

# Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones

## Indice

- **CAPITULO I:** CONSIDERACIONES GENERALES
- **CAPITULO II:** EL PROGRAMA DE MONITOREO
- **CAPITULO III:** NORMAS ESPECIFICAS DE MONITOREO
- **CAPITULO IV:** Estabilidad Atmosférica y Altura de Inversión
- **CAPITULO V:** Monitoreo de la Emisión de la Fuente Estacionaria
- **CAPITULO VI:** Monitoreo de la Polución del Aire del Ambiente

## CAPITULO I

### **CAPITULO I. CONSIDERACIONES GENERALES**

#### I. Introducción.

El presente manual de procedimientos se presenta según lo indicado en el reglamento, emitido por DS-016-93-EM, así como en sus disposiciones modificatorias contenidas en el DS-059-93-EM. Sirve como una pauta para las empresas obligadas a implantar y poner en funcionamiento redes destinadas al monitoreo de la calidad del aire.

#### I.1 Antecedentes

En la actualidad, la industria minero-metalúrgica peruana no cuenta con estándares de emisión aplicables a la contaminación ambiental. A fin de reducir los peligros potenciales para seres humanos y animales, la destrucción de la vegetación, la pérdida de brillo u oxidación de materiales y la reducción de la visibilidad y a la vez seguir manteniendo una base industrial sólida en este sector, el Ministerio de Energía y Minas a considerado la posibilidad de implementar próximamente un reglamento, junto con programas de seguimiento y control que entrarían en vigencia al día siguiente de la publicación del presente Protocolo de monitoreo.

El gobierno peruano ha promulgado leyes (el DS-016-93-EM en el mes de mayo de 1993 y el DE-059-93-EM en diciembre del mismo año) según las cuales todas las empresas dedicadas a actividades de extracción, fundición y refinación de minerales están obligadas a establecer programas de monitoreo destinados a determinar la cantidad real de agentes contaminantes del aire, emitidos por cada una de ellas, así como la calidad del aire en los ambientes expuestos a las actividades contaminadoras.

#### I.2 Emisiones Problemáticas

##### I.2.1. Gases.

El gas contaminador más importante, por lo menos en términos de cantidad emitida a la atmósfera, es el dióxido de azufre (en adelante denominado SO<sub>2</sub>). Sin embargo, algunas actividades mineras o metalúrgicas pueden emitir otros gases (p.ej., CO, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S, AsH<sub>3</sub>, Se, Hg, etc.) altamente tóxicos para los seres humanos, animales, o plantas. La necesidad de un programa para el monitoreo de estos gases en la actualidad dependerá de su grado de toxicidad y de sus volúmenes y lugar de emisión.

##### I.2.2. Partículas.

Se ha identificado partículas diminutas, con diámetros de 10 micrones o menores (en adelante denominadas PM<sub>10</sub>) cuya repercusión en la salud humana merece especial consideración. Las partículas de mayor diámetro (en adelante denominadas partículas en suspensión total -TSP) con frecuencia ocasionan otros problemas ambientales como la pérdida de brillo u oxidación de materiales y la reducción de la visibilidad. Por lo tanto, el control de estos contaminantes particulados será beneficioso tanto para la salud como para el bienestar de las personas.

Además, la composición química de las partículas es importante desde el punto de vista ambiental. Será necesario monitorear el volumen de emisión y la concentración de estas sustancias químicas tóxicas en el medio ambiente a fin de determinar la intensidad de la fuente, su ubicación y el peligro potencial que representa para la ecología peruana.

#### I.3 Objetivos de estas Normas

Las diferentes actividades minero-metalúrgicas generan diversos agentes contaminadores de aire en diferentes cantidades, a distintas temperaturas y desde puntos diferentes dentro de la planta y en sus alrededores. Los factores meteorológicos y topográficos hacen que los agentes contaminantes sean transportados y esparcidos de manera diferente en lugares distintos. En épocas pasadas, en muy pocos casos se contaba con información suficiente sobre las emisiones o los factores meteorológicos causantes de la dispersión como para definir un programa de monitoreo adecuado. Sin embargo, las normas dictadas por el gobierno exigen que para el mes de marzo de 1994 se establezca un programa de monitoreo progresivo en todas las empresas mineras y metalúrgicas, previa publicación de estos procedimientos, lo cual, de acuerdo a lo previsto, ocurrirá a más tardar el 28 de febrero de 1994. El presente manual tiene como principales objetivos los siguientes:

- a) Uniformar los procedimientos de monitoreo de todas las empresas del sector minero-metalúrgico.
- b) Contribuir a la educación del sector en materia ambiental. Deberá acatarse las normas ambientales de una manera responsable y compatible con el desarrollo económico futuro del país.
- c) Permitir que las empresas mineras y metalúrgicas obtengan suficiente información sobre factores meteorológicos, emisiones y calidad del aire ambiental, de manera que puedan elaborar programas de administración ambiental adecuados y alcanzar un crecimiento sostenido.
- d) Poner a disposición del Ministerio de Energía y Minas información necesaria para el establecimiento de los estándares nacionales o límites máximo permisibles de emisiones gaseosas y materiales particulados.

Con el fin de comparar las condiciones meteorológicas, así como los volúmenes de emisión y las concentraciones de agentes contaminadores en el medio ambiente, es necesario alcanzar cierta uniformidad en los procedimientos de monitoreo. El presente manual contiene información que permitirá a las empresas mineras y metalúrgicas formular y poner en aplicación programas para el monitoreo de las emisiones y la calidad del aire ambiental; por lo tanto, deberá ser observado estrictamente, a fin de garantizar la precisión y representatividad de las mediciones relativas a la calidad del aire de la región expuesta a la actividad minero-metalúrgica.

El procedimiento descrito en este documento consta de dos fases que deben ser puestas en práctica por todas las empresas mineras, fundiciones y refinerías operativas del Perú. Durante la primera fase (primer año), se establecerá un programa de monitoreo mínimo en el que el número de estaciones y el tipo y la cantidad de datos recogidos estarán determinados por el tonelaje y composición química del material manejado. Al finalizar esta primera fase, cada empresa presentará al Ministerio de Energía y Minas, junto con los informes EVAP y PAMA, una propuesta detallada sobre un programa de monitoreo permanente. Una vez aprobada la propuesta, cada empresa establecerá y pondrá en funcionamiento las estaciones de monitoreo correspondientes a la fase II si todavía no fueron implementadas por iniciativa propia en la fase I.

#### 1.4 Obligaciones de las Empresas

De conformidad con el Decreto Supremo No. 016-93-EM, modificado por el Decreto Supremo No. 59-93-EM promulgado en el mes de diciembre de 1993, las empresas mineras y metalúrgicas del Perú tienen las siguientes obligaciones en lo concerniente al mejoramiento de la calidad del aire:

- a. La empresa deberá implantar y poner en operación un programa de monitoreo adecuado para cada actividad

b. La empresa deberá presentar tres informes trimestrales sobre el programa de monitoreo antes de preparar el informe de Evaluación Ambiental Preliminar (EVAP).

c. El informe EVAP, que se presentará a más tardar un mes después de concluidos los doce meses de monitoreo, contendrá un resumen de la información obtenida durante dicho período, así como una exposición de los problemas y los efectos del deterioro ambiental ocasionado por la actividad minera y las correspondientes soluciones. La Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA) se encargará de evaluar el EVAP en un plazo máximo de tres meses y, en coordinación con la Dirección General de Minería, presentará sus objeciones y determinará el plazo para la preparación del Programa de Ajuste y Manejo Ambiental (PAMA).

d. A más tardar doce meses después de la aprobación del EVAP, deberá someterse a consideración del Ministerio de Energía y Minas un PAMA, el cual incluirá una explicación

## CAPITULO II

### **CAPITULO II. EL PROGRAMA DE MONITOREO**

#### II. Introducción

En la Fig. 1 se grafica un procedimiento general de 10 etapas para la elaboración de un programa de monitoreo relativo a la calidad del aire. En el caso de las empresas mineras y metalúrgicas del Perú, se requerirá implementar programas en dos etapas: un programa de un año de duración correspondiente a la primera fase y destinado a la obtención de un conjunto de datos de referencia sobre factores meteorológicos, emisiones y concentraciones en el medio ambiente, y el programa de monitoreo permanente que se implantará en cada actividad minera. Esta última propuesta deberá adjuntarse a los informes EVAP y PAMA.

#### II.1 Inventario de Emisiones

##### II.1.1. Fase I.

Para el 30 de junio de 1994 (a lo sumo cuatro meses después de la publicación de este documento), todas las empresas dedicadas a la extracción, fundición o refinación de minerales en el Perú deberán presentar al Ministerio de Energía y Minas el primer informe trimestral, así como un inventario de todos los gases y partículas emitidos a la atmósfera como resultado de sus actividades. El inventario deberá incluir, con respecto a cada agente contaminante identificado:

- (a) un diagrama de producción y una breve descripción de las operaciones mineras y metalúrgicas de la empresa,
- (b) un diagrama de la planta de la empresa en el que se muestre la ubicación de todas las fuentes (tanto las emisiones por chimenea como las emisiones fugitivas),
- (c) una descripción de cada fuente de emisión,
- (d) el volumen de emisión de cada fuente (peso/tiempo),
- (e) la frecuencia y la duración de las emisiones de cada fuente (continua, hora del día, # de días/mes, # de días/año, etc.) y
- (f) la temperatura de emisión.

En el caso de las emisiones por chimenea, deberá indicarse la altura y diámetro de esta última. Asimismo deberá incluirse las fuentes móviles (camiones, trenes). Si no es posible calcular los volúmenes correspondientes a estas fuentes, se deberá señalar la cantidad de combustible consumido —en litros por hora—, el tonelaje de concentrado tratado diariamente, las composiciones químicas, etc.

En el caso de muchas empresas mineras y metalúrgicas, durante la fase I sólo será necesario monitorear las emisiones en términos de los factores meteorológicos, el SO<sub>2</sub>, las TSP y la composición química de las partículas. Si el inventario inicial indica que existen descargas de otros materiales nocivos, es posible que deba efectuarse un seguimiento de los mismos, dependiendo de su grado de toxicidad y volumen de emisión. Durante la fase II será obligatorio el monitoreo de las descargas de gases y las partículas contaminadoras no incluidos en la fase I. monitoreo de las emisiones (instrumentos nuevos, etc.). Además de la revisión de los informes trimestrales y anuales, se tiene previsto designar a un auditor o inspector autorizado por la Dirección General de Minería para que inspeccione los programas de monitoreo en el propio lugar de la actividad minero-metalúrgica, tanto en la fase I como en la fase II.

