

## **Sección 2**

# **Equipo Genérico y Dispositivos**

# Capítulo 4

## Monitores

Daniel C. Mussatti

*Innovative Strategies and Economics Group*

Grupo de Estrategias Inovadoras y Economía

*Air Quality Strategies and Standards Division*

División de Normas y Estrategias de la Calidad del Aire

*Office of Air Quality Planning and Standards*

Oficina de Normas y de Planeación de la Calidad del Aire

*U.S. Environmental Protection Agency*

Agencia para la Protección Ambiental de los EE.UU.

Research Triangle Park, NC 27711

Margaret Groeber

*SAIC*

2260 Park Ave, Suite 402

Cincinnati, OH 45206

Dan Maloney

*D&E Technical*

1008 W. William Street

Champaign, IL 61821

Walter Koucky and

Paula M. Hemmer

*E. H. Pechan & Associates, Inc.*

3622 Lyckan Parkway, Suite 2002

## Contenido

4.1	Introducción .....	4-3
4.2	Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones .....	4-4
4.2.1	Sistemas de Muestreo .....	4-5
4.2.1.1	SMCE Extractivo .....	4-6
4.2.1.2	SMCE In Situ .....	4-8
4.2.2	Monitores y Analizadores de Gas .....	4-10
4.2.3	Sistema de Adquisición de Datos .....	4-13
4.3	Monitoreo Paramétrico .....	4-14
4.3.1	Materia Particulada (MP) .....	4-17
4.3.2	Bióxido de Azufre .....	4-18
4.3.3	Monóxido de Carbono .....	4-20
4.3.4	Oxidos Nitrosos .....	4-21
4.3.5	Opacidad .....	4-24
4.3.6	COVs .....	4-25
4.3.7	SAD .....	4-26
4.4	Estimación de Los Costos de Capital y Anuales Para SMCE .....	4-28
4.4.1	Desarrollo de Las Ecuaciones de Costo .....	4-28
4.4.2	Inversión de Capital Total .....	4-35
4.4.3	Costos Totales Anuales .....	4-35
4.5	Cálculo de Muestra .....	4-36
4.6	Reconocimientos .....	4-38
	Referencias .....	4-39
	Apéndice A .....	4-41

## 4.1 Introducción

El monitoreo de las emisiones es una parte cada vez más importante del control de la contaminación del aire. La legislación sobre el control de la contaminación, en ocasiones toma la forma de límites de emisiones u orientaciones con las que un proceso industrial debe cumplir. El monitoreo demuestra el cumplimiento con las regulaciones o con los límites permitidos. Además, el monitoreo proporciona información acerca de los contaminantes gaseosos y la materia particulada liberada a la atmósfera, que puede ser utilizada para compilar datos de inventarios de emisiones, autorizar establecimientos nuevos o ya existentes y realizar auditorías. Los establecimientos industriales pueden usar el monitoreo de emisiones para evaluar y monitorear la eficiencia y el control de procesos, para determinar la eficiencia de los dispositivos de control de la contaminación y para monitorear la salud y la seguridad dentro de la planta. La participación en programas de intercambio de emisiones requiere por lo general del monitoreo de emisiones.

El término monitor se refiere a una amplia variedad de instrumentos utilizados para medir concentraciones de compuestos gaseosos y materia particulada y propiedades físicas tales como opacidad, en una corriente de gas residual. Existen muchos diferentes tipos de monitores comercialmente disponibles para el monitoreo de emisiones. Los monitores requieren generalmente de equipo adicional para la toma de muestra, la calibración de instrumentos y la adquisición y procesamiento de datos. Los monitores deben ser capaces de proporcionar datos exactos reproducibles.

El Acta de Aire Limpio (*Clean Air Act*) de 1990, requiere el monitoreo mejorado y periódico de contaminantes específicos en varias fuentes estacionarias. Estos requerimientos fueron codificados en la Regla de Aseguramiento de Cumplimiento del Monitoreo, ACM (*Compliance Assurance Monitoring, CAM Rule*). Las unidades emisoras con equipo de control de la contaminación del aire en fuentes reguladas bajo el Título V, requieren tener ACM. El ACM requiere una modificación al permiso del Título V para incluir un programa para establecer monitoreo adecuado para demostrar cumplimiento con las regulaciones aplicables. Los requerimientos de bitácoras y reportes del Título V se aplican a las unidades afectadas por el ACM. Los Estados tienen flexibilidad para establecer los enfoques adecuados de ACM.

Bajo la Regla de ACM, hay dos opciones viables de monitoreo para monitorear el cumplimiento de las fuentes con los permisos o las regulaciones. La primera opción es el **monitoreo continuo de emisiones**, MCE (*continuous emissions monitoring, CEM*), el cual es una medición directa de la concentración de contaminantes de un conducto o chimenea en base continua o periódica. La segunda opción es el **monitoreo paramétrico** (*parametric monitoring*), el cual incluye la medición indirecta de emisiones al monitorear parámetros claves relacionados con la condición de la operación del equipo de control de contaminantes o del equipo de proceso. El monitoreo paramétrico requiere demostrar que los parámetros del proceso o de control que están siendo monitoreados, se correlacionan con los niveles medidos de emisión de contaminantes.

