



**INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS
AMBIENTALES**
Subdirección de Estudios Ambientales

**MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES EN
FUENTES FIJAS**

**MÉTODO 3B - ANÁLISIS DE GASES PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE
CORRECCIÓN DE LA TASA DE EMISIÓN O EXCESO DE AIRE**

VERSIÓN No. 1.0

Fecha: Febrero de 2011

CORRESPONDENCIA: Este método es equivalente al Código Federal de Regulación (Code Federal of Regulations) CFR 40 parte 60 ANEXO A de los Estados Unidos de América.

Preparó: Mario F. Guerrero- IDEAM
Revisó: Carlos Rodríguez - MAVDT
Aprobó: Margarita Gutiérrez - IDEAM

CONTENIDO

1. ALCANCE Y APLICACIÓN	3
2. RESUMEN DEL MÉTODO	3
3. DEFINICIONES. [RESERVADO]	3
4. INTERFERENCIAS.....	3
5. SEGURIDAD.	4
6. EQUIPO Y SUMINISTROS.	4
7. REACTIVOS Y ESTÁNDARES	4
8. COLECCIÓN DE LA MUESTRA, Y ANÁLISIS.....	4
9. CONTROL DE CALIDAD.	6
10. CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN.....	6
11. PROCEDIMIENTO ANALÍTICO	6
12. ANÁLISIS DE DATOS Y CÁLCULOS.....	7
13. MÉTODO DE EJECUCIÓN. [RESERVADO].....	9
14. PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN [RESERVADO]	9
15. MANEJO DE RESIDUOS [RESERVADO]	9
16. REFERENCIAS	9
17. TABLAS, DIAGRAMAS, CARTAS DE FLUJO, Y VALIDACIÓN DE DATOS.....	9

Nota: Este método no incluye la totalidad de las especificaciones (por ejemplo, equipo y suministros) y los procedimientos (por ejemplo, muestreo y análisis) esenciales para su desempeño. Algunos materiales son incorporados por referencia de otros métodos en este código. Por lo tanto, para obtener datos resultados confiables, las personas que utilizan este método deben tener un amplio conocimiento de al menos los siguientes métodos de ensayo adicionales: Método 1 y 3.

1. ALCANCE Y APLICACIÓN

1.1 Analitos

Analitos	Cas No.	Sensibilidad
Oxígeno (O ₂)	7782-44-7	2.000 ppmv
Dióxido de Carbono (CO ₂)	124-38-9	2.000 ppmv
Monóxido de Carbono (CO)	630-08-0	N/A

1.2 **Aplicabilidad.** Este método es aplicable para determinar las concentraciones de (O₂), (CO₂) y (CO) de una muestra en una corriente de gas de un proceso de combustión de combustible de fósiles para exceso de aire o para cálculos del factor de corrección de la variación de la emisión del exceso de aire. En el caso que compuestos como el CO₂, O₂, CO y nitrógeno (N₂) estén presentes en concentraciones suficientes para afectar los resultados, los procedimientos de cálculo se presentados en este método deben ser modificados, sujetos a la aprobación de la Autoridad Ambiental.

1.3 Otros métodos, así como modificaciones al procedimiento descrito, son también aplicables para todas las determinaciones anteriores. Ejemplos de métodos específicos y modificaciones incluyen: (1) un método de muestreo multipunto usando un analizador Orsat para analizar las muestras obtenidas en cada punto; (2) Un método que usa CO₂ o O₂ y cálculos estequiométricos para determinar el exceso de aire. Estos métodos modificados pueden usarse pero están sujetos a la aprobación por parte del administrador.

1.4 **Objetivos de Calidad de datos.** La fidelidad de los requisitos de este método mejora la calidad de los datos obtenidos de los métodos de muestreo de contaminantes atmosféricos.

2. RESUMEN DEL MÉTODO

2.1 Una muestra es extraída de la chimenea, por medio de uno de los siguientes métodos: (1) Un solo punto, muestreo puntual, (2) Un solo punto, muestreo Integrado ó (3) Multipunto, Muestro Integrado. La muestra del gas es analizada para determinar porcentaje de CO₂ y de O₂ y, si fue necesario el porcentaje de CO use un analizador de gases de combustión Orsat.