## II.3 Monitoreo Ambiental

### II.3.1 Fase I.

Por lo general se considera que las empresas de grandes dimensiones, como las fundiciones de cobre, plomo o zinc, emiten a la atmósfera una cantidad mucho más significativa de agentes contaminantes que las minas o refinerías pequeñas. Sin embargo, la repercusión de los agentes contaminantes, la salud y bienestar de la población local, depende del grado de toxicidad de los materiales esparcidos en el aire, su trayectoria y su velocidad de dispersión. Debido a que actualmente falta información suficiente sobre gran parte de los lugares operativos de las empresas, durante la fase I se pondrá énfasis en la obtención de un conjunto de datos de referencia respecto a los factores meteorológicos pertinentes y en la determinación de los niveles base de SO<sub>2</sub>, TSP, algunos metales pesados y otros gases.

Una vez transcurrido el año de acopio de datos meteorológicos, se determinará el número de estaciones de monitoreo, su ubicación respectiva y los factores que se medirán durante la fase II. Sin embargo, el número de estaciones requeridas para la fase I se basará únicamente en el tonelaje de material tratado, tal como se indica a continuación:

| Tamaño de la Empresa | Minas/Concentradoras Toneladas de mineral Día | Fundiciones/Refinería Toneladas de Concentrado / Día | Número de Estaciones Requeridas |
|----------------------|---|--|---------------------------------|
| Micro                | <25   | <25 tons./día  | 1                               |
| Pequeña              | >25 pero <350                                 | >25 pero <350  | 2 -3                            |
| Mediana              | >350 pero <5000                               | >350 pero <1000                                      | 4 -5                            |
| Grande               | >5000   | >1000  | 6 o más                         |

Dependiendo del inventario de emisiones presentado al Ministerio de Energía y Minas, las microempresas podrán ser exoneradas de la instalación de estaciones meteorológicas y de control de la calidad del aire según el D.S.-059-93-EM y según la cantidad y concentración de los agentes contaminantes.

Para la fase I, se instalará una estación de monitoreo en el poblado más cercano en la dirección del viento. Se establecerá una segunda estación en un área rural que por lo general esté con el

viento en contra y se encuentre lo suficientemente distante de la(s) fuente(s), de manera que pueda obtenerse información de referencia sobre la calidad del aire ambiental. En el caso de las empresas que necesiten tres o más estaciones durante la fase I, una de ellas deberá colocarse cerca del emplazamiento de la mina o planta y las demás, en áreas ecológicas agrícolas o naturales expuestas, ubicadas dentro de un radio de 5 a 10 km, o más, dependiendo de los niveles de concentración de los agentes contaminantes.

Además del inventario de emisiones y de la propuesta de monitoreo correspondiente, todas las empresas tendrán plazo hasta el 30 de junio de 1994 para presentar al Ministerio de Energía y Minas un programa preliminar de control de factores meteorológicos y de la calidad del aire ambiental para la fase I, el mismo que deberá incluir la siguiente información:

- v Ubicación de cada emplazamiento de monitoreo (incluido un mapa).
- v Exposición de los criterios empleados para la selección del lugar.
- v Factores meteorológicos que deberá medirse en cada emplazamiento.
- v Detectores meteorológicos que se utilizará (tipo, marca y modelo).
- v Factores de contaminación del aire que se medirá en cada emplazamiento.
- v Detectores de contaminación de aire escogidos (tipo, marca y modelo).
- v Sistema de registro por emplearse (descripción y características).
- v Frecuencia de muestreo, período para el cálculo de promedios.
- v Procedimientos de reducción y análisis de datos.
- v Procedimientos de calibración y calendario aplicable a cada medidor.
- v Programas de control de calidad.
- v Fecha prevista para el inicio de la fase I del monitoreo.
- v Calendario de entrega de información al Ministerio.
- v Reporte preliminar del monitoreo ambiental.

La Parte III contiene procedimientos obligatorios y recomendaciones relativos a los instrumentos, el muestreo, el procesamiento y análisis de datos, etc.

### II.3.2 Fase II.

El alcance y el diseño del programa de monitoreo de factores meteorológicos y de la calidad del aire ambiental correspondiente a la fase II dependerá en gran medida de los resultados del programa aplicado en la fase I. Para el diseño de

las redes de monitoreo permanentes de la fase II, deberá tenerse en cuenta factores tales como la utilización de terrenos, la distribución poblacional, el tipo y distribución de los cultivos agrícolas y vegetación natural, así como el tipo, concentración y grado de toxicidad de la contaminación, la intensidad de la fuente, la altura de la chimenea y otros aspectos.

Normalmente, el público en general y los organismos de protección ambiental se ocupan sólo de la calidad del aire exterior a los límites del "terreno" de las empresas y adoptando el planteamiento de algunos otros países, el Ministerio considera que los límites de responsabilidad de una empresa se definen como la distancia existente entre sus fuentes y el punto donde la concentración promedio anual máxima de agentes contaminantes generados por dichas fuentes alcance 5 microgramos/metro cúbico a nivel del suelo. Esta isolínea se definirá en base al inventario de emisiones de las fuentes y los datos meteorológicos promedio obtenidos durante la fase I. Se elaborará un modelo numérico por computadora en el cual se integrarán los datos recogidos en la fase I y las características topográficas de la región con el objeto de determinar los límites de responsabilidad de la empresa en cuanto al control de la calidad del aire. Por lo tanto, será obligación de cada empresa garantizar que los agentes contaminadores del aire que sean generados por sus fuentes y que alcancen el suelo transponiendo esta isolínea de 5 g/m<sup>3</sup> nunca sobrepasen los niveles previstos por el Ministerio de Energía y Minas con respecto a la calidad del aire ambiental. Además de establecer el límite de 5 microgramos/metro cúbico (sólo para fines de simulación), este modelo permitirá identificar los lugares que alcanzan altos niveles de concentración bajo diferentes condiciones eólicas y grados de estabilidad atmosférica. La necesidad de instalar una estación de monitoreo en un lugar expuesto a niveles de contaminación elevados según el modelo por computadora dependerá también de factores adicionales, tales como la utilización de la tierra, el número de habitantes o trabajadores en el área, la vegetación, el suministro eléctrico, las instalaciones de seguridad, etc. En la propuesta del programa de monitoreo de factores meteorológicos y de la calidad del aire ambiental correspondiente a la fase II, cada empresa deberá incluir los resultados del análisis por modelos y una justificación válida respecto al número y al emplazamiento de las estaciones que conformarán la red de control.

## CAPITULO III

### **CAPITULO III. NORMAS ESPECIFICAS DE MONITOREO**

#### III. Introducción.

La determinación de los efectos de las actividades mineras y metalúrgicas en la calidad del aire ambiental del área circundante depende de un cálculo preciso de las concentraciones de agentes contaminantes específicos en puntos donde puedan perjudicar la salud o el bienestar de las personas. Por lo general, este cálculo resulta de la ejecución de un plan de monitoreo complementado con la elaboración de modelos numéricos sobre la dispersión de los agentes contaminantes en la atmósfera. En la Fig. 2 se grafica cómo la integración del monitoreo con la elaboración de modelos lleva a un programa de control óptimo.

De acuerdo con esta Figura, los modelos matemáticos tienen por objeto combinar en términos cuantitativos los efectos de la intensidad de la fuente y los factores meteorológicos para definir el nivel de contaminación del aire ambiental, particularmente en lugares donde están en juego la salud y el bienestar de la población, pero donde la ejecución de actividades de monitoreo adicionales no resulta factible desde el punto de vista físico o económico.

La intensidad de la fuente está determinada por una serie de variables, como son su tamaño, la temperatura de las emisiones de humo de tipo pluma, la uniformidad de los volúmenes de emisión y la eficiencia del equipo empleado para controlar la contaminación del aire. Los factores meteorológicos dependen de la velocidad y dirección del viento, la estabilidad atmosférica, la altura de inversión y las características del terreno. Debido al costo de los detectores empleados para el monitoreo de los factores meteorológicos y la contaminación del aire, es sumamente importante obtener una cantidad mínima pero suficiente de información a fin de conformar una base de datos apropiada con el grado de confianza deseado.

A fin de alcanzar uniformidad en la obtención de datos representativos sobre los factores meteorológicos y la calidad del aire en todas las áreas mineras y metalúrgicas del Perú, se recomienda a cada empresa observar las siguientes pautas en lo que concierne a la elaboración de sus propuestas, el manejo de los detectores de monitoreo, el tratamiento de muestras y datos y el formato de presentación de los informes.

Si una empresa deseara utilizar procedimientos que difieran significativamente de los descritos en este documento, deberá revisarlos anticipadamente con el Ministerio de Energía y Minas o presentarlos en los reportes trimestrales, usando mejores técnicas y tecnologías disponibles que las consignadas en la presente guía.

#### III.1. Monitoreo Meteorológico

Los fenómenos atmosféricos cumplen un papel importante y complejo en la determinación de la dispersión de los agentes contaminantes y la calidad de aire resultante. Tanto el transporte como la dispersión de los agentes contaminadores dependen

de factores meteorológicos, entre los que destacan la estabilidad atmosférica, la velocidad y dirección del viento, la altura de mezclado, la temperatura del aire y, en el caso de algunos agentes contaminantes, la radiación solar.

En la fase I (un año contado a partir del mes de marzo de 1994), cada empresa deberá establecer una mini-red de instrumentos meteorológicos para observar las condiciones atmosféricas existentes:

- (a) en los alrededores de la mina, fundición o refinería,
- (b) en el emplazamiento de monitoreo de la calidad del aire del centro poblacional seleccionado, o en sus proximidades, y
- (c) en el emplazamiento de monitoreo de la calidad del aire del área rural ubicada contra el viento.

Dependiendo de los resultados obtenidos en la fase I y de los modelos sobre los patrones de concentración en dirección del viento, quizás no sea necesario observar las condiciones meteorológicas en cada una de las estaciones pertenecientes a la red de monitoreo de la fase II. Sin embargo, se requerirá un número suficiente de estaciones meteorológicas para definir los patrones de dispersión general de los gases y partículas contaminantes más importantes. Como norma general, las estaciones meteorológicas deben instalarse junto con las estaciones de monitoreo de la contaminación del aire ambiental.

### III.1.1 Criterios de Selección de Ubicación de los Puntos de Muestreo.

El grado de exposición de los instrumentos es sin duda uno de los aspectos más importantes del programa de monitoreo de la contaminación del aire. No se ha adoptado ningún procedimiento uniforme general respecto a la ubicación de las estaciones meteorológicas y de control de calidad del aire ambiental debido a la infinita diversidad de situaciones que se encontrará. A continuación se indican algunas reglas prácticas de carácter general:

- q La estación debe ubicarse en un lugar accesible, totalmente descubierto y alejado de edificios, árboles, etc.

- q La superficie no necesariamente tiene que estar cubierta de pasto u otro tipo de vegetación, pero debe asemejarse a las superficies predominantes en la región, por ejemplo, suelo desnudo, cultivos agrícolas, asfalto, y ser representativa de las mismas.

- q La estación de monitoreo debe ser accesible, pero segura. En la mayor parte de casos, las estaciones de monitoreo deberán ser protegidas contra robos o actos de vandalismo mediante cercos u otros mecanismos de seguridad.