Se requiere el MCE en fuentes grandes o en fuentes que tienen requerimientos de monitoreo bajo la Revisión de Fuente Nueva (*New Source Review, NSR*), la Norma de Funcionamiento de Fuente Nueva (*New Source Performance Standard, NSPS*), las Normas Nacionales de Emisiones de Contaminantes Peligrosos del Aire (*National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants, NESHAPS*) u otros requerimientos estatales. Se requiere MCE bajo ciertas regulaciones de EPA ya sea para determinaciones de cumplimiento continuo o determinación de rebasamiento de las normas. [1] El monitoreo paramétrico se usa más frecuentemente en fuentes pequeñas de emisión. Como resultado de la Regla de ACM, el monitoreo paramétrico se ha vuelto cada vez más importante. El uso de monitoreo paramétrico puede proporcionar opciones más flexibles y menos caras para demostrar el cumplimiento de fuentes reguladas.

La selección del equipo de monitoreo o método paramétrico apropiado, implica más que comparaciones básicas de costos y de funcionamiento. Las condiciones de operación varían de establecimiento a establecimiento para una categoría dada de fuente, haciendo difícil la selección del equipo de monitoreo único para cada instalación. La selección del equipo de monitoreo depende de las siguientes consideraciones [Clarke, 1998]:

- propiedades físicas/químicas del contaminante y de la corriente de gas residual,
- límites regulatorios o autorizados y cualquier requerimiento de reporte asociado,
- localización y método de recolectar, procesar y decantar de las muestras,
- requerimientos de calibración y exactitud,
- requerimientos de aseguramiento y control de calidad,
- requerimientos de mantenimiento, y
- seguridad y administración del establecimiento.

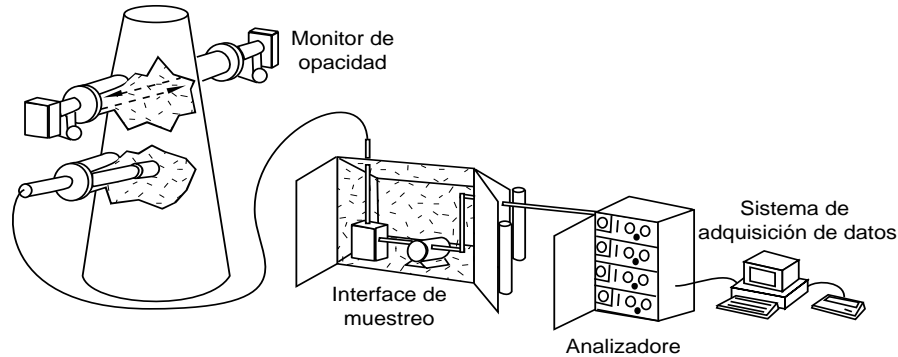
Este capítulo describe los métodos de estimación de costos para equipo de monitoreo utilizado para determinar la condición de cumplimiento bajo el Acta de Aire Limpio.

## **4.2 Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones**

Un sistema(s) de monitoreo continuo de emisiones (SMCE), es un sistema integrado que demuestra el cumplimiento de la fuente, recolectando muestras directamente del conducto o chimenea que descarga los contaminantes a la atmósfera. Un SMCE consiste de todo el equipo necesario para la determinación de la concentración o razón de emisión de un gas o de materia particulada. Esto incluye tres componentes básicos:

- el sistema de muestreo y de acondicionamiento,
- el analizador y/o los monitores de gas, y
- el sistema de adquisición de datos, SAD (*data acquisition system, DAS*) y el sistema controlador.

Un SMCE puede diseñarse para monitorear un solo contaminante o múltiples contaminantes y parámetros de la corriente de gas residual. Los compuestos gaseosos, la materia particulada, la opacidad y la razón de flujo volumétrico, son típicamente monitoreados por SMCE. En la Figura 4.1 se representa un arreglo típico de un SMCE para monitoreo de múltiples parámetros.



**Figura 4.1:** SMCE Típico Para Monitoreo de Múltiples Parámetros

La apropiada colocación de los puertos de muestreo en la corriente del gas residual y la apropiada selección del equipo para los componentes, son críticas para la recolección de información exacta y reproducible en un SMCE. Por esta razón, el diseño de un SMCE usualmente está basado en la experiencia del proveedor y por lo tanto, es específico del proveedor. La mayoría de los sistemas se proporcionan en base “girar la llave” (“*turn key*”), en los que el proveedor suministra, instala y prueba todos los equipos necesarios [18].

*EPA* ha publicado métodos estándares para la instalación, operación y prueba de SMCE. Las reglas de *EPA* especifican los métodos de referencia que son usados para sustanciar la exactitud y precisión del SMCE después de la instalación. La *EPA* también mantiene especificaciones de funcionamiento usadas para evaluar la aceptabilidad del SMCE después de la instalación. Finalmente, las reglas proporcionan procedimientos de aseguramiento y control de calidad de los datos producidos por el SMCE una vez en operación [18]. Los datos producidos bajo estos métodos estándares o de referencia son mediciones directas y exigibles de las emisiones.

#### 4.2.1 Sistemas de Muestreo

Los SMCE se dividen en dos grandes categorías, extractivos y en el sitio (*in situ*). Los SMCE *in situ*, típicamente tienen monitores y/o analizadores localizados directamente en la chimenea o conducto. Los SMCE **extractivos** capturan una muestra de la chimenea o conducto, acondicionan la muestra removiéndole impurezas y agua y transportan a la muestra hasta un analizador en un área remota protegida ambientalmente. Algunos diseños de sistemas de monitoreos

pueden emplear ambos tipos de sistemas. Los dos sistemas se discuten en gran detalle en las siguientes secciones.