3. DEFINICIONES. [RESERVADO]

4. INTERFERENCIAS.

4.1 Existen algunos compuestos que pueden generar interferencia, variando los resultados, cuando se utilizan los analizadores Orsat ó Fyrite. Los compuestos que interfieren con la medición de CO₂ incluye algunos gases ácidos (por ejemplo., Dióxido de Azufre y Cloruro de Hidrógeno). Para el caso del O₂ los compuestos que interfieren incluyen Hidrocarburos no Saturados como Acetona, Acetileno,

Oxido Nitroso y Amonio. El amonio reacciona químicamente con la solución absorbente de O₂, y cuando está presente en la corriente de gas efluente debe ser removido antes del análisis.

5. SEGURIDAD.

Cláusula de exención de responsabilidad. Este método puede involucrar materiales peligrosos, operaciones y equipo. Este método de ensayo no aborda todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer apropiadas prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias primero para realizar este método de ensayo.

5.1 Reactivos corrosivos. Un analizador Orsat requiere cuatro reactivos: Una solución de confinación del gas, Absorbente de CO₂, absorbente de O₂, y absorbente de CO. Estos reactivos pueden contener Hidróxido de Potasio, Hidróxido de Sodio, Cloruro de Cobre, Sulfato de Cobre, Acido Pirogalico Alcalino y / ó Cloruro de Cromo.

6. EQUIPO Y SUMINISTROS.

Nota: Como alternativa para los aparatos de muestreo y los sistemas descritos en este método, se pueden utilizar otros equipos (por ejemplo., desplazamiento de líquido) siempre y cuando estos garanticen que se mantiene un flujo de muestreo constante y que son capaces de arrojar resultados confiables y aceptables. Estos sistemas estarán sujetos a la aprobación por parte de la autoridad ambiental.

6.1 Muestreo simple y muestreo integrado. Son los mismos descritos en la sección 6.1 y 6.2 respectivamente del método 3.

6.2 El análisis. Se debe utilizar un analizador Orsat solamente. Para concentraciones bajas de CO₂ (menos de 4.0 por ciento) y concentraciones altas de O₂ (mayor de 15.0 por ciento), la bureta de medición del Orsat debe tener por lo menos 0.1 por ciento de subdivisiones. Para el mantenimiento del Orsat y los procedimientos de operación, siga las instrucciones recomendadas por el fabricante, a menos que se indique de otra manera en este documento.

7. REACTIVOS Y ESTÁNDARES

7.1 **Reactivos.** Igual como en el método 3, sección 7.1.

7.2 **Estándares.** Igual como en el método 3, sección 7.2.

8. COLECCIÓN DE LA MUESTRA, Y ANÁLISIS

Nota: Cada uno de los tres procedimientos indicados aquí será utilizado cuando sea especificado en una subparte aplicable de estándares. El uso de estos procedimientos para otros propósitos debe tener aprobación específica previa por parte de la autoridad ambiental. Un analizador de combustión tipo Fyrite no es aceptable para las determinaciones del factor de corrección de la tasa de emisión y del exceso de aire, a menos que sea aprobado por parte de la autoridad ambiental. Si ambos porcentajes de CO₂ y de O₂ son medidos, los resultados analíticos de cualquiera de los tres procedimientos dado aquí en este documento pueden ser usados para calcular el peso molecular seco (ver método 3).

8.1 Un solo punto, muestreo simple y procedimiento analítico.

8.1.1 El punto de muestreo en el ducto debe estar o en el centroide del área transversal o en un punto a no menos de 1.0 m (3.3 ft) de las paredes, a menos que se especifique otra cosa por parte de la autoridad ambiental.

8.1.2 Se debe configurar el tren de muestreo como lo indica la Figura 3.1 del método, asegurándose que todas las conexiones delante del analizador estén ajustadas. Si se utiliza un analizador Orsat, se recomienda realizar una prueba de fugas siguiendo el procedimiento de la sección 11.5 del método 3. Esta prueba es obligatoria.

8.1.3 Se debe ubicar la sonda en la chimenea, con la punta de la sonda posicionada en el punto de muestreo. Se debe purgar la línea de muestreo lo suficiente como para permitir cinco intercambios. Introduzca una muestra dentro del analizador. Para las determinaciones del factor de la corrección de la tasa de emisión, inmediatamente analícela la muestra para el porcentaje de CO₂, o porcentaje de O₂, como en la sección 11.2. para la determinación de exceso de aire inmediatamente analícela para el porcentaje de CO₂, O₂ y CO, como se esboza en la sección 11.2, y calcular el exceso de aire como se muestra en la sección 12.2.

8.1.4 Después de completar el análisis realice el chequeo de fuga (obligatorio) del analizador Orsat nuevamente, según lo descrito en la sección 11.5 del método 3. Para que los resultados del análisis sean validos el analizador Orsat debe pasar esta prueba de chequeo de fuga antes y después del análisis.

