, el objetivo de este Manual 6, último de la serie de Manuales de Buenas Prácticas de Medición de la Calidad del Aire, es establecer las bases técnicas para instrumentar y realizar un programa nacional de auditorías a los sistemas de medición de la calidad del aire.

Este Manual consta de cuatro capítulos y anexos técnicos. El Capítulo 1 introduce al lector al tema sobre auditorías y su importancia, explicando brevemente el contenido de los demás capítulos.

El Capítulo 2 describe en términos generales los tipos de auditoría y el alcance de cada una de ellas, así como el esquema y la periodicidad con la que se tienen que realizar sus diferentes tipos, ya sea auditoría del sistema, de datos, de desempeño de equipos de medición, entre otros. En una primera etapa se propone realizar exclusivamente auditorías de funcionamiento a los equipos de medición y a los sensores meteorológicos.

Se recomienda que éstas se lleven a cabo anualmente por empresas o laboratorios privados, que obtengan su acreditación a través de la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), o por otro SMCA, bajo la supervisión de la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (DGCENICA), quien podrá aleatoriamente realizar o verificar alguna auditoría.

En el Capítulo 3 se describe el procedimiento administrativo y de gestión para realizar una auditoría, presenta sus etapas (planeación, ejecución y postauditoría) y describe cada una de ellas. También presenta el contenido que deberá tener un informe de auditoría.

El Capítulo 4 describe los procedimientos generales para la realización de auditorías de desempeño a sistemas de medición de la calidad del aire. Para efectos de aplicación de este manual, el tipo de auditoría que se llevará a cabo es sólo la de desempeño. En

este tipo de auditoría se introducen, directamente a los analizadores automáticos para contaminantes gaseosos, diferentes concentraciones generadas por estándares secundarios y se compara su respuesta. La prueba puede hacerse a través de la toma de muestra de la estación auditada. También incluye la auditoría de sensores meteorológicos y de muestreadores manuales o automáticos para partículas suspendidas. En este capítulo se muestra un esquema de auditorías para sistemas de medición, se presentan los lineamientos generales para elaborar los reportes de auditoría y se establece su frecuencia.

Los anexos contienen los procedimientos específicos para la realización de las auditorías, de acuerdo a la forma en que las realiza el Instituto Nacional de Ecología.

2. AUDITORÍAS DE SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

En términos generales una auditoría es: una evaluación sistemática e independiente para determinar si las actividades de calidad y los resultados relacionados cumplen con los requisitos planeados y si esos requisitos son efectivamente implantados y apropiados para lograr los objetivos.

Para el caso de los SMCA el objetivo primordial de un programa de auditoría debe orientarse a asegurar que todos los datos publicados de calidad del aire provengan de estaciones de medición operadas con personal capacitado, usando métodos aprobados con base a procedimientos bien documentados y mediante el uso de materiales y equipos trazables, y asegurando que los resultados sean reportados con los requerimientos necesarios de precisión y exactitud.

La ejecución de una auditoría busca asegurar que los datos de calidad del aire sean comparables y usados como una herramienta confiable dentro de los programas de gestión de la calidad del aire que realicen las autoridades ambientales y de salud o en su caso los investigadores y demás interesados.

El resultado de la auditoría debe reflejar de forma completa y precisa la situación operativa del SMCA, con el fin de detectar posibles sesgos o errores en la información que

genera. En la siguiente sección se describen los aspectos más relevantes de cada tipo de auditoría.

Existen diversos tipos de auditorías que realiza la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US-EPA): auditoría de sistema, auditoría de desempeño y auditoría de datos. A continuación se explican cada una de ellas.

2.1 Tipos de auditoría de sistemas de medición.

2.1.1 Auditoría de Sistema.

Una auditoría de sistema consiste en una revisión completa del SMCA, donde se revisan los aspectos técnicos, y en este caso en particular, los sistemas de medición (la medición misma, recolección y análisis de las muestras, procesamiento de datos, elaboración de reportes, entre otros). La auditoría incluye entrevistas de orden técnico con el personal responsable, así como una revisión detallada de los procedimientos operativos, de las instalaciones y de la documentación para asegurar el cumplimiento en términos de aseguramiento de calidad.

En general, una auditoría técnica de sistema comprende la evaluación de los siguientes elementos:

a. Evaluación del personal.

- Nivel y experiencia profesional del personal.
- Funciones y responsabilidades.
- Capacitación del personal.

b. Evaluación de las instalaciones

- Revisión por medio de cuestionarios y listas de verificación.
- Revisión de prácticas de laboratorio.
- Revisión de actividades de campo.
- Inspección de laboratorios e instalaciones de apoyo.
- Revisión de las estaciones de medición en relación con sus criterios de ubicación y representatividad.
- Revisión de las condiciones ambientales de los laboratorios y estaciones (temperatura, humedad relativa.)

c. Evaluación de datos y control de documentos.

- Revisión de los formatos de cadena de custodia.
- Revisión de los registros o bitácoras de operación.
- Revisión de los registros de los formatos de campo.

- Revisión de los formatos de reporte, incluyendo los procesos usados para la obtención de datos.

- Revisión del manejo y tiempo de retención de datos.

d. Evaluación de los programas de aseguramiento de calidad

- Revisión de las políticas, planes y objetivos de calidad.
- Revisión de los procedimientos operativos.
- Revisión del contenido y grado de aplicación de los procedimientos.

2.1.2 Auditoría de Datos

Una auditoría de calidad de datos debe orientarse a evaluar exhaustivamente los procedimientos usados para recolectar, almacenar, transmitir, interpretar y reportar los datos de calidad del aire. Los criterios de evaluación usados se relacionan con los objetivos de calidad de los datos establecidos por el propio SMCA, que incluyen los procedimientos estadísticos usados para su manejo. Las auditorías de datos pueden incluir la evaluación de los siguientes aspectos:

- Registro, almacenamiento y transferencia de datos crudos.
- Procedimientos de limpieza, verificación y validación de datos.
- Procedimientos de manejo de datos, cálculos y validación de hojas electrónicas.

- Selección y discusión de indicadores de calidad de datos incluyendo: Precisión, Exactitud, Integridad, Compleción, Comparabilidad y Representatividad.

Es importante tener presente que las auditorías de datos están muy relacionadas con las actividades propias de las auditorías técnicas de funcionamiento, así como con los requerimientos de reporte que se establezcan para corroborar la calidad de la información sobre las concentraciones de contaminantes del aire.

Un trabajo completo de estas auditorías debe incluir una revisión del proceso: desde el inicio de la adquisición de datos, hasta el punto en que la información entra al Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire.

El proceso de Auditoría depende del tamaño y características de la organización, del volumen de datos procesados y de las características del sistema de adquisición de datos.

La auditoría debe comprender los dos tipos de medición de calidad del aire, como se describe a continuación:

- Medición continua de contaminantes criterio. Se deben seleccionar dos periodos de 24 horas de datos de un contaminante en específico para dos periodos diferentes en el año. En la mayor parte de los casos se selecciona el invierno y el verano. El contaminante y el intervalo de tiempo seleccionado se determinan de acuerdo al criterio del auditor.
- Muestreo manual. Se deben recalcular cuatro periodos de 24 horas por cada sistema de medición de la calidad del aire. El auditor debe escoger los periodos para auditar los datos. De forma paralela se debe inspeccionar el sistema auditado y revisar los registros existentes.

Los límites recomendados de aceptación debido a la diferencia entre el dato de entrada y el recalculado durante la fase de auditoría se dan en el Cuadro 1.

Modo de adquisición de datos	Contaminantes	Rango de medida (ppm)	Límites de tolerancia
Recuperación de datos automática.	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ CO	0-0.5, o 0-1.0 0-20, o 0-50	± 3 ppb ± 0.3 ppm
Recuperación de datos manual.	PST, PM ₁₀ , PM _{2.5} Pb	----- -----	± 2 µg / m ³ ±0.1 µg / m ³

Cuadro 1. Criterio de Aceptación para Datos Auditados.

2.1.3 Auditoría de Desempeño de los Componentes del Sistema.

Las auditorías técnicas de desempeño consisten en verificar la respuesta u otros parámetros críticos de operación (flujos, temperaturas, presiones, entre otros) de los monitores, analizadores y muestreadores, frente a materiales o estándares de referencia. Existen diferentes metodologías para realizar auditorías de funcionamiento, las cuales dependen del tipo de equipo de medición de que se trate.

Éstas pueden dividirse de la siguiente manera:

- Auditorías a través de la toma de muestra. Donde se utilizan cilindros con gases de concentraciones conocidas, un generador de ozono y un sistema de dilución para generar atmósferas de prueba, las cuales son introducidas por la toma de muestra de la estación, pasando por el sistema de muestreo hasta llegar a los analizadores.
- Auditorías a través del múltiple de muestra o por la parte posterior del analizador. Donde se utilizan cilindros con gases de concentraciones conocidas, un generador de ozono y un sistema de dilución para generar atmósferas de prueba, las cuales son introducidas por el puerto de muestra de cada uno de los analizadores de la estación.
- Auditorías a través de colocación. En las que son instalados equipos de medición similares a los que se encuentran en la estación de medición de la calidad del aire durante un periodo que puede ir desde unas cuantas horas hasta algunos días. Estos equipos pueden colocarse dentro de la misma estación y conectarlos al múltiple de muestra o utilizar una unidad móvil para medir en paralelo con la estación. Los resultados de las mediciones son comparadas.
- Auditorías del flujo, para muestreadores y monitores de partículas, donde se verifican los flujos utilizando estándares de transfe-

rencia, tales como calibradores de orificio o medidores de flujo (másicos o volumétricos) certificados, así como medidores de presión y temperatura. Por lo común el dispositivo de referencia se conecta en serie con el dispositivo de medición de flujo del muestreador y la tasa de flujo se mide en condiciones normales de muestreo.

- Auditorías de equipos meteorológicos. Las cuales se realizan para evaluar las respuestas de los sensores mediante la inducción de señales y/o comparación contra las lecturas de equipos de medición de referencia trazables o aceptados como tales.

Las desviaciones u observaciones encontradas en las auditorías de desempeño deberán estar dentro de un intervalo de aceptación. Se deberá establecer un plan de acción correctiva para garantizar que las desviaciones encontradas queden dentro de este intervalo lo más pronto posible, así como para determinar las causas de las desviaciones para implantar las acciones que las eviten a futuro.

2.2 Esquema de aplicación y Periodicidad de las Auditorías

Los SMCA son un pilar fundamental para la Gestión de la Calidad del Aire. En este sentido, el Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico (PNMA) del Instituto Nacional de Ecología considera un esquema de au-

ditorías técnicas para evaluar anualmente el desempeño de cada SMCA con la finalidad de asegurar la calidad de la información generada.

La auditoría total del sistema se sugiere realizar una vez cada seis años por un grupo de auditores multidisciplinario.

La auditoría de desempeño de los equipos de medición de los SMCA se realizará cada año en la totalidad de las estaciones, siempre y cuando cuenten hasta con 4 estaciones. Para aquellos SMCA que estén conformadas por 5 o más estaciones, se propone que se audite al menos el 25%.

La auditoría de datos se realizará cada dos años.

Los resultados de las auditorías podrán publicarse por la página de Internet del INE, junto con los informes bianuales de información de la calidad del aire o en la misma página del Sistema Nacional de Información sobre la Calidad del Aire (<http://sinaica.ine.gob.mx>).

En una primera etapa las auditorías de funcionamiento serán realizadas por la DGCE-NICA a aquellos SMCA que así lo soliciten, o que por alguna razón o interés en particular se requiera. Esta etapa también servirá para desarrollar las capacidades del perso-

nal de otros SMCA para que ellos, a su vez, puedan desarrollar auditorías a otros SMCA. Parte de los requerimientos es que los equipos usados en las auditorías sean probados y referenciados en el laboratorio de calibraciones y transferencia de estándares del INE o en algún otro laboratorio acreditado para tal fin.

A mediano y largo plazo se establecerá un proceso de aprobación de particulares donde los candidatos a realizar las auditorías de desempeño serían, además de la DGCENICA y SMCA, los Laboratorios de Calibración (actuales y futuros) que provean servicios de calibración y/o mantenimiento de analizadores automáticos que hayan sido acreditados por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

3. PROCEDIMIENTO ADMINISTRATIVO PARA LA REALIZACIÓN DE AUDITORÍAS A SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE.

3.1 Descripción general de los pasos de la auditoría.

Las auditorías comprenderán tres etapas esenciales: Planeación, Ejecución y Post-auditoría. A continuación se describen estos pasos.

3.1.1 Planeación de la Auditoría.

Se deberá desarrollar por consenso con el auditor y los responsables del SMCA, el plan de auditoría de manera específica y las estaciones de medición que serán auditadas con base en la información proporcionada y las visitas preliminares.

3.1.2 Ejecución de la auditoría.

En esta etapa se desarrollarán las actividades conforme a lo estipulado en el plan de auditoría. Al término de las actividades de campo, se realizará un informe de la auditoría, en el cual el auditor detallará los trabajos realizados y un diagnóstico de las observaciones encontradas.

3.1.3 Postauditoría.

El SMCA auditado deberá elaborar un Plan de Acción que incluya las acciones preventivas y correctivas pertinentes para cada observación o área de oportunidad detectada, atendiendo en primer lugar aquellas que es-

tán afectando directamente los resultados de la medición.

El plan de acción será entregado al INE, quién emitirá su opinión en cuanto a las observaciones, estrategia del plan de acción y tiempos de cumplimiento. Una vez definido este documento de común acuerdo, el sistema auditado reportará periódicamente al INE los avances que se vayan obteniendo en apego al programa. Asimismo, una vez que el sistema auditado haya concluido las acciones preventivas y correctivas correspondientes, éste presentará un informe final de cumplimiento, y el INE u otro organismo facultado estará en posibilidad de conducir una nueva auditoría o en su caso realizar una visita de seguimiento.

3.2 Planeación de la auditoría.

3.2.1 Selección del auditor y planeación.

El SMCA que se va a auditar puede seleccionar, en coordinación con el INE, el o los auditores que realizarán los trabajos de auditoría.

Debido a que el SMCA está integrado por un número de subsistemas interrelacionados que abarcan distintos equipos de medición (gases, partículas y meteorología), para cada caso deberá existir un auditor especializado

en la operación y funcionamiento del tipo de equipo que se esté auditando. Esto es preferible a que un mismo auditor lleve a cabo la auditoría completa.

En el caso de una auditoría de datos, las etapas de adquisición de datos, telemetría, administración de bases de datos, redes de cómputo y sistemas de difusión electrónica podrán ser auditados por personal con formación en alguna disciplina de ingeniería de comunicaciones, electrónica o sistemas de cómputo. Para el análisis de la información se requieren profesionales en disciplinas como ingeniería ambiental, matemáticas y sus diferentes ramas. Es deseable que los auditores designados cuenten con amplia experiencia práctica en la operación del área correspondiente.

3.2.2 Obligaciones de las instituciones responsables del SMCA que será auditado.

Las obligaciones que se atribuyen a un SMCA durante la realización de una auditoría se muestran en el Cuadro 2.

- Cubrir los gastos que deriven de los trabajos de auditoría, incluyendo: transporte, hospedaje, alimentación, materiales, consumibles y honorarios de los auditores
- Resguardar y proporcionar, cuando así lo requieran los auditores, la información necesaria para la realización de la auditoría.
- Acompañar en todo momento a los auditores durante los trabajos de campo.
- Una vez que el SMCA cuente con el informe final de auditoría, presentar y entregar al INE el plan de acción.
- Si durante el proceso de auditoría se detectara una situación crítica en el funcionamiento del Sistema de Medición de la Calidad del Aire, el sistema auditado realizará las acciones inmediatas que sean necesarias para controlar, reducir al mínimo o solventar la situación e informará al INE sobre el particular.

Cuadro 2. Obligaciones de los SMCA

3.2.3 Obligaciones del auditor.

Así como el SMCA tiene obligaciones durante la auditoría, el auditor tiene las suyas, las cuales se muestran en el Cuadro 3.

- Elaborar el "Plan de Auditoría" en consenso con el SMCA auditado.
- Solicitar la información requerida para la realización de la auditoría.
- Observar estricta confidencialidad sobre la información a que tienen acceso durante la realización de la auditoría. Por lo tanto, deberá entregar junto con el Plan de Auditoría una "Carta de Confidencialidad y Responsabilidad".
- Entregar al INE y al SMCA auditado el informe final de la auditoría

Cuadro 3. Obligaciones del auditor

3.3 Plan de Auditoría

El auditor u organismo auditor establecerá, junto con los responsables del SMCA a auditar, el "Plan de Auditoría con base en la información proporcionada por la organización y la obtenida mediante visitas preliminares.

El Plan de Auditoría consiste en un programa de actividades, que incluya la lista del personal participante.

3.3.1 Elaboración del documento - Plan de Auditoría.

El Auditor elaborará este documento de acuerdo a lo señalado y lo presentará a los responsables del SMCA auditado, quienes a su vez lo harán llegar al INE.

3.3.2 Visita Preliminar.

El equipo auditor realizará una o varias visitas preliminares al sistema que se va a auditar para conocer las instalaciones y actividades que se llevan a cabo, así como el estado en que se encuentra el SMCA para la elaboración del plan de auditoría específico.

3.3.3 Contenido del Plan de Auditoría.

El Plan de Auditoría contendrá los siguientes apartados:

a. Información general del sistema que se va a auditar.

- Nombre de la Institución responsable de operar el SMCA.
- Nombre(s) de la(s) persona(s) que proporciona(n) la información y cargo que ocupa(n).
- Responsable del SMCA.
- Domicilio.
- Datos de contacto: teléfono, fax, Correo electrónico, entre otros.

b. Programa calendarizado de actividades.

- Visita Preliminar.
- Fecha de elaboración del Plan de Auditoría.
- Entrega del Plan de Auditoría al INE.
- Protocolo de inicio de trabajos.
- Trabajos de campo.
- Protocolo de cierre.

- Elaboración del informe.
- Entrega de documentos finales a INE.

Este programa será elaborado por el equipo auditor y puesto a consideración de la dependencia responsable del SMCA.

3.3.4 Metodología y procedimientos de auditoría.

El auditor responsable deberá desarrollar los procedimientos con la que llevará a cabo la auditoría con el objeto de que se incluyan todas las actividades que se planearon y fueron autorizadas para cumplir de manera eficaz el Plan de Auditoría.

Éste puede comprender, conforme se considere conveniente:

- Listas de verificación, procedimientos, programas, protocolos u otros.
- Programa de análisis y pruebas (verificación de calibración de los equipos de medición, entre otras).
- Recorridos por el área e instalaciones para verificaciones visuales.
- Revisión de los documentos solicitados al SMCA.
- Cualquier otro mecanismo para lograr los objetivos propuestos.

El auditor responsable deberá incluir de manera escrita la metodología que utilizará para

el desarrollo de los trabajos correspondientes de acuerdo con el programa de actividades y los alcances definidos para la auditoría.

3.3.5 Programa de actividades.

El programa detallado de actividades constará, como mínimo, de los siguientes puntos:

- Descripción de cada una de las actividades a realizar.
- Tiempo estimado de ejecución de cada una de las actividades.
- Nombre del auditor responsable de cada actividad.
- Legislación, reglamentos, normas o códigos aplicables a la actividad.

3.4 Ejecución de la Auditoría

En esta etapa se desarrollarán las actividades conforme a lo estipulado en el plan de auditoría. Al término de las actividades de campo, se realizará un informe de la auditoría, en el cual el auditor detallará los trabajos realizados y un diagnóstico de las observaciones encontradas.

Las adiciones, modificaciones o cancelaciones al “Plan de Auditoría” serán aceptadas sólo si se fundamentan debidamente estos cambios de manera que se mantengan y logren los objetivos planteados.

3.4.1 Reunión de inicio.

Se hará una reunión inicial conducida por el auditor con la presencia de los responsables del SMCA a auditar y en su caso, con personal del INE.

El propósito de la reunión es confirmar el alcance de la auditoría dando a conocer el Plan de Auditoría y la agenda de trabajo, así como presentar al personal participante, establecer los canales de comunicación y planear la reunión final de la auditoría.

En la reunión de inicio el auditor responsable presentará un resumen de los métodos y procedimientos que se usarán para conducir la auditoría.

Antes del inicio de la auditoría el auditor debe explicar a la institución auditada los protocolos generales y procedimientos, así como algunas instrucciones específicas referentes al acceso a las estaciones, logística, tiempos, funciones del operador durante la auditoría, entre otros.

El auditor debe documentar la verificación de su equipo. Esta verificación incluye la calibración y la trazabilidad de los equipos.

El auditor debe usar procedimientos específicos. Cualquier desviación en la aplicación de éstos debe ser aprobada por el SMCA y/o el INE.

3.4.2 Conducción de la auditoría.

La auditoría se llevará a cabo sólo si está presente el operador o el representante del SMCA.

Al llegar al sitio de la auditoría, todo el equipo debe ser inspeccionado para detectar cualquier daño sufrido durante su transporte.

Cada auditor debe tener una lista de revisión y de control de calidad o bien un procedi-

miento específico que pueda usarse para verificar la integridad del sistema.

Antes de comenzar la auditoría, el auditor o el operador de la estación debe asegurarse que los datos que se van a generar durante la auditoría sean marcados con una bandera para prevenir que sean confundidos con los datos de medición de calidad del aire. Antes de desconectar un monitor o monitor del modo de medición de aire ambiente el operador de la estación tiene que hacer una nota en el sistema de adquisición de datos para indicar que se está ejecutando una auditoría y también anotarlo en la bitácora correspondiente.

Las actividades de orden técnico, también incluirán entrevistas con personal de la auditada a fin de determinar el funcionamiento de las áreas.