Todos los sistemas de muestreo necesitan controladores lógicos programables, CLPs (*programmable logic controllers, PLCs*), para unir el equipo de muestreo tanto al monitor como al SAD. Los CLPs generalmente son modulares en diseño y son ampliamente utilizados en la industria. Las funciones típicas de los CLPs son::

- Secuencia lógica de los tiempos (*Logic timing*)
- Conteo
- Transferencia de datos
- Activación de funciones automáticas
- Proporcionan conversión de señal analógica a digital
- Registros de alarmas
- Registros de datos
- Realiza cálculos matemáticos o funciones de calibración

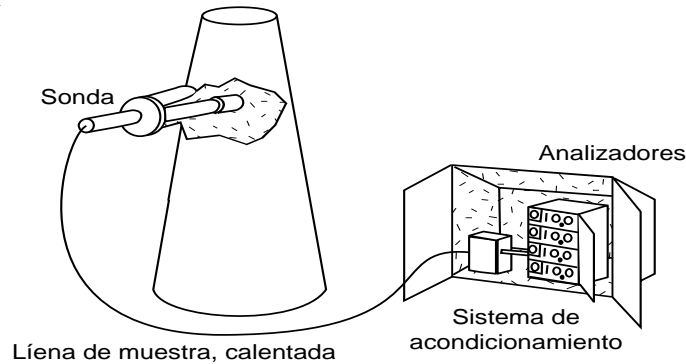
En las aplicaciones de SMCE, los CLPs manejan el muestreo y la calibración, controlando válvulas solenoides que envían ya sea el gas residual o el gas de calibración al monitor. Esta información también es enviada al SAD para prevenir que los datos de calibración se usen inadvertidamente como datos de la muestra. Los CLPs típicamente controlan funciones como las verificaciones del cero y del rango, de las alarmas por exceso de emisiones o por mal funcionamiento del sistema, e interfasa con el SAD.

#### 4.2.1.1 SMCE Extractivo

En un SMCE extractivo, el sistema extrae una muestra en un sitio especificado en la corriente de gas residual y la transporta hasta el monitor en un área ambientalmente protegida. Este tipo de sistemas protege la instrumentación de monitoreo de las altas temperaturas, altas velocidades, altas presiones, materia particulada, sustancias corrosivas y vapor de agua en la corriente de gas residual.

Se transporta una muestra desde la localización de la sonda de muestreo hasta el analizador o monitor. En general, la muestra requiere algún tipo de acondicionamiento previo al análisis. El acondicionamiento puede incluir filtración de la materia particulada, remoción del vapor de agua y enfriamiento y dilución de la muestra. Los sistemas extractivos se clasifican generalmente en base al tipo de acondicionamiento: caliente-húmedo, frío-seco o dilución. Los **sistemas caliente-húmedo** mantienen la muestra a alta temperatura y no remueven el vapor de agua. Los **sistemas frío-seco** bajan la temperatura de la muestra y remueven el vapor de agua. Los **sistemas de dilución** muestrean a bajas razones de flujo o diluyen la muestra previo al análisis, lo que resulta en contenidos de vapor de agua y de materia particulada más bajos. El acondicionamiento puede realizarse en el puerto o en el analizador. Dependiendo del tipo de sistema, el equipo de muestreo

y de acondicionamiento del SMCE extractivo puede incluir el puerto/sonda de muestreo, líneas de transferencia de la muestra, calentadores de línea, una bomba, un filtro, un condensador o secador y enfriadores. La selección del tipo de sistema de muestreo es específica de la aplicación [18.] En la Figura 4.2 se muestra un sistema extractivo típico con un sistema de muestreo frío-seco.



**Figura 4.2:** Ejemplo de un SMCE Extractivo con Muestra Fría-Seca

Típicamente, los analizadores extractivos son más baratos y más fáciles de mantener y reparar que los analizadores *in situ*. Esto se debe principalmente a su localización en un cuarto ambientalmente controlado a nivel del suelo, en vez de en la fuente. Debido a su localización, no requieren protección ambiental adicional. Además, los analizadores son más fácilmente accesibles a los técnicos para mantenimiento y reparación. Tener un cuarto ambientalmente controlado permite también que los gases y sistemas de calibración se localicen en la misma área, lo cual simplifica las calibraciones.

Sin embargo, las ventajas del SMCE extractivo pueden ser contrarrestadas por los requerimientos del sistema de muestreo. Los costos iniciales de los sistemas de muestreo pueden ser bastante altos y el equipo de acondicionamiento requiere mantenimiento de rutina. Otros problemas del manejo de la muestra incluyen:

- Obstrucción de sondas y líneas con la contaminación,
- Falla de los calentadores de las líneas en climas fríos, ocasionando que el agua se congele y obstruya las líneas,
- El filtro de la sonda ocasiona pérdida del contaminante a medida que pasa por la sonda (lavado),
- La sonda de dilución ocasiona efectos en la temperatura, la presión y en la densidad del gas y evaporación de gotas de agua cuando se agrega aire de dilución a la muestra del gas,
- Arrastre de agua,
- Fugas en los tubos o en alguna otra parte del sistema,
- Adsorción del contaminante en la pared, filtro, tubos u otros componentes, y
- Absorción del contaminante en el agua que es removida por el sistema de acondicionamiento.



Otros factores importantes en la selección y diseño de sistemas de monitoreo incluyen:

- Requerimientos regulatorios;
- Disponibilidad de datos (% del tiempo que el monitor suministra datos)
- Volumen del gas residual que debe ser recolectado y acondicionado [18].