8.2 Un solo punto, muestreo integrado y procedimiento analítico.

8.2.1 El punto de muestreo en el ducto debe ser localizado según lo especificado en la sección 8.1.1.

8.2.2 Se debe realizar prueba de fugas (obligatorio) a la bolsa flexible como en la sección 6.2.6. Se debe configurar el tren de muestreo como lo indica la Figura 3-2. Justo antes de realizar el muestreo, realice una prueba de fugas (obligatorio) al tren de muestreo, colocando un manómetro de vacío en la entrada del condensador, generando un vacío de al menos 250 mm Hg (10 pulgadas de Hg), taponando la salida al desconectar rápidamente y apagando la bomba posteriormente. El vacío debe permanecer estable por al menos medio (0.5) minuto. Luego se debe evacuar la bolsa flexible. Se debe conectar la sonda y ubicar en la chimenea, con la punta de la sonda posicionada en el punto de muestreo. Se debe purgar la línea de muestreo, posteriormente, se debe conectar la bolsa y asegurarse que todas las conexiones estén ajustadas.

8.2.3 La prueba de muestreo debe ser realizada simultáneamente con la determinación de la variación de la emisión del contaminante y por la misma cantidad de tiempo del contaminante. Recolecte por lo menos 28 litros (1.0 ft³) de muestra de gas. Volúmenes más pequeños pueden ser recolectados, sujetos a aprobación de la Autoridad Ambiental.

8.2.4 Se debe obtener una muestra de gas integrado durante cada determinación del flujo de la emisión del contaminante. Para la determinación del factor de corrección de la tasa de emisión, analice la muestra dentro de un periodo de 4 horas después que la muestra es tomada, analícela para el porcentaje CO₂ o el porcentaje de O₂ (como esta esbozada en la sección 11.2).

8.3 Multipunto, Procedimiento analítico y muestreo integrado.

8.3.1 A menos que se especifique lo contrario por parte de la autoridad ambiental, un mínimo de ocho puntos transversales debe ser usado para chimeneas circulares con diámetros menores a 61 cm (24 pulgadas), un mínimo de nueve puntos debe ser usado para chimeneas rectangulares con diámetros equivalentes menores a 61 cm (24 pulgadas), y un mínimo de 12 puntos transversales deben ser usados en otros casos. Los puntos transversales se deben localizar de acuerdo al Método 1.

8.3.2 Siga los procedimientos delineados en las secciones 8.2.2 a 8.2.4, excepto por lo siguiente: se debe ubicar la sonda en todos los puntos transversales, y muestrear en cada punto por un tiempo igual de duración. Registre la información del muestreo como se muestra en la figura 3.3 del método 3.

9. CONTROL DE CALIDAD.

9.1 **Validación de datos usando el factor de combustible.** Aunque en la mayoría de los casos, solamente son requeridas las mediciones de CO₂ o el O₂, se recomienda que tanto el CO₂ como el O₂ sean medidos para proporcionar un control de la calidad de los datos. Se sugiere el procedimiento de validación de datos de la sección 12.3.

NOTA: Ya que este método para validar los análisis de CO₂ y O₂ se basa en la combustión de combustibles fósiles y orgánicos y la dilución del gas con la corriente de aire, este método no se aplica a las fuentes que (1) eliminen el CO₂ o el O₂ a través de procesos distintos a la combustión, (2) agreguen O₂ (por ejemplo, el enriquecimiento de oxígeno) y N₂ en diferentes proporciones de la de aire, (3) adicción de CO₂ (por ejemplo, hornos de cal o cemento), o (4) no tienen ningún factor de combustible, F_o, obtener los valores (por ejemplo, mezclas de residuos extremadamente variables). Este método valida las proporciones registradas de CO₂ y O₂ para el tipo de combustible, pero el método no detecta dilución de la muestra que resulta de las fugas durante o después de la toma de muestras. El método es aplicable a las muestras tomadas corriente arriba de la mayoría de las unidades de disulfuración de gas de los canales de cal de piedra caliza como en el CO₂ agregadas o extraídas de la corriente de gas que no sean significativas en relación con la concentración total de CO₂. Las concentraciones de CO₂ de otros tipos de depuradores de gas utilizando solamente agua o de lecho pueden afectar significativamente y haría que el factor de combustible varíe significativamente.

10. CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN

10.1 Analizador: El analizador y la técnica de operación del mismo debería ser auditada periódicamente como se muestra a continuación: se debe tomar una muestra de la mezcla conocida de CO₂ y CO y se analiza de acuerdo al procedimiento de la sección 11.3. Se debe repetir este procedimiento hasta que la concentración medida de tres muestras consecutivas concuerde en $\pm 5\%$. Si es necesario se debe tomar acciones correctivas que estén especificadas en el Manual del Usuario del analizador.

10.2 Rotámetro: EL rotámetro no necesita ser calibrado, pero se le debe realizar mantenimiento y limpieza de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

11. PROCEDIMIENTO ANALÍTICO

11.1 Mantenimiento. El analizador Orsat deben mantenerse de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

11.2 Análisis de muestras simples. Para asegurar la completa absorción del CO₂, O₂, o si es aplicable CO, hacer pases repetidos a través de cada solución absorbente hasta que dos lecturas consecutivas sean las mismas. Varias pasadas (tres o cuatro), deben hacerse entre las lecturas. (Si no se obtienen lecturas constantes después de tres lecturas consecutivas, reemplace la solución absorbente.) Aunque en la mayoría de los casos, la concentración sólo el CO₂ o el O₂ se requiere, se recomienda que tanto el CO₂ y O₂ deben medirse, el procedimiento en la sección 12.3 se debe utilizar para validar los datos analíticos.

NOTA: Dado que este solo punto, muestreo simple y procedimiento analítico es normalmente conducido en relación con un solo punto, muestreo simple y un procedimiento analítico para un contaminante, sólo un análisis se lleva a cabo normalmente. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado para obtener una muestra válida y análisis.

11.3 Análisis de muestras integradas. Se debe realizar prueba de fugas al analizador Orsat (ver sección 11.5 del método 3) antes del análisis. Si el exceso de aire es deseado, haga lo siguiente: (1) dentro de las 4 horas después de tomar la muestra, analizarla (como en las secciones 11.3.1 a través 11.3.3) para el porcentaje de CO₂, O₂ y CO, (2) determinar el porcentaje del gas que es N₂ restando la suma del porcentaje de CO₂, porcentaje de O₂ y porcentaje de CO de 100 del ciento por ciento, y (3) calcular porcentaje de aire en exceso, como se indica en la sección 12.2.

11.3.1 Para asegurar la completa absorción del CO₂, O₂, o si es aplicable, el CO, siga el procedimiento descrito en la sección 11.2.

NOTA: Aunque en la mayoría de los casos sólo el CO₂ o el O₂ se requerido, se recomienda que tanto el CO₂ y O₂ sean medidos, y que los procedimientos en la sección 12.3 sean usados para validar los datos analíticos.

11.3.2 Repita el análisis hasta que se cumplen las siguientes condiciones:

11.3.2.1 Para el porcentaje de CO₂, repita el procedimiento hasta que los resultados analíticos de los tres análisis no difieren en más de **(a)** 0,3 por ciento en volumen en el caso de CO₂ cuando es mayor que 4,0 por ciento o **(b)** 0,2 por ciento en volumen en el caso en el que CO₂ sea menor o igual a 4,0 por ciento. Promedie tres valores aceptables de porcentaje de CO₂, y reporte los resultados con una precisión de 0,2 por ciento.

11.3.2.2 Para el porcentaje de O₂, repita el procedimiento hasta que los resultados analíticos de las tres análisis no difieren en más de **(a)** 0,3 por ciento en volumen en el caso de O₂ es inferior a 15,0 por ciento o **(b)** 0,2 por ciento en volumen en el caso de O₂ es mayor o igual a 15,0 por ciento. Promedie tres valores aceptables de O₂ por ciento, y reporte los resultados con una precisión de 0,1 por ciento.

11.3.2.3 Para el porcentaje de CO, repita el procedimiento hasta que los resultados analíticos de los tres análisis no difieran por más de 0,3 por ciento. Promedie tres valores aceptables de CO por ciento, y reporte los resultados con una precisión de 0,1 por ciento.

11.3.3 Después de terminado el análisis, se debe realizar una verificación de fugas del analizador Orsat, como se describe en la Sección 11.5 de Método 3. Para que los resultados del análisis sean válidos, el analizador Orsat debe pasar la prueba de fugas antes y después del análisis.

11.3.4 Estandarización. Un control periódico de los reactivos y de la técnica operador debe efectuarse al menos una vez cada tres series de pruebas de funcionamiento, como se indica en la sección 10.1

12. ANÁLISIS DE DATOS Y CÁLCULOS.

12.1 Nomenclatura. la misma que la sección 12.1 del método 3 con la adición de lo siguiente.

%EA = Porcentaje del exceso de aire.