Al completar la auditoría todo el equipo de medición debe ser reconectado regresando a la configuración original.

Antes de que el auditor deje la estación debe hacer los cálculos de la auditoría para asegurar que no existen diferencias ni inconsistencias en los datos.

Si durante el proceso de la auditoría se detectara alguna situación que fuera considerada por el auditor responsable como crítica

y que requiriera de una acción preventiva o correctiva inmediata deberá notificar al INE y a los responsables del sistema auditado para su conocimiento. El auditado, como responsable de esta situación, determinará las medidas a seguir para subsanarla indicando el tiempo necesario para lograr el cumplimiento.

3.4.3 Reunión de cierre de trabajos de campo.

Después de concluidas las actividades de auditoría y antes de preparar el informe debe tenerse una reunión de cierre de los trabajos con la participación de los responsables del sistema auditado, del INE y del auditor. Este último dará a conocer los principales resultados y observaciones. Se formulará la minuta incluyendo las dudas y comentarios que hayan surgido.

Al concluir la auditoría, el auditor debe discutir los resultados auditados con el operador del sitio o con la autoridad. Los formatos que muestran las concentraciones auditadas, las respuestas de los equipos auditados y otros datos pertinentes registrados por el auditor deben entregarse al responsable de la estación. En este formato se debe indicar que los resultados no son oficiales hasta que el informe final sea entregado.

3.5 Post-auditoría.

3.5.1 Informe de la auditoría.

El auditor reportará los resultados de las evaluaciones, verificaciones o determinaciones realizadas durante la Auditoría.

Es necesario hacer un desglose ordenado y secuencial de las etapas de la auditoría. La redacción debe ser clara y concreta de modo que no se preste a malas interpretaciones. La redacción debe hacerse de manera impersonal.

El organismo o empresa que lleve a cabo los trabajos de auditoría debe preparar un informe final de la auditoría. Éste deberá incluir información generada por el equipo auditor e incluir material adicional (comentarios e información provista por la institución auditada) para presentar información completa y precisa de la operación y funcionamiento del SMCA.

El reporte de auditoría deberá incluir lo siguiente:

- **Resumen Ejecutivo.** Trata sobre un resumen del funcionamiento del SMCA auditado y los resultados más relevantes de la auditoría. Se deberán resaltar aquellas situaciones que necesitan atención adicional y que afectan directamente la calidad de la información que se genera. También se deberán incluir conclusiones significativas así como amplias recomendaciones.
- **Introducción.** Describe el propósito y alcance de la auditoría. Presenta a los miembros del equipo de auditoría y personal del sistema auditado. Incluye la descripción de las instalaciones y sitios de medición que fueron visitados y auditados así como las fechas y tiempos de las visitas.
- **Resultados de la Auditoría.** Muestra detalles técnicos que permiten un completo entendimiento de los trabajos de auditoría rea-

lizados. La información obtenida durante la auditoría debe presentarse muy bien organizada.

- **Discusión.** Incluye una descripción de la manera en que se interpretan los resultados de la auditoría. Se deberán destacar aquellas diferencias encontradas en el proceso de auditoría que afecten tanto la calidad de los datos como la operación de los equipos.
- **Conclusiones y Recomendaciones.** Presenta las conclusiones y recomendaciones de la auditoría centrándose en el funcionamiento de las estaciones de medición de calidad del aire. Las acciones correctivas que se hayan tomado por mutuo acuerdo deben incluirse en esta sección. Se deberá dar seguimiento a las recomendaciones de acción correctiva que surjan.
- **Apéndices de la Documentación de soporte.** Consisten en copias limpias y legibles de los formatos empleados en la auditoría y la documentación adicional que fue utilizada para obtener los resultados de la auditoría.

3.5.2 Plan de Acción

El Plan de Acción deberá ser elaborado por los responsables del SMCA auditado quienes lo presentarán al INE proponiendo las actividades que se deben realizar como resultado de la evaluación de la auditoría, incluyendo fechas de cumplimiento.

3.5.3 Seguimiento.

El INE llevará a cabo la fase de seguimiento conforme al programa calendarizado en el plan de acción.

Los responsables del SMCA auditado deben reportar el avance de las actividades conforme a los periodos previamente concertados. En caso de no cumplir con lo estipulado los responsables del sistema auditado deberán fundamentar las causas que originaron el incumplimiento y reprogramar las actividades no cumplidas.

3.5.4 Cierre del proceso.

Finalmente, al cumplimiento total del plan de acción, el INE entregará un documento que avale la calidad y confiabilidad de los datos que se generan por el SMCA, este documento podrá ser publicado a través de su página electrónica.

4. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE AUDITORÍAS DE DESEMPEÑO PARA SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

Una auditoría de funcionamiento comprende diversos procedimientos técnicos y metodologías que permiten auditar cada uno de los parámetros que mide una estación, desde los contaminantes criterio hasta las variables meteorológicas. Por ejemplo: los analizadores automáticos de gases pueden ser auditados desde la toma de muestra de la estación o directamente en el equipo; los monitores de partículas, son puestos a prueba en lo que se refiere a flujo, presión y temperatura; en el caso de los sensores meteorológicos, se puede comparar la medición de éstos contra un equipo de referencia o inducir una señal con el propósito de obtener una respuesta esperada.

A continuación se describe de forma general cada uno de éstos procedimientos.

4.1 Auditoría de Gases Mediante Sistema de Dilución – Analizador

Para realizar la auditoría de analizadores de monóxido de carbono, óxido nítrico, bióxido de nitrógeno, ozono y bióxido de azufre se emplea un sistema de dilución de gas que cuenta con un generador interno de ozono.

Las concentraciones de prueba son introducidas directamente a cada analizador a través de su puerto de muestra. Se puede auditar de manera simultánea un máximo de dos analizadores. Ver ANEXO 1.

Otra de las formas de auditar equipos de medición de la calidad del aire es mediante la dilución de cantidades conocidas de gases e introducirlas a través de la toma de muestra de la estación de medición de la calidad del aire; a una tasa de aproximadamente 13 a 16 litros por minuto. Este procedimiento es muy útil para probar la integridad de todo el sistema de medición.

Los procedimientos para este tipo de auditorías están siendo revisados y validados para su futura distribución. Para mayor información se puede contactar al personal del INE .

4.2 Auditoría para mediciones meteorológicas

Este procedimiento general incluye cinco partes para la auditoría de cada uno de los tipos de sensores meteorológicos más comunes utilizados en la medición de la calidad del aire. Ver ANEXO 2.

4.2.1 *Velocidad del viento.*

Los sensores de velocidad del viento por lo general utilizan un ensamble de copas o propelas giratorias tanto en el eje vertical como en el horizontal. Debido a la forma aerodinámica de las copas, la presión del viento se convierte en fuerza de torque. Esto produce un giro, el cual se realiza a baja fricción empleando rodamientos de precisión. La velocidad de rotación se convierte en una señal proporcional a la velocidad del viento mediante un transductor.

Una vez superado el estado de reposo, existe una correlación lineal entre la velocidad de rotación y la velocidad del viento. La auditoría de un sensor de velocidad del viento permite verificar físicamente que:

- No se han sufrido cambios en la generación de la señal.
- El transductor está convirtiendo la señal de forma adecuada en velocidad del viento.

4.2.2 *Dirección del viento.*

Los sensores de dirección del viento indican la dirección desde la cual sopla éste. La dirección del viento se expresa como un ángulo de azimut en un círculo de 360°, donde 0° o 360° indican el Norte y 180° indica el Sur.

Los sensores de dirección del viento utilizan una veleta situada en el eje vertical para detectarla. El viento aplica una fuerza a ésta, forzando al montaje a girar en busca de la posición de fuerza mínima. El eje del sensor está montado sobre rodamientos de precisión y está conectado a un potenciómetro de bajo torque. El potenciómetro produce un voltaje de salida proporcional a la dirección del viento. La fuerza mínima para girar el sensor se determina por la relación entre la forma, el tamaño y la distancia desde el eje de rotación de la veleta y los rodamientos y requerimientos del torque del potenciómetro.

La orientación apropiada del sensor, la operación eficiente de los rodamientos y la función correcta del potenciómetro son factores que afectan la calidad de los datos de dirección del viento. Por lo tanto, la aplicación de auditorías a sensores de dirección del viento permite cuantificar la correcta función de estos componentes. Las auditorías de orientación del sensor de dirección de viento y de su exactitud se hacen con el sensor montado en la torre meteorológica. La auditoría del torque de inicio se hace con el sensor desmontado.

4.2.3 Temperatura.

En mediciones de calidad del aire, la temperatura ambiente se mide con un sensor de temperatura de tipo termistor, resistencia

electrónica o un termopar. El sensor debe ser colocado dentro de un escudo de radiación para protegerlo de los efectos del calentamiento solar y las variaciones del viento.

Se recomienda el uso de un motor aspirador para reducir al mínimo los factores de error potencial debido a la radiación.

4.2.4 Humedad Relativa.

Humedad relativa es el término empleado para describir el contenido de vapor de agua en el aire. La humedad relativa (RH, por sus siglas en inglés) es la proporción de vapor de agua existente en el aire a una temperatura dada. Este valor se expresa, por lo general, en porcentaje de humedad relativa (%HR). La cantidad de humedad relativa es una variable que depende de las condiciones atmosféricas y éstas pueden variar considerablemente en función de las condiciones climatológicas. Lo anterior puede representar cierta dificultad para llevar a cabo la auditoría de manera precisa para este tipo de sensores, principalmente cuando no se realiza dentro de una habitación o una cámara en condiciones controladas.

Para auditar estos sensores se utiliza un higrómetro certificado y una cámara de generación de humedad (opcional).

4.2.5 Presión atmosférica.

Los datos de presión barométrica son indispensables en para corregir las mediciones, a condiciones estándar (25°C y 760mmHg). Se recomienda un nivel de exactitud en la medición de 10mb (7.50mmHg). Esto representa aproximadamente 1% de la presión estándar (760mmHg) o 100m en elevación.

4.3 Auditoría para muestreadores de alto volumen

Los procedimientos de auditoría presentados en esta sección, son específicos para muestreadores de alto volumen para partículas suspendidas totales (PST) y para partículas con diámetro aerodinámico igual o menor a 10 micrómetros (PM₁₀) y 2.5 micrómetros (PM_{2.5}). Éstos últimos cuentan con dos adaptaciones: un cabezal en la entrada de la muestra y un controlador de flujo. El cabezal tiene la función de separar las partículas con diámetro de mayor tamaño al requerido, aprovechando la dinámica de partículas. Ver ANEXO 3.

En la mayoría de los equipos, la entrada del muestreador está diseñada para operar con un flujo, en condiciones actuales, de 1.13 m³/min (40.0 ft³/min). El intervalo aceptable de fluctuación de flujo es $\pm 10\%$ de ese valor conforme a las especificaciones del fabricante. El controlador de flujo está diseñado para mantener la tasa dentro de este intervalo; el cual debe ser corregido por la elevación del sitio.

Existen dos tipos de controladores de flujo. El controlador de flujo másico utiliza un sensor que, en función de la fricción que ejerce el aire sobre éste, ajusta la tasa de flujo variando el voltaje del motor. El controlador de flujo volumétrico utiliza una sección de tipo venturi para controlar la tasa de flujo.

Las técnicas de auditoría pueden variar entre los diferentes modelos de muestreadores por la diferencia en los intervalos de flujo requeridos, en los dispositivos de control de flujo (másico o volumétrico) y en la configuración de los muestreadores (con o sin registrador de flujo). En el procedimiento que se describirá en este manual, se asumen las siguientes condiciones:

- El estándar de transferencia de flujo de alto volumen que se usa para la auditoría es un orificio con kit de placas u orificio variable y un manómetro tipo U. Este equipo debe ser trazable al sistema internacional de unidades, por lo que se requiere su calibración anualmente.
- La relación de calibración para un calibrador de orificio variable (auditor) se expresa en términos del intervalo del flujo actual (Q_a) en las unidades indicadas por el equipo (ft³/min).

4.4 Auditoría para monitores para partículas suspendidas

La medición de partículas suspendidas también se lleva a cabo usando monitores automáticos. Existen dos tipos principales de monitores continuos para partículas suspendidas: el de microbalanza oscilatoria y el de atenuación de radiación beta.

Actualmente, las auditorías se enfocan en una revisión del flujo de entrada y de los sensores de medición, tanto internos como externos, de temperatura y presión.

Existen también otras técnicas para auditar este tipo de monitores, como: la colocación en paralelo de un muestreador de auditoría y la adaptación de filtros limpios a la toma de muestra para revisar el cero del monitor.

Estos procedimientos para este tipo de auditorías están siendo revisados y validados para su futura distribución. Para mayor información se puede contactar al personal del INE .



5. REFERENCIAS.

- CARB 2002a, State of California Air Resources Board. Volume V Audit Procedures Manual for Air Quality Monitoring, Appendix E. Performance Audit Procedures For Trough The Probe Criteria Audits. March 2002 Monitoring and Laboratory Division, Quality Assurance Section.
- CARB, 2002b, State of California Air Resources Board, Volume V Audit Procedures Manual for Air Quality Monitoring, Appendix S. Performance Audit Procedures For Meteorological Sensors. August 2002 Monitoring and Laboratory Division, Quality Assurance Section.
- CARB 2004, State of California Air Resources Board, Volume V Audit Procedures Manual for Air Quality Monitoring, Appendix V. Performance Audit Procedures For Continuous PM-10 Monitors. March 2004 Monitoring and Laboratory Division, Quality Assurance Section.
- CFR, Code of Federal Regulations, 1999. Title 40, Volume 5, Parts 53 to 59. Revised on July 1999, U.S. Government, Environmental Protection Agency, Chapter I, part 58.
- LGEEPA, 2004. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Auditoría Ambiental. Diario Oficial de la Federación 03.Jun.2004
- SEMARNAT (2001). Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. DOF 31.Dic.2001.
- SEMARNAT (2003). Reglamento Interno de la SEMARNAT. DOF 21.Ene.2003.
- Términos de Referencia para la Realización de Auditorías Ambientales.

- US-EPA 1994. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume 1: A Field Guide to Environmental Quality Assurance EPA. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division. Research Triangle Park, NC, USA. Report No.: EPA-454/B-08-003.
- US-EPA. 2008. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II Part 1. Ambient Air Quality Monitoring Program. U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division. Research Triangle Park, NC, USA. Report No.: EPA-454/B-08-003.

ANEXO 1

PROCEDIMIENTO DE AUDITORÍA MULTIGAS MEDIANTE SISTEMA DE DILUCIÓN- ANALIZADOR



PROCEDIMIENTO DE AUDITORÍA DE DIÓXIDO DE AZUFRE Y MONÓXIDO DE CARBONO USANDO DILUCIÓN DINÁMICA

El operador de la estación debe encontrarse durante la auditoría. Esta práctica no solamente contribuye a la integridad de los trabajos, sino que permite que el operador explique la causa de las discrepancias entre los resultados de la auditoría y la respuesta del equipo auditado.

Existen otros métodos para auditar este tipo de monitores:

- La colocación lado a lado de un muestreador del auditor, usado como referencia.
- Adaptación de filtros limpios a la toma de muestra para revisar el cero del monitor.
- La inserción en el sistema de laminillas de cuarzo que simulan una concentración de partículas (para monitores de atenuación beta).

Para realizar la auditoría de analizadores de monóxido de carbono, bióxido de nitrógeno, ozono y dióxido de azufre, se emplea un sistema de dilución de gas que cuente con un generador interno de ozono. Un máximo de dos analizadores pueden ser auditados al mismo tiempo.

Principio.

Un sistema de dilución dinámico es usado para generar concentraciones de SO₂ o CO para auditar los analizadores continuos. El procedimiento de la auditoría consiste en diluir el gas de un cilindro de alta concentración de SO₂ o CO con aire de dilución seco y limpio. Este procedimiento puede ser usado para auditar los analizadores de SO₂ y CO.

Aplicabilidad.

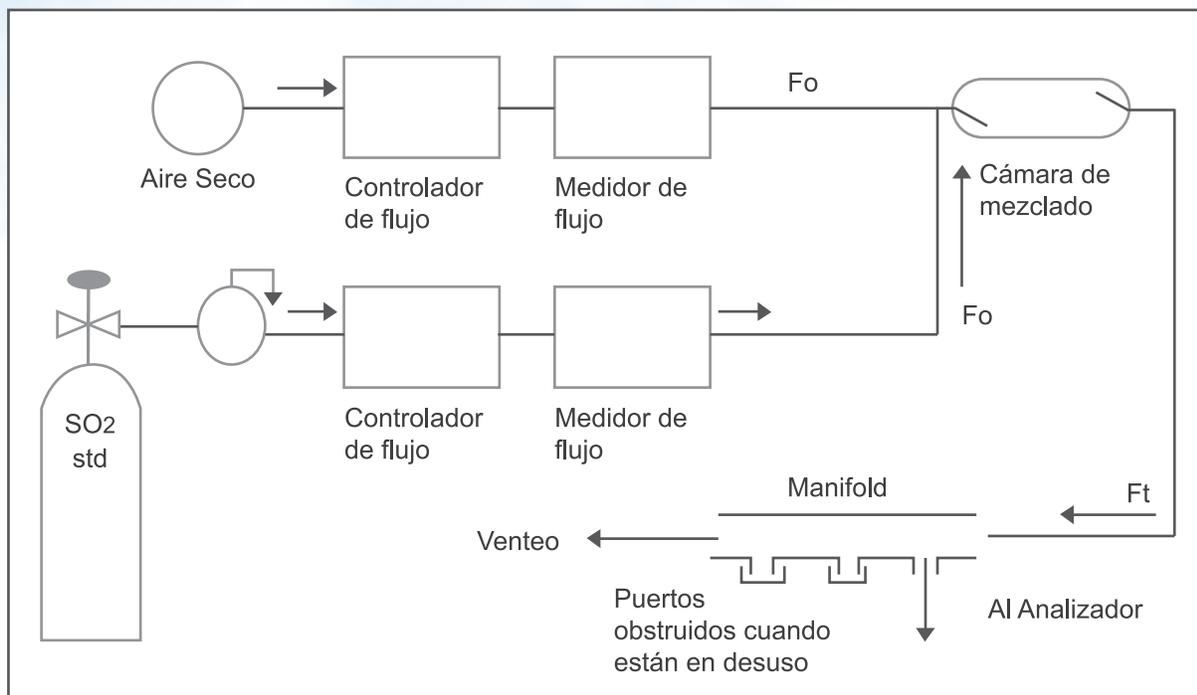


Figura AI.1. Diagrama esquemático de un sistema de auditoría de dilución.

La dilución dinámica puede ser usada para suministrar concentraciones de SO₂ o CO para auditoría en el intervalo de 0 a 0.5 ppm o 0 a 50 ppm, en el caso de CO. También puede aplicarse este procedimiento para auditar equipos con otros rangos de operación.

Precisión.

La precisión del procedimiento de auditoría deberá encontrarse dentro de $\pm 2.5\%$ si la concentración del cilindro de gas SO₂ o CO es certificado y si las tasas de flujo de gas y flujo de aire cero fueron comparadas previamente contra un medidor de flujos calibrado.

Aparatos.

Un sistema de auditoría que usa un dispositivo de dilución dinámica

para generar concentraciones de auditoría se ilustra en la Figura 1, Los componentes del dispositivo se describen a continuación:

- Regulador de Cilindro de Gas – Un regulador de gas de acero inoxidable es aceptable. Un regulador de dos etapas deberá ser usado para lograr un equilibrio rápido de las líneas.

- Controladores de flujo – Dispositivos capaces de mantener tasas de flujo constante hasta dentro de +2% son requeridos. Controladores adecuados de flujo pueden ser: válvulas de micro medición de acero inoxidable con un regulador de precisión, controladores de flujo de masa, capilares, y orificios críticos.

- Medidores de Flujo – Medidores de flujo capaces de medir tasa de flujo de contaminantes y gas de dilución hasta $\pm 2\%$ son requeridos. Medidores de flujo de burbuja, controladores de flujo de masa calibrados, orificios calibrados y capilares son adecuados para la determinación del flujo.

- Cámara de Mezclado – Una cámara de vidrio o de Teflón es usada para mezclar el SO₂ con el aire de dilución. La entrada y salida deberán ser de suficiente diámetro para que la cámara se encuentre a presión atmosférica bajo operación normal, y se debe de crear la suficiente turbulencia en la cámara para facilitar un mezclado homogéneo. Los volúmenes de la cámara se encuentran en el rango de 100 a 500 cm³.

- Múltiple de Salida y Línea de Muestreo. – Un múltiple de salida es usado para suministrar al analizador el gas de auditoría a presión ambiente, deberá ser de un diámetro suficiente para asegurar una mínima caída de la presión en la conexión al analizador, y el múltiple debe contar con un venteo a presión positiva para que el aire ambiente no se mezcle con la atmósfera de la auditoría durante su desarrollo. Se recomienda que el colector sea de vidrio o teflón. La línea de la muestra tampoco debe ser reactiva por lo que se recomienda emplear tubería de teflón.

- Fuente del aire de dilución – La fuente de aire (diluyente) debe encontrarse libre de contaminantes de azufre y vapor de agua; aire limpio y seco de un cilindro de gas comprimido puede ser usado. La figura AI.1 muestra un diagrama esquemático del sistema de dilución para auditoría.

Procedimiento

Preparación del Equipo

Ensamble el equipo de la auditoría según se requiera, y verifique que todo el equipo se encuentre en condiciones de operación. Si un sistema de aire de dilución equipado con un oxidador catalítico es utilizado, permita al oxidador que se caliente por al menos 30 minutos. Conecte el regulador de gas al cilindro de SO₂ o CO, y purgue el regulador como sigue:

La figura A1.2 muestra un esquema del flujo de auditoría para analizadores automáticos de gases criterio.