### III.2. Velocidad y Dirección del Viento.

#### III.2.1 Tipos de Instrumentos Recomendados.

Puede utilizarse el anemómetro de tres cubetas y paleta o el de hélice. En la mayor parte de instrumentos de tres cubetas y

paleta, la velocidad de entrada para puesta en marcha es menor, los tiempos de respuesta son más cortos y el mantenimiento por lo general es más sencillo.

### III.2.2 Ubicación de Instrumentos.

Los medidores de velocidad y dirección del viento deberán instalarse en una torre de 10 metros con estructura de rejilla abierta, como la que caracteriza a la mayor parte de antenas de televisión y radio. Esta torre deberá ser lo suficientemente resistente para que el personal pueda subir en forma segura para instalar los instrumentos y realizar su mantenimiento. El anemómetro de hélice deberá montarse en la parte superior de la torre. Los anemómetros de tres cubetas y paleta deberán montarse en una viga que sobresalga de la torre en sentido horizontal, de manera que la distancia mínima entre ellos y el punto más cercano de la torre sea equivalente al doble del diámetro o diagonal máximo de la torre. La torre deberá tener una ubicación tal, que la corriente de aire no se vea afectada por la vegetación o los edificios aledaños; esto significa que la estructura más próxima debe quedar a suficiente distancia del anemómetro para que, vista desde la parte superior de la torre, no se prolongue más de 10° sobre el horizonte (Fig. 3). En algunos casos, como el de las estaciones instaladas en fundiciones o refineras, la mejor ubicación para el anemómetro es la parte superior de uno de los edificios más altos, debiendo montarse el instrumento en una torre para que el viento no sea distorsionado por el edificio.

El detector de la dirección del viento siempre deberá registrar el norte verdadero, no el magnético.

Por lo general se recomienda no colocar los anemómetros en la parte superior de la chimenea. Si la emisión de humo del tipo pluma es caliente, la medición del viento a la altura de la chimenea no representará las condiciones existentes en la parte superior de la emisión. Además, los instrumentos con esta ubicación por lo general sufren desperfectos al poco tiempo, debido al efecto corrosivo de los gases y partículas emitidos por la chimenea. Si se decide instalar el anemómetro a menor altura que la punta de la chimenea, resultará difícil montarlo en una barra de suficiente longitud para que las mediciones no se vean afectadas por la presencia de ésta. La medición de la velocidad y dirección del viento a la altura de la emisión de humo será más precisa si se emplea un sistema detector por globo suspendido (véase la sección sobre medidas de inversión que aparece más adelante).

### III.2.3 Frecuencia de Registro.

La velocidad del viento deberá registrarse en forma continua y promediarse cada hora. Por ejemplo, las mediciones efectuadas entre las 7:00 y las 8:00 am. deberán promediarse aritméticamente y consignarse como datos correspondientes a las 8:00 am.

Cada hora, deberán registrarse las ráfagas de viento máximas y mínimas y sus periodos de calma.

La dirección del viento deberá registrarse continuamente cada hora, sin embargo, no deberá promediarse aritméticamente sino

por álgebra vectorial cuando se emplee un tabulador electrónico de datos. A continuación se ejemplifica el problema que surge al promediarse aritméticamente la dirección del viento.

Se han registrado seis mediciones: 340o , 350o , 355o , 10o , 15o , 20o . Así  $(340 + 350 + 355 + 10 + 15 + 20)/6 = 182o$ , lo cual demuestra que el promedio aritmético lleva a determinar (erróneamente) que el viento proviene del sur y no del norte. Por lo general este error no ocurre cuando se utilizan cintas de registro. La mayor parte de los tabuladores electrónicos de datos recomendados más adelante pueden programarse fácilmente para el cálculo de promedios vectoriales.

#### III.2.4 Calibración, Mantenimiento y Garantía de Calidad.

El problema más común experimentado con el mantenimiento de los anemómetros es la degradación de los cojinetes del eje, lo cual se agrava aún más en los emplazamientos donde existen gases corrosivos. La mayor parte de fabricantes recomienda cambiar los cojinetes y volver a calibrar los detectores de velocidad y dirección del viento una vez al año o con mayor frecuencia, dependiendo de las condiciones corrosivas.

La velocidad de entrada máxima (velocidad de puesta en funcionamiento) deberá ser de 0,5 m/s (1,0 mph). Por lo general, la degradación de los cojinetes no es significativa si con una simple observación se determina que las cubetas están girando a aproximadamente esta velocidad. Dado que la velocidad del viento es medida en un punto de un espectro de corriente total, las variaciones mínimas no tienen mayor significación en la evaluación del transporte de los agentes contaminantes del aire. No obstante, las fluctuaciones de la dirección del viento en función del tiempo son utilizadas para determinar la estabilidad (véase la sección sobre medición de estabilidad que aparece más adelante). Por lo tanto, es de vital importancia impedir que de los cojinetes de las paletas aerodinámicas experimenten una degradación considerable.

Los manuales publicados por los fabricantes contienen procedimientos de mantenimiento adicionales.

#### III.2.5 Análisis de Datos.

En vista de que la determinación de la estabilidad atmosférica supone la obtención de un conjunto de medidas representativas de la dirección del viento tomadas en diferentes puntos durante cada hora, se recomienda insistentemente, utilizar un tabulador electrónico para registrar los datos relativos a la velocidad y dirección del viento. De emplearse este instrumento, se aconseja medir la velocidad y la dirección del viento a intervalos cortos (1 o 10 segundos) y promediar los respectivos valores cada hora.

A continuación se presentan los formatos (Figs. 4 y 5) sugeridos para el registro de datos sobre la velocidad y dirección del viento.

#### III.2.6 Presentación de Informes.

Al finalizar cada trimestre calendario, las empresas tendrán un plazo de 30 días para presentar al Ministerio de Energía y Minas

informes trimestrales que contengan resúmenes mensuales y por hora de datos sobre las condiciones del viento. Asimismo, deberá presentarse un informe anual o reporte EVAP (antes del 31 de marzo del año siguiente de la publicación de la presente guía) con resúmenes de las hojas de datos mensuales sobre el viento, preparados en forma de distribuciones de frecuencias del tipo rosa, etc.

### III.3. Temperatura del Aire

#### III.3.1 Tipo de Instrumentos Recomendados.

Deberá utilizarse un termógrafo registrador bimetálico de tambor con reloj o un detector eléctrico (pilas termoeléctricas, termistores de resistencia, etc.). Desde el punto de vista de la precisión y estabilidad de los detectores y la facilidad de registro, se recomiendan los sistemas eléctricos, particularmente si se va a utilizar un tabulador electrónico de datos.

#### III.3.2 Ubicación de los Instrumentos.

El detector de la temperatura del aire deberá colocarse en un punto donde quede expuesto al aire libre, pero protegido de la radiación solar directa. Por lo general, debe instalarse el detector sobre terreno llano y despejado, por lo menos a cuatro metros de distancia del edificio más próximo u otra estructura que obstruya la libre circulación de aire por el detector (por ejemplo, en una viga apuntalada en la torre del anemómetro). De utilizarse una viga, el detector deberá quedar por lo menos a una distancia equivalente al diámetro o diagonal máximo de la torre y, de preferencia, protegido con una caja de instrumentos apersianada pintada de blanco (Fig. 6) o

#### III.2.5 Análisis de Datos.

En vista de que la determinación de la estabilidad atmosférica supone la obtención de un conjunto de medidas representativas de la dirección del viento tomadas en diferentes puntos durante cada hora, se recomienda insistentemente, utilizar un tabulador electrónico para registrar los datos relativos a la velocidad y dirección del viento. De emplearse este instrumento, se aconseja medir la velocidad y la dirección del viento a intervalos cortos (1 o 10 segundos) y promediar los respectivos valores cada hora.

A continuación se presentan los formatos (Figs. 4 y 5) sugeridos para el registro de datos sobre la velocidad y dirección del viento.

#### III.2.6 Presentación de Informes.

Al finalizar cada trimestre calendario, las empresas tendrán un plazo de 30 días para presentar al Ministerio de Energía y Minas informes trimestrales que contengan resúmenes mensuales y por hora de datos sobre las condiciones del viento. Asimismo, deberá presentarse un informe anual o reporte EVAP (antes del 31 de marzo del año siguiente de la publicación de la presente guía) con resúmenes de las hojas de datos mensuales sobre el viento, preparados en forma de distribuciones de frecuencias del tipo rosa, etc.

### III.3. Temperatura del Aire

#### III.3.1 Tipo de Instrumentos Recomendados.

Deberá utilizarse un termógrafo registrador bimetálico de tambor con reloj o un detector eléctrico (pilas termoeléctricas, termistores de resistencia, etc.). Desde el punto de vista de la precisión y estabilidad de los detectores y la facilidad de registro, se recomiendan los sistemas eléctricos, particularmente si se va a utilizar un tabulador electrónico de datos.

#### III.3.2 Ubicación de los Instrumentos.

El detector de la temperatura del aire deberá colocarse en un punto donde quede expuesto al aire libre, pero protegido de la radiación solar directa. Por lo general, debe instalarse el detector sobre terreno llano y despejado, por lo menos a cuatro metros de distancia del edificio más próximo u otra estructura que obstruya la libre circulación de aire por el detector (por ejemplo, en una viga apuntalada en la torre del anemómetro). De utilizarse una viga, el detector deberá quedar por lo menos a una distancia equivalente al diámetro o diagonal máximo de la torre y, de preferencia, protegido con una caja de instrumentos apersianada pintada de blanco (Fig. 6) o con una pantalla contra radiaciones volteada hacia abajo provista de un sistema de aspiración a presión o natural (Fig. 7). De optarse por la pantalla, ésta deberá mantenerse siempre limpia y pintada de blanco. Deberá instalarse el detector a 1,5 metros (5 pies) de altura sobre una superficie representativa de las áreas circundantes (suelo desnudo, pasto, asfalto, etc.).

#### III.3.3 Frecuencia de Registro.

Se recomienda registrar la temperatura del aire en forma continua y promediarse cada hora. Además, deberá anotarse las temperaturas máxima y mínima experimentadas cada hora.

#### III.3.4 Calibración, Mantenimiento y Garantía de Calidad.

Deberá verificarse la calibración de los detectores de temperatura del aire por lo menos una vez al mes, colocándose un termómetro de líquido junto al detector por varios minutos y comparándose las dos medidas registradas. Si la diferencia entre las lecturas del detector eléctrico o de la unidad de cinta bimetálica no reproduce lecturas dentro de una variación de 1°C del líquido del termómetro de vidrio, deberá ajustarse el primero en la graduación correcta. Toda modificación de la graduación del detector deberá registrarse.

El procedimiento de mantenimiento más importante consiste en conservar limpio el detector y la pantalla o caja pintada de blanco para que pueda reflejar toda la luz solar.

#### III.3.5 Análisis de Datos.

La información por hora sobre la temperatura del aire deberá registrarse en un formato similar al que aparece en la Fig. 8.