0.264 = Porcentaje de oxígeno O₂ a Nitrógeno N₂ en el aire, v/v

12.2 El porcentaje de exceso de aire. Determine el porcentaje del gas que corresponde a N₂ restando la suma del porcentaje de CO₂, porcentaje de O₂ y porcentaje de CO del ciento por ciento. Calcule el porcentaje de exceso de aire (si es aplicable) mediante la sustitución de los valores apropiados del porcentaje de O₂ CO y N₂. Mediante en la ecuación 3B -1.

$$\%EA = \frac{\%O_2 - 0.5\%CO}{0.264\%N_2 - \%O_2 - 0.5\%CO} * 100 \quad \text{Eq. 3B-1}$$

Nota: La ecuación anterior asume que el aire ambiente es la fuente de O₂ y que el combustible no contenga cantidades apreciables de N₂ (como en los hornos de coque o los gases de los altos hornos). Para aquellos casos cuando las cantidades apreciables de N₂ están presentes (como el carbón petróleo y gas natural no contienen cantidades apreciables de N₂) o cuando se usa el oxígeno enriquecido, métodos alternativos se aceptan, sujetos a la aprobación por parte de la autoridad ambiental. .

12.3 Validación de datos cuando son medidos CO₂ y O₂.

12.3.1 Factor de combustible F_o. Calcule el factor de combustible, (si es aplicable) utilizando la ecuación 3B-2:

$$F_o = \frac{20.9 - \%O_2}{\%CO_2} \quad \text{Eq. 3B-2}$$

Donde:

% O₂= Porcentaje de O₂ por volumen, base seca

% CO₂=Porcentaje de CO₂ por volumen, base seca

20.9 = Porcentaje de O₂ por volumen en el aire ambiental.

Si el CO se presenta en cantidades medibles por medio de este método, ajuste los valores de O₂ y CO₂ usando la ecuación 3B-3 y 3B-4 antes de realizar el cálculo para F_o:

$$\%CO_2(adj) = \%CO_2 + \%CO \quad \text{Eq. 3B-3}$$

$$\%O_2(adj) = \%O_2 - 0.5\%CO \quad \text{Eq. 3B-4}$$

Donde:

% CO = Porcentaje CO por volumen, base seca.

12.3.2 Compare el factor F_o calculado con los valores de F_o esperados. La tabla 3B-1 en la sección 17.0 se puede utilizar para establecer los rangos aceptables para el F_o esperado si el combustible que se quema es conocido. Se utilizan combustibles en forma de combinación, calcule los factores F_d y F_c de combustible (según lo definido en el Método 19, sección 12.2) de acuerdo al procedimiento en el método 19 secciones 12.2 y 12.3

A continuación se calcula el factor F_o de acuerdo con la ecuación 3B-5.

$$F_o = \frac{20.9F_d}{F_c} \quad \text{Eq. 3B-5}$$

12.3.3 Los valores de F_o calculados más allá de las variaciones aceptables mostradas en esta tabla deben ser investigados antes de aceptar los resultados de la prueba. Por ejemplo, la capacidad de las soluciones del analizador de gas y la técnica del analizador deben ser revisadas muestreando y analizado una concentración conocida, como el aire; el factor de combustión debe ser revisado y verificado. Un rango aceptable de ±12 por ciento es adecuado para el factor F_o de los combustibles mezclados con porcentajes variables. El nivel de la tasa de emisiones respecto al nivel de cumplimiento debe ser considerado para determinar si un nuevo ensayo es adecuado, i.e., si las emisiones son mucho menores o mayores que el límite de cumplimiento, la repetición de la prueba no cambiaría significativamente la situación de cumplimiento de la fuente y sería innecesariamente y costoso realizar la prueba.

13. **MÉTODO DE EJECUCIÓN. [RESERVADO]**
14. **PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN [RESERVADO]**
15. **MANEJO DE RESIDUOS [RESERVADO]**
16. **REFERENCIAS**

Igual como en el método 3 sección 16.0

17. **TABLAS, DIAGRAMAS, CARTAS DE FLUJO, Y VALIDACIÓN DE DATOS.**

Tipo de combustible	Variación de Fo
Carbón	
antracita y el lignito	1.016 - 1.130
bituminoso	1.083 - 1.230
Petróleo	
Destilado	1.260 - 1.413
residual	1.210 - 1.370
Gas	
Gas natural	1.600 - 1.836
Propano	1.434 - 1.586
Butano	1.405 - 1.553
Madera	1.000 - 1.120
Corteza de madera	1.003 - 1.130