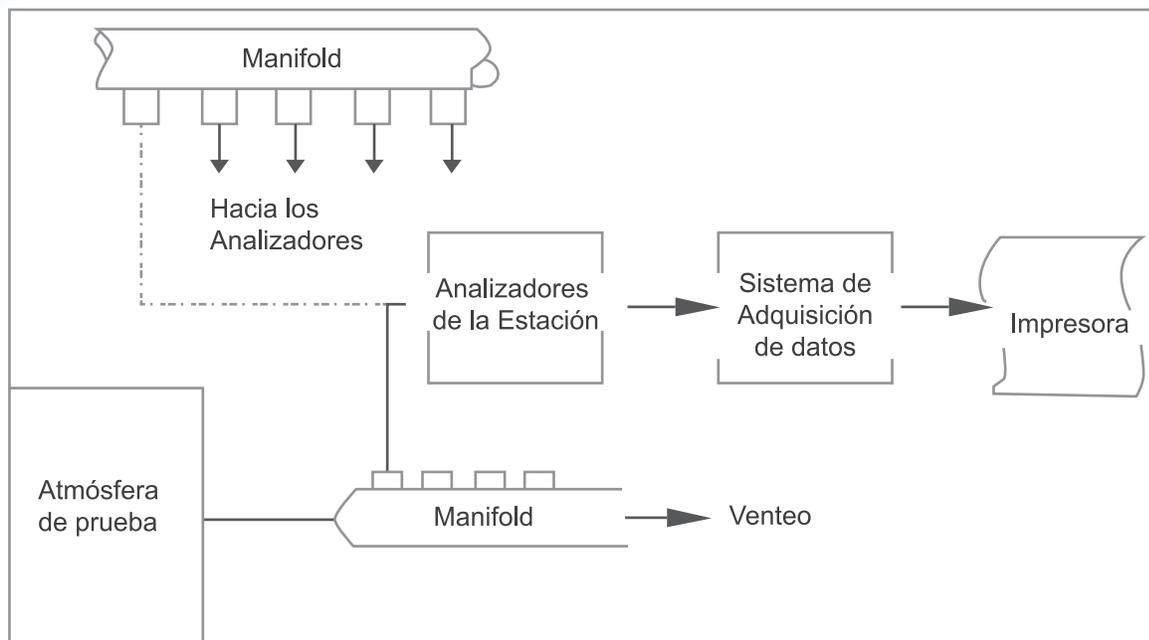


Figura A1.2. Configuración esquemática utilizada para auditar los analizadores de gas.

Secuencia de la auditoría.

Después de que todo el equipo ha sido conectado y preparado, antes de desconectar el analizador del múltiple de muestra de la estación, marque en la graficadora o indique en el sistema de adquisición de datos que una auditoría está comenzando. El nombre del auditor, hora de inicio, fecha, y organización auditora deberán ser

registrados en el formato correspondiente. Si no es posible registrar comentarios escritos, las horas de inicio y término deberán ser registradas para evitar el uso de los datos de auditoría como datos válidos de monitoreo normal. Después de registrar estos datos, desconecte la línea de muestra del analizador del múltiple de muestra de la estación, y conéctelo a la salida del equipo de auditoría, como se muestra en la Figura AI.1. Tape el puerto de muestra en el múltiple de la estación. Registre el tipo de analizador y otros datos de identificación en el formato correspondiente.

Realice la auditoría siguiendo los pasos siguientes:

1. Genere con el equipo de auditoría aire limpio y seco a una tasa de flujo en exceso de al menos 50% de la demanda de muestra del analizador. Permita al analizador que tome dicha muestra de aire limpio y seco hasta que se obtenga una respuesta estable; esto es, hasta que la respuesta no varíe más del 1% del intervalo de medición sobre un período de 5 minutos. Obtenga la respuesta de la concentración del operador de la estación y registre los datos en los espacios adecuados del formato de datos.
2. Genere las concentraciones de auditoría y que se encuentren dentro del rango del analizador.

3. Genere las concentraciones de auditoría incluidas en el Cuadro AI.1, ajustando la tasa de flujo del contaminante (Fc) y la tasa total de flujo (Ft) para proporcionar el factor de dilución necesario.

4. Genere primero la concentración de auditoría más alta, y en forma consecutiva genere puntos de auditoría de concentración menores. Permita que el analizador mida el gas de auditoría hasta que se obtenga una respuesta estable. Obtenga la respuesta y concentración del operador de la estación, y registre los datos.

Punto de Auditoría	Rango de Concentración (ppm)
1	0.03 – 0.08 o 3 - 8
2	0.15 – 0.20 o 15 a 20
3	0.35 – 0.45 o 35 a 45
4	0.80 – 0.90

Cuadro AI.1 Puntos de auditoría

5. Calcule la concentración de auditoría como sigue:

$$[SO_2] = \frac{F_P}{F_T} \times [SO_2]_{STD} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

[SO₂] = concentración de auditoría de SO₂, ppm,

F_c = tasa de flujo del contaminante, cm³/ min.

F_t = tasa de flujo total, cm³/ min igual a la suma de la tasa de flujo del contaminante (F_c) y la tasa de flujo de dilución (FD)

[SO₂]STD = concentración del cilindro estándar, ppm.

6. Si se desea, puntos adicionales a concentraciones mayores distintas a aquellas especificadas en el paso 3 pueden ser generadas.

La generación de estas concentraciones de auditoría más una respuesta de aire cero post auditoría mejorará la representatividad estadística del análisis de regresión de datos de la auditoría.

7. Después de suministrar todas las concentraciones de muestra de la auditoría y registrar todos los datos, reconecte la línea de muestra del analizador al colector de la estación. Haga una anotación de la hora de paro de la auditoría. Haga que el operador

de la estación tome nota en la bitácora, graficador o datalogger para indicar la hora de paro, revise todo el equipo para asegurarse que todo está en orden para poder reiniciar las actividades normales de monitoreo.

Cálculos

Registre los datos en el formato correspondiente.

% de diferencia – El % de diferencia se calcula como sigue:

$$\% \text{Diferencia} = : \frac{C_M - C_A}{C_A} \times 100$$

Ecuación 2

Donde:

C_M = la concentración medida en la estación, ppm.

C_A = la concentración calculada en auditoría, ppm

Análisis de regresión.

Calcule por el método de mínimos cuadrados, la pendiente, intersección, y coeficiente de correlación de los datos de respuesta del analizador de la estación (y) contra los datos de concentración de la auditoría (x). Estos datos pueden ser usados para interpretar el desempeño del analizador.

PROCEDIMIENTO DE AUDITORÍA DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO USANDO TITULACIÓN EN FASE GASEOSA

Principio.

El procedimiento de auditoría se basa en la reacción en fase gaseosa entre el NO y O₃ (NO + O₃ → NO₂ + O₂).



La concentración generada de NO₂ es igual a la concentración de NO consumida por la reacción de O₃. Los canales de NO y NO_x del analizador de NO_x son auditados con concentraciones conocidas de NO, producidas por un sistema de dilución dinámica que utiliza aire limpio y seco para diluir un cilindro de gas que contiene NO y nitrógeno. Después de completar las auditorías de NO-NO_x, mezclas estequiométricas de NO₂ en combinación con NO son generadas al añadir O₃ a concentraciones conocidas de NO. Estos datos de auditoría son usados para evaluar la calibración de los canales del analizador NO-NO_x-NO₂ y para calcular la eficiencia del convertidor de molibdeno del analizador.

Aplicabilidad.

El procedimiento puede ser usado para suministrar concentraciones de auditoría de NO-NO_x-NO₂ en el intervalo de 0 a 0.5 ppm.

Precisión

La precisión del procedimiento de auditoría deberá ser dentro del ±2.5% si la concentración del cilindro de gas NO es certificada y si las tasas de flujo de gas y de aire cero fueron comparadas previamente contra un medidor de flujos calibrado.

Aparatos.

Un sistema típico de titulación de fase gaseosa se ilustra en la Figura AI.3. Todas las conexiones y componentes fluyen desde el generador de O₃ y la fuente del contaminante debe ser construida de un material no reactivo (vidrio de borosilicato o Teflón). Los componentes del sistema se discuten a continuación.

- Regulador de Cilindro de Gas – Un regulador de gas de acero inoxidable es aceptable. Un regulador de dos etapas, de bajo espacio inactivo deberá ser usado para lograr un equilibrio rápido en las líneas.
- Controladores de flujo – Dispositivos capaces de mantener tasas de flujo constante hasta dentro del 2% del intervalo son requeridos. Controladores adecuados de flujo pueden ser: válvulas de micro medición de acero inoxidable con un regulador de precisión, controladores de flujo de masa, capilares, y orificios críticos.

- Medidores de Flujo – Medidores de flujo capaces de medir tasa de flujo de contaminantes y gas de dilución hasta 2% del intervalo son requeridos. Medidores de flujo de burbuja, controladores de flujo de masa calibrados, orificios calibrados y capilares son adecuados para la determinación del flujo.
- Cámara de Mezclado – Una cámara de vidrio o de Teflón es usada para mezclar el NO₂ con el aire de dilución. La entrada y salida deberán ser de suficiente diámetro para que la cámara se encuentre a presión atmosférica bajo operación normal, y se debe de crear la suficiente turbulencia en la cámara para facilitar un mezclado homogéneo. Los volúmenes de la cámara deben de encontrarse en el rango de 100 a 500 cm³.
- Múltiple de Salida y Línea de Muestra – Un múltiple de salida es usado para suministrar al analizador el gas de auditoría a presión ambiente, deberá ser de un diámetro suficiente para asegurar una mínima caída de la presión en la conexión al analizador, y el múltiple debe contar con un venteo a presión positiva para que el aire ambiente no se mezcle con la atmósfera de la auditoría durante su desarrollo. Materiales recomendados para el colector son vidrio de borosilicato o Teflón. La línea de la muestra no debe ser reactiva, se recomienda emplear tubería de Teflón.
- Fuente del aire de dilución – La fuente de aire (diluyente) debe encontrarse libre de contaminantes y vapor de agua; aire limpio y seco de un cilindro de gas comprimido también puede ser usado, sin embargo, si grandes volúmenes de aire limpio y seco (≥5 litros/min) son requeridos, aire comprimido purificado es el más recomendable. El aire limpio y seco debe estar libre de contaminantes tales como NO, NO₂, O₃ y HC reactivos que podrían causar interferencias en el analizador de NO_x o que pudieran reaccionar con NO o NO₂ en el sistema de auditoría. El aire puede ser purificado para cumplir con estas especificaciones pasándolo a través de sílica gel para su secado, tratándolo con O₃ para convertir cualquier NO a NO₂, y pasándolo a través de carbón activado (malla 6-14) y un tamiz molecular (malla 6-16, Tipo 4^a) para retirar NO₂, O₃ e hidrocarburos. La sílica gel mantiene su eficiencia de secado hasta que ha absorbido 20% de su peso; puede ser regenerado totalmente a 120 °C. La adición de cloruro de cobalto a la superficie del gel proporciona un indicador de absorción de agua. Se recomienda una columna transparente de secado.
- Generador de Ozono – Un generador de O₃ que produce una concentración estable es requerido durante la secuencia de titulación de fase gaseosa. Un generador de lámpara ultravioleta es recomendado.

- Cámara de reacción – Una cámara de vidrio usada para la reacción cuantitativa de O_3 con NO deberá tener el suficiente volumen, 100 a 500 cm^3 , para que el tiempo de residencia pueda ser $\leq 2\text{ min}$.
- Cilindro de gas de óxido nítrico – Un cilindro de gas comprimido que contenga 50 a 100 ppm de NO en N_2 es usado como la fuente de dilución de NO .

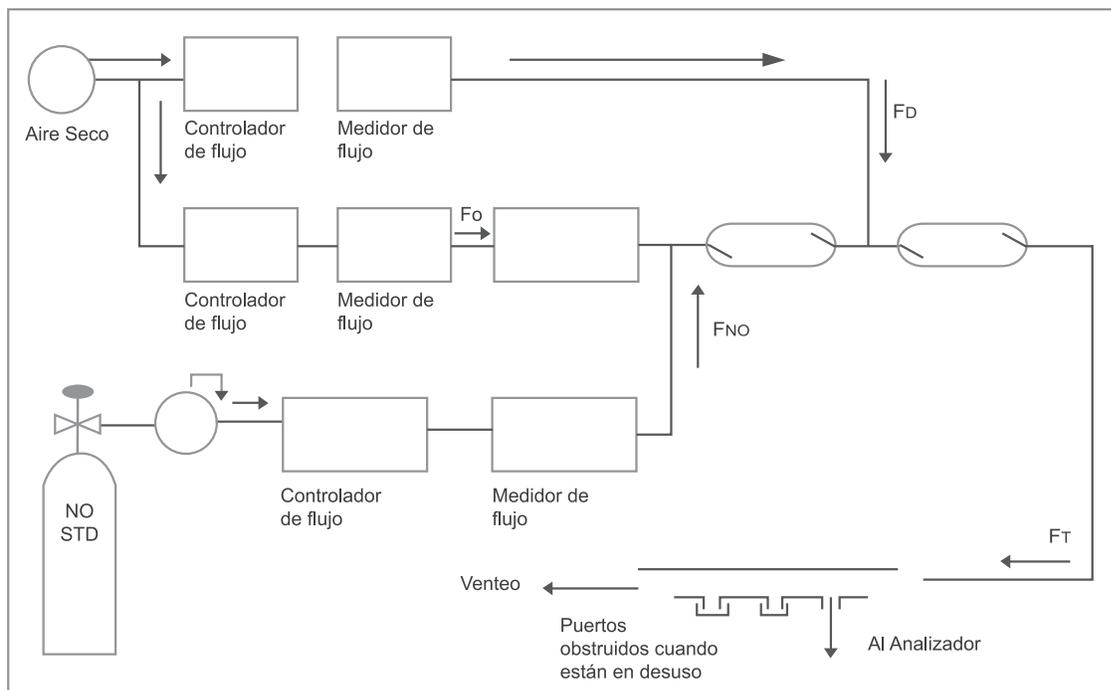


Figura AI.3. Diagrama esquemático de un sistema de auditoría de titulación en fase gaseosa.

Procedimiento general.

Preparación del equipo.

Ensamble el equipo de la auditoría según se requiera, y verifique que todo el equipo se encuentre en condiciones de operación. Si un sistema de aire de dilución equipado con un oxidador catalítico es utilizado, permita al oxidador calentarse por 30 minutos. Conecte el regulador de gas al cilindro de NO, y purgue el regulador como sigue:

- Conecte el regulador al cilindro, y cierre el puerto de salida del gas.
- Abra y cierre la válvula del cilindro para presurizar el regulador.
- Abra el puerto de salida del gas, y permita que el gas purgue el regulador. Repita los pasos b y c cinco veces más; y después cierre el puerto de salida del gas, y abra la válvula del cilindro. El regulador deberá permanecer bajo presión.
- Conecte la fuente de aire de dilución y cilindro de NO al dispositivo de auditoría como se muestra en la Figura AI.2. Use tubería de 1/8 de pulgada de diámetro exterior con el mínimo de longitud para la conexión entre el cilindro de NO y el dispositivo de auditoría.

La figura AI.4 muestra la configuración esquemática para auditar analizadores automáticos de gases criterio.

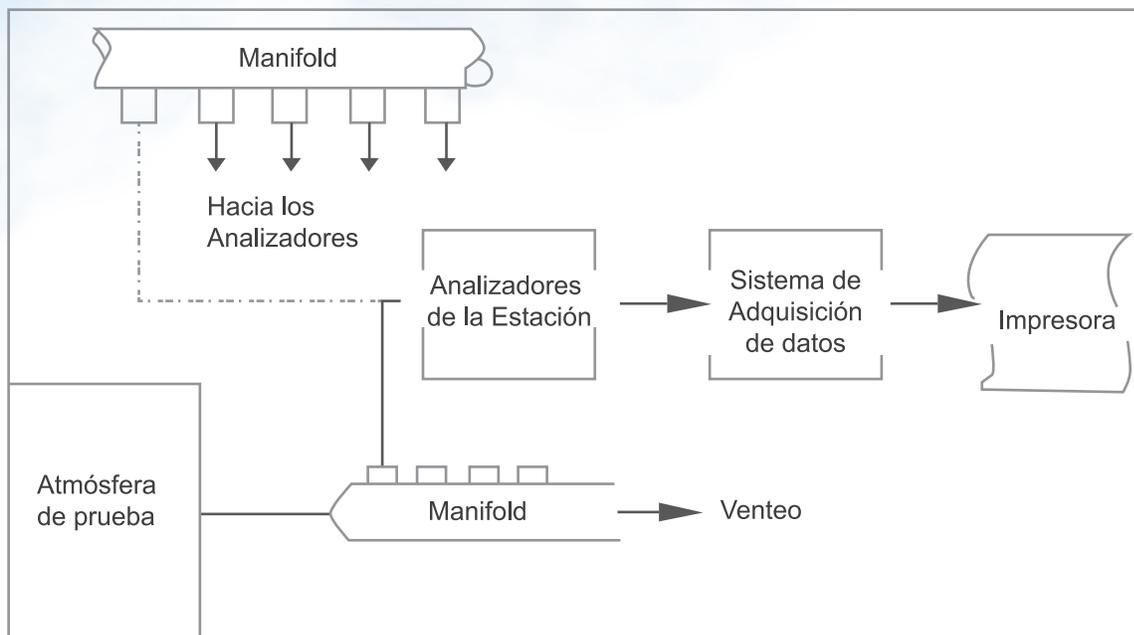


Figura AI.4. Configuración esquemática utilizada para auditar los analizadores de gas.

Secuencia general de la auditoría.

Después que todo el equipo ha sido ensamblado y preparado, pida al operador de la estación que marque en la graficadora o indique en el sistema de adquisición de datos que una auditoría está iniciando.

El nombre del auditor, hora de inicio, fecha, y organización auditora deberán ser registrados en el formato correspondiente. Si no es posible registrar comentarios escritos, las horas de inicio y término deberán ser registradas para evitar el uso de los datos de auditoría como datos validos de monitoreo. Después de registrar estos datos, desconecte la línea de muestra del analizador del distribuidor de muestra de la estación, y conéctelo a la salida del sistema de auditoría, como se muestra en la Figura AI.5. Tape el puerto de muestra en el múltiple de la estación. Registre el tipo de analizador y otros datos de identificación en el formato correspondiente. Realice la auditoría de NO-NOx y NO₂ como sigue:

Procedimiento de la Auditoría NO-NOx

La auditoría NO-NOx involucra la generación de concentraciones para comparar la respuesta de los canales de NO y de NOx del analizador. Los datos recolectados durante esta auditoría son usados para construir una curva de calibración que será usada después para calcular las concentraciones de auditoría de NO₂.

1. Introduzca aire limpio y seco a una tasa de flujo en exceso y mayor al 50% de la demanda de muestra del analizador. Permita que el analizador succione el aire hasta que se obtenga una respuesta estable; esto es, hasta que la respuesta no varíe más de 1% del rango de medición sobre un periodo de 5 minutos. Registre estos datos y las respuestas de los tres canales en el formato correspondiente.

2. Genere concentraciones de auditoría de mayor a menor escala de NO que correspondan a 80%, 60%, 40%, 20% y 10% del rango de la escala completa del analizador, la generación se obtiene mediante el ajuste de la tasa de flujo del gas de NO, calcule la concentración de cómo sigue:

$$[NO] = \frac{F_P}{F_T} \times [NO]_{STD}$$

Ecuación 3

donde:

[NO] = concentración NO-NOx de la auditoría, ppm (la impureza de NO₂ en el estándar deberá ser insignificante),

FP = tasa de flujo del contaminante, cm³/min,

FT = tasa de flujo total, cm³/min, y

[NO]STD = concentración del cilindro estándar, ppm.

NOTA: Como forma alterna, las concentraciones de auditoría de NO pueden ser generadas manteniendo una tasa de flujo constante de contaminante (FP) y variando la tasa de flujo de aire de dilución (FD).

3. Genere primero el nivel de concentración más alto de auditoría y en forma consecutiva genere concentraciones de auditoría menores. Permita al analizador que mida la concentración de auditoría hasta que se obtenga una respuesta estable. Registre la concentración de la auditoría. Obtenga la respuesta de la estación y la concentración del operador de la misma para los canales NO, NOx, y NO₂, y registre los datos.

4. Prepare las curvas de calibración de la auditoría para los canales de NO y NOx usando mínimos cuadrados. Incluya los puntos de aire cero. La concentración de la auditoría es la variable x; la respuesta del analizador

es la variable y . La curva de calibración de la auditoría NO será usada para determinar las concentraciones reales de la auditoría durante la generación de las concentraciones de NO₂. La curva de calibración de la auditoría de NO_x será usada para determinar la eficiencia del convertidor de NO₂.

Procedimiento de Auditoría NO₂

La auditoría de NO₂ involucra la generación de concentraciones de NO₂ con al menos una concentración de 0.08 ppm de NO en exceso para comparar la respuesta del canal de NO₂ del analizador auditado.

1. Verifique que el generador de O₃ haya sido calibrado contra un patrón.
2. Genere las concentraciones de auditoría compatibles con el rango del analizador.
3. Genere una concentración de NO que sea aproximadamente 0.08 a 0.12 ppm más alta que el nivel requerido de concentración de NO₂ en la auditoría. Permita que el analizador registre esta concentración hasta que se obtenga una respuesta estable; esto es, hasta que la respuesta no varíe más de 1% del rango de medición en un periodo de 5 minutos. Registre las respuestas de NO y de NO_x en el formato. Calcule y registre [NO]ORIG y [NO_x]ORIG usando las ecuaciones de calibración de la auditoría de NO y NO_x, derivadas durante la auditoría NO-NO_x.