#### III.3.6 Presentación de Informes.

Al finalizar cada trimestre calendario, las empresas tendrán un plazo de 30 días para presentar al Ministerio de Energía y Minas informes trimestrales que contengan resúmenes mensuales e información por hora sobre la temperatura del aire. Asimismo, deberá entregarse un informe anual o reporte EVAP (antes del 31 de marzo de 1995) que incluya resúmenes de las hojas de datos mensuales sobre la temperatura del aire, preparados en forma de gráficos de distribución de frecuencias, etc.

## CAPITULO IV

### 4 Estabilidad Atmosférica y Altura de Inversión

#### 4.1 Antecedentes.

La concentración de agentes contaminantes en las emanaciones de una chimenea está determinada por el viento y por las turbulencias del aire que afectan a la emisión de humos del tipo pluma en su desplazamiento en dirección del viento. En el caso de los materiales emitidos desde una fuente concentrada como una chimenea, la concentración alcanza un nivel máximo en el centro de la emanación del tipo pluma y disminuye con la distancia radial, tal como se observa en la Fig. 9.

Existen dos tipos de turbulencia atmosférica, convectiva y mecánica, dependiendo de que su origen sea térmico o mecánico.

La turbulencia mecánica se deriva del desplazamiento del aire sobre terrenos accidentados, edificios, árboles, etc. y su intensidad aumenta en función de la velocidad del viento. La turbulencia convectiva obedece mayormente a diferencias en la gradiente vertical de la temperatura del aire entre la superficie y la parte superior de la capa límite.

La turbulencia convectiva es comúnmente conocida con el nombre de estabilidad atmosférica. La forma geométrica y la distribución de las emisiones gaseosas depende de las características

de la turbulencia. Los cinco tipos de emisiones del tipo pluma que se muestra en la Fig.10 han sido originados por condiciones atmosféricas totalmente diferentes. La emisión de humos del tipo bucle resulta de un alto grado de turbulencia, especialmente cuando es convectiva. Este tipo de emisión se da normalmente en horas del día, cuando la radiación solar es intensa y los vientos son por lo general ligeros. Debido a la excesiva inestabilidad que existe cuando la velocidad del viento es baja, algunas porciones de la emisión del tipo bucle pueden extenderse hacia el suelo, alcanzando la misma altura que la chimenea. El tipo de emisión cónica es propio de condiciones térmicas prácticamente neutras (adiabáticas); tiende a producirse cuando existe una capa de nubes que reduce los efectos térmicos resultantes de la entrada de radiación solar en horas del día o la salida de radiación terrestre por la noche. El semiángulo de una emisión del tipo cónico (el ángulo formado por las líneas exterior y central) es de  $10^\circ$ . Las emisiones de humos del tipo soplado se producen en condiciones estables, cuando la turbulencia mecánica es suprimida. La supresión es mayor en el componente vertical que en el horizontal, de tal suerte que el ancho de la emisión alcanza mayor magnitud que su espesor. La emisión del tipo soplado es más común en la noche, cuando hay ligeros vientos de drenaje.

Figura 10  
Tipos de Emisiones salientes por Chimenea

Los otros dos tipos de emisiones presentados en la Fig.10 se producen cuando existe una diferencia marcada en términos de

estabilidad entre las capas de aire que están encima y debajo de la emisión. El tipo de emisión fumigante resulta cuando la capa de aire inferior es inestable y la superior es estable, lo cual provoca una mayor dispersión de gases y partículas hacia abajo (condiciones de descenso). Estas emisiones con frecuencia se producen por un lapso corto a media mañana, después de una noche de marcada estabilidad, cuando el sol en ascenso calienta el suelo e inestabiliza la capa inferior. La emisión del tipo elevado obedece a condiciones inversas a las que originan la emisión fumigante; se produce por lo general en las últimas horas de la tarde y primeras horas de la noche y es la que provoca el menor grado de dispersión a nivel del suelo.

La desviación estándar de la dirección del viento ( ), si bien no es tan precisa como la medición de las gradientes verticales de temperatura, es utilizada con frecuencia para calcular el grado de estabilidad de la capa más baja de la atmósfera.

Un tercer método empleado para calcular la estabilidad atmosférica es la combinación de la radiación solar y la velocidad del viento.

#### III.4.2 Tipos de Instrumentos Recomendados.

La estabilidad no se mide directamente. El mejor método para determinar la estabilidad de las capas inferiores de la atmósfera consiste en medir la variación de la temperatura del aire en función de la altura sobre el nivel del suelo. Las plantas metalúrgicas de gran tamaño, p.ej., fundiciones y refinerías que no recuperen más del 90% del azufre total en el ingreso, materia prima o cuyas fuentes en total emiten más de 35 toneladas diarias de SO<sub>2</sub>, deben medir la gradiente vertical de temperatura desde el suelo hasta una altura equivalente a 1,5 veces la elevación máxima calculada para el penacho. Esta medición comúnmente es efectuada por el globo sonda cautivo. El Apéndice A contiene información sobre este instrumento.

Todas las empresas mineras y metalúrgicas obtendrán datos sobre la estabilidad calculando a partir de las medidas de dirección del viento (o efectuando un cálculo directo en caso de utilizar ciertos registros cronológicos de datos) y/o midiendo la radiación solar y la velocidad del viento.

#### III.4.3 Ubicación de Instrumentos.

El globo sonda cautivo podrá instalarse en terreno despejado a uno o dos kilómetros de las chimeneas de emisión. Deberá asegurarse de que no existan cables de suministro eléctrico en el área y que haya espacio suficiente para lanzar y recuperar el globo (es decir, que no existan edificios, árboles u otros obstáculos en las proximidades).

El medidor de la radiación solar deberá instalarse en un punto donde no exista ningún objeto sobre el plano del elemento detector que pudiera proyectar sombra sobre el mismo. Tampoco deberá estar cerca de paredes de color o fuentes de radiación artificiales. Por lo general, el lugar más conveniente es una plataforma alta o el techo de un edificio. Al montarse el instrumento, éste deberá quedar perfectamente nivelado. (Nota: casi en todos los casos se necesita sólo un detector de

radiación solar para la red de estaciones, el cual debe instalarse en un punto donde no se vea afectado por el polvo.)

#### III.4.4 Frecuencia de Registro.

##### III.4.4.1 Globo Sonda Cautivo.

Durante el programa de la fase I, deberá medirse la gradiente vertical de temperatura y las condiciones del viento dos veces al día, aproximadamente una hora después de la salida del sol y una hora antes de su puesta. El número y la frecuencia de las mediciones por globo sonda correspondientes al programa de la fase II estarán determinados por los datos recogidos en la fase I.

##### III.4.4.2 Radiación Solar.

La radiación solar deberá registrarse en forma continua y promediarse (aritméticamente) cada hora.

#### III.4.5 Calibración, Mantenimiento y Garantía de Calidad

##### III.4.5.1 Globo Sonda Cautivo.

Este instrumento deberá calibrarse según las instrucciones del fabricante. Es importante graduarlo en la temperatura y presión correctas antes de su lanzamiento. Deberá registrarse tanto las mediciones altas como bajas y representarse juntas en el mismo gráfico.

##### III.4.5.2 Radiación Solar.

Todos los detectores de radiación solar necesitan de una limpieza frecuente para impedir que el material depositado en la superficie obstruya la radiación. En muchos casos, esta limpieza debe efectuarse casi a diario. La semiesfera exterior deberá lavarse y secarse con un paño sin pelusas, utilizándose alcohol de ser necesario. Cualquier raspadura en la superficie puede alterar las propiedades de transmisión del vidrio, por lo que deberá ponerse sumo cuidado en su limpieza.

Además, la radiación ultravioleta de gran intensidad, con el tiempo puede afectar el vidrio, haciendo que pierda sus propiedades de transmisión. En el caso de los piranómetros cuya semiesfera exterior se hubiera empañado por la parte interior, ésta deberá retirarse en un día seco para dejar que el aire evapore la humedad. Dado que el elemento termófilo en blanco y negro es muy frágil, deberá tenerse sumo cuidado para no dañarlo.

En un gran número de piranómetros, el desecante deberá verificarse mensualmente. Cada vez que el gel de silicio azul adquiera una totalidad blanca o rosácea deberá cambiarse o, en su defecto, regenerarse dejándolo secar en un horno a 135°C. La nivelación de los instrumentos deberá verificarse mensualmente.

#### III.4.6 Análisis de Datos.

##### III.4.6.1 Globo Sonda Cautivo.

Por cada sondeo, deberá elaborarse un gráfico de tres partes (p.ej., el de la Fig. 11) en el que se represente la temperatura, así como la velocidad y la dirección del viento en relación con la altura, respectivamente. Si el instrumento empleado también mide la humedad relativa o punto de condensación, también deberá elaborarse el gráfico correspondiente. Los datos correspondientes a las altas y bajas deberán representarse en un mismo gráfico.

La Tabla 1 contiene información sobre la relación existente entre la gradiente vertical de temperatura, la velocidad del viento y la estabilidad atmosférica.

Tabla 1.

| Grado de Estabilidad      | Gradiente Vertical de Temperatura (C/100 metros) | Velocidad del Viento (m/s) <sup>b</sup> |
|---------------------------|--|---|
| A Excesivamente inestable | >1,9   | <1.0                                    |
| B Moderadamente inestable | 1,7 a 1,9  | <2,6                                    |
| C Ligeramente inestable   | 1,5 a 1,7  | <3.1                                    |
| D Neutra (Adiabática)     | 0,5 a 1,5  | Todas las velocidades                   |
| E Relativamente Estable   | -1,5 a 0,5                                       | <2,6                                    |
| F Estable                 | <1.5   | <1,5                                    |

a Un metro por segundo equivale a 2,2 millas por hora. Cuando se utiliza este método de determinación de la estabilidad, la velocidad del viento por lo general se mide a la altura de la emisión de humo.

b La gradiente vertical de temperatura se define como la velocidad de descenso de la temperatura de la atmósfera en función de la altura. Así, una gradiente vertical positiva indica que la temperatura disminuye con la altura, mientras que una gradiente negativa indica que la temperatura aumenta con la altura.

Si la gradiente vertical de temperatura representara determinado tipo de estabilidad pero la velocidad del viento no concordara con ese tipo, se avanzará un nivel más en dirección a la estabilidad neutra (D). Si la velocidad del viento es superior a 3,1 m/s, se considerará que la estabilidad es neutra, independientemente de la gradiente vertical de temperatura.

#### III.4.6.2 Radiación Solar.

El valor por hora de la radiación solar deberá complementarse con las mediciones de la velocidad del viento a fin de generar una tabla de estabilidad basada en la información contenida en la Tabla 2 o la que se obtenga mensualmente. El formato correspondiente (Fig.12) no deberá incluir las horas nocturnas, a menos que se tenga información sobre la capa de nubes.