Existen un número de monitores y analizadores de gas de SMCE disponibles comercialmente, incluyendo a varios analizadores de múltiples contaminantes. Este manual proporciona costos para los siguientes tipos de SMCE extractivos dados en la Tabla 4.1:

**Tabla 4.1:** Capacidad de Monitoreo de Contaminantes de SMCE Extractivos Disponibles Comercialmente

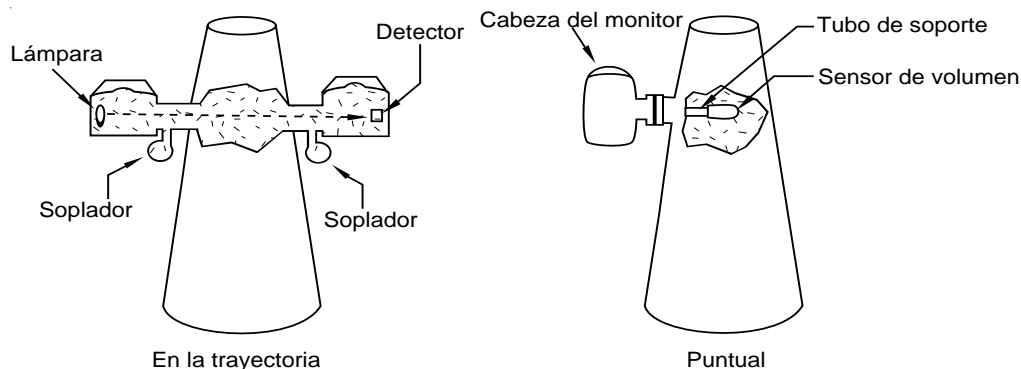
Analizadores de Compuestos Gaseosos	Monitores
NO <sub>x</sub>	Opacidad
SO <sub>2</sub>	MP
CO/CO <sub>2</sub>	Razón de flujo
O <sub>2</sub>	
H <sub>2</sub> T	
HCl	

#### 4.2.1.2 SMCE *In Situ*

Los SMCE *in situ* son sistemas en donde el analizador está físicamente localizado en la chimenea o conducto. El gas de salida es medido *in situ* a medida que fluye a través del punto de muestreo colocado en la chimenea o conducto. Son posibles dos tipos de mediciones *in situ*: puntual (en-la chimenea) y en una trayectoria (sección transversal-de la chimenea). Las mediciones **puntuales** (*point*), toman lugar en un punto preciso donde se localiza la celda de muestreo. Las mediciones en una trayectoria (*path*), se toman a través de una trayectoria dada en la corriente de emisiones. La mayoría de las mediciones en una trayectoria se toman enviando una señal a través de la chimenea y reflejándola de vuelta hacia el detector cerca de la fuente de la señal. Las emisiones que atraviesan es trayectoria se promedian en un período dado de tiempo. En la Figura 4.3 se muestra un SMCE *in situ* típico.

Los monitores *in situ* requieren ser de construcción durable y generalmente se encierran en gabinetes robustos, sellados, para protegerlos de las temperaturas extremas, la humedad y los gases corrosivos. Como resultado, los monitores *in situ* son generalmente más caros que los monitores extractivos comparables.

La ventaja principal de los monitores *in situ* es la localización del monitor en la cercanía de la senda de muestreo, lo cual minimiza las pérdidas de contaminantes por fugas, absorción y adsorción y elimina también la necesidad de un sistema de muestreo y acondicionamiento costoso y complejo.



**Figura 4.3:** Ejemplo de un SMCE *In Situ* con Muestra Puntual y en la Trayectoria

Aunque los analizadores *in situ* fueron desarrollados para evitar problemas de mantenimiento y disponibilidad asociados con los sistemas de muestreo utilizados en el monitoreo extractivo, algunos problemas persisten. El servicio, mantenimiento y reemplazo de los analizadores *in situ* es más difícil que con unidades extractivas, debido a sus localizaciones. La localización de un analizador *in situ* (igual que la localización de la sonda de un analizador extractivo), es una consideración crítica, debido a que la concentración de contaminantes (especialmente de materia particulada), en una chimenea no es uniforme. La sonda de muestreo puede contaminarse u obstruirse. Aunque el problema del transporte de la muestra de gas al monitor ha sido eliminado por la localización *in situ*, la necesidad de llevar el gas de calibración hasta el analizador *in situ* ha tomado su lugar.

Existen un número de monitores y analizadores de gas de SMCE disponibles comercialmente, incluyendo varios analizadores de múltiples contaminantes. Este manual proporciona los costos para los siguientes tipos *in situ*, dados en la Tabla 4.2:

**Tabla 4.2:** Capacidad de Monitoreo de Contaminantes de SMCE *In Situ* Disponibles Comercialmente

Analizadores de Compuestos Gaseosos	Monitores
SO <sub>2</sub>	Opacidad
CO	MP
O <sub>2</sub>	Razón de flujo
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> /O <sub>2</sub>	
CO/CO <sub>2</sub>	

## 4.2.2 Monitores y Analizadores de Gas

Un monitor es un dispositivo que detecta o mide una propiedad física/química de una sustancia dada, tal como la absorción de la luz. El dispositivo sensor o medidor genera una salida monitor y el análisis del costo debe hacerse en base específica al sitio.

La discusión técnica de los tipos de monitores y analizadores de gases que están disponibles comercialmente para sistemas extractivos e *in situ*, rebasa el alcance de este documento. En la referencia [18] se proporcionan discusiones técnicas detalladas de analizadores de gases y monitores para varios tipos de SMCE y de los contaminantes y los parámetros que pueden ser monitoreados. En las Tablas 4.3 y 4.4 se resumen los varios tipos de monitores que están disponibles actualmente para sistemas extractivos e *in situ*, incluyendo los tipos de monitores puntuales y en la trayectoria. Enseguida se proporciona una discusión de monitores selectos.