4. Ajuste el generador de ozono para que genere el suficiente O₃ para producir una disminución en la concentración de NO equivalente al nivel requerido de concentración de la auditoría de NO₂. Después de que se estabilice la respuesta del analizador, registre las respuestas de NO y de NO_x en el formato de datos. Calcule y registre [NO]REM y [NO_x]REM usando las ecuaciones de calibración de auditoría de NO y NO_x derivadas durante la auditoría NO-NO_x. (Nota: [NO]REM deberá ser aproximadamente 0.08 a 0.12 ppm para cada punto de auditoría).

5. Calcule y registre la concentración de la auditoría NO₂ como [NO₂]A.

$$[\text{NO}_2]\text{A} = [\text{NO}]\text{ORIG} - [\text{NO}]\text{REM}$$

Ecuación 4

6. Obtenga la respuesta de NO₂ del operador de la estación y registre en el formato de datos.
7. Genere primero el nivel de concentración de auditoría más alto, y genere en forma consecutiva los puntos de auditoría de NO₂. Permita que el analizador mida las concentraciones de auditoría hasta que se obtengan respuestas estables. Obtenga los datos necesarios y registre los resultados.

8. Si desea, puntos adicionales a concentraciones mayores distintas a aquellas especificadas, pueden ser generadas. Estos puntos adicionales de auditoría más el punto de aire cero (obtenidos en el inicio de la auditoría) mejorarán la representatividad estadística del análisis de regresión de datos de la auditoría.

9. Después de suministrar todas las concentraciones de muestra de la auditoría y registrar todos los datos, reconecte la línea de muestra del analizador al colector de la estación. Haga una anotación de la hora de paro de la auditoría. Haga que el operador de la estación tome nota en la bitácora, graficador o datalogger para indicar la hora de paro, revise todo el equipo para asegurarse que todo está en orden para poder reiniciar las actividades normales de monitoreo.

Eficiencia del Convertidor – [NO₂]CONV

Se calcula para cada punto de la auditoría usando la Ecuación 5, y se usa para determinar la eficiencia del convertidor del analizador de NO_x usando la Ecuación 6. [NO_x]ORIG y [NO_x]REM se calculan de la ecuación de calibración de la auditoría NO_x.

$$[\text{NO}_2]_{\text{CONV}} = [\text{NO}_2]_{\text{A}} - [\text{NO}_x]_{\text{ORIG}} - [\text{NO}_x]_{\text{REM}} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\% \text{ de eficiencia del convertidor} = \frac{[\text{NO}_2]_{\text{CONV}}}{[\text{NO}_2]_{\text{A}}} \times 100$$

Ecuación 6

Cálculos – Registre los datos de la auditoría en el formato correspondiente

Diferencia porcentual – La diferencia % se calcula como sigue:

$$\% \text{ de diferencia} = \frac{C_M - C_A}{C_A} \times 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

donde :

CM = concentración medida en la estación, ppm, y

CA = concentración de la auditoría, ppm

Análisis de regresión

Calcule por mínimos cuadrados la pendiente, la intersección y el coeficiente de correlación de los datos de respuesta del analizador de la estación (y) contra los datos de concentración de la auditoría. Estos datos pueden ser usados para interpretar el desempeño del analizador.

PROCEDIMIENTO DE AUDITORÍA DE OZONO USANDO FOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA

Principio

Las concentraciones de O₃ son generadas usando un generador UV (estándar de transferencia), y cada atmósfera es verificada usando fotometría de luz UV. El procedimiento de fotometría UV para auditorías para analizadores de O₃ se basa en la ley de absorción Lambert-Beer:

$$\text{Transmitancia} = \frac{I}{I_0} = e^{-acI} \quad \text{Ecuación 8}$$

donde:

a= coeficiente de absorción de O₃ a 254 nm
= 308 ± 4 atm⁻¹ cm⁻¹ a 0° y 760 torr

c= la concentración de O₃, atm

l= la longitud de la trayectoria óptica, cm.

Aplicabilidad

El procedimiento puede ser usado para auditar todos los tipos de analizadores para O₃ disponibles en forma comercial, que operan en el rango de 0 a 1 ppm.

Precisión

La precisión del procedimiento de la auditoría deberá encontrarse dentro de ± 2.5 % si la fuente de O₃ es un fotómetro o estándar de

transferencia y la tasa de flujo es determinada apropiadamente.

Aparatos

- Un fotómetro de luz UV es usado para auditar analizadores de O₃. El sistema consiste de una fuente de O₃ y un fotómetro estándar para luz UV. Los componentes del sistema se discuten a continuación.

- Generador de Ozono. Se requiere de un generador de O₃ que produce una concentración estable de O₃. Se recomienda un generador de lámpara UV.

- Dispositivos capaces de mantener tasas de flujo constante hasta dentro de +2% son requeridos. Controladores adecuados de flujo pueden ser: válvulas de micro medición de acero inoxidable con un regulador de precisión, controladores de flujo de masa, capilares, y orificios críticos..

- Medidores de Flujo – Medidores de flujo capaces de medir tasa de flujo de contaminantes y gas de dilución hasta ± 2% son requeridos. Medidores de flujo de burbuja, controladores de flujo de masa calibrados, orificios calibrados y capilares son adecuados para la determinación del flujo.

- **Cámara de mezclado.** Una cámara de vidrio o de Teflón es usada para mezclar el O₃ con el aire de dilución. La entrada y salida deberán ser de suficiente diámetro para que la cámara se encuentre a presión atmosférica bajo operación normal, y se debe de crear la suficiente turbulencia en la cámara para facilitar un mezclado homogéneo. Los volúmenes de la Cámara en el rango de 100 a 500 cm³ son suficientes
- **Múltiple de Salida y Línea de Muestra –** Un múltiple de salida es usado para suministrar al analizador el gas de auditoría a presión ambiente, deberá ser de un diámetro suficiente para asegurar una mínima caída de la presión en la conexión al analizador, y el múltiple debe contar con un venteo a presión positiva para que el aire ambiente no se mezcle con la atmósfera de la auditoría durante su desarrollo. Materiales recomendados para el colector son vidrio o Teflón. La línea de la muestra no debe ser reactiva, se recomienda emplear tubería de Teflón.
- **Línea de muestra y líneas de conexión.** Las líneas de muestra y líneas de conexión de flujo descendente del generador de O₃ deben ser hechas de material no reactivo tal como el Teflón.
- **Fuente del aire de dilución –** La fuente de aire (diluyente) debe encontrarse libre de contaminantes ozono y vapor de agua; aire limpio y seco de un cilindro de gas comprimido puede ser usado, sin embargo, si grandes volúmenes de aire limpio y seco (≥ 5 litros / min) son requeridos, aire comprimido purificado es una alternativa. El aire limpio y seco debe estar libre de contaminantes tales como NO, NO₂, O₃ e hidrocarburos reactivos que podrían causar interferencias en el analizador.
- **Fotómetro de luz ultravioleta –** El fotómetro consiste de una lámpara de mercurio de baja presión, celda de absorción, un detector y electrónica de procesamiento de señal. El fotómetro debe ser capaz de medir la transmitancia, L/L₀, a una longitud de onda de 254 nm con la suficiente precisión para que la desviación estándar de las mediciones de concentración no excedan más de 0.005 ppm, o el 3% de la concentración. Debido a que la lámpara de mercurio de baja presión irradia a distintas longitudes de onda, el fotómetro debe incorporar medios adecuados para asegurarse que no existe generación de O₃ en la celda por la lámpara y que por lo menos 99.5% de la radiación detectada sea de 254 nm. Esta meta puede ser lograda con una prudente selección del filtro óptico y de las características de respuesta del detector. La longitud de la trayectoria de luz a través de la celda de absorción debe ser conocida con una precisión de por lo menos 99.5%.

- Barómetro. Un barómetro con una precisión de ± 1 mm de Hg es requerido para determinar la presión absoluta de la celda.
- Indicador de Temperatura. Un indicador de temperatura con una precisión hasta 1°C es requerido para determinar la temperatura de la celda.

Procedimiento

Secuencia de auditoría

1. Después que todo el equipo ha sido ensamblado y preparado, pida al operador de la estación que marque una bandera en el sistema de adquisición de datos para indicar que una auditoría está comenzando.
2. El nombre del auditor, hora de inicio, fecha, y organización auditora deberán ser registrados en el formato correspondiente. Si no es posible registrar comentarios escritos, las horas de inicio y término deberán ser registradas para evitar el uso de los datos de auditoría como datos validos de monitoreo.
3. Después de registrar estos datos, desconecte la línea de muestra del analizador del distribuidor de muestra de la estación, y conéctelo a la salida del sistema de auditoría. Tape el puerto de muestra en el múltiple de la estación. Realice la auditoría de O_3 como sigue:

Introduzca aire limpio y seco a una tasa de flujo en exceso y mayor al 50% de la demanda de muestra del analizador. Permita que el analizador succione el aire hasta que se obtenga una respuesta estable; esto es, hasta que la respuesta no varíe más de 1% del rango de medición sobre un periodo de 5 minutos. Registre estos datos y las respuestas de los tres canales en el formato correspondiente.

4. Genere primero el nivel de concentración más alto de auditoría y en forma consecutiva genere concentraciones de auditoría menores (ver cuadro AI.2). Permita al analizador que mida la concentración de auditoría hasta que se obtenga una respuesta estable. Registre la concentración de la auditoría.

Punto de Auditoría	Rango de Concentración (ppm)
1	0.03 – 0.08
2	0.15 – 0.20
3	0.35 – 0.45
4	0.80 – 0.90

Cuadro AI.2 Niveles de concentración de auditoría.

Nota: otra forma de obtener la respuesta final del analizador auditado es registrando diez lecturas consecutivas de la pantalla del fotómetro o analizador para cada punto de auditoría. Calcule y registre la media de estas diez lecturas. Registre la respuesta del analizador de la estación sólo después de que una respuesta estable sea mostrada por el instrumento.

Si se desea, puntos adicionales a concentraciones mayores distintas de aquellas especificadas en el paso anterior pueden ser generados. La generación de estas concentraciones de auditoría más una respuesta de aire limpio y seco post auditoría mejorarán la representatividad estadística del análisis de regresión de los datos de la auditoría.

6. Después de suministrar todas las concentraciones de auditoría y registrar todos los datos, reconecte la línea de muestra del analizador al colector de la estación. Haga una anotación de la hora de término de la auditoría. Haga que el operador de la estación anote en el sistema de adquisición de datos indicando la hora de término, y revise todo el equipo para asegurarse que se encuentre en orden para reiniciar las actividades normales de monitoreo.

Cálculos – Registre los datos de auditoría en el formato adecuado

Porcentaje de diferencia – El % de diferencia se calcula como sigue:

$$\% \text{ de diferencia} = \frac{C_M - C_A}{C_A} \times 100 \quad \text{Ecuación 9}$$

donde:

C_M = concentración medida en la estación,
ppm, y

C_A = concentración de auditoría calculada,
ppm

Análisis de regresión – calcule por mínimos cuadrados la pendiente, intersección y coeficiente de correlación de los datos de respuesta del analizador de la estación (y) contra los datos de concentración de la auditoría. Estos datos pueden ser usados para interpretar el desempeño del analizador.

ANEXO 2

PROCEDIMIENTO DE AUDITORÍA PARA SENSORES METEOROLÓGICOS

PROCEDIMIENTOS DE AUDITORÍA DE HUMEDAD RELATIVA

Humedad relativa es el término empleado para describir la cantidad de vapor de agua que existe en el aire ambiente a una temperatura dada y es expresada en porcentaje (% HR). La cantidad de Humedad Relativa es afectada por las condiciones atmosféricas y, por lo tanto, puede variar considerablemente dependiendo de las condiciones climatológicas. Lo anterior representa cierta dificultad para desempeñar la auditoría de este tipo de sensores. Por esta razón, es necesario contar con un instrumento de referencia que se pueda colocar lo más cerca posible al sensor de la estación.

Una forma más eficiente de comparar ambos sensores es: insertándolos dentro de una cámara aislada que cuente con generador de humedad relativa y verificar 3 niveles de humedad (30%, 60%, y 90%). Un operador de la estación que esté familiarizado con el equipo meteorológico debe estar presente durante la auditoría para realizar las maniobras requeridas en la torre y con los sensores.

Procedimientos de operación general

Un sensor de humedad relativa certificado (sensor de auditoría) debe ser usado para medir la humedad relativa en porcentaje (%RH) que se genera en la cámara del generador de humedad, que es el instrumento

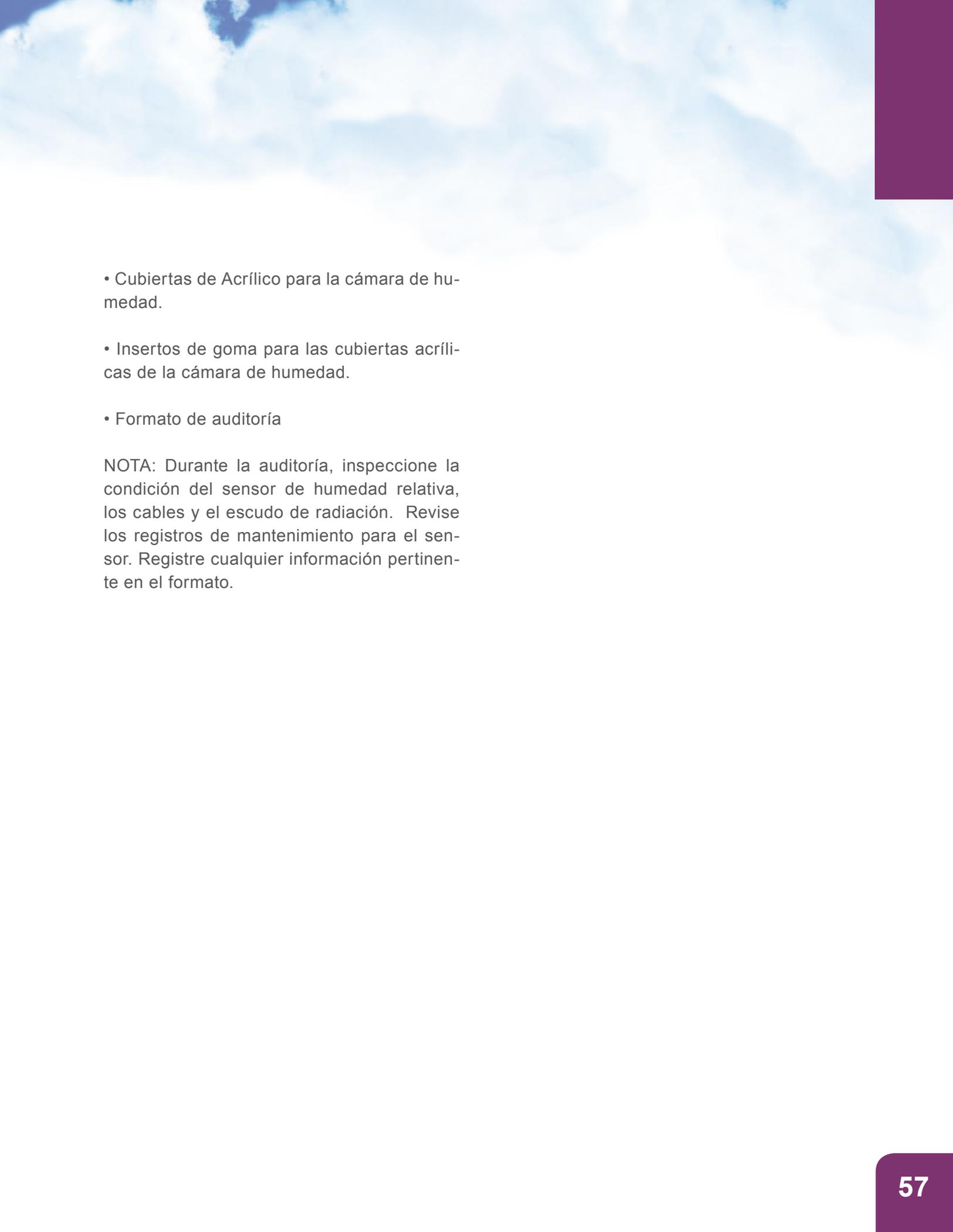
requerido para realizar las auditorías a este tipo de sensores. El valor de %RH generado es mostrado en forma continua en el indicador de cristal líquido (LCD en inglés) del equipo generador de humedad relativa. El intervalo de generación de humedad del instrumento es de 5% a 95%.

El sensor de auditoría y el sensor de la estación son comparados en los tres niveles de auditoría previamente establecidos (30%, 60%, y 90% de humedad relativa), al insertarlos dentro de la cámara del generador de humedad relativa. El sensor de auditoría certificado es usado para determinar el %RH real en la cámara.

Equipo de Auditoría

El siguiente equipo es necesario para realizar la auditoría de un sensor de humedad relativa :

- Sensor de humedad relativa/ temperatura certificado.
- Generador de Humedad Relativa.
- Un contenedor de agua destilada o desionizada.
- Sifón o dispositivo de llenado.



- Cubiertas de Acrílico para la cámara de humedad.

- Insertos de goma para las cubiertas acrílicas de la cámara de humedad.

- Formato de auditoría

NOTA: Durante la auditoría, inspeccione la condición del sensor de humedad relativa, los cables y el escudo de radiación. Revise los registros de mantenimiento para el sensor. Registre cualquier información pertinente en el formato.

FORMATO DE AUDITORÍA PARA SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Nombre del sitio: _____ Sitio #: _____ Fecha: _____

Dirección: _____ Agencia: _____

Técnico en el Sitio: _____ Auditores: _____

Datos Leídos de: Cuadro [] DAS [] Otros [] Tipo de DAS: _____

Temperatura ambiente			Humedad Relativa		
Punto de Auditoría	Sensor de la Estación	Sensor de auditoría	Punto de Auditoría	Sensor de la Estación	Sensor de auditoría

Equipo	Información del Sensor de Auditoría	
Especificaciones	Temperatura	Sensor de Humedad
Fabricante		
Núm. de serie		

Equipo	Información de Instrumento de Estación		
Especificaciones	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Escudo de Radiación
Fabricante			
Modelo y no. de serie			
Intervalo de Operación			
Altura del sensor			
Ultima calibración			
Motor/ Aspiración Natural			
Fecha Certif. Equipo de Cal.			

Procedimientos / Secuencia.

Generador de Humedad Relativa

NOTA Si es posible, realice la auditoría de %RH con el Generador RH en un ambiente de temperatura controlada. Si esto no es posible y la auditoría se debe realizar en el exterior, cubra el equipo de la luz del sol y evite el sobrecalentamiento de los componentes electrónicos.

1. Revise el cartucho de desecante del generador de humedad relativa para asegurarse que el color azul esté presente en por lo menos 1/3 del cartucho, de lo contrario, retire el cartucho de desecante. vacíe el desecante usado y llene nuevamente el cartucho hasta un nivel apropiado con desecante seco. Reinstale el cartucho de desecante en el generador de humedad. Puede conservar el desecante usado para secarlo posteriormente y reutilizarlo.
2. Conecte el generador de humedad a una toma de corriente y encienda.
3. Usando el sifón/ dispositivo de llenado, rellene con agua destilada o desionizada el tanque de almacenamiento. Evite salpicar agua dentro de la cámara de humedad relativa.
4. Dejar estabilizar el generador de humedad por lo menos 15 minutos.
5. Introduzca el sensor de auditoría y el sensor de la estación en la cámara de humedad, usando los hules adecuados para evitar interferencias con el exterior de la cámara.
6. Encienda la bomba del generador de humedad.
7. Usando el teclado ubicado a un costado del indicador de LCD, incremente o disminuya el porcentaje de Humedad Relativa que se generará en la cámara.

8. Fije un nivel de 30.0 %HR. Permita que el generador estabilice entre 15 y 20 minutos.

9. Cuando los sensores de %HR han estabilizado (después de 15 ó 20 minutos) registre las respuestas de %RH del sensor de auditoría y del de la estación en el formato de auditoría correspondiente.

10. Incremente el porcentaje de Humedad Relativa a un nivel de 60.0 %HR.

11. Cuando los sensores de %RH se han estabilizado (después de 15 ó 20 minutos) registre las respuestas de %HR del sensor de auditoría y del de la estación en el formato de auditoría correspondiente.

12. Incremente el porcentaje de Humedad Relativa a un nivel de 90.0 %HR.

13. Cuando los sensores de %HR han estabilizado (después de 15 ó 20 minutos) registre las respuestas de %HR del sensor de auditoría y del de la estación en el formato de auditoría correspondiente.

14. Usando el teclado, disminuya el porcentaje de Humedad Relativa a un nivel de 30% HR y permita estabilizar las lecturas en el indicador LCD y apague el generador de humedad.

15. Retire ambos sensores de la cámara del generador.

16. Usando el sifón/ aparato de llenado, retire el agua destilada o desionizada del tanque del generador. Inclíne el generador para poder remover tanta agua como sea posible del reservorio. Tenga cuidado de no salpicar agua en el generador o dentro de la cámara.

Mantenimiento Preventivo.

Sensor de humedad relativa.

El sensor de auditoría siempre deberá estar almacenado en su caja o estuche para prevenir cualquier daño y acumulación de polvo en su superficie.

Generador de humedad relativa.

1. El exceso de agua dentro de la cámara deberá ser retirada después de su uso para prevenir un derrame dentro de la misma.

2. Reemplazo de material desecantes como sea requerido.

3. Limpieza de la cámara con un paño seco para eliminar el exceso de humedad e impurezas debidas a la acumulación de sólidos en el generador.