### III.4.6.3 Sigma Teta ( $\sigma_{\theta}$ ).

Es un cálculo muy laborioso, a menos que pueda efectuarse automáticamente en un registrador cronológico de datos. Por esta razón, se recomienda que los datos meteorológicos, específicamente los datos sobre el viento, se registren en registradores cronológicos de datos en lugar de registradores de banda. En el Apéndice B se proporciona información sobre nuestros dos fabricantes norteamericanos de registradores cronológicos de datos.

Tabla 2  
Categorías de Estabilidad Atmosférica de los Datos de Radiación Solar y del Viento

Velocidad de viento de  
superficie a 10m (m seg - 1)

|     | Insolación |          |        |      |     |
|-----|------------|----------|--------|------|-----|
|     | Fuerte     | Moderada | Ligera | Baja | 3/8 |
| 2   | A          | A-B      | B      | -    | -   |
| 2-3 | A-B        | B        | C      | E    | F   |
| 3-4 | B          | B-C      | C      | D    | E   |
| 4-6 | C          | C-D      | D      | D    | D   |

6

C

D

D

D

D

la hora. Se recomienda que se combiene cuatro cálculos sq de 15 minutos para proporcionar un valor de "una hora" con la finalidad de seleccionar la clase de estabilidad adecuada. El método es el siguiente:

$$sa(1 \text{ hora}) = \frac{s - A_{15s} - A_{30s} - A_{45s} - A_{60}}{4}$$

4

En donde: s2 A15 se calcula entre 00 y 15 minutos

En donde: s2 A30 se calcula entre 15 y 30 minutos

En donde: s2 A45 se calcula entre 30 y 45 minutos

En donde: s2 A60 se calcula entre 45 y 60 minutos

Debido a la cantidad de trabajo que se requiere para calcular manualmente los valores por hora de sq, si la velocidad y dirección del viento deben registrarse en registradores de banda, la desviación estándar podrá calcularse dividiendo el rango de direcciones en la hora entre seis. Este es un método mucho menos exacto para obtener sq y, por lo general, no es recomendable. El cuadro 3 muestra la relación entre la clase de estabilidad y la desviación estándar de la dirección del viento (sq).

### III.4.7 Informe de los Datos

Los informes trimestrales conteniendo cada uno de los gráficos del globo sonda cautivo y los resúmenes de las altitudes de inversión y los valores horarios de clases de estabilidad usando sq o radiación solar y viento, se presentarán al Ministerio de Energía y Minas en el plazo de 30 días, luego de la finalización de cada trimestre calendario. El informe EVAP deberá incluir resúmenes de los datos de la altura de inversión y datos de estabilidad a partir de las hojas de datos mensuales usando presentaciones gráficas y/o tabulares de distribuciones de frecuencia, etc.

Tabla 3

Metodo para calcular la Clase de Estabilidad Verdadera Durante las Horas de la Noche a Partir de

Clase de Estabilidad de es

Desviación de la Dirección del viento en grados

A

A s q>22,5

B

B 22,4> s q>17,5

C

C 17,5> s q>12,5

|    |                      |
|----|----------------------|
| D  | D $12,5 > s q > 7,5$ |
| 0E | E $7,5 > s q > 3/8$  |
| F  | F $3,8 >$            |

Estos criterios se aplican únicamente a las horas con luz de día, con la limitación adicional de que en el caso de velocidades de viento de 10-m superiores a 3,2m/s, las condiciones son neutrales.

En el caso de las horas de noche, deberá emplearse el siguiente cuadro para determinar la clase de estabilidad correcta dependiendo del  $s q$  calculado y de la velocidad del viento. Deberá registrarse los datos sobre clases de estabilidad derivada de  $s q$  cada hora en los formatos que se muestran en la Figura 13.

Tabla 4  
Metodo para Calcular la Clase de Estabilidad Verdadera Durante las Horas de la Noche a Partir de

| La Clase de estabilidad de es | $s q$              | Y si la velocidad del viento $u$ es (m/s) | entonces la verdadera clase de estabilidad es |
|-------------------------------|--------------------|---|---|
| A                             | $u < 2,9$          |   | F   |
| A                             | $2,9 > 3/6$        |   | E   |
| A                             | $3,6 > u$          |   | D   |
| B                             | $u < 2,4$          |   | F   |
| B                             | $2,4 > 3,0$        |   | E   |
| B                             | $3,0 > u$          |   | D   |
| C                             | $u < 2,4$          |   | E   |
| C                             | $2,4 > u$          |   | D   |
| D                             | ninguna limitación |   |   |
| E                             | ninguna limitación |   |   |

F

ninguna limitaciónb

a Para velocidades de viento mayores de 5 m/s, se empleará condiciones neutrales

b Para velocidades de viento mayores de 5 m/s, se empleará condiciones neutrales (D). En el caso de velocidades de viento entre 3 y 5 m/s, se deberá usar la categoría E.

## CAPITULO V

### III.5 Monitoreo de la Emisión de la Fuente Estacionaria.

#### III.5.1 Antecedentes.

Esta sección proporciona pautas y recomendaciones para la prueba de emisión de fuentes estacionarias. La finalidad de la prueba de emisiones (también denominada "muestreo de la fuente" y "muestreo de la chimenea"), es extraer de la chimenea o ducto una muestra que sea representativa de las emisiones de dicha fuente durante el periodo cuando el proceso se encuentre bajo condiciones operativas. Es importante retirar, transportar y analizar la muestra del flujo de gas emanado por la chimenea, básicamente, en la misma condición de emisión.

Los procedimientos de muestreo podrán diferir parcialmente en el caso de agentes contaminantes diferentes que usan instrumentación de muestreo diferente. Sin embargo, existen suficientes similitudes para justificar algunas pautas para los procedimientos de muestreo. Todas las acciones involucradas en la remoción, transporte y análisis de la muestra deberán ser exactas, reproducibles y lo suficientemente sensibles para proporcionar la información que se requiere.

El personal de monitoreo de emisión no sólo deberá seguir los procedimientos estándar de prueba, sino deberá documentar cada etapa de la prueba manteniendo registros completos y exactos.

Mientras que el muestreo de chimenea es el cálculo más exacto de las emisiones, a menudo se presenta una cantidad de emisiones "fugitivas" y fuentes de partículas asociadas a las actividades mineras, de fundición y de refinación (voladura, hornos, manipuleo de material y transporte, etc.). También se requiere los cálculos de las emisiones totales provenientes de estas fuentes de origen. En el caso de estas fuentes, a menudo se usan los factores de emisión y los balances de material (energía), siendo los primeros un promedio de varias fuentes, según condiciones diferentes, cuyo informe de resultados usa muestreos y métodos analíticos diferentes para los mismos agentes contaminantes del aire y estando sujetos los segundos a las inexactitudes de la medida de las entradas y salidas diversas.

#### III.5.2 Información de la Chimenea.

El lugar de muestreo y el número de puntos transversales afectará la calidad de la muestra recolectada. Se requiere información detallada sobre los parámetros de la chimenea y el flujo de gas para determinar el tubo recolector adecuado y la colocación de otro equipo de muestreo. Los ítemes de información específica que se requieren para cada chimenea y para el flujo de gas son: altura de la chimenea, diámetro de la chimenea, velocidad del aire de salida y temperatura del gas.

#### III.5.3 Tipos de Instrumentos Recomendados.

Las muestras de chimenea suelen clasificarse por el tipo de materia que recolectan, por lo general, gases y partículas. Existe a disposición muchos sistemas de recolección diferentes. Por lo general, el fabricante dispone los procedimientos, la calibración y el mantenimiento específicos. En forma adicional, los métodos específicos detallados para medir los parámetros de chimenea, efectuar el muestreo y analizar una gran cantidad de productos químicos específicos en partículas y gas se consignan en un manual publicado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América. Otra referencia adecuada relativa a los procedimientos de muestreo es el Manual de Muestreo y Análisis de Powels y colaboradores.

#### III.5.4 Responsabilidad de la Compañía.

Cada compañía minera o metalúrgica que presenta un inventario de emisiones (véase la sección II.2, precedente) también deberá presentar, al inicio de la fase I, una descripción del programa de procedimientos de muestreo de chimenea que se emplearán en su mina, fundición o en sus instalaciones de refinería. Esta descripción del programa deberá incluir información vinculada a procedimientos específicos que se emplearán en cada una de las siguientes actividades:

- q Determinación de la velocidad del gas emanado por la chimenea y del flujo volumétrico de cada fuente estacionaria (chimenea y gas fugitivo).

- q Determinación de humedad de los gases de chimenea.

- q Determinación de emisiones de partículas emanadas de cada fuente estacionaria.

- q Determinación de neblinas sulfúricas y de dióxido de azufre de cada fuente estacionaria.

- q Determinación de plomo y otras emisiones de partículas químicas emanadas de cada fuente estacionaria.

q Para cada una de las actividades antes indicadas, la descripción del programa deberá incluir los siguientes ítemes:

- q Descripción de los instrumentos que se emplearán.

- q Procedimientos para calibración.

- q Operaciones de muestreo previo.

- q Medidas en el punto de muestreo.

- q Operaciones posteriores al muestreo.

- q Cálculos que se efectuarán para determinar las concentraciones de la emisión.

- q Descripción del programa de mantenimiento.

q El programa del muestreo de chimenea para cada emisión deberá incluirse en la descripción del programa.

#### III.5.5. Informes de Datos.

Se proporciona varios formularios para ser utilizados en las operaciones de muestreo de chimenea (Fig. 14-1-31). Estos formularios deberán completarse para cada operación de muestreo de chimenea. Las copias completas de estos formularios deberán incluirse con información resumida en el informe trimestral que se presente al Ministerio de Energía y Minas. Este informe deberá remitirse a más tardar 30 días después de la finalización de cada trimestre. Se deberá presentar un informe anual o reporte EVAP que resume los datos relativos al flujo y a las concentraciones de la emisión correspondientes al año calendario (contando además con un mes adicional de plazo) al Ministerio de Energía y Minas el 31 marzo del año siguiente de la publicación de la presente guía.

N° de ejecución .....

Fecha ..... Planta .....  
 Ubicación de muestreo .....  
 Presión Barométrica .....  
 Temperatura del Ambiente °C ..... Temperatura de la chimenea °C .....  
 Operador .....

Tiempo

Punto Transversal

Medidor de la Velocidad de Flujo, velocidad /Q(cm3/min  
 % Dev. a

$$a:\%Dev, = ( Q - Q \text{ promedio}) 100; \text{ debe ser } < 10\%$$

Qpromedio

Figura 14 -4

FORMULARIO DE REVISION DEL TUBO DE PITOT TIPO S

Nivel de montaje de tubo pitot? ..... si .....  
 Aberturas de tubo de Pitot dañados?  
 ..... si (explique abajo) ..... no  
 a1= ..... °(<10°) a2 ..... °(<10°), B1 ..... °  
 (<5) B2= ..... ° (<5)  
 a= ..... ° O= ..... ° A=.....  
 cm(pulg)  
 Z=A sen a = ..... cm (pulg); < 0.32 cm (<11/38 pulg)  
 W= A sen O= ..... cm (pulg); <0.008 cm (<11/32 pulg)

Pa ..... cm (pulg) Pb ..... cm (pulg)

Dt = ..... cm (pulg)

Observaciones

¿Necesita calibración ? ..... si ..... no

Figura 14 -5

FORMULACION DE LA CALIBRACION DEL TUBO DE PITOT

Calibración del Tubo de Pitot : Tipo ..... Tamaño (Diámetro externo) .....