**Tabla 4.3:** Analizadores de Gas de SMCE Extractivos [18]

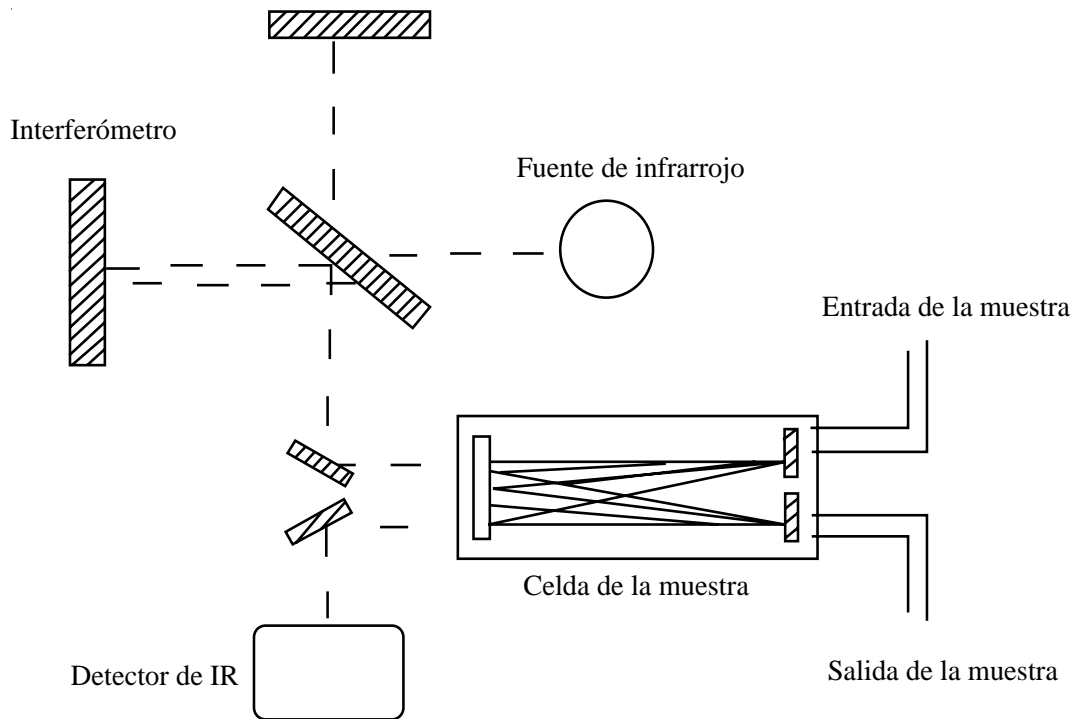
Métodos por Absorción Espectroscópica (Infrarrojo/Ultravioleta)	Métodos por Luminiscencia	Métodos por Electro Análisis	Métodos Paramagnéticos
Espectrofotometría	Fluorescencia	Polarografía	Termomagnético
Absorción diferencial	Quimiluminiscencia	Potenciometría	Magnetodinámico
Correlación filtro de gas	Fotometría de flama	Electrocatalisis	Magnetoneumático
Transformadas de Fourier del infrarrojo		Amperomático	
		Conductimétrico	

**Tabla 4.4:** Analizadores de Gas de SMCE *In Situ* [18]

Analizadores de gas		Monitores de MP	
Puntual	En la trayectoria	Puntual	En la trayectoria
Espectroscopía por Absorción por Segunda derivada	Absorción diferencial	Dispersión inversa de luz	Dispersión y Absorción de luz
Polarografía	Espectroscopía por Absorción por Correlación filtro de gas	Tranferencia de la Carga del ión	
Potenciometría		Atenuación	
Electrocatalisis		Radiación nuclear	

## Espectroscopía por Transformada de Fourier del Infrarrojo

La espectroscopía por Transformada de Fourier del infrarrojo, ETFI (*Fourier Transformation Infrared Spectroscopy, FTIR*) detecta compuestos en base a la absorción de la luz infrarroja a longitudes de onda críticas. La cantidad de absorción depende de las fuerzas moleculares presentes en los compuestos del gas residual. Esta absorción crea una “huella digital” única, o firma química, que puede ser analizada para determinar los compuestos presentes y sus concentraciones. Los SMCE por ETFI actuales, pueden monitorear exactamente hasta seis compuestos gaseosos ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CO}_2$ , y  $\text{O}_2$ ) varios contaminantes peligrosos del aire y compuestos volátiles orgánicos simultáneamente. En la Figura 4.4 se ilustra un diagrama simplificado de un analizador por ETFI. [4]



**Figura 4.4:** Diagrama Simplificado de un Analizador por ETFI [4]

Los sistemas por ETFI actuales, son principalmente instrumentos de muestreo extractivos y tienen requerimientos de instalación similares a los de los SMCE extractivos. Aunque los instrumentos por ETFI tienden a ser sistemas más caros que otros analizadores, la capacidad de monitorear múltiples contaminantes con un solo instrumento mejora su efectividad del costo. Puesto

que los SMCE por ETFI son una tecnología relativamente nueva, hay poca información en cuanto a su funcionamiento a largo plazo. Debido a la precisión del instrumento, los requerimientos de mantenimiento son altos. El mantenimiento de un SMCE por ETFI requiere lo siguiente:

- Personal técnico de mantenimiento
- Partes de precio alto
- Calibraciones largas
- Frecuencia corta