Calibración / certificación.

Sensor de Auditoría

El sensor de auditoría debe ser enviado cada dos años para su certificación, a un laboratorio de calibraciones acreditada.

PROCEDIMIENTO DE AUDITORÍA DE LA VELOCIDAD DE VIENTO

Los sensores de velocidad del viento comúnmente utilizan un ensamble de copas o propelas giratorias tanto en el eje vertical como horizontal. La forma aerodinámica de las copas convierte la presión del viento en fuerza de torque, lo que produce un giro, el cual es realizado a baja fricción por el eje del sensor que emplea rodamientos de precisión. La rotación de las propelas o copas es convertida a velocidad del viento mediante un transductor. Idealmente, existe una correlación lineal entre la velocidad de rotación y la velocidad de viento, una vez superado el estado de reposo. La auditoría de un sensor de velocidad de viento permite verificar físicamente:

- El torque, lo que implica que el rodamiento se encuentra en buen estado.
- El transductor está convirtiendo de forma adecuada la velocidad de rotación en revoluciones por minuto (rpm) a velocidad del viento.
- La velocidad de umbral de inicio.

Los sensores de velocidad del viento vertical emplean una propela helicoidal de 4 paletas.

Un tacómetro miniatura produce un voltaje proporcional a la componente del viento en esa dirección. Cuando la propela rota en sentido contrario del convencional, la polaridad de la señal se invierte. Lo anterior produce una dirección de giro tanto positiva como negativa. En este caso, la auditoría permite verificar la fuerza necesaria para superar el estado de reposo del sensor (torque), la conversión de las rpm a velocidad del viento y el cambio de signo en la polaridad.

Procedimiento general.

1. Remueva las copas o hélice del sensor de velocidad del viento y un generador de velocidad variable en revoluciones por minuto es acoplado al eje del sensor. El generador producirá una rotación específica al eje del sensor de velocidad del viento. Se debe comparar la relación entre la tasa de rotación proporcionada por el generador y la señal de salida como velocidad del viento, convirtiendo las rpm generadas por el motor a la velocidad de viento equivalente en m/s.

La figura All. 1 presenta un generador de velocidad R.M. Young que consta de la unidad de control y motor ensamble para acoplamiento. La tasa de rotación proporcionada por el generador es verificada de forma continua en un indicador de 4 dígitos. Se sugiere una comparación en cinco puntos (0, 300, 600, 900, 1200 rpm). Las rpm aplicadas al sensor son convertidas a velocidad del viento usando la ecuación proporcionada por el fabricante. El criterio de evaluación para los resultados de la auditoría debe cumplir que: la precisión del sensor de velocidad del viento sea de ± 0.2 metros por segundo (m/s) más el 5% de la velocidad obtenida en un intervalo de 0.5 m/s a 50 m/s, con una resolución de 0.1 m/s.

2. Retire el sensor de su ubicación en la torre y las copas o propelas del eje del sensor. Posicionar el sensor en forma horizontal para permitir el libre acceso al eje. El disco de torque R.M. Young (intervalo: 0.0 gr/cm – 5.4 gr/cm) es acoplado al eje para determinar

el torque del sensor. Existen dos modelos de disco de Torque, el 18310 que es usado en sensores de hélice y el 18312 que es usado con sensores de copas. Estos discos son básicamente iguales, a excepción de la longitud de la perforación central que sirve de acoplamiento para el sensor. En La figura All.2 se muestra un modelo de disco de torque R.M. Young. El disco tiene un número de círculos concéntricos sobre su superficie, un número de agujeros taladrados en varios puntos a lo largo del diámetro del disco y cuenta además con unos pequeños tornillos que son usados como pesas de 0.1 gr y 1 gr. En los agujeros se atornillan las pesas, que proporcionan el torque suficiente para hacer girar el eje del sensor. La fuerza de gravedad proporciona un torque medido en gramos-centímetros (gm-cm) en el centro de rotación.

El reloj de torque marca Waters también puede ser usado para medir el torque. Su uso normalmente se limita a casos en los que se requiere verificar los resultados obtenidos con el disco de torque. En la figura All.3 se muestran dos modelos de relojes para medición del torque.

El reloj de torque tiene un eje rotatorio y cuenta con pequeños acoplamientos que deben ser perforados de tal forma que se pueda ajustar y acoplar firmemente al eje del sensor de velocidad del viento. El reloj de torque se gira mientras se sujeta el sensor. El valor resultante es observado en la

graduación del reloj y la lectura máxima es registrada cuando gira el eje del sensor. El eje del sensor deberá ser girado por lo menos una vuelta completa para asegurar que la fricción máxima de los rodamientos fue registrado.

La unidad de medición de torque está dada en gramos-centímetro y se registra el torque mínimo requerido para mover el eje del sensor.

El reloj de torque Waters modelo 366-3M tiene un intervalo de medición de 0.2 gm-cm a 2.0 gr-cm. Si el reloj de torque gira el eje del sensor sin alcanzar el punto de escala más baja, entonces el sensor tiene un umbral de inicio menor al límite inferior medible del reloj de torque.

Esto indica que el umbral de inicio del sensor se encuentra dentro del valor especificado. Cualquier lectura de torque que proporcione hasta 0.5 m/s de umbral de inicio es aceptable. En algunos casos, el eje del anemómetro puede requerir un torque mayor que la fuerza que pueda ser proporcionada por el modelo 366-3M. Este torque mayor puede ser proporcionado usando el modelo 351-3M (Intervalo: 2.5-80 gramo-centímetros) para cuantificar la fuerza real necesaria para girar el eje.



Figura AII.1 Generador de velocidad en rpm marca R.M. Young.

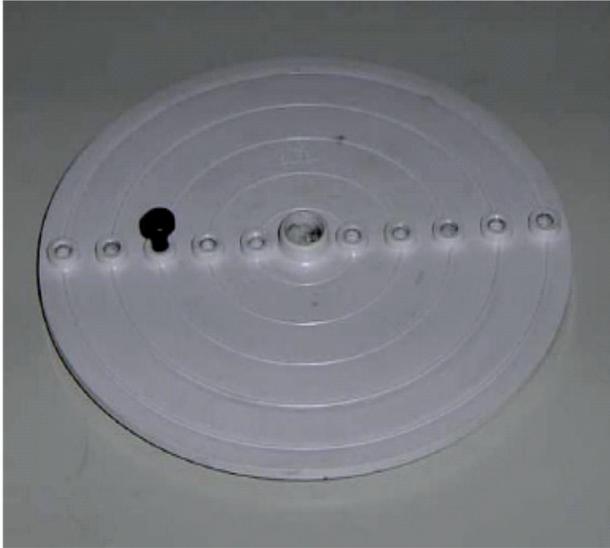


Figura A II.2 Disco de Torque R.M. Young.



Figura A II.3 Relojes de Torque Waters

Equipo de auditoría

- Generador de velocidad variable R.M. Young 18801 (motor de 100-10,000 rpm) y Generador de velocidad variable R.M Young 18831 (rango de 10- 1,000 rpm con reducción de engranes 10:1) con equipo de acoplamiento. Tubería flexible de varios diámetros y longitudes para el ensamble con el sensor de velocidad de viento.
- Discos de Torque R.M. Young modelos 18310 y 18312 (Rango de 0.0 gm-cm a 5.4 gr-cm).
- Reloj de torque Waters modelo 366-3M (Rango de 0.2 gm-cm a 2.0 gr--cm) y reloj de torque Waters modelo 651-1M (Rango de 2.5 gm-cm a 80 gm-cm).
- Formato de Auditoría para Velocidad y Dirección del viento.

NOTA: Durante la auditoría, revisar las condiciones físicas del sensor de velocidad del viento tales como las copas o propelas, cables asociados a la adquisición de datos, sistema de adquisición de datos y registros de mantenimiento del sensor. Registre cualquier información relevante en el formato de auditoría correspondiente.

FORMATO DE AUDITORÍA DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO

Nombre del sitio: _____ Sitio #: _____ Fecha: _____

Dirección: _____ Agencia: _____

Técnico en el Sitio: _____ Auditores: _____

Datos Leídos de: Cuadro [] DAS [] Otros [] Tipo de DAS: _____

Auditoría de velocidad de viento			Unidad de velocidad de viento	Auditoría de dirección de viento		
Punto de prueba de auditoría	Respuesta del Sensor de estación	Velocidad Del motor (RPM)		Punto de prueba de auditoría	Respuesta del Sensor de estación	Aditamento Dirección de auditoría
			M/S []			
			MPH []			
			NUDOS []			
			FT/S []			
			KPH []			
			CM/S []			

Parámetros de Auditoría	Velocidad del Viento	Dirección del Viento
Torque Medido (gm/cm)		
Alineación boom Medida usando Brújula (grado)		
Alineación del Aspa con Boom (grado)		

Parámetros de los instrumentos de la estación

Especificación del sensor	Velocidad de viento	Dirección del viento
Fabricante:		
Número de Modelo:		
Número de Serie:		
Intervalo de Operación:		
Altura del sensor:		
Factor K		
Pendiente e Intersección		
Declinación del sitio		
Última calibración		
Fecha Certif. Equipo de Calibr.		

Procedimiento / Secuencia.

Anemómetro Marca R.M. Young

Este procedimiento aplica para aquellos sensores a los cuales se pueden retirar las copas ó propelas de su eje. Si un sensor no tiene copas ó propelas removibles, se puede realizar la auditoría fabricando un acoplamiento apropiado, de lo contrario, la auditoría no se puede realizar.

A. Sensor Horizontal de Velocidad del Viento.

1. Para poder realizar la auditoría, pida al operador de la estación que le facilite los sensores de velocidad del viento y las especificaciones del sensor para requisitar el formato de auditoría. Estos datos incluyen el factor K, pendiente, e intersección del sensor de velocidad del viento, además de las ecuaciones de relación para convertir unidades (m/s, mph, nudos, ft/s, kph, o cm/s).

La revisión de la tasa de rotación del sensor se debe realizar con el sistema de adquisición de datos. Las rotaciones de entrada sugeridas son 0, 300, 600, 900, y 1200 rpm, dependiendo del tipo de sensor. Normalmente, en el estado de reposo del sensor (cuando se han retirado las copas o propelas), existe un valor positivo en el sistema de adquisición de datos de la estación (SAD) el cual representa el valor del umbral de inicio.

Las velocidades de rotación pueden variar si existe interés de comparar diferentes puntos dentro del rango de operación del sensor o si el rango excede los 1200 rpm. La entrada real de velocidad del viento se calcula usando la ecuación de conversión proporcionada por el fabricante del sensor.

2. Observe la orientación de las copas o propelas para determinar la dirección de rotación. La rotación puede ser en sentido de las manecillas del reloj (CW) o en sentido contrario (CCW).

3. Retire las copas ó propelas del eje y registre la lectura en el SAD en el formato de auditoría. Éste será el primer valor correspondiente a cero rpm.

4. Acople el Anemómetro 18831 con tubería de hule o usando los montajes adicionales para conectar el motor generador de velocidad al eje del sensor. El sistema de acoplamiento es usado para conectarlo a los sensores de velocidad de viento R.M. Young.

NOTA: Si los sensores pueden ser alcanzados ya sea subiendo a la torre o haciendo bajar la torre, el operador de la estación será requerido para conectar los motores de velocidad variable al sensor y cambiar las velocidades de rotación en la unidad de referencia.

Un acoplamiento de tamaño apropiado (tubería de hule) debe ser usado para evitar la fricción o una rotación no adecuada del eje del sensor. Se deberá por tanto tener cuidado para asegurar una alineación apropiada entre la conexión del motor y el eje del sensor. Esto permitirá al motor el libre movimiento para producir la velocidad seleccionada.

Si hay toma de corriente disponible, es recomendable utilizar el adaptador de corriente de AC del motor, De lo contrario, opere la unidad con baterías.

5. Conecte el motor de la unidad de control y sujete el motor con la mano.

6. Encienda la unidad de control y seleccione la dirección de rotación (CW O CCW).

7. Seleccione una tasa de rotación de 300 rpm con los controles.

El motor comenzará a girar el eje y el indicador de la unidad de control mostrará el valor actual. Este indicador deberá coincidir con el valor de rpm seleccionado. Si no es así, revise la alineación apropiada de la conexión entre el motor generador y el eje del sensor. Corrija la alineación si es necesario. El indicador debe ser monitoreado para verificar la estabilidad de la tasa de rotación.

8. Deje el motor en la velocidad indicada hasta que una lectura constante pueda ser registrada tanto en el SAD de la estación como en la unidad de control del motor. En promedio, un minuto es adecuado para registrar la velocidad de entrada y velocidad de salida del sensor en el formato de la auditoría.

9. Seleccione un valor de 600 rpm en la unidad de control. Asegúrese de mantener el motor y el acoplamiento alineado conforme la velocidad incrementa. Registre las lecturas en el formato después que se estabilice la lectura.

10. Incremente el valor de rotación a 900 rpm en la unidad de control. Registre las lecturas en el formato después que se estabilice la lectura.

11. Si el intervalo de operación del sensor lo permite, ajuste la unidad a 1200 rpm. Registre las lecturas en el formato después que se estabilice la lectura.

12. Al concluir la comparación de los cinco puntos de velocidad del viento, apague la unidad de control y quite el motor del eje del sensor. Desconecte el motor de la unidad de control y desconecte el adaptador de corriente AC, si es que fue usado. Ahora se puede realizar la revisión de la velocidad de umbral.

La velocidad de umbral de inicio no debe ser mayor de 0.25 metros por segundo (m/s) para velocidades iguales o menores a 5.0 m/s, y para velocidades arriba de 5.0 m/s debe estar dentro del $\pm 5.0\%$ de la velocidad observada (sin exceder en cada caso los 2.5 m/s).

B. Sensor de Velocidad del Viento Vertical

1. Antes de realizar la auditoría, pida al operador de la estación que le facilite los sensores de velocidad del viento y las especificaciones del sensor para requisitar el formato de auditoría. Estos datos incluyen el factor K, pendiente, e intersección del sensor de velocidad del viento, además de las ecuaciones de relación para convertir unidades (m/s, mph, nudos, ft/s, kph, o cm/s)

2. Retire las copas o propelas del eje y registre la lectura cero del SAD en el formato de auditoría. Este será el primer valor correspondiente a cero rpm y representa la velocidad de umbral de inicio del sensor. Revise las condiciones físicas de las copas o propelas y anote cualquier evidencia de golpes, grietas, etc. en la sección de comentarios del formato. Si las copas o propelas están dañadas, el operador de la estación deberá ser notificado para que sean reemplazadas posteriormente.

3. Use tubería de hule para acoplar el motor al eje del sensor.

NOTA: Si los sensores sólo pueden ser alcanzados subiendo a la torre, el operador será requerido para conectar los motores de velocidad variable a los sensores y cambiar las velocidades de rotación en la unidad.

Un acoplamiento de tamaño apropiado (tubería de hule) debe ser usado para evitar la fricción o una rotación no adecuada del eje del sensor. Se deberá por tanto tener cuidado para asegurar una alineación apropiada entre la conexión del generador de velocidad y el eje del sensor. Esto permitirá al motor el libre movimiento para producir la velocidad seleccionada.

Si hay toma de corriente disponible, es recomendable utilizar el adaptador de corriente de AC del motor, De lo contrario, opere la unidad con baterías

4. Conecte el motor en la unidad de control y sujete el motor con la mano.

5. Encienda la unidad de control y seleccione la dirección de rotación (CW O CCW)

6. Ajuste la unidad de control a 100 rpm.

7. El motor comenzará a girar el eje y el indicador de la unidad de control mostrará el valor actual. Este indicador deberá coincidir con el valor de rpm seleccionado. Si no es así, revise la alineación de la conexión entre

el motor y el eje del sensor. Corrija la alineación si es necesario. El indicador debe ser monitoreado para verificar la estabilidad de la tasa de rotación.

8. Deje el motor en la velocidad indicada hasta que una lectura constante pueda ser registrada tanto en el SAD de la estación como en la unidad de control del motor. En promedio, un minuto es suficiente para registrar la velocidad de entrada (rpm) y velocidad de salida del sensor en el formato de auditoría.

9. Incremente la velocidad del motor a 200 rpm y registre las lecturas en el formato de auditoría.

10. Cambie el interruptor de sentido rotación hacia el sentido opuesto de las manecillas del reloj (ccw). Registre la salida del sensor de velocidad a 200 rpm y 100 rpm.

11. Desconecte el motor de la unidad de control y desconecte el adaptador de corriente AC, si es que fue usado. Ahora se puede realizar la revisión de la velocidad de umbral.

La velocidad de umbral de inicio no debe ser mayor de 0.25 metros por segundo (m/s) para velocidades iguales o menores a 5.0 m/s, y para velocidades arriba de 5.0 m/s debe estar dentro del $\pm 5.0\%$ de la velocidad observada (sin exceder en cada caso los 2.5 m/s).

C. Disco de Torque R.M. Young

1. El operador de la estación debe desconectar los sensores de velocidad de viento y retirar las copas o propelas. El sensor debe ser auditado en un área libre de viento.

2. Gire el eje del sensor mientras trata de escuchar el sonido producido por los rodamientos con el fin de identificar la presencia de cualquier sonido de abrasión o roce.

3. Si un sensor de viento R.M. Young está siendo auditado, éste puede ser sujeto en su posición normal de operación. El sensor R.M. Young puede ser colocado en el disco graduado R.M. Young sobre una mesa. Si el sensor es marca Climatronics F460 o Met One, debe ser colocado en posición horizontal. Asegúrese que haya acceso al eje y de que tenga libertad para girar.

4. Obtenga el valor de torque, la velocidad del umbral de inicio, y el factor K contenidos en las hojas de especificaciones de los sensores. Registre esta información en el formato de auditoría.

Hay dos tipos de pesas que se incluyen con el disco graduado: las de nylon color negro cuyo peso es 0.1 gramos (gr) y las de acero inoxidable cuyo peso es de 1.0 gm. Las pesas pueden ser combinadas en diferentes posiciones para proporcionar diferentes valores de torque.

5. Acople el disco de torque al eje del sensor. Asegúrese que el acoplamiento esté firme y sin deslizamiento. Si un sensor R.M. Young 05305 AQ (con propelas) está siendo auditado, entonces el disco de torque 18310 es usado. El disco de torque 18312 puede ser usado con sensores de copa. En algunos casos, la perforación central del disco requerirá ser modificado en forma apropiada para ajustar el eje de varios sensores (como Met One 020/024 y Climatronics F460).

6. Oriente el disco de tal forma que las perforaciones para los tornillos queden posicionados en forma horizontal desde el eje. Hay un total de 10 agujeros en el disco, 5 a cada lado del eje central (1,2,3,4,5) que son usados para medir torque. Atornille las pesas en el disco de torque para igualar el torque que fue registrado en el paso

La pesa usada multiplicada por el radio determina el torque en gr-cm. Para calcular el torque total, multiplicar el valor de la pesa por el número correspondiente del agujero. Si varias pesas son usadas, entonces el torque es la suma total de las pesas individuales.

En forma ideal, se está buscando el torque mínimo a la distancia mínima vista desde el eje (centro). Cuando el disco realiza el movimiento mas leve (es decir, se mueve desde la posición de 90 grados a 85 grados), el torque ha sido medido. Este número de gm-cm es el torque del sensor de velocidad del viento. Registre el torque en el formato de auditoría.

Si el disco no gira, mueva la pesa a la segunda posición. Continúe moviendo la pesa hacia fuera del centro hasta que el disco comience a girar ligeramente. El torque

puede ser incrementado al seleccionar una pesa mayor, colocando esta a una mayor distancia del centro, o combinando distintas pesas en diferentes radios.

7. Retire todas las pesas y repita el paso 6. Registre el valor de gr-cm en el formato. Calcule la velocidad de umbral de inicio usando la ecuación de conversión y registre en el formato hoja de auditoría.

La velocidad de umbral de inicio para sensores de velocidad del viento horizontal deberá ser menor a 0.5 m/s y para velocidad de viento vertical deberá ser menor a 0.25 m/s. Los valores más allá del umbral de inicio especificado indican corrosión o desgaste de rodamientos. Se recomienda el reemplazo o mantenimiento de los rodamientos y realizar una nueva calibración y repetir la auditoría.

8. Retire el disco de torque del sensor e instale el sensor con las copas o propelas y conecte todas las líneas eléctricas nuevamente.

D. Reloj de Torque Waters

Los Relojes de Torque Waters (366-3M y 651-1M) son instrumentos de precisión, y su uso se limita a la verificación de los torques medidos con los discos de torque R.M. Young.

1. El operador debe retirar el sensor de la torre y llevarlo a un área en la que no haya viento para realizar la auditoría.

2. Gire el eje del sensor mientras escucha el sonido de los rodamientos con el fin de identificar cualquier sonido de abrasión o raspadura.

3. Acople el reloj de torque en el eje del sensor y asegúrese que se ajuste en forma apropiada. Sujete el reloj de torque en forma vertical y gire el reloj de torque, mientras sujeta el sensor con la otra mano.

4. La aguja es usada para medir el torque. Coloque la aguja en el valor esperado de lectura ajustando la perilla ubicada en el centro del cristal.

El torque de inicio es obtenido después de girar el reloj o el sensor hasta que la máxima lectura es obtenida. La aguja se moverá a una posición constante para indicar el torque más alto.

5. Registre la lectura en gr-cm en el formato de auditoría.

6. Retire el reloj de torque del sensor e instale nuevamente el sensor en la torre.

El umbral de inicio para el sensor de velocidad de viento horizontal deberá ser menor a 0.5 m/s y para un sensor de velocidad de viento vertical deberá ser menor a 0.25 m/s.