N° de identificación .....

Número de identificación del tubo Pitot Tipo S .....

Cp(estándar ) = .....

Calibración : fecha : ..... Realizada por .....

AP std  
Cm (pulg)  
H2O

AP s-  
Cm (pulg)  
H2O

Cn(s)a

DEV b

Promedio

AP std  
Cm (pulg)  
H2O

AP s-  
Cm (pulg)  
H2O

Cn(s)a

DEV b

Promedio

Figura 14-6 FORMULACION DE LA CALIBRACION DEL SENSOR DE TEMPERATURA DE LA CHIMENEA

Fecha ..... N° de temoculpa .....  
Temperatura ambiente ..... ° C  
Presión Barométrica ..... Pulg (HG)  
Referencia : mercurio en vidrio :

Otro .....

N° de punto de referencia

Fuente (especificar)

Temp, del termómetro de referencia °

Temp., del potenciómetro de referencia °C

Diferencia de Temp°

a Cada 30 OC (50OF) para cada punto de referencia

b Tipo de sistema de calibración utilizado

c (temp. de referencia, OC + 273) - (temp. del termómetro de prueba, OC + 273)

(temperatura de referencia, OC + 273)

FORMULARIO DE CALCULO Y DATOS DE CALIBRACION DE LA CAJA DEL MEDIDOR  
(Unidades Métricas)

NOMENCLATURA

Vw = Volumen del gas al pasar a través del medidor de prueba húmedo m<sup>3</sup>

Vd = Volumen del gas al pasar a través del medidor de gas seco, m<sup>3</sup>

tw = Temperatura del gas en el medidor de prueba húmedo, oC

td1 = Temperatura de la entrada de gas en el medidor de gas seco oC

tdo = Temperatura promedio del gas en el medidor de gas seco obtenido del promedio de tdi y tdo, °C

DH = Presión diferencial a través del orificio, mm H<sub>2</sub>O

Y1 = Razón de transformación promedio del medidor de prueba al medidor de gas seco por cada seis pruebas,  
tolerancia  $Y = + 0.02 Y$

Y = Razón de transformación promedio del medidor de prueba húmedo al medidor de gas seco por cada seis pruebas, tolerancia  $Y = Y + 0.01Y$

DH@I = Presión diferencial del orificio en cada nivel de flujo que da 0.021 m<sup>3</sup> de aire en condiciones normales  
para cada prueba de calibración, mm H<sub>2</sub>O; tolerancia  $DH@i = H@a + 3.8 \text{ m H}_2\text{O}$

DH = Presión diferencial promedio del orificio en cada nivel de flujo que da 0.021 m<sup>3</sup> de aire en condiciones normales para cada seis pruebas, mm H<sub>2</sub>O; tolerancia  $DH@ = 46.74 + 6.3 \text{ mm H}_2\text{O}$  (recomendado)

q = Duración de cada prueba de calibración

Pb = Presión barométrica, mm Hg.

## CAPITULO VI

### III.6 Monitoreo de la Polución del Aire del Ambiente.

#### III.6.1 Partículas.

##### III.6.1.1. Antecedentes.

Las partículas totales suspendidas (TSP) tienen mucha importancia, principalmente, debido a su impacto en la visibilidad; al daño a la vegetación y al suelo. Se ha demostrado que las partículas más pequeñas con un diámetro menor o igual a 10 micrones (PM10) tienen una importancia significativa para la salud humana, dado que, a menudo, las partículas en este rango de tamaño ingresan y permanecen en los pulmones.

Dado que, hasta la fecha, la República del Perú no ha promulgado estándares para agentes contaminantes específicos y debido a que las mediciones de PM10 son mucho más difíciles y/o costosas que las de TSP, sólo se requerirá monitoreo de TSP para el programa de monitoreo de la fase I. Sin embargo, puede ser necesario mediciones de PM10 en el programa de la fase II.

En esta sección se brinda información para establecer y operar muestreadores TSP y PM10. Dado que la mayor parte del personal de compañías mineras y metalúrgicas cuentan con poca o ninguna experiencia para recolectar datos sobre partículas, la presente sección proporciona pautas detalladas para obtener estas medidas. En el apéndice C se brinda información adicional sobre la operación y calibración del muestreador TSP de alto volumen.

##### III.6.1.2 Principio de Operación-TSP.

El aire del ambiente se hace ingresar a un recinto cubierto y se pasa a través de un filtro mediante un ventilador de gran flujo a 1,1-1,7 m<sup>3</sup>/min (39-60 pies<sup>3</sup>/min.) (Fig. 15). Esto permite que partículas suspendidas que tengan diámetros (aerodinámicos) de menos de 50 micrones se concentren en la superficie de un filtro. La concentración de la masa de partículas suspendidas en la atmósfera se calcula midiendo la masa de las partículas recolectadas así como el volumen del aire muestreado.

##### III.6.1.3. Principio de la Operación - PM10.

La masa de una partícula se muestra por la siguiente ecuación:

$$M = 4/3 \rho R^3$$

A partir de esta ecuación, puede observarse que, dado que la masa es proporcional al cubo del radio de la partícula, una partícula de 20 micrones pesará 8 veces más que una partícula de 10 micrones. Por ello, a menudo, las mediciones TSP presentan desviaciones por la presencia de algunas partículas relativamente grandes en el filtro. El muestreador TSP de alto volumen extrae el aire bajo el borde de la cubierta del instrumento, (Fig.15). Por otro lado, el muestreador

PM10, pasa el aire a través de un sistema ciclónico de entrada para retirar las partículas con un diámetro mayor o igual a 10 micrones antes de que ingrese a través del filtro (Fig. 16).

#### Figura 15 MUESTREADOR PROTEGIDO TSP DE ALTO VOLUMEN

##### III.6.1.4. Tipo de Instrumentos Recomendados.

Los muestreadores estándar de alto volumen son fabricados en los Estados Unidos por General Metals Corp. y por Wedding and Associates. La compañía Kimoto en el Japón también fabrica instrumentos de alto volumen de buena calidad que funcionan a 220v de potencia eléctrica. Tanto General Metals como Wedding and Associates fabrican los muestreadores PM10. Un fabricante adicional del muestreador PM10 es Rupprecht and Patashnick Co. de Nueva York. Su muestreador de ambiente PM10 TEOM serie 1400a tiene la ventaja de ser completamente automático, proporcionando monitoreo prácticamente continuo de las partículas pequeñas. Desafortunadamente, la desventaja de este instrumento es su costo excesivo. En el apéndice D se proporciona información referente a los instrumentos que se fabrican en los Estados Unidos de América.

##### III.6.1.5 Ubicación de Instrumentos.

El muestreador de alto volumen deberá instalarse en una ubicación muy expuesta y a una distancia de, por lo menos, 4 metros de la edificación u otra estructura más cercana. El muestreador deberá colocarse en una plataforma, de modo que el filtro se encuentre entre 2 y 3 metros sobre la superficie. Para efectos de seguridad, deberá colocarse el instrumento en un recinto cercado por cadenas en donde el filtro se encuentre, por lo menos, a 2 metros de la cerca más próxima.

##### III.6.1.6 Frecuencia de Registro.

Deberá efectuarse mediciones de 24 horas a intervalos de 3 días (Fig. 17). Esto permitirá que se recolecte muestras cada día de la semana, por lo menos, una vez cada mes. El muestreo deberá iniciarse y finalizar a la medianoche (o entre 8.00 a.m. y 8.00 a.m.).

##### III.6.1.7 Procedimientos de Operación.

Dado que es muy importante que todos los muestreos de partículas se efectúen exactamente del mismo modo y en todas las locaciones o estaciones de monitoreo, en el apéndice C se proporciona un conjunto detallado de procedimientos de operación.

##### III.6.1.8 Calibración, Mantenimiento y Garantía de Calidad.

###### III.6.1.8.1 Calibración.

Es necesario que se calibre todos los muestreadores de alto volumen, por lo menos, cada seis meses. Si se efectúan cambios

significativos en el régimen de flujo o se instalan nuevas escobillas de motor, deberá recalibrarse el instrumento en esa oportunidad. En el apéndice C se proporciona instrucciones, etapa por etapa, para calibrar los instrumentos de alto volumen.

#### III.6.1.8.2 Mantenimiento.

Los principales problemas de mantenimiento radican en el reemplazo de las escobillas de motor. Algunos instrumentos se encuentran actualmente equipados con motores sin escobilla, eliminando así esta fuente de problemas. En el caso de motores con escobilla, normalmente las escobillas deberán reemplazarse después de, aproximadamente, 400 horas de uso. Para estabilizar el flujo de aire después del reemplazo de la escobilla, deberá hacerse funcionar el motor durante 20 a 30 minutos antes de tratar de realizar la calibración.

Una empaquetadura de placa frontal usada está caracterizada por una mezcla gradual de la interface ente las partículas recolectadas y el borde limpio del filtro. Cualquier disminución en la precisión de esta interface indica la necesidad de una nueva empaquetadura.

1. Retire la empaquetadura usada con un cuchillo.
2. Limpie la superficie.
3. Selle una nueva empaquetadura a la placa frontal con pegamento de caucho o una cinta adhesiva de doble lado.

Limpie y recalibre el rotámetro cuando el flotador (bola) se muestre errático o cuando se detecte humedad de materia extraña en el tubo.

El cronómetro, el controlador de flujo y el contador o registrador del tiempo de funcionamiento, por lo general, requieren poco mantenimiento. Su operación correcta deberá verificarse durante el periodo de funcionamiento, por lo menos, una vez al mes.