### Monitores de opacidad

Los monitores de opacidad son dispositivos en la trayectoria *in situ* basados en el principio de transmisometría; la medida de la transmisión de luz a través de un fluido. Una fuente de luz de frecuencia conocida es generada por alguno de los siguientes dispositivos: Diodo emisor de luz (*Ligth Emitting Diode, LED*), luz incandescente o láser. El monitor de opacidad detecta entonces la disminución en la transmisión de la luz a través de la chimenea debido a la materia particulada. La absorción y dispersión de la luz debido a la materia particulada en la corriente de gas, se detecta a una longitud de onda óptica especificada, que minimiza la absorción por otro material en el gas de la chimenea. La interferencia causada por niveles altos de  $\text{NO}_2$  y de gotas de agua puede reducir la exactitud. Un monitor de opacidad consiste de una fuente de luz para la generación de luz, un transmisómetro para la medición exacta de la transmisión de la luz, un sistema interno de referencia para calibración y un sistema de adquisición de datos para la recolección de datos. [3]

### Monitor de Materia Particulada

Los métodos de referencia estándares de *EPA* para medir MP se basan en hacer fluir un volumen medido de gas residual a través de un filtro de partículas y captura la MP. Se pesa el filtro antes y después de la exposición para determinar el peso de MP en el volumen medido de aire. Esta técnica se conoce como medición gravimétrica.

Los monitores de materia particulada (MP), son una tecnología relativamente nueva y, por lo tanto, hacen uso de técnicas más nuevas. Los enfoques típicos incluyen mediciones de la dispersión de la luz, transmisometría (véase monitores de opacidad) y otras técnicas ópticas o electrostáticas. El método más cercano al método gravimétrico es el de atenuación beta, donde una tira de un medio filtrante se expone a un volumen conocido de la corriente de gas. El medio filtrante pasa entonces a través de una fuente y detector de rayos beta que mide la atenuación (absorción) de la fuente beta por la MP en el filtro. Este método está sujeto a variaciones debido a la alta atenuación beta de los metales pesados en la MP.

Los SMCE no pueden replicar el método de EPA y, por lo tanto, recurren a medidas sustitutas de la concentración de MP, tales como las características ópticas o electrostáticas de la MP en su trayectoria. Un instrumento calibrado puede proporcionar exactitud razonable para procesos en donde la MP y otras características en la chimenea son constantes. En aplicaciones tales como en los incineradores de residuos peligrosos, donde la corriente de gas puede variar sustancialmente, aumenta el potencial de inexactitud.

El monitoreo de MP es una tecnología que avanza y es probable que ocurran cambios en las técnicas e instrumentación rápidamente. Estos cambios resultan en cambios en los costos de los instrumentos. Aunque se ha proporcionado un costo general para los monitores de MP, este costo es menos confiable que los costos de tecnologías mejor establecidas, tales como los monitores de gas extractivos. Se debe obtener de un proveedor una estimación de costos, si se requiere información de costos más confiable.

### **4.2.3 Sistema de Adquisición de Datos**

Los sistemas de adquisición de datos, SAD (*Data acquisition systems, DAS*), consisten de una computadora, monitor, impresora y programa que interfasa con el sistema de monitoreo y proporciona informes, almacenamiento de datos y visualización en pantalla. Los analizadores producen una señal de salida en voltios o miliamperios, que representa una fracción de la lectura total de la escala establecida usando los gases de calibración. Esta señal de salida típicamente va a un registrador de gráficas de papel que utiliza plumas de colores y gráficas de papel para registrar las lecturas de los analizadores. Esta lectura debe interpretarse en base al valor de calibración; por ejemplo, si el gas de calibración de 10 ppm produce una señal de 10 voltios, entonces una lectura de 4 voltios corresponde a una concentración de 4 ppm. Mientras que muchos MCEs aún incluyen registradores de gráficas de papel como sistemas de reserva, la mayoría de los MCEs recurren a los SAD para el procesamiento y manejo de datos.

Los SAD incluyen típicamente tableros de conversión analógica a digital, que toman la señal de voltaje o miliamperios del analizador y la convierten en información digital que puede entender una computadora. Los monitores de las nuevas generaciones tienen la capacidad de incluir información de calibración y reportar concentraciones directamente; también son capaces de almacenar datos y de comunicarse directamente con computadoras con información digital. La computadora también puede proporcionar funciones controladoras para los monitores, tales como realizar calibraciones, si no la realiza un sistema CLP.

Los requerimientos de reporte pueden tener un efecto importante en el diseño del SAD y la frecuencia de reporte y el tiempo promedio para los resultados de monitoreo, pueden impactar la capacidad y el costo. Sin embargo, el poder creciente de las computadoras personales ha mejorado la funcionalidad y reducido los costos finales más altos de los SAD (en la Tabla 4.16 del Apéndice A se muestra un rango de costos entre \$16,000 y \$20,000). El programa patentado

viene típicamente del proveedor del SAD. Este programa maneja los datos y produce informes validados para uso del personal de la planta y de las autoridades regulatorias. Ejemplos de funciones del programa de computadora de SAD incluyen [7]:

- Permitir al operador hacer interfase con el SMCE;
- Promediar datos, calcular emisiones y crear informes;
- Proporcionar copias duras y electrónicas de registros e informes;
- Establecer interfase con otros sistemas de la computadora.

### 4.3 Monitoreo Paramétrico

El monitoreo paramétrico difiere de los SMCE en que las emisiones no son monitoreadas directamente. El monitoreo paramétrico es el monitoreo de parámetros claves medibles correlacionados a las emisiones (tales como la presión). Los parámetros de operación son monitoreados por termopares, medidores de presión diferencial u otra instrumentación. Por ejemplo, un dispositivo de tratamiento térmico diseñado para el control de COVs, demuestra cumplimiento con una eficiencia de destrucción de COV mayor a 90%, en tanto el dispositivo mantenga una temperatura de 1800<sup>n</sup> F. Esta correlación de temperatura con reducción de emisiones se establece a través de monitoreo periódico (v.g., pruebas anuales de cumplimiento). El monitoreo paramétrico permite el uso del monitoreo de temperaturas en lugar del monitoreo de COVs para este dispositivo, una vez que se ha establecido la correlación entre temperatura y destrucción de COV.