Los valores más allá del umbral de inicio especificado indican corrosión o desgaste de rodamientos. Se recomienda el reemplazo o mantenimiento de los rodamientos y re calibración.

Cálculos de auditoría

En una memoria de cálculo para auditoría se debe calcular el porcentaje de diferencia y umbral de inicio usando las siguientes ecuaciones:

• $\text{Velocidad real} = \text{RPM de Referencia} \times \text{Pendiente} + \text{Intersección}$

• La velocidad real del viento en metros por segundo (m/s) se calcula aplicando la pendiente e intersección del fabricante al valor en rpm del dispositivo de auditoría.

• $\text{Velocidad Indicada (M/S)} = \text{Velocidad Reportada} \times \text{Factor de Conversión}$

• La velocidad indicada por el sensor en m/s se calcula al multiplicar la velocidad reportada de la estación por el factor de conversión:

• El factor de conversión convierte las unidades de la estación (nudos, mph, etc) a m/s. El porcentaje de diferencia se calcula de estos dos valores.

• El umbral de inicio se calcula usando el torque medido (gm-cm) y el factor k del fabricante:

• $\text{Umbral de Inicio} = \text{Raíz cuadrada} (\text{Torque Medido} / \text{Factor K})$

• La velocidad del viento horizontal deberá tener un umbral de inicio menor a 0.5 m/s.

Los sensores de velocidad del viento vertical deberán tener un umbral de inicio de velocidad menor a 0.25 m/s.

Mantenimiento preventivo.

Anemómetro R.M. Young

Se requiere el reemplazo periódico de las baterías (baterías). Los puntos decimales en la pantalla de la consola parpadearán cuando el voltaje de las baterías sea bajo.

Apague instrumento cuando no esté en uso.

Tenga cuidado de no dejar caer la unidad de control o los motores.

Disco de Torque R.M. Young

Mantenga el disco y las pesas limpios. El polvo, partículas de fibra, etc., pueden añadir peso y tener un efecto en el balance del disco.

Periódicamente, inspeccione el centro del disco para asegurarse que aún continua ajustándose en forma apropiada al eje del sensor. Si la perforación ya no ajusta con el eje, el disco ya no deberá ser usado para medir el torque en dicho sensor.

Disco de Torque Waters

1. Mantenga el reloj de torque en su caja cuando no este en uso. Esto protege el reloj del polvo.
2. Se debe tener cuidado de no dejar caer o agitar en forma excesiva, ya que el mecanismo de este puede dañarse o la calibración se

puede alterar. Si esto ocurre, el reloj deberá ser calibrado nuevamente.

Calibración / certificación.

Anemómetro R.M. Young.

La unidad puede ser devuelta al fabricante anualmente para su calibración. Verificar semestralmente la tasa de rotación con un contador de frecuencia.

Disco de torque R.M. Young

Las pesas (0.1 y 1.0 gramos) pueden ser verificados en una balanza semestralmente.

Disco de torque Waters

El reloj de torque debe ser enviado anualmente al fabricante para su certificación.

La necesidad de calibración depende de la frecuencia de uso.

PROCEDIMIENTO DE AUDITORÍA DE DESEMPEÑO PARA LOS SENSORES DE DIRECCIÓN DEL VIENTO.

Los sensores de la dirección del viento indican la dirección desde la cual el viento está soplando.

La dirección del viento está expresado como un ángulo de azimut en un círculo de 360 ° donde 0° o 360° indica el Norte y 180° indica el Sur. Los sensores de dirección del viento utilizan una veleta situada en el eje vertical para detectar la dirección del viento.

El viento aplica una fuerza a ésta, forzando al montaje a girar y buscando la posición de fuerza mínima. El eje del sensor está montado en rodamientos de precisión y conectado a un potenciómetro de bajo torque. El potenciómetro produce un voltaje de salida proporcional a la dirección del viento. La fuerza mínima para girar el sensor es determinado por la relación entre la forma, el tamaño, la distancia desde el eje de rotación de la veleta, rodamientos y requerimientos del torque del potenciómetro. La orientación apropiada del sensor, la operación eficiente de los rodamientos y la función correcta del potenciómetro son factores que afectan la calidad de los datos de la dirección del viento. Por lo tanto, la aplicación de auditorías a sensores de dirección del viento permite cuantificar la correcta función de estos componentes.

Las auditorías de la orientación del sensor de dirección de viento y de su exactitud son realizadas con el sensor montado en la torre meteorológica. La auditoría del torque de inicio es realizado con el sensor desmontado.

Un operador de la estación familiarizado con el equipo meteorológico debe estar presente durante la auditoría para realizar las manipulaciones requeridas en la torre y en los sensores.

Procedimiento general.

- Una brújula de bolsillo Brunton F-3008 se usará para revisar la orientación del sensor de dirección del viento. El método es capaz de proporcionar una precisión de un grado, siendo tres grados el límite superior de error. Vea la Figura All. 4 (diagrama de brújula de bolsillo Brunton).
- El medidor de torque de hélice R.M. Young 18331, disco de torque R.M. Young 18310/18312, o reloj de torque Waters 651C-1M son usados para cuantificar el torque del sensor de dirección del viento. El medidor de torque de hélice marca R.M. Young 18331 (rango de 0-60 gramos-centímetro (gm-cm) puede medir el torque con el ensamble de cola en posición normal de operación. El medidor de torque verifica el efecto de la carga terminal en los roda-

mientos y el transductor. Mide el torque de inicio al imponer una fuerza conocida a una distancia radial medida desde el eje de rotación. El disco de torque R.M. Young 18310/ 18312 o reloj de torque Waters 651C-1M pueden ser usados para cuantificar el torque de inicio del sensor de dirección del viento con el ensamble de cola retirado.

La velocidad de inicio del umbral debe ser menor que o igual a 0.5 m/s. Vea la Figura AII.5 (diagrama del medidor de torque R.M. Young), la Figura AII.6 (diagrama del disco de torque R.M. Young) y la Figura AII.7 (diagrama del reloj de torque Waters).

- La medición precisa de los sensores de dirección del viento puede ser realizada orientando en forma manual las aspas a las direcciones cardinales (Norte, Sur, Este y Oeste). Esto se hace midiendo la orientación de la línea central del sensor hacia el Norte verdadero, y después girando el sensor. Éste deberá ser orientado a mano hacia los cuatro puntos cardinales (Norte; 360 grados; Este: 90 grados; Sur: 180 grados; Oeste: 270 grados). Para obtener una mayor precisión, un disco graduado puede ser conectado al sensor de dirección del viento. El aditamento proporcionará una indicación física de dirección en incrementos conocidos. Después de conectarlo, el aspa es posicionada en el disco para medir la linealidad del transductor o del potenciómetro. Vea la Figura AII.8 (diagrama de disco graduado R.M. Young), la Figura AII.9 (diagrama de discos graduados marca Met One) y la Figura AII.10 (diagrama de disco graduado marca Climatronics).



Figura AII.4. Brújula de Bolsillo Brunton



Figura AII.5 Medidor de Torque R.M. Young



Figura AII.6. Disco de Torque R.M. Young



Figura AII.7. Reloj de Torque Waters

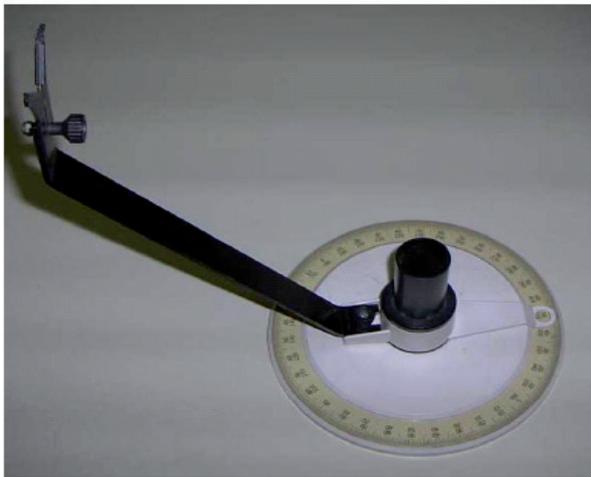


Figura All.8. Disco graduado R.M. Young

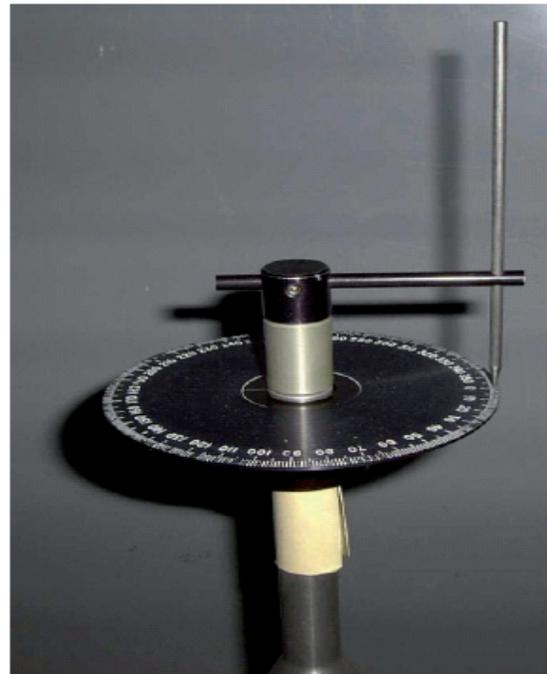


Figura All.9. Disco Graduado Met One



Figura All.10. Disco Climatronics

Equipo de Auditoría

Brújula de bolsillo Brunton F-3008 con tripie.

Medidor de torque R.M. Young 18331 (intervalo: 0-60 gm-cm).

Disco de torque R.M. Young 18310/ 18312 (intervalo: 0-15.0 gm-cm).

Reloj de torque Waters 651C-1M (intervalo: 2.5-80.0 gm-cm)

Disco graduado para dirección del viento: a) R.M. Young 18212, b) Climatronics, 10175, c) Met One 040, d) Met One 044.

Formato de auditoría

FORMATO DE AUDITORÍA DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO

Nombre del sitio: _____ Sitio #: _____ Fecha: _____

Dirección: _____ Agencia: _____

Técnico en el Sitio: _____ Auditores: _____

Datos Leídos de: Cuadro [] DAS [] Otros [] Tipo de DAS: _____

Auditoría de velocidad de viento			Unidad de velocidad de viento	Auditoría de dirección de viento			
Punto de prueba de auditoría	Respuesta del Sensor de estación	Velocidad Del motor (RPM)		Punto de prueba de auditoría	Respuesta del Sensor de estación	Aditamento Dirección de auditoría	
				M/S []			
				MPH []			
				NUDOS []			
				FT/S []			
				KPH []			
				CM/S []			

Parámetros de Auditoría	Velocidad del Viento	Dirección del Viento
Torque Medido (gm/cm)		
Alineación boom Medida usando Brújula (grado)		
Alineación del Aspa con Boom (grado)		

Parámetros de los instrumentos de la estación

Especificación del sensor	Velocidad de viento	Dirección del viento
Fabricante:		
Número de Modelo:		
Número de Serie:		
Intervalo de Operación:		
Altura del sensor:		
Factor K		
Pendiente e Intersección		
Declinación del sitio		
Última calibración		
Fecha Certif. Equipo de Calibr.		

Procedimientos / Secuencia

Orientación del sensor de dirección del viento

La orientación del sensor de dirección de viento se verifica antes de iniciar la prueba de auditoría. La orientación del sensor también es verificada después de que la auditoría sea completada y el sensor esté nuevamente en su posición en la torre.

A. Método de Brújula.

1. Coloque la brújula en el tripié.
2. Abra la tapa con espejo para que éste quede del lado opuesto del auditor. La mira larga se ajusta en forma perpendicular con el fondo del instrumento, viendo hacia el operador.

3. Posicione la brújula a la altura del ojo y mire el sensor de dirección del viento a través de la mira larga y sobre la mira pequeña en el espejo, o a través de la ventana del espejo.

4. Centre el nivel y vuelva a revisar que la brújula aún se encuentre directamente en mira sobre el sensor.

5. Confirme la posición sur buscando que el extremo de la aguja apunte hacia el ángulo de azimut.

NOTA: La brújula puede verse afectada por materiales o campos magnéticos (relojes, hebillas de cinturón, vías de ferrocarril, líneas de transmisión, etc). Para determinar si está siendo afectada, mueva lentamente la brújula hacia delante o hacia atrás en una dirección que sea perpendicular a la dirección donde apunte la aguja de la brújula. Si ésta cambia de dirección más de 3 grados, quiere decir que está siendo afectada por materiales o campos magnéticos. Mueva la brújula a un área no afectada.

6. Registre el ángulo de orientación del sensor en el formato de auditoría como “Alineación de la Flecha Usando Brújula (grado)”.

7. Comúnmente, el fabricante del sensor especifica la orientación de este con respecto al Norte verdadero. En forma alterna, tam-

bién puede especificar la orientación a una de las otras direcciones cardinales. En cualquier caso, el ángulo de orientación del sensor deberá ser menor que o igual a 3 grados en relación con el montaje del sensor (menor que o igual a 5 grados de error absoluto).

8. Verifique que la orientación del sensor no ha cambiado hasta que todas las auditorías de tipo meteorológico han sido completadas y el sensor de dirección del viento este nuevamente en posición de operación en la torre.

9. Cierre la cubierta de la brújula.

10. Coloque el equipo en su estuche.

Precisión del sensor de la dirección del viento

Los diversos métodos para auditar la precisión de la dirección del viento se presentan a continuación. En todos los métodos, la precisión debe ser menor o igual a 3 grados (menor o igual a 5 grados de error absoluto).

Si los sensores sólo pueden ser alcanzados subiendo a la torre, el operador deberá realizar la revisión de precisión del sensor. El método de orientación manual deberá realizarse cuando: 1) no es posible bajar el sensor de la torre, 2) no se cuenta con un disco graduado en el sitio o, 3) es necesario limitar el tiempo en que el sensor esta fuera de operación.

Método de orientación manual – Este procedimiento puede ser realizado orientando la cola de la veleta del sensor hacia los puntos cardinales o hacia puntos de referencia como se describe a continuación:

A. Método de Orientación Cardinal

1. Coloque la cola de la veleta hacia el Norte (360°) y registre en el formato, la lectura del Sistema de Adquisición de Datos (DAS).

2. Mueva la cola de la veleta hacia la posición Este (90 grados) y registre en el formato, la lectura del Sistema de Adquisición de Datos (DAS).

3. Mueva la cola de la veleta hacia la posición Sur (180 grados) y registre en el formato, la lectura del Sistema de Adquisición de Datos (DAS).

4. Mueva la cola de la veleta hacia la posición Oeste (270 grados) y registre en el formato, la lectura del Sistema de Adquisición de Datos (DAS).

B. Método de Punto de Referencia de la Brújula

1. Escoja un punto conocido de la brújula con respecto al Norte verdadero. Registre el punto de referencia en el formato.

2. Visualice la línea central del sensor y oriéntelo hacia o los puntos de referencia conocidos.

3. Sujete la veleta firmemente en cada posición mientras registra los valores en el formato, la lectura del Sistema de Adquisición de Datos (DAS).

C. Uso de disco graduado para sensor de dirección del viento

El diseño físico y uso específico del disco graduado variará respecto al fabricante. Por lo tanto, los procedimientos generales y las instrucciones específicas son presentados a continuación.

Disco graduado R.M. Young 18212

1. Deslice el disco graduado (Figura All.8) sobre el eje del sensor.

2. Acople la cola de la veleta al eje del sensor con la muesca coincidiendo con la de orientación en el disco.

3. Atornille el soporte de la cola en la rueda y sujete durante la orientación del sensor.

4. Posicione el sensor a 360 grados (Norte) y verifique esto con el número que se encuentra sobre el disco. Registre en el formato, la lectura del Sistema de Adquisición de Datos (DAS).

5. Gire el sensor 90 grados (Este). registre en el formato, la lectura del Sistema de Adquisición de Datos (DAS).

6. Repita la rotación del sensor y registre en el formato, la lectura del Sistema de Adquisición de Datos (DAS) para 180 (Sur), y 270 (Oeste).

7. Retire el soporte de la cola y el disco graduado. Reinstale el sensor de dirección del viento.

Disco graduado Met One 040/ 044 – El aditamento Met One 040 (Figura AII.9) es usado en el sensor de dirección de viento 020 y 024.

1. Desconecte el sensor de su conexión eléctrica en el brazo de la torre. Deslice el disco graduado sobre el eje con el lado grabado hacia arriba. Vuelva a conectar el sensor.

Nota: Si el sensor no puede ser manipulado montado en la torre, se debe solicitar al operador de la estación que retire el sensor de la torre y realizar la prueba en un sitio apropiado

2. Retire la cola y la punta de la veleta y conecte el apuntador de acero. Deslice el disco cerca del apuntador y gire hasta que éste indique 180 grados.

3. Gire a 270, 360, y 90 grados. Registre en

el formato, la lectura del Sistema de Adquisición de Datos (DAS).

4. Retire el apuntador de acero y desconecte el sensor. Deslice el disco graduado fuera del eje. Coloque la veleta al eje del sensor y vuelva a conectar.

Aditamento Climatronics 101754 – El aditamento Climatronics 101754 (Figura AII.10) es usado en el sensor de dirección de viento Climatronics F460. el procedimiento requiere una orientación Norte-Sur del brazo de montaje, con el sensor de dirección de viento en el extremo Sur.

1. Verifique la orientación Norte-Sur del brazo de montaje con el sensor de viento en el extremo Sur.

2. En forma visual debe alinear la línea central del ensamble del aspa a lo largo del brazo de montaje con la cola del aspa apuntando hacia el sensor. Una lectura de 180 grados debe ser obtenida. Registre en el formato, la lectura del Sistema de Adquisición de Datos (DAS).

3. Retire el sensor. Se requieren llaves allen para aflojar los tornillos que sujetan la veleta y retirar del eje.

4. Inserte el conector en el extremo del cable sobre el aditamento dentro del brazo de montaje. Inserte el sensor dentro de la base del

aditamento alineando la ranura en el sensor con el pin en la base del aditamento.

5. Afloje el tornillo grueso en la parte posterior de la columna del señalador para sacarlo de su estuche. Deslice el señalador dentro de la perforación ubicada en la parte superior de la columna del señalador.

6. Coloque el disco con muesca sobre el eje de tal forma que el extremo del señalador se encuentre en la muesca de 180 grados. Gire la tapa del sensor hasta que el disco se ajuste. El sensor deberá proporcionar una señal de salida de 180 grados.

7. En caso de no obtener una lectura de 180 grados, utilice la llave allen para aflojar los dos tornillos en la tapa del sensor. Mientras el señalador aún esté en la muesca de 180 grados, gire el eje hasta que la lectura correspondiente de salida sea 180 grados. Vuelva a apretar los tornillos de fijación.

8. Mueva el señalador fuera de la muesca de 180 grados y gire el disco a la siguiente muesca. Ésta corresponde a 270 grados. Registre en el formato, la lectura del Sistema de Adquisición de Datos (DAS).

9. Gire el señalador a la siguiente muesca y registre en el formato, la lectura del Sistema de Adquisición de Datos (DAS). Revise la rotación completa de 360 grados. El disco

está calibrado de tal forma que 90 grados = Este, 0 grados = Norte, y 270 grados = Oeste. El disco tiene marcas para cada grado, pero sólo tiene muescas en los puntos cardinales.

10. Retire el disco con muescas y desconecte el cable. Regrese el señalador a su estuche. Desconecte el sensor de la base del aditamento. Reinstale la veleta en el eje e inserte el sensor nuevamente en el brazo de montaje.

Torque

El umbral de inicio del sensor de dirección del viento depende del diseño de la veleta.

El factor K junto con el torque inicial medido de la veleta proporcionarán una velocidad de umbral de inicio. Se recomienda que el sensor de dirección del viento tenga un umbral de inicio menor a 0.5 m/s. El operador de la estación debe desconectar y reconectar el sensor. Adicionalmente, deberá retirar y reinstalar la veleta del eje del sensor, si el procedimiento de revisión de torque lo requiere.

A. Medidor de Torque de sensor con hélice R.M. Young 18331

1. El operador de la estación retira el sensor R.M. Young de la torre y lo coloca dentro de la estación. El área deberá estar libre de la influencia del viento.

2. Apoye el sensor en la posición normal de operación, usando el aditamento de ángulo de la hélice R.M. Young (Figura AII.8).

3. Registre el factor K y la velocidad del umbral de inicio del sensor en el formato.

4. Seleccione el valor de torque acorde a las especificaciones del sensor y preajuste el seguro a este valor usando el resorte.

5. Coloque el medidor de torque (Figura AII.5) en el seguro de montaje con el resorte 6 cm delante de la línea central del sensor R.M. Young. El resorte estará viendo hacia las propelas a contra peso del la veleta.

6. Coloque el dedo en la punta del resorte y aplique presión suave para moverlo. Retire el dedo cuando el resorte toque el tope en el valor pre-seleccionado de torque. El sensor deberá girar 360 grados.

7. Si el sensor está operando fuera de las especificaciones, el resorte tocará el tope, pero el sensor no girará 360 grados. El resorte también se alejará del tope cuando la fuerza requerida para girar el sensor exceda el valor prefijado.

8. Si se ha aplicado suficiente fuerza en el medidor de torque el sensor girará libremente 360 grados. La fuerza medida se multiplica por 6, y se registra en el formato de auditoría.

9. Repita los pasos 6 al 8, pero aplique presión en el resorte de tal forma que el sensor gire en la dirección opuesta. Registre el torque en el formato de auditoría.