#### III.6.1.8.3 Garantía de Calidad.

No se define la precisión absoluta del método de alto volumen debido a la naturaleza compleja de la materia conformada por partículas atmosféricas y a la dificultad para determinar la "verdadera" concentración de la materia particulada. Existen varias fuentes de error inherentes que, con cuidado, pueden mejorar la precisión del instrumento. Estas son:

- v Variaciones del flujo de aire. La determinación de la concentración de partículas asume que la deposición ocurre uniformemente durante el periodo del muestreo y que el régimen de flujo disminuye uniformemente con el aumento de la carga de partículas. El error resultante de un flujo no constante depende de la magnitud de los cambios instantáneos en el régimen de flujo y en la concentración de la materia particulada. El rango aproximado de concentración de las partículas recolectadas es de 2 a 750+ gm/m<sup>3</sup>. El límite superior está determinado por el

punto en el cual el muestreador no puede mantener por más tiempo el régimen de flujo especificado debido al aumento del descenso de la presión del filtro cargado. Este punto se ve afectado por la distribución del tamaño de partícula, la humedad y la variabilidad del filtro. Estos errores pueden reducirse equipando el muestreador con un mecanismo automático de control de flujo.

v Medición del volumen de aire. Si el régimen de flujo cambia en forma sustancial o no uniforme durante el periodo de muestreo, puede presentarse un error de consideración en el volumen estimado de aire como producto de usar el promedio de las lecturas del rotámetro que se efectuaran antes y después del muestreo. Se recomienda usar un registrador de flujo continuo, particularmente, si el muestreador no se encuentra equipado con un controlador constante de flujo.

v Pérdida de partículas volátiles. Las partículas volátiles recolectadas en el filtro pueden perderse durante el tránsito y/o almacenamiento del filtro, antes del pesaje previo al muestreo. Aunque dichas pérdidas pueden evitarse, deberá pesarse nuevamente el filtro tan pronto como sea posible, después del muestreo.

v Materia particulada extraña. Son partículas no contaminantes, específicamente, pequeños insectos voladores que a veces son atrapados en el filtro. Estos deberán retirarse cuidadosamente antes del pesaje.

v Humedad. Los filtros de fibra de vidrio son comparativamente insensibles a los cambios en la humedad relativa. La materia particulada recolectable puede ser higroscópica. Los filtros deberán almacenarse en la habitación de pesaje antes y después de la exposición. Deberá dejarse transcurrir el tiempo suficiente para permitir que los filtros se equilibren al nivel de temperatura y humedad en esta habitación.

#### Manejo del filtro.

Es necesario manejar con extremo cuidado el filtro entre los pesajes anteriores y posteriores al muestreo con la finalidad de evitar errores debido a la pérdida de fibras o partículas del filtro. El cartucho o casete de papel de filtro puede reducir al mínimo los errores de manejo (Fig. 18).

La materia particulada no muestreada. La materia particulada no muestreada podrá ser depositada por el viento durante los periodos cuando el muestreador se encuentra inoperativo. La instalación oportuna y la recuperación de filtros puede reducir este problema al mínimo. Los periodos de fuertes vientos deberán anotarse en la hoja de datos.

Errores por Tiempo Cronometrado. Por lo general, los muestreadores se controlan mediante cronómetros de tiempo programados para iniciar y finalizar el muestreo a medianoche. Pueden presentarse errores debido a:

- (1) poca precisión de los puntos de programación del cronómetro,

- (2) error del cronómetro debido a interrupción de la energía,
- (3) errónea programación del cronómetro o
- (4) inadecuado funcionamiento del cronómetro.

Por lo general, los cronómetros electrónicos digitales tienen una mejor precisión de punto de programación que los cronómetros mecánicos, pero requieren una batería de respaldo para mantener la continuidad de las operaciones después de la interrupción de la energía. Un registrador de flujo continuo o un contador del tiempo de funcionamiento proporciona una indicación del tiempo de ejecución del muestreador, así como una indicación de cualquier interrupción de energía durante el periodo de muestreo.

#### III.6.1.9 Análisis de los Datos.

El análisis de los datos de las partículas totales suspendidas es un proceso de cuatro etapas que incluye

- (a) calcular el régimen de flujo promedio,
- (b) corregir el régimen de flujo a la presión y temperatura atmosféricas estándar,
- (c) calcular el volumen de aire, según condiciones estándar y
- (d) calcular la concentración TSP.

En el apéndice C se presenta un ejemplo del cálculo.

#### III.6.1.10 Informe de los Datos.

Los datos TSP deberán reportarse en el formato que se muestra en la Fig. 19. Este formato deberá presentarse junto con la calibración y cualquier otra información pertinente al Ministerio de Energía y Minas dentro de un plazo de 30 días (el cuarto mes) siguiente a la finalización de cada trimestre calendario. Deberá presentarse un informe anual o reporte EVAP, resumiendo las mediciones efectuadas para cada estación en la red al Ministerio el 31 de marzo del año siguiente, después de trece meses de la publicación de la presente guía.

Las variables importantes que afectan el diseño múltiple del muestreo son el diámetro, la longitud, el régimen de flujo, el descenso de la presión y los materiales de construcción. Para esta red, se recomienda construir un sistema múltiple convencional de pyrex y/o teflon. Un sistema típico (Fig. 20) consiste de un tubo sobresaliente (tipo "bastón de caramelo") que atraviesa el techo de la caseta de monitoreo con un colector de muestreo horizontal conectado por una unión en "t" a la sección vertical. Conectada a la otra salida vertical de la unión en "t" se encuentra una botella para recolectar las partículas pesadas y la humedad antes de que ingresen a la sección horizontal. El dispositivo de admisión de muestra se dotará de un embudo invertido de vidrio conteniendo una malla para mantener la lluvia, nieve e insectos fuera del colector. En forma alternativa, la sección horizontal puede extenderse a través de la pared lateral del edificio, en cuyo caso el dispositivo de admisión deberá extenderse

a mayor distancia de la parte exterior del edificio, y filtrarse para evitar que el polvo, insectos y humedad ingresen al colector.

El colector horizontal deberá tener, por lo menos, un diámetro de 5 cm. Un pequeño ventilador, 1 700 l/minuto a 0 cm de la presión estática del agua se encuentra al final del escape del sistema para proporcionar un flujo de aire a través del sistema de aproximadamente 85 a 140 litros/minuto.

Deberá tenerse mucho cuidado para no colocar el dispositivo de entrada cerca a las salidas de aire como, por ejemplo, aberturas del ventilador del escape.

### III.6.2.3 Frecuencia del Registro.

Las concentraciones de SO<sub>2</sub> deberán registrarse continuamente y promediarse cada hora. Por ejemplo, las mediciones efectuadas entre las 7:00 y las 8:00 am se deberán promediar aritméticamente y reportarse como los datos de las 8:00 am.

## FIGURA 18

### III.6.2.4 Calibración, Mantenimiento y Garantía de Calidad.

#### III.6.2.4.1 Calibración.

Debido a los diferentes principios de operación de los diversos instrumentos usados para el monitoreo continuo de SO<sub>2</sub>, no es posible proporcionar pautas estrictas para la calibración de los sistemas. Una calibración primaria para cada analizador ambiental de dióxido de azufre y el sistema de registro de datos afines se realizará a intervalos especificados por el fabricante, los mismos que no podrán ser superiores a tres meses.

La calibración primaria deberá cumplir con los siguientes requisitos:

1. Deberá realizarse de acuerdo con las especificaciones del fabricante, haciendo uso de equipo de calibración aprobado por el Ministerio de Energía y Minas.
2. Deberá efectuarse para un mínimo de cinco concentraciones a cero y aproximadamente a un cuarto, a un medio, a tres cuartos y a una escala completa.
3. De ser posible, deberá efectuarse en el lugar del monitoreo.
4. Se deberá aplicar un factor de corrección de presión/altitud, aprobado por el Ministerio de Energía y Minas, a los datos provenientes de los analizadores no calibrados en el lugar de la instalación.

Deberá acatarse cuidadosamente las instrucciones del manual de instrucciones del fabricante. Cuando la experiencia operativa revele la necesidad de adiciones o modificaciones a las instrucciones del fabricante, se deberá efectuar tales adiciones o modificaciones y presentar un registro escrito al Ministerio de Energía y Minas incluido en el informe trimestral.

#### III.6.2.4.2 Mantenimiento.

Después que se ha elegido e instalado el dispositivo de muestreo y/o un colector adecuadamente diseñados, las siguientes etapas lo ayudarán para mantener condiciones constantes de muestreo.

1. Conduzca periódicamente una prueba de fuga para el colector. Selle todos los orificios y disminuya el bombeo hasta aproximadamente 1,25 cm de agua, tal como se indica mediante un manómetro de vacío o manómetro conectado a uno de los orificios. Aisle el sistema. La medición del vacío no deberá mostrar ningún cambio una vez transcurridos 15 minutos.

2. Establezca técnicas de limpieza y una programación. Un colector de gran diámetro podrá limpiarse jalando a través de éste una tela envuelta a lo largo de una cuerda. De lo contrario, el colector deberá desmontarse periódicamente y limpiarse con agua y jabón. No deberá permitirse que se acumule la suciedad visible.

La cubierta deberá mantenerse limpia y la temperatura controlada para evitar el congelamiento o recalentamiento de los instrumentos. Deberá seguirse las instrucciones del fabricante para el control ambiental de la cubierta.

De ser posible, las verificaciones del cumplimiento del mantenimiento del equipo, de la calibración y de la precisión deberán efectuarse durante las horas en que la concentración ambiental de SO<sub>2</sub> sea cero. Si dichas actividades, y/o auditorías no pudieran efectuarse cuando la concentración de SO<sub>2</sub> es cero, deberán ponerse en funcionamiento con la finalidad de evitar interrupciones de datos cuando las concentraciones de SO<sub>2</sub> son más altas que el antecedente.

#### III.6.2.4.3 Garantía de Calidad.

Las verificaciones de precisión in situ deberán efectuarse, por lo menos, dos veces a la semana, y deberán cumplir con los siguientes requisitos:

1. Efectuarse con el mismo equipo usado para la calibración del analizador primario o mediante fuentes equivalentes verificadas.

2. Las verificaciones de precisión deberán efectuarse para una concentración de SO<sub>2</sub> cero y para una concentración entre un cuarto y tres cuartos del rango del analizador.

- 3 Si la salida del analizador para cualquiera de las verificaciones de precisión se desvía más del  $\pm 15\%$  de la concentración estándar de gas o 1% de su escala total, cual fuera mayor, deberá efectuarse una calibración primaria del analizador. Los datos del ambiente medidos por el analizador se invalidarán regresando a la calibración previa o a la verificación de precisión previa. Si se determinara que la precisión semanal hubiera sido ocasionada por una fuente externa al analizador, el operador deberá identificar y corregir el problema y ejecutar nuevamente la verificación de precisión. La éxito de la ejecución de la verificación de precisión evita la necesidad

de tener que realizar otra calibración primaria. Los datos del ambiente deberán invalidarse, tal como se requiere anteriormente, a menos que la causa de la imprecisión hallada en la verificación inicial no afectara la precisión de los datos del ambiente medidos durante el periodo anterior a la verificación.

Los siguientes formatos, (las Figs. 21-1-6) u otros similares desarrollados por la compañía deberán completarse para cada calibración y mantenimiento de la instrumentación del SO<sub>2</sub>. Deberá presentarse una copia al Ministerio de Energía y Minas junto con los informes trimestrales y la compañía deberá conservar una segunda copia en sus archivos.