El uso del monitoreo paramétrico puede proporcionar opciones más flexibles y menos costosas que otros SMCE para demostrar el cumplimiento de fuentes reguladas. El punto de vista de EPA sobre el monitoreo paramétrico está expresado en el documento “Borrador final de EPA de orientación sobre el monitoreo periódico” (*EPA Draft Final Periodic Monitoring Guidance*), del 1o. de mayo de 1998.

El monitoreo paramétrico proporciona un aseguramiento razonable de cumplimiento, pero debe consultarse la Regla de ACM para orientación sobre el tipo de monitoreo paramétrico que podría satisfacer el monitoreo periódico [3]. Las “Orientaciones de operación y mantenimiento de equipo de control de la contaminación del aire, de EPA Ohio” (*Ohio EPA’s Operation and Maintenance (O&M) Guidelines for Air Pollution Control Equipment*), es una fuente adicional de información que incluye parámetros adicionales de monitoreo, además de los utilizados en la Regla de ACM.

Cuando se usa monitoreo paramétrico para el monitoreo del cumplimiento continuo, los requerimientos de equipo pueden ser similares a los de SMCE. Aunque es poco probable que los sistemas de muestreo de gases utilizados por los monitores de emisiones sean componentes de los

sistemas de monitoreo paramétricos, es probable que se requiera algún tipo de sistema de calibración y de sistema de adquisición de datos. El tipo de proceso, de equipo de control y del contaminante a ser monitoreado, determinan la selección del sistema de monitoreo paramétrico. En un sistema paramétrico, la reducción de datos, registros e informes se realizan independientemente del muestreo, sin embargo, son inherentes a la demostración de cumplimiento regulatorio. Para muchas fuentes, es suficiente una combinación de monitoreo paramétrico y de sistema de adquisición de datos para cumplir con el ACM. Algunas formas de monitoreo paramétrico pueden utilizar los mismos tipos de adquisición de datos, registros e informes que los SMCE.

“Cuando se utilicen datos paramétricos para satisfacer los requerimientos de monitoreo periódico, el permiso debe especificar un rango que asegurará que la fuente está en cumplimiento con el requerimiento subyacente. Siempre que sea posible, el rango propuesto debe sustentarse con documentación que indique una correlación entre el(los) parámetros(s) y el cumplimiento con el límite de emisión, aunque no se requiera que se fije el rango de modo tal que un valor fuera del rango indique no cumplimiento con el límite asociado. El permiso debe incluir también, algunos medios para verificar periódicamente esta correlación.

Por ejemplo, el permiso puede requerir pruebas periódicas en la chimenea para verificar el cumplimiento directo con el requerimiento aplicable. Al mismo tiempo, los datos de las pruebas pueden usarse para establecer el rango de parámetros que se usará para determinar el cumplimiento entre las pruebas.

El permiso debe también especificar lo que pasa cuando un parámetro excede el rango establecido. Por ejemplo, el permiso debe especificar si un valor fuera del rango se considera o no violación o si en cambio, provocará una acción correctiva y/o requerimientos de monitoreo o de pruebas adicionales para determinar la condición de cumplimiento de la fuente”

La mayoría de los monitoreos se requieren para demostrar cumplimiento con limitaciones de emisiones aplicables para contaminantes específicos. Aunque múltiples contaminantes pueden a veces correlacionarse al mismo parámetro, en la mayoría de los casos el método de monitoreo paramétrico depende del contaminante de interés. La recolección de los datos, los análisis y los métodos de reducción de datos son específicos al tipo de contaminante o a la medida del proceso que está siendo monitoreada.

En las siguientes secciones se da una breve discusión y ejemplos de monitoreo paramétrico para una variedad de contaminantes, incluyendo MP, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, COVs y opacidad. Los costos del monitoreo paramétrico de una unidad sola también se presentan al final de cada sección en las Tablas 4.5 a la 4.10. [18]



**Tabla 4.5:** Resumen de Costos Para Monitoreo Paramétrico de Emisiones de Materia Particulada Utilizando la Caída de Presión a Través de Filtro de Tela.

Concepto	Costo Total, \$
<b>Costo de capital y otros costos iniciales<sup>a</sup></b>	<b>1,070</b>
Planeación <sup>b</sup>	240
Selección de equipo <sup>c</sup>	2,050
Instalar y calibrar el sistema <sup>d</sup>	630
Inversión de capital total ( <i>Total capital Investment, TCI</i> )	3,990
<b>Costos anuales, \$/año</b>	
Operación y mantenimiento <sup>e</sup>	270
Registros <sup>f</sup>	2,015
Impuestos prediales, seguros y gastos administrativos <sup>g</sup>	160
Recuperación de capital ( $CRF =$ ) <sup>h</sup>	380
Costo Total Anual, \$/año	2,825
<sup>a</sup> Ingeniero, 32hrs @ \$30/hr + revisión gerencial 2hrs @ \$50/hr + \$10 cargos de teléfono <sup>b</sup> Ingeniero y agente de compras 4 hrs @ \$30/hr <sup>c</sup> Costo de manufactura de equipo <sup>d</sup> Costo combinado de mano de obra de la casa y del contratista, de \$360 <sup>e</sup> 10% del costo de equipo comprado + costo mano de obra de la casa y del contratista de \$65 <sup>f</sup> 5 min. por turno 3 turnos por día x (365 días/año) @ \$17.50/hr de tiempo del operador por revisión gerencial @ \$50/hr, 10% del tiempo del operador por apoyo secretarial @ \$10/hr y \$100 de suministros. <sup>g</sup> Basado en 4% del <i>TCI</i> <sup>h</sup> $CRF = 0.0944 \times TCI$ basado en 20 años de vida útil y 7% de interés.	