B. Discos de Torque R.M. Young 18310/18312

El disco de torque R.M. Young (Figura AII.6) puede ser usado en sensores de dirección del viento con un torque menor a 15 gm-cm.

El disco de torque (Modelo 18310/ 18312) usado en la auditoría será usado en base al ajuste del disco en el eje del sensor.

1. El operador de la estación retirará el sensor de la torre y lo colocará dentro de la estación o una estructura similar. El área deberá estar libre de la influencia del viento.

2. Retire la veleta del eje, aflojando el tornillo hexagonal que sujeta dicho ensamble al eje. Coloque el sensor sobre su costado en una superficie plana.

3. Conecte el disco de torque al eje. Asegúrese que el centro se ajusta al eje en forma apropiada sin deslizamiento. La perforación del centro requerirá que coincida al eje de algunos sensores (Met One 020). Si el sensor tiene un eje pequeño (Climatronics F460), tubería de ¼" se inserta dentro del agujero central de un disco de torque. Deslice el dis-

co de torque sobre el eje, con la cara del disco al ras al eje del sensor.

4. Determine el valor de torque deseado, umbral de inicio, y factor K de la hoja de especificaciones del sensor. Registre esta información en el formato de auditoría. Identificar la ecuación de conversión del torque.

5. Oriente el disco de tal forma que los agujeros se ubiquen en forma horizontal con el eje. Atornille una pesa a la distancia apropiada desde el agujero del centro para corresponder con el torque del umbral de inicio calculado. Los tornillos negros de nylon pesan 0.1 gm y los tornillo de acero inoxidable pesan 1.0 gm.

6. Si el disco no gira, continúe moviendo la pesa fuera del centro, hasta que el disco gire. El torque puede incrementarse ya sea escogiendo una pesa mayor, colocando la pesa más lejos del centro, o combinando diferentes pesas a distintos radios. Multiplique las pesas usadas por el radio para determinar el torque gm-cm. Si se usaron pesas múltiples, entonces el torque total se obtiene al sumar los valores de la pesas en su correspondiente radio.

7. Cuando el disco realiza el movimiento más ligero (es decir, se mueve de 90 grados a la posición de 85 grados), el torque ha sido medido, registre la pesa y la distancia del centro en formato de auditoría.

8. Retire todas las pesas y oriente el disco de tal forma que las perforaciones estén horizontales. Seleccione la misma pesa que hizo girar el disco en el paso 7, y colóquela en el agujero a la misma distancia del centro en el lado opuesto.

9. Registre el valor de esta medición en el formato de auditoría.

Reloj de Torque Waters 651C-1M.

El reloj de torque Waters (Figura All.7) es un instrumento de precisión, por lo que su uso se limita para la verificación de los torques medidos con el disco de torque.

1. El operador de la estación debe retirar el sensor de la torre y colocarlo dentro de la estación. El área deberá estar libre de la influencia del viento.
2. Retire la veleta del eje, aflojando los pequeños tornillos hexagonales que sujetan la veleta al eje.
3. Sujete el sensor de dirección del viento y el reloj de torque en una posición vertical.
4. Posicione la aguja dentro del intervalo de operación de torque ajustando la perilla localizada en el centro del cristal.
5. Gire el eje del sensor para medir el torque. La ubicación final de la aguja indicará el torque medido.
6. Registre este valor en el formato de auditoría.
7. Repita los pasos 3 al 6 girando el eje en la dirección opuesta.

Revisión Post-Auditoría

Después que se complete la auditoría de desempeño, el sensor deberá ser revisado como se describe a continuación, para determinar si está operando en forma correcta.

- Revise la orientación del sensor. Esta deberá ser determinada con la brújula usada en la auditoría de orientación del sensor de dirección del viento. La orientación del sensor no debió cambiar de los resultados de la auditoría a menos que el operador de la estación lo haya ajustado. Si la orientación del sensor ha cambiado, consulte con el operador de la estación y tome la acción correctiva necesaria.
- Revise el movimiento del sensor. Durante condiciones de viento, el sensor deberá girar libremente y apuntar hacia la dirección del viento. Si el sensor no gira libremente, consulte con el operador de la estación y tome la acción correctiva necesaria.
- Revise los datos. Determine en forma visual la dirección general en la que el sensor está indicando y compare con los valores registrados por el sistema de adquisición de datos. Deberán ser cercanos (± 10 grados). Si no son cercanos, consulte con el operador de la estación y tome la acción correctiva necesaria.

Càlculos de Aditoria

Ajuste de la Declinación magnética.

Debido a que los sensores de dirección del viento están orientados hacia el Norte Verdadero, y la brújula de la auditoría opera con respecto al Norte magnético, es necesario ajustar para obtener la declinación local. La declinación es la diferencia angular entre el Norte magnético y el Norte verdadero y es causado por variaciones en el campo magnético de la Tierra. Para determinar la declinación para un sitio específico, interpole la declinación y tasa anual de cambio de declinación y después sume en forma algebraica la tasa anual de cambio de declinación para cada año. Para determinar la orientación magnética de un sensor de dirección de viento que se encuentre orientado en forma apropiada hacia el Norte verdadero, reste la declinación de 360°.

• Conversión de Entrada del sensor

El transductor o potenciómetro del sensor de dirección del viento convierte el ángulo de la dirección del viento en voltaje de salida. El transductor convierte este voltaje de salida a grados. La auditoría está enfocada con la precisión del sistema entero de dirección del viento (sensor de dirección del viento, traductor, y registrador de datos), por lo que la lectura en grados es una revisión suficiente del sistema.

• Velocidad del Umbral de Inicio

Usando una memoria de cálculo para la auditoría, calcule el umbral de inicio usando la siguiente ecuación:

$$T = Ku^2$$

Donde:

T es la fuerza de torque

u^2 es el cuadrado de la velocidad del viento

K es la constante suministrada por el fabricante.

La fórmula de torque es convertida para proporcionar la velocidad del umbral inicial con la siguiente relación:

$$\text{Umbral inicial} = (\text{Torque Medido} / \text{Factor K})^{1/2}$$

El umbral inicial de la dirección del viento debe ser menor o igual a 0.5 m/s.

Mantenimiento Preventivo

Brújula de bolsillo Brunton F-3008

Se debe tener cuidado de no dejar caer el instrumento. Almacénelo en su estuche cuando no esté en uso.

Aditamentos R.M. Young 18212 Y Met One 040/ 044

No se requiere ninguno a excepción de mantener limpios los aditamentos.

Aditamento Climatronics 10175

Mantenga las clavijas de conexión limpias y proteja el cable eléctrico de daño físico.

Medidor De Torque R.M. Young 18331

Evite un manejo brusco del resorte, mantenga el mecanismo libre de polvo o suciedad y mantenga el medidor en su estuche cuando no este en uso.

Disco De Torque R.M. Young 18310/ 18312

Mantenga el disco y las pesas limpias y libres de polvo.

Reloj De Torque Waters 651C-1M

El reloj de torque deberá ser manejado con cuidado y almacenado en su estuche cuando no este en uso.

Calibración / Certificación

Teodolito De Bolsillo Brunton F-3008

La brújula de bolsillo Brunton F-3008 no requiere de calibración. Deberá ser reemplazada si alguno de sus componentes se rompe o se daña.

Aditamentos R.M. Young 18212 Y Met One 040/ 044

La precisión de estos discos graduados se basa en la correcta instalación de los mismos en el eje del sensor y la interpretación de los indicadores de dirección. Así, las revisiones de calibración no son parte de la precisión del equipo.

Aditamento Climatronics 10175

La precisión de este aditamento se basa en la correcta instalación del sensor. Además, las conexiones eléctricas deberán ser revisadas semestralmente para una operación adecuada.

Medidor De Torque R.M. Young 18331

El medidor deberá ser reemplazado si el mecanismo del resorte aparece doblado o mal alineado. De lo contrario, no se realiza ninguna calibración.

Disco De Torque R.M. Young 18310/ 18312

Las pesas (0.1 y 1.0 gramos) pueden ser verificadas semestralmente con una balanza.

Reloj De Torque Waters 651C-1M

El reloj de torque puede enviarse al fabricante para su calibración en forma anual. También deberá ser devuelto al fabricante si se le ha dejado caer.

PROCEDIMIENTO DE AUDITORÍA PARA LOS SENSORES DE TEMPERATURA AMBIENTE

La temperatura ambiente es medida con un sensor que puede ser un termistor, una resistencia detector de temperatura, o un termopar. El sensor debe ser colocado dentro de un escudo de radiación para protegerlo de efectos de calentamiento solar y variaciones del viento.

Un motor aspirador se recomienda ampliamente para minimizar factores de error potencial debido a la radiación.

El sensor de temperatura ambiente auditado es removido del escudo de radiación y para auditarlo, si el sensor de la estación lo permite, es introducido junto con el sensor de referencia en baño maría a tres diferentes temperaturas (frío, ambiente y caliente). Los resultados de cada equipo de medición son comparados para proveer la exactitud de sensor de temperatura de la estación.

Si éste no puede ser sumergido en agua, el sensor de referencia debe colocarse tan cerca como sea posible del sensor de la estación. Tres lecturas de cada sensor deben ser registradas y los resultados comparados. Un operador de la estación familiarizado con el equipo meteorológico debe estar presente durante la auditoría para realizar las manipulaciones requeridas en la torre y con los sensores.

Procedimiento general.

Un sensor tipo PT-100 es usado, para medir la temperatura. El termómetro digital tiene una pantalla de cristal líquido con una resolución de 0.01 grados. Su lectura puede leerse en grados Fahrenheit (°F) o Centígrados (°C).

La figura All.11 muestra un termómetro digital y el termistor. El sensor de auditoría y el de la estación son insertados en baño maría a tres diferentes temperaturas. Cada baño de agua es mantenido en un contenedor térmico. Las lecturas de los sensores son comparadas.

Se recomienda obtener un ± 0.5 °C entre la lectura del sensor de auditoría y el de la estación. Si el sensor de temperatura de la estación no puede estar en contacto con el agua, se puede realizar una revisión directa. Esto es, una comparación por triplicado de las lecturas de temperatura del sensor de auditoría y el sensor de la estación. Esta comparación por triplicado se realiza colocando el termistor de auditoría a no mas de 10 cm del sensor de la estación, y se registran los valores de ambos sistemas. La comparación se repite en tres tiempos diferentes. Los resultados de las tres comparaciones son usadas para proporcionar la precisión del sensor de la estación.

Equipo de Auditoría.

- Termómetro Dostmann con sensor tipo PT-100 (Figura 11).
- Contenedores térmicos.
- Agua con hielo (cerca de 0°C), agua ambiente (aproximadamente a 20°C), y agua caliente (40-50 °C).
- Formato de auditoría para Temperatura y Humedad.



Figura. All.11 Termómetro Termistor Omega Modelo 450-ATH

FORMATO DE AUDITORÍA PARA SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Nombre del sitio: _____ Sitio #: _____ Fecha: _____

Dirección: _____ Agencia: _____

Técnico en el Sitio: _____ Auditores: _____

Datos Leídos de: Cuadro [] DAS [] Otros [] Tipo de DAS: _____

Temperatura ambiente			Humedad Relativa		
Punto de Auditoría	Sensor de la Estación	Sensor de auditoría	Punto de Auditoría	Sensor de la Estación	Sensor de auditoría

Equipo	Información del Sensor de Auditoría	
Especificaciones	Temperatura	Sensor de Humedad
Fabricante		
Núm. de serie		

Equipo	Información de Instrumento de Estación		
Especificaciones	Temperatura Ambiente	Humedad Relativa	Escudo de Radiación
Fabricante			
Modelo y no. de serie			
Intervalo de Operación			
Altura del sensor			
Ultima calibración			
Motor/ Aspiración Natural			
Fecha Certif. Equipo de Cal.			

Procedimiento / Secuencia.

Método de baño de agua.

Previo a usar el método de baño de agua, verifique con el operador que el sensor de la estación puede ser sumergido en agua. Si no es así, una auditoría de comparación directa debe ser realizada.

1. Prepare los baños de agua 5 a 10 minutos antes de la auditoría para permitir el equilibrio de la temperatura en el contenedor.

Vierta el hielo a uno de los contenedores de plástico. Llénelo a $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad con hielo. Vierta agua sobre el hielo, hasta que llegue 2 cm por debajo del borde del contenedor. El baño deberá ser de fácil acceso. Prepare el baño a temperatura ambiente usando agua común de la llave llenando hasta 2 cm por debajo del borde del contenedor. Prepare el baño a temperatura caliente, poniendo previamente a calentar un recipiente con agua directamente al fuego.

2. Complete la sección de “Especificaciones del Equipo” en el formato correspondiente.

3. Encienda el termómetro digital.

4. Pida al operador que retire el sensor de temperatura de la estación. El operador deberá revisar el sensor para localizar algún signo de agrietamiento o daño del material previo a la inmersión en los baños de agua. Si hubiera daños visibles en el sensor, no proceda con la auditoría, hasta que sean reparadas.

5. Sumerja el sensor de auditoría y el sensor de temperatura de la estación dentro del baño con hielo. Suavemente agite el agua.

Después de 30 segundos, deje de agitar. La lectura del termómetro de auditoría deberá estar cerca de 0°C. De lo contrario, repita el

procedimiento. No sumerja los sensores en la solución hasta las tapas del conector. El sensor de la estación sólo debe sumergirse en el baño de agua hasta 2 cm de la longitud del mismo. Esto prevendrá que el agua llegue a las conexiones eléctricas. Mantenga los dos sensores a una distancia de 2 cm entre ellos. Durante la auditoría, un paño puede ser colocado alrededor de los sensores para cubrir la abertura del contenedor térmico. Esto ayudará a mantener la temperatura constante.

6. Cuando las lecturas de temperatura de la estación son estables (1 ó 2 minutos) registre la temperatura de la sonda de auditoría, y los valores de temperatura del sensor de la estación, en el formato de auditoría.

7. Mueva los sensores al baño de agua de temperatura ambiente.

8. Repita los pasos 5 y 6 para el baño a temperatura ambiente y el baño caliente.

9. Retire los sensores tanto el de auditoría como el de la estación del baño de agua, y apague el sensor de auditoría.

10. Pida al operador que coloque el sensor auditado en su posición normal en la estación.

11. Revise las conexiones eléctricas del sensor de la estación y el escudo de radiación. Si esta es de motor aspirador, verifique que

el ventilador éste operando. Revise en forma visual el escudo de radiación para buscar exceso de polvo, insectos, etc. Anote los comentarios correspondientes en el formato de auditoría.

Método de comparación directa

Una auditoría de comparación directa de la temperatura se realizará si el sensor de la estación no puede ser sumergido en agua.

1. Encienda el termómetro digital.. Coloque el termómetro en el exterior para que inicie la estabilización de las lecturas a condiciones ambientales.

2. Coloque el sensor de auditoría tan cerca como sea posible al sensor de temperatura (no exceder 10 cm). Proteja el sensor de auditoría de la luz directa del sol y del viento. Si es posible, el sensor puede ser colocado cerca de la toma de aire del escudo de radiación. El operador de la estación puede ser requerido para que posicione el sensor de auditoría, si el sensor de la estación no puede ser alcanzado desde el piso.

3. Cuando las lecturas del termómetro de auditoría y el de la estación (DAS) son estables, registre los valores en el formato

4. Repita los pasos 2 y 3 dos veces más.

5. Pida al operador que coloque la sonda de la estación de vuelta en la cubierta de radiación.

6. Revise las conexiones eléctricas de la sonda de la estación y cubierta de radiación.

Si ésta es de aspiración de motor, verifique que el ventilador del aspirador este operando. Revise en forma visual la cubierta de radiación para una cantidad excesiva de polvo, insectos, etc. Note cuales sea anormalidades en formato de auditoría.

Revisión Post-Auditoría.

Después de completar la auditoría y de reinstalar el sensor de la estación en su posición normal de operación, revise la operación correcta del sensor.

Determine la temperatura del aire ambiente usando el termómetro de auditoría, sosteniendo en el aire por aproximadamente dos minutos.

Compare la temperatura ambiente a la temperatura en el sistema de adquisición de datos de la estación. Las temperaturas deberán estar razonablemente cerca, entre $\pm 3^{\circ}\text{C}$, dependiendo de las condiciones ambientales actuales. Si las temperaturas no son cercanas o el sensor de temperatura de la estación no está funcionando correctamente, consulte con el operador de la estación y tome las acciones apropiadas como sea necesario.

Cálculos de Auditoría.

Se recomienda que la diferencia entre el sensor de temperatura de la estación y las lecturas de temperatura del sensor de auditoría sea menor o igual a 0.5°C . El valor medido del termómetro de auditoría es corregido aplicando la pendiente e intersección de su hoja de calibración.

Mantenimiento Preventivo.

Reemplace las baterías del termómetro digital Dostmann como sea requerido.

El sensor deberá ser revisado previo a cada auditoría, en especial la interface entre el termómetro y la PT-100.

Calibración / Certificación.

El termómetro digital y sensor PT-100 son certificados en forma anual por un laboratorio acreditado

PROCEDIMIENTOS DE AUDITORÍA PARA LOS SENSORES DE PRESIÓN BAROMÉTRICA.

La auditoría de un medidor de presión atmosférica, se realiza mediante el uso de un barómetro con una exactitud de 0.1% en la escala total. El sensor de presión barométrica está construido de acero inoxidable y sellado herméticamente para proveer un alto grado de estabilidad. Un transductor es conectado a una fuente de energía eléctrica que producirá un voltaje proporcional a un determinado valor de presión atmosférica. Este valor será desplegado en la pantalla de cristal líquido.

Los valores de la pendiente y la ordenada al origen del informe de calibración del barómetro de auditoría son aplicados a la medición final y comparados con el sensor de presión de la estación. Se requiere que la respuesta sea igual o menor a 2.25 mmHg del valor reportado por el sensor de auditoría.

Equipo de Auditoría.

Barómetro vaisala PTB-220TS

Formato de Auditoría para sensores de Presión Barométrica

FORMATO DE AUDITORÍA PARA PRESIÓN BAROMÉTRICA

Nombre del sitio: _____ Sitio #: _____ Fecha: _____

Dirección: _____ Agencia: _____

Técnico en el Sitio: _____ Auditores: _____

Datos Leídos de: Cuadro [] DAS [] Otros [] Tipo de DAS: _____

Presión Barométrica		
Punto de auditoría	Valor del Sensor de la Estación	Valor del Sensor de auditoría

Radiación Solar		
Punto de auditoría	Valor del Sensor de la Estación	Valor del Sensor de auditoría

Instrumentos de la Estación		
Especificaciones	Presión Barométrica	Radiación Solar
Fabricante:		
Número de Modelo:		
Número de Serie:		
Intervalo de Operación:		
Altura del sensor:		
Tipo de cubierta de Radiación		
Última calibración		
Fecha Certif. Equipo de Calibr.		

1. Fórmulas de Conversión
2. Para Datos Instantáneos

$$\text{Langleys/ min} * 697.32 = \text{Watts/m}^2$$

$$\text{Calorías/ cm}^2 \text{ minuto} * 697.32 = \text{Watts/m}^2$$

$$\text{Joules/ cm}^2 \text{ metro} * 166.66 = \text{Watts/m}^2$$

Procedimiento / Secuencia.

Encienda el barómetro de auditoría. Espere aproximadamente 20 minutos para que el barómetro se estabilice antes de tomar lecturas digitales.

NOTA: El transductor del barómetro de auditoría tiene un intervalo aproximado de temperatura de operación de -17.8 a 85 °C, con temperatura compensada de 15.6 a 71.1 °C

2. Registre la información de instrumento solicitada en el formato de auditoría.

3. Registre el valor del barómetro de auditoría y el de la estación en el formato de auditoría.

4. Repita el paso 3 dos veces más a lo largo del día.

Cálculos de Auditoría.

El valor del barómetro de auditoría deberá ser corregido mediante la pendiente e intersección al valor incluidos en su informe de calibración. El error entre el sensor de auditoría y el de la estación deberá ser de 2.25 mm Hg.

Si la lectura de la estación no está en mm Hg, las siguientes fórmulas pueden ser usadas para convertir las unidades:

$$\begin{aligned} \text{Milibars} \times 0.7500616 &= \text{mm Hg} \\ \text{Milibars} \times 0.02953 &= \text{pulg Hg} \\ \text{Milibars} \times 0.014504 &= \text{pound/ pulg}^2 \\ \text{Pulg Hg} \times 33.864 &= \text{Milibars} \\ \text{Pulg Hg} \times 25.4 &= \text{mm Hg} \\ \text{Pulg Hg} \times 0.4912 &= \text{pound/ pulg}^2 \end{aligned}$$

Mantenimiento Preventivo.

No se requieren de medidas específicas para mantenimiento preventivo.

Calibración / Certificación.

El barómetro de auditoría debe ser calibrado anualmente por un laboratorio acreditado. Los valores del barómetro de auditoría son comparados a una unidad de medición de presión trazable. Un valor de pendiente y uno de intersección se derivan de esta comparación. La pendiente e intersección de esta calibración son usadas para convertir la lectura en la pantalla del barómetro de auditoría a unidades de mm Hg.

ANEXO 3

PROCEDIMIENTO GENERAL DE LA AUDITORÍA DE FLUJOS DE MUESTREADORES DE ALTO VOLÚMEN

PROCEDIMIENTOS DE AUDITORÍA DEL MUESTREADOR DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES USANDO UN DISPOSITIVO DE FLUJO DE REFERENCIA

Como se ha mencionado, la meta principal de un programa de auditoría es identificar errores en el sistema que puedan resultar en datos inválidos o sospechosos. La eficiencia del sistema de medición, depende de la aplicación efectiva de procedimientos de aseguramiento de calidad. La evaluación real de la exactitud y eficiencia del sistema de muestreo de partículas de alto volumen pueden lograrse a partir de efectuar una auditoría.