Además de la calibración de los instrumentos, que deberá efectuarse a intervalos, según las recomendaciones del fabricante, deberá verificarse, grabarse y ajustarse lo siguiente, de ser necesario, por lo menos una vez al mes:

- (a) el régimen de flujo de la muestra de aire,
- (b) cero o línea base,
- (c) rango de temperatura dentro del edificio,
- (d) condiciones inusuales, tales como: altas concentraciones de los agentes contaminantes visibles u olorosos, filtraciones, línea de muestra defectuosa u otras condiciones que puedan afectar las operaciones y la exactitud del analizador.

## FORMULARIO DE CALIBRACION

1 Estación ..... 2. Analizador .....

.....

.....

3 Calibración realizada por ..... Fecha .....

4 Calibrador Utilizado .....

5 SO2 estándar .....

Verificado con NBS - SRM .....

por ..... Fecha .....

6 Flujo medido con ... ..

7 Presión barométrica ..... mm Hg, Temperatura de protección.....°C

8 Analizador de medidas de flujo ..... Hidrógeno.....

9 Establecimiento del indicador cero.....

Establecimiento del indicador de extensión .....

10 Temperatura de equilibrio de penetración .....°C

Nivel de protección (PR) ..... Hg / min

11 Temperatura en la cual se midió el nivel de flujo de aire (AT) .....°C

12 Presión del vapor de agua en temperatura (AT) ..... mm Hg

### III.6.2.5 Análisis de los Datos.

La concentración de SO<sub>2</sub> deberá registrarse en un registrador de banda o en un registrador cronológico de datos. Los promedios de los concentrados de SO<sub>2</sub> de 1, 3 y 24 horas deberán registrarse en el formulario que se muestra en la Fig. 22.

## FORMULARIO DE CALIBRACION PARA INSTRUMENTOS DE MEDICION DE SO2 EN EL AMBIENTE

1 Estación ..... 2. Analizador .....

.....

.....

3 Calibración realizada por ..... Fecha .....

4 Calibrador Utilizado .....

5 SO2 estándar .....

Verificado con NBS - SRM .....

por ..... Fecha .....

6 Flujo medido con ... ..

7 Presión barométrica ..... mm Hg, Temperatura de protección.....°C

8 Analizador de medidas de flujo ..... Hidrógeno.....

9 Establecimiento del indicador cero.....

Establecimiento del indicador de extensión .....

10 Temperatura de equilibrio de penetración .....°C

Nivel de protección (PR) ..... Hg / min

11 Temperatura en la cual se midió el nivel de flujo de aire (AT) .....°C

12 Presión del vapor de agua en temperatura (AT) ..... mm Hg

### III.6.2.6 Informe de Datos.

Los informes trimestrales que contengan resúmenes mensuales y los formatos que muestren la información de las

concentraciones de SO<sub>2</sub> de 1, 3 y 24 horas deberán presentarse al Ministerio de Energía y Minas, dentro de un plazo de 30 días, contados a partir de la finalización de cada trimestre calendario. También se deberá presentar un informe anual o reporte EVAP (antes del 31 de marzo de 1995). El informe anual deberá incluir resúmenes de los datos del SO<sub>2</sub> provenientes de las hojas de datos, usando distribuciones de frecuencia, etc.

### III.6.3 Plomo y otras Partículas de Metal.

#### III.6.3.1 Antecedentes.

Se emite a la atmósfera un gran número de diferentes, metales provenientes de las actividades de la minería, fundición y refinación de minerales. Muchos de ellos son tóxicos para las personas, animales y plantas. Se ha desarrollado técnicas para muestrearlos de las fuentes de emisión y del aire del ambiente. La presente sección se concentrará en el monitoreo del plomo en la atmósfera del ambiente, sin embargo, esto no significa que otros metales tóxicos o peligrosos como arsénico, cadmio, selenio, etc., no necesiten ser monitoreados. El Ministerio de Energía y Minas revisará el inventario de emisiones de cada compañía para determinar qué agentes contaminantes particulados deberán incluirse en el programa de monitoreo de la compañía.

#### III.6.3.2 Tipo de Instrumentos Recomendados.

El plomo y otros contaminantes metálicos forman parte del material particulado recolectado por el muestreador TSP. Cuando se opera el muestreador durante 24 horas, a un régimen de flujo promedio de 1,7 m<sup>3</sup>/min, se obtiene una muestra adecuada, aún en el caso de una atmósfera que tenga una concentración de partículas suspendidas tan baja como 1 ug/m<sup>3</sup>. Por lo general, el tamaño de la muestra, es adecuado para otros análisis de metales. La concentración de plomo, normalmente, se determina mediante el análisis, usando espectrofotometría de absorción atómica.

#### III.6.3.3 Ubicación de los Instrumentos.

La muestra de plomo se toma del filtro usado en el muestreador de alto volumen. Dado que el plomo es particularmente tóxico para los seres humanos, especialmente para los niños, el muestreador ubicado en el centro de la población es muy importante.

#### III.6.3.4 Frecuencia de Registro.

Para la fase I, deberá analizarse las bandas del filtro de la muestra TSP para verificar el plomo de cada día medido a través de cada muestreador de la red. Dado que, por lo general, el plomo es bastante estable mientras se encuentra en los filtros del sobre que se almacena después del pesaje posterior al muestreo, deberá permitirse que se acumulen suficientes bandas hasta que se pueda efectuar el examen de una sola vez.

#### III.6.3.5 Procedimientos de Operación.

En el apéndice E se proporciona detalles para el análisis de plomo en los filtros TSP. Los detalles para el análisis de rutina de

otros metales no se incluye en este manual, pero podrán obtenerse en el Ministerio de Energía y Minas.

Para el espectrómetro de absorción atómica equipado con una lámpara de cátodo hueco de plomo o una lámpara de descarga sin electrodo con una reproducibilidad dentro de  $\pm 5\%$ , el rango típico del plomo es de 0,07 para 7,5  $\mu\text{g Pb/m}^3$ . Las sensibilidades típicas para un cambio del 1% en la absorción (0,0044 unidades de absorción) son de 0,2 y 0,5  $\mu\text{g Pb/ml}$  para las líneas 217,0 y 283,3, respectivamente. Un límite detectable bajo típico (LDL) es 0,07  $\mu\text{g Pb/m}^3$  cuando se asume un volumen de aire de 2400  $\text{m}^3$ . Los valores absolutos variarán con el tipo de instrumento, la longitud de onda de absorción usados, así como con las condiciones de operación del instrumental.

### III.6.3.6 Calibración, Mantenimiento y Garantía de Calidad.

#### III.6.3.6.1 Calibración.

La calibración del equipo es una de las funciones más importantes para mantener una buena calidad de datos; por ello, el equipo analítico y de muestreo que se emplea para determinar la concentración de plomo deberá calibrarse en forma regular. El fabricante proporciona los detalles para la calibración. En el apéndice E se proporciona un procedimiento general para la calibración.

Todos los datos y cálculos vinculados a las calibraciones deberán consignarse en un registro de calibración, que deberá tener una sección separada para cada instrumento, aparato y muestreador.

#### III.6.3.6.2 Mantenimiento.

Los ajustes y reparaciones principales del espectrómetro de absorción atómica normalmente requieren el servicio del fabricante o de su representante. La sensibilidad del instrumento depende de varios factores como la alineación de la lámpara catódica de vacíos, de la limpieza de los sistemas ópticos, del cuerpo del quemador y del nivel de calibración de la red de difracción. Si no es posible un cambio de 1% en la sensibilidad de absorción o una reproducibilidad de 5%, el fabricante o un operador calificado deberá verificar el instrumento.

Una programación de mantenimiento preventivo del equipo de muestreo y del espectrómetro de absorción atómica dará como resultado una reducción en el tiempo de la paralización y en el mantenimiento de reparación que se requiera. En la sección V se consigna el mantenimiento del muestreador de alto volumen. Únicamente un operador calificado podrá realizar los siguientes procedimientos generales de mantenimiento para el espectrómetro de absorción atómica.

1. Fuente de Luz: Cuando los problemas se indican a través de una fuente de luz, verifique la consola para el montaje de la lámpara de catódica de vacío o la lámpara de descarga sin electrodo o la conexión de la lámpara y asegúrese de que el instrumento esté enchufado, encendido y haya calentado. Si los voltajes de la línea son bajos, opere la fuente de energía desde un autotransformador de relación regulable que se ha programado para

proporcionar voltajes máximos. Las fluctuaciones del medidor de corriente de la lámpara pueden reducirse usando un transformador sinusoidal de voltaje constante.

2. Respuesta de No Absorbancia. Asegúrese que la lámpara esté encendida, debidamente alineada y que la longitud de onda, la ranura y los controles del rango se hayan ajustado adecuadamente. Si el medidor no puede colocarse en cero

(a) ajuste el nivel del cuerpo del quemador para evitar interceptar el haz luminoso y

(b) limpie la lámpara y la ventana o las ventanas de cubierta del fotómetro con una solución diluida de detergente suave y enjuáguelas varias veces con agua destilada. Las ventanas o los lentes sucios constituyen un problema cuando se opera el instrumento por debajo de 230 nm.

3. Lectura con Interferencia, Flama Encendida: Verifique la dirección de la corriente de la lámpara, el régimen de flujo del combustible y del oxidante y el tubo de aspiración para asegurarse que el drenaje es el adecuado; el nebulizador para verificar corrosión alrededor de la boquilla; el ajuste del tubo capilar del nebulizador, el cuerpo del quemador (puede requerir limpieza con una hoja de afeitar), la presión del cilindro de acetileno, la presión de aire y el filtro de la línea de aire.

4. Baja Sensibilidad (dentro del 50% de la sugerida en el manual del método analítico): Verifique la sensibilidad obtenible para otros elementos con la finalidad de determinar que la baja sensibilidad no se debe a la lámpara usada. Verifique el ancho de la ranura, la longitud de onda, la programación del rango, la alineación del quemador, el ajuste del tubo capilar nebulizador y el régimen de flujo del combustible/oxidante para determinar que son los óptimos para el elemento que se analizará. Asegúrese que el amperaje de la lámpara no se encuentre sobre el valor recomendado, verifique la alineación de la lámpara y la concentración de la solución patrón usada.

Todos los demás problemas de mantenimiento como por ejemplo la limpieza de espejos o redes de difracción deberá discutirse con el fabricante o con el representante de servicios.

#### III.6.3.6.3. Garantía de Calidad.

En este tipo de análisis fotométrico, la concentración de la muestra y particularmente la concentración del reactivo y de las soluciones patrón son de la mayor importancia para la exactitud de la determinación. Las muestras y las soluciones patrón de metal deberán prepararse con cuidado y precisión.

#### III.6.3.7. Análisis de Datos.

En el apéndice C se consignan los detalles para calcular la concentración de plomo en la atmósfera a partir de las muestras recolectadas del filtro TSP.

#### III.6.3.8. Informe de Datos.

Para informar la concentración de plomo se empleará un formato similar al que se usa para informar el TSP. En la Fig. 23 se proporciona un ejemplo de este formato. Los informes quincenal y anual deberán presentarse al Ministerio de Energía y Minas.