Durante los trabajos de auditoría, es necesario que esté presente el operador de la estación; esta práctica no sólo contribuye a la integridad de la auditoría, sino también permite que el operador ofrezca cualquier explicación e información que pueda ayudar al auditor a determinar la causa de las discrepancias entre los datos medidos y la respuesta del equipo.

Principio.

Un dispositivo de flujo de referencia es un estándar de transferencia de orificio y es utilizado para auditar un muestreador de partículas suspendidas totales de alto volumen. El dispositivo de flujo usa placas perforadas para auditar la tasa de flujo del muestreador al medir la caída de presión causada por el flujo de aire a través de un orificio de restricción. Una ecuación de calibración es usada

para convertir esta caída de presión a una tasa de flujo ya sea en condiciones estándar o actuales.

Aplicabilidad.

El procedimiento puede ser usado para auditar muestreadores de alto volumen con o sin controladores de flujo operando en el rango de flujo de 0.5 a 2.4 m³/minuto. Existen otros tipos de estándares de transferencia de orificio que pueden ser usados siguiendo el mismo procedimiento.

Presición.

La precisión del procedimiento de la auditoría es aproximadamente 2% cuando la trazabilidad es establecida al calibrar el dispositivo de flujo con un medidor de volumen de desplazamiento positivo (medidor de raíces o Rootsmeter) u otro dispositivo primario de medición de volumen.

Equipo de auditoría.

- Dispositivo de flujo de referencia – Un dispositivo de flujo es una unidad de interfaz que se conecta a la base de filtro de un muestreador de alto volumen. El dispositivo típicamente exhibe una sensibilidad de 0.01 m³/minuto por 0.1 pulg de cambio de presión.

El dispositivo está equipado con cinco placas perforadas de restricción de aire que son usadas una a la vez para variar la tasa de flujo del muestreador de alto volumen. Un manómetro de agua acompaña al dispositivo de flujo y mide la caída de presión causada por la restricción del flujo causada por las placas.

- Manómetro diferencial – Un manómetro de tubo capaz de medir por lo menos 16 pulgadas de agua.
- Barómetro – se requiere de un barómetro capaz de medir la presión atmosférica con una precisión de ± 2 torr.
- Indicador de temperatura – Un indicador con precisión de ± 1 °C es requerido para determinar la temperatura ambiente.
- Filtro de fibra de vidrio – Filtros de fibra de vidrio con al menos 99% de eficiencia para la recolección de partículas de 0.3 μm de diámetro.

Procedimiento / Secuencia.

Muestreadores equipados con controladores de flujo.

Un muestreador de alto volumen equipado con un controlador de flujo calibrado a de una tasa de flujo estándar.

Nota: Es importante conocer si el muestreador de alto volumen fue calibrado en condiciones reales, condiciones promedio de temporada, o corregidos a temperatura y presión estándar.

La comparación entre las tasas de flujo de auditoría deben ser hechas con las mismas unidades y correcciones.

Realice la auditoría como sigue:

1. Retire la abrazadera sujetadora del filtro del muestreador. Si un filtro está colocado para un periodo próximo de muestreo, pida al operador de la estación que lo retire y lo guarde hasta que la auditoría haya sido completada. De cualquier forma, intente programar las auditorías de tal forma que no interfieran con los muestreos programados.
2. Coloque un filtro limpio de fibra de vidrio en la primera malla de filtración, y coloque el dispositivo de flujo por encima del filtro. Fije firmemente el dispositivo al sujetador usando las tuercas de mariposa ubicadas en cada esquina del sujetador del filtro del muestreador. Coloque un deflector de aire en posición, y entonces conecte y lleve a cero el manómetro de agua.
- 3 Encienda el motor del muestreador y permita que se estabilice. Un tiempo de calentamiento de 20 minutos deberá ser permitido.

Registre la caída de presión que se muestre en el manómetro (en pulgadas de H₂O), temperatura ambiente (en °C), presión barométrica (en mm Hg), y tasa de flujo de la estación (obtenida del operador de la estación). Si la presión barométrica no puede ser determinada por un barómetro de auditoría, determine la presión barométrica (PA) como sigue:

$$PA = 760 - (\text{elevación en metros} \times 0.076)$$

4. Al concluir la auditoría, pida al operador de la estación que vuelva a colocar el filtro y reajuste el temporizador del muestreador como se encontraba originalmente.

Muestreadores sin controladores de flujo.

Un muestreador de alto volumen no equipado con un controlador de flujo constante es típicamente calibrado en términos de tasas de flujo reales.

Nota: Es importante conocer si el muestreador de alto volumen fue calibrado en condiciones reales, condiciones promedio de temporada, o corregidos a temperatura y presión estándar. La comparación entre las tasas de flujo de auditoría deben ser hechas con las mismas unidades y correcciones.

1. Retire el portafiltros del muestreador. Si un filtro está colocado para un próximo muestreo, pida al operador de la estación que lo retire y lo guarde hasta que la auditoría haya sido completada.

2. Coloque un filtro limpio de fibra de vidrio en la primera malla de filtración, y coloque el dispositivo de flujo encima del filtro. Fije firmemente el dispositivo a la base usando las cuatro tuercas de mariposa en cada esquina del sujetador del filtro del muestreador.

3. Coloque la placa de resistencia de 18 cavidades en el dispositivo de flujo, cierre la tapa, y asegúrela usando las tuercas de mariposa. Conecte y lleve a cero el manómetro de agua.

4. Encienda el motor del muestreador y permita que se estabilice. Un tiempo de calentamiento de aproximadamente 5 minutos debe ser permitido. Registre la caída de presión que se muestra en el manómetro (en pulg H₂O), temperatura ambiente (°C), presión barométrica (mm Hg), y tasa de flujo de la estación (obtenida del operador de la estación). Si la presión barométrica no puede ser determinada por un barómetro de auditoría (debido a las altas elevaciones que exceden los límites del barómetro), determine la presión barométrica usando la siguiente ecuación.

$$PA = 760 - (\text{elevación en metros} \times 0.076)$$

5. Repita los pasos 3 y 4 usando las placas de resistencia que siguen.

6. Al concluir la auditoría, pida al operador de la estación que reemplace el filtro y reajuste el temporizador del muestreador como se encontraba.

Cálculos de auditoría.

Calcule la tasa de flujo de la auditoría bajo condiciones estándar para aquellos muestreadores de alto volumen que utilizan tasas de flujo corregidas a temperatura y presión estándar.

$$Q_{STD} = \frac{1}{m} \left[\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_b}{760} \right) \left(\frac{298}{T_a} \right)^{-b}} \right]$$

donde:

Q_{STD} = tasa de flujo estándar, m^3 /minuto

m y b = coeficientes de calibración determinados durante la calibración del dispositivo ReF, usando tasas de flujo corregidas a las condiciones estándar.

ΔH = caída de presión mostrada en el manómetro, pulg. H_2O

P_b = presión barométrica, mm Hg, y

T_a = temperatura ambiente en grados Kelvin ($273.16 + ^\circ C$)

Realice este cálculo para comparar la tasa de flujo en cada punto y calcule el % de diferencia para cada punto de auditoría como sigue:

$$\%_{Diff} = \frac{F_s - F_A}{F_A} \times 100$$

donde:

F_s = la tasa de flujo medida por la estación, $Q_{std} m^3$ /minuto, y

F_A = la tasa de flujo de la auditoría, $Q_{std} m^3$ /minuto

Para muestreadores calibrados en condiciones actuales y promedio de temporada, calcule la tasa de flujo de auditoría en los mismos términos:

$$Q_{ACT} = Q_{STD} \left(\frac{760}{P_b} \right) \left(\frac{T_a}{298.16} \right)$$

donde:

Q_{ACT} = la tasa de flujo actual, m³/min

Q_{STD} = la tasa de flujo estándar, m³/min

P_b = presión barométrica, mm Hg, y

T_a = temperatura ambiente en grados Kelvin (273.16 + °C)

Nota: Si la temperatura estacional del año y presión barométrica fueron usadas en la calibración del muestreador de alto volumen, entonces;

P_b = presión barométrica de la estación del año, mm Hg, y

T_a = temperatura ambiente promedio estacional en Kelvin (273.15 + °C)
convierta de m³/min a ft³/min multiplicando por 35.31.

AUDITORÍA PARA MUESTREADORES PM₁₀ DE ALTO VOLÚMEN CON CONTROLADORES DE FLUJO MÁSICO Y DE FLUJO VOLUMÉTRICO

Los procedimientos de auditoría proporcionados son específicos para los muestreadores de alto volumen para PM₁₀ que están equipados con cabezales de separación de partículas que requieren una tasa de flujo actual de 1.13 m³/min ± 10 % (40.0 ± 4 CFM).

Las técnicas de auditoría pueden variar entre los diferentes modelos o muestreadores por la diferencia en los intervalos de flujo requeridos, dispositivos de control de flujo, opciones utilizadas y la configuración de los muestreadores. Por lo que es necesario considerar las siguientes características:

- El muestreador con controlador de flujo másico utiliza un sensor de flujo para ajustar la tasa de flujo controlando el voltaje de entrada al motor y esta usualmente equipado con un registrador de flujo.
- El muestreador con controlador de flujo volumétrico utiliza un orificio crítico de tipo venturi para el control de flujo y puede o no estar equipado con un registrador de flujo.
- La entrada del muestreador ésta diseñada para operar a un rango de flujo volumétrico de 1.13 m³/min (40.0 CFM) a condiciones actuales; el rango aceptable de fluctuación de flujo es 10 % del valor conforme a las especificaciones del fabricante. En algunos casos

el rango de flujo actual debe ser corregido en relación a la elevación del sitio.

- El estándar de transferencia de flujo que se usa para la auditoría es un calibrador con placas de orificio u orificio variable, con manómetro tipo U. Este equipo debe ser trazable a un estándar primario y calibrado anualmente con una desviación estándar de 1.5 % entre las dos últimas calibraciones.
- La relación de calibración para el estándar de transferencia de flujo (auditor) es expresada en términos del rango de flujo actual (Q_c) como son indicadas por el equipo; en pies cúbicos por minuto (ft³/min o CFM) o metros cúbicos por minuto (m³/min).

AUDITORÍA PARA MUESTREADORES CON CONTROLADORES DE FLUJO MÁSSICO

Equipo de auditoría.

Un estándar de transferencia de flujo calibrado con el informe de calibración más reciente (no debe ser mayor a un año).

Un manómetro tipo U con un rango de 0 – 20" H₂O y una división mínima de 0.2" H₂O.

Un termómetro digital o termopar, capaz de medir la temperatura en el rango de –20 °C a + 60°C con una exactitud de cerca de 1°C, trazable al sistema internacional de unidades.

Un barómetro para medir la presión atmosférica en el rango de 500 a 800 mmHg, trazable al sistema internacional de unidades.

Cartas de registro de flujo, filtros limpios y herramientas.

NOTA: El operador del sitio es responsable de proveer la información de la calibración de los muestreadores (curva o factor de calibración) para la determinación de la tasa de flujo actual del muestreador con MFC. (Qa).

Procedimiento / Secuencia.

1. En la parte posterior de la carta de flujo, registre los datos listados abajo y colóquela en el registrador.

- Número ID del muestreador.
- Identificación del sitio
- Fecha
- Nombre del auditor.

NOTA: Usar una carta similar al tipo de cartas usadas por el operador del sitio para eliminar posibles errores. Si el muestreador fue calibrado usando papel de función cuadrática, la auditoría debe conducirse con una carta de registro similar. Observar el ajuste de la plumilla para indicar el cero. Preguntar al operador si normalmente ajusta a cero como parte de la rutina de cada semana, si es el caso, solicitar que él realice el ajuste.

2. Instale un filtro limpio en el muestreador para PM₁₀. No use porta filtro, coloque el filtro directamente en la malla del muestreador.

3. Instale el estándar de transferencia de flujo en el muestreador. Use un orificio sin restricción o completamente abierto. Apriete las tuercas de la placa adaptadora en forma cruzada para sellar uniformemente para prevenir fugas y no apriete de sobremanera cada tuerca para no dañar o deformar el empaque.

4. Revise que el manómetro en U se encuentre conectado e indica el cero correctamente; ajuste si es necesario.

5. Encienda el interruptor del muestreador y permita que alcance la temperatura de operación (5 minutos).

6. Observe y registrar los siguientes parámetros en el formato de auditoría:

- Nombre del sitio, fecha de la auditoría y número del sitio
- Altitud, auditores, Institución y técnicos
- Muestreador, modelo, número ID y fecha de la última calibración.
- Marca y número de serie del Estándar de transferencia de flujo
- Temperatura ambiente (T_a) en grados Centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
- Presión atmosférica (Pa) en mm Hg
- Condiciones del clima

7. Cuando el muestreador ha alcanzado la temperatura de operación, lea la presión diferencial en el manómetro y registre como ΔH en el formato de auditoría.

8. Solicite al operador tomar la lectura de flujo en la carta y registre el valor en el formato como flujo indicado del muestreador (Qind).

9. Apague el muestreador y repeta los pasos 7 y 8, dos veces mas para efectuar un total de tres observaciones. Registre las respuestas del estándar de flujo y del muestreador auditado para cada paso en el formato de auditoría.

10. Verifique que el controlador de flujo y el motor estén operando apropiadamente.

11. Sin apagar el muestreador, cierre parcialmente la válvula del la unidad de orificio y verifique que el flujo cae y vuelve al punto de funcionamiento original. Sin apagar el motor, abra de nuevo la válvula y verifique que el flujo regrese al punto de operación original.

Si el control de flujo y motor no responden a este tipo de pruebas, entonces realice una prueba con doble filtro. Esto se logra por la adición y remoción de un segundo filtro encima del filtro original. Revise nuevamente la respuesta correcta de compensación de flujo y registre la información en el formato de auditoría.

12. Apague el muestreador y retire el estándar de transferencia de flujo.

13. Verifique que las lecturas correctas del dispositivo de auditoría y del muestreador se hayan registrado en el formato de auditoría.

14. Solicite al operador que calcule la tasa de flujo estándar (Q_{std}) del muestreador conforme a la curva de calibración y registre el valor en el formato de auditoría.

15. Convierta Q_{std} a Q_a (flujo actual) usando la siguiente ecuación:

$$Q_a = Q_{std} \times \frac{P_{std}}{P_a} \times \frac{T_a}{T_{std}}$$

Donde:

Q_a = Tasa de flujo actual del muestreador

Q_{std} = Tasa de flujo estándar del muestreador

T_a = Temperatura ambiente, K

P_a = Presión barométrica ambiente, mmHg

T_{std} = Temperatura estándar, 273.15 °K

P_{std} = Presión barométrica estándar, 760 mmHg

16. Determine el rango de flujo real a través del estándar de transferencia usando la siguiente ecuación:

$$Q_c = \frac{1}{m} \left(\sqrt{\Delta H \left(\frac{T_a}{P_a} \right)} - b \right)$$

Donde :

Q_c = flujo actual indicado por el estándar de transferencia, m^3/min .

ΔH = caída de presión a través del orificio, en pulgadas de agua (inH₂O)

T_a = temperatura ambiente, K

P_a = Presión barométrica ambiente, mmHg

m = Pendiente de la curva de calibración del estándar de transferencia.

b = Ordenada al origen de la curva de calibración del estándar de transferencia.

17. Determine el porcentaje de diferencia entre el flujo actual del muestreador y el flujo del estándar de transferencia de auditoría usando la siguiente ecuación:

$$\%_{Diff} = \frac{Q_a - Q_c}{Q_c} \times 100$$

NOTA: Si la desviación excede $\pm 7\%$ se deberá calibrar el muestreador y el estándar de transferencia utilizado por el operador. Desviaciones excediendo $\pm 10\%$ requiere acciones correctivas y será necesario evaluar la invalidación o corrección de los datos desde la pasada calibración.

19. Determine el porcentaje de diferencia entre el flujo de diseño de 40.0 CFM y la del flujo verdadero medida en la auditoría usando la siguiente ecuación:

$$\%_{Diff} = \frac{(Q_c \times 35.315) - 40}{40} \times 100$$

NOTA: Si la desviación excede $\pm 7\%$ se deberá buscar la causa para corregirla. Con una desviación excedente de $\pm 10\%$ se requiere una solicitud acciones correctivas y será necesario evaluar la invalidación o corrección de los datos desde la pasada calibración.

20. Genere el reporte preliminar de auditoría incorporando las lecturas registradas en el formato de auditoría en un archivo electrónico.

AUDITORÍA PARA MUESTREADORES CON CONTROLADORES DE FLUJO VOLUMÉTRICO

Equipo de auditoría.

Un estándar de transferencia de flujo calibrado con el informe de calibración más reciente (no debe ser mayor a un año).

Un manómetro tipo U con un rango de 0 – 20" H₂O y una división mínima de 0.2" H₂O.

Un termómetro digital o termopar, capaz de medir exactamente la temperatura en el rango de –20 °C a + 60°C con una exactitud de cerca de 1°C, trazable al sistema internacional de unidades.

Un barómetro para medir la presión atmosférica en el rango de 500 a 800 mmHg, trazable al sistema internacional de unidades.

Cartas de registro de flujo, filtros limpios y herramientas.

NOTA: El operador del sitio es responsable por proveer la curva de calibración de los muestreadores para determinar el flujo actual (Q_a) del muestreador con VFC.

Procedimiento / Secuencia.

1. En la parte posterior de la carta de flujo nueva, registre los parámetros listados abajo y colóquela en el registrador.

- Número ID del muestreador.

- Identificación del sitio

- Fecha

- Iniciales del auditor.

NOTA: Usar una carta equivalente al tipo de cartas usadas por el operador del sitio para eliminar posibles errores. Si el muestreador fue calibrado usando papel de función cuadrática, la auditoría debe conducirse con una carta de registro similar. Observar el ajuste de la plumilla para indicar el cero. Preguntar al operador si normalmente ajusta a cero como parte de la rutina de cada semana, si es el caso, solicitar que ellos realicen el ajuste.

2. Instale un filtro limpio dentro de un porta-filtro en el muestreador con VFC.

3. Instale el estándar de transferencia de flujo en el muestreador. No restrinja la tasa de flujo a través de la unidad de orificio. (p.e, usando platos perforados o cerrando la válvula). Use un orificio sin restricción. Apriete las tuercas de la placa adaptadora en forma alterna (esquinas) para prevenir fugas y apretar cada tuerca sin dañar o deformar el empaque.

4. Revise que el manómetro en U para auditoría indica el cero correctamente; ajuste si es necesario.

5. Encienda el interruptor del muestreador y permita que alcance la temperatura de operación (5 minutos).

6. Observe y registre los siguientes parámetros en el formato de auditoría:

- Nombre del sitio, fecha de la auditoría y número del sitio
- Altitud, auditores, Institución y técnicos
- Muestreador, modelo, número ID y fecha de la última calibración.
- # de Estándar de transferencia de flujo
- Temperatura ambiente (T_a) en grados Centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
- Presión atmosférica (P_a) en mm Hg
- Condiciones del clima

7. Cuando el muestreador ha alcanzado la temperatura de operación, lea la presión diferencial en el manómetro y registre como ΔH en el formato de auditoría.

8. Solicite al operador tomar la lectura de flujo en la carta y registrar el valor en el formato como flujo indicado del muestreador (Q_{ind}).

Si el muestreador no utiliza una carta de registro, solicite al operador que determine el flujo del muestreador mediante el mismo método que usa durante la operación normal.

9. Apague el muestreador hasta que se encuentre en cero y repetir los pasos 7 y 8, dos veces más para efectuar un total de tres observaciones. Registre las respuestas del estándar de flujo y del muestreador auditado para cada paso en el formato de auditoría.

10. Verifique que las lecturas del dispositivo de auditoría y del muestreador se hayan registrado en el formato de auditoría.

11. Solicite al operador que calcule la tasa de flujo estándar (Q_{std}) del muestreador usando la curva de calibración y registre el valor en el formato de auditoría.

12. Si la tasa flujo estándar es Q_{std} , convierta Q_{std} a Q_a (flujo actual) como se indicó en la sección anterior.

13. Determine la tasa de flujo real a través de la unidad de orificio de auditoría conforme a lo indicado en la sección anterior.

14. Determine el porcentaje de diferencia entre la tasa actual de flujo del muestreador y la correspondiente al orificio de auditoría conforme a lo indicado en la sección anterior.

NOTA: Si la desviación excede $\pm 7\%$ se deberá calibrar el muestreador y el estándar de transferencia utilizado por el operador. Desviaciones excediendo $\pm 10\%$ requiere la aplicación de acciones correctivas y será necesario evaluar la invalidación o corrección de los datos desde la pasada calibración.

15. Determine el porcentaje de diferencia entre la tasa de flujo de entrada de diseño de 40.0 CFM y la tasa de flujo verdadero medida en la auditoría usando las ecuaciones de la sección anterior.

NOTA: Si la desviación excede $\pm 7\%$ se deberá buscar la causa para corregirla. Con una desviación excedente de $\pm 10\%$ se requerirá la aplicación de acciones correctivas y será necesario evaluar la invalidación o corrección de los datos desde la pasada calibración.

16. Genere el reporte preliminar de auditoría incorporando las lecturas registradas en el formato de auditoría en un archivo electrónico.

La parte auditora debe de proporcionar una copia preliminar de los resultados de la auditoría cuando ésta es completada. Los datos preliminares no deben ser usados para ajustes en el sistema de monitoreo.

Un muestreador fuera de los límites de auditoría está fuera de los límites de calibración, y los datos colectados serán inválidos. Si un muestreador presenta una operación no satisfactoria, se debe realizar una calibración