Las estimaciones de costo del monitoreo paramétrico se tomaron de la información de soporte relacionada con el análisis del impacto regulatorio para la elaboración de la regla de ACM. Las estimaciones de costo contenidas en esta sección no son sensibles al tamaño del equipo. En general, representan unidades de tamaño mediano que aún no tienen requerimientos de monitoreo aplicables bajo la Norma de Funcionamiento de Fuente Nueva, NFFN (*New Source Performance Standard, NSPS*) u otros programas federales. Estos costos representan el monitoreo para un dispositivo de control, tal como una unidad térmica sola o una casa de bolsas. Los costos reportados son de naturaleza genéricos, mientras que el costo verdadero dependerá de un número de factores (el tamaño, por ejemplo). Las unidades más grandes pueden tener múltiples dispositivos de control y podrían requerir múltiples dispositivos de monitoreo paramétrico. Además, las unidades más grandes típicamente cuentan ya con sistemas de monitoreo paramétrico. Muchas de estas unidades requieren mejorar su monitoreo bajo la Regla ACM. En lugar de depender únicamente de las estimaciones de costo proporcionadas en este documento, debe consultarse un “experto” en el diseño y selección de equipo de monitoreo paramétrico, para determinar el costo verdadero.

### 4.3.1 Materia Particulada (MP)

Los dos métodos principales para controlar emisiones de MP actualmente en uso por la industria en los EE.UU. son los precipitadores electrostáticos (PES) y los filtros de tela, también llamados casas de bolsas. El monitoreo paramétrico ha sido utilizado por muchos años para monitorear el funcionamiento de los PES. Aspectos tales como el volumen y la velocidad del gas, temperatura, frecuencia de las sacudidas (limpieza) y voltaje y corriente del campo electrostático aplicado, son indicadores que pueden ser monitoreados para asegurar el funcionamiento continuo del PES. Los PESs típicamente son utilizados por las fuentes grandes que pueden estar ya sujetas a la NFFN u otros requerimientos de monitoreo. Los PESs típicamente no son vistos como dispositivos de control efectivos en costo para las fuentes más pequeñas.

La Regla de ACM utilizó el monitoreo paramétrico de una casa de bolsas como su base para establecer los costos del monitoreo paramétrico de MP. La filtración con tela puede aplicarse a un amplio rango de fuentes, desde unidades pequeñas de limpieza por chorros de arena hasta molinos de acero grandes. Esta sección utiliza el monitoreo de la caída de presión a través de la casa de bolsas como un ejemplo de monitoreo paramétrico. Una casa de bolsas opera mucho como una aspiradora al vacío con un ventilador ya sea soplando aire sucio a través del filtro (presión positiva) o succionando aire hacia el filtro (presión negativa). En cualquier caso, se requiere presión de aire sustancial para forzar el aire a través del filtro. La caída de presión es una medida de esta diferencia de presión entre los lados limpio y sucio del filtro. Se pueden instalar indicadores de presión estática a la entrada y a la salida del filtro de tela para determinar la caída de presión de la unidad. A medida que el filtro se tapa con polvo, es más resistente al flujo del aire, resultando en una caída de presión aumentada.

Típicamente, una casa de bolsas se limpia por secciones, con chorros de aire fluyendo a contracorriente, utilizados para soplar del filtro el polvo capturado hacia dentro de una tolva. En muchas instalaciones, la casa de bolsas seguirá un ciclo de rutina con la caída de presión aumentando a medida que la bolsa se cubre con polvo y bajando de nuevo al valor base después que es limpiado. Las medidas de la caída de presión se usan para determinar si la tela se limpia apropiadamente y que la casa de bolsas está operando como se diseñó. Valores anormalmente altos pueden indicar que el medio filtrante se está “cegando” por los materiales, tales como los aerosoles orgánicos, que no pueden removerse. Esta es una indicación potencial de una falla para capturar y controlar la MP del proceso. Valores anormalmente bajos pueden indicar hoyos en el medio filtrante o falla mecánica de los componentes de la casa de bolsas. En la Tabla 4.5 se proporcionan estimaciones de costos para el monitoreo paramétrico de emisiones de MP utilizando la caída de presión a través del filtro de tela.

Tal como con cualquier otro tipo de ACM, el monitoreo de la caída de presión es un indicador útil del funcionamiento de la casa de bolsa, pero no garantiza cumplimiento con las normas de emisiones. Cualquier programa de monitoreo paramétrico para equipo de control por filtración con tela, debe considerarse parte de un programa de cumplimiento más amplio que incluya inspecciones de rutina y bitácoras de mantenimiento que ayuden a predecir

y eliminar problemas de equipo antes de que ocurran. El monitoreo de rutina de los parámetros claves de operación mejorarán el funcionamiento de un filtro de tela y aumenta su vida de servicio efectivo. Establecer un programa efectivo de operación y mantenimiento es un componente importante para predecir fallas de la casa de bolsas.

Existen varios otros métodos para monitorear. El monitoreo visual de la opacidad por MP por lectores de humo certificados es un método. Otros métodos incluyen el uso de SMCE de MP los cuales están ahora en el mercado. Sin embargo, los SMCE de MP aún son considerados una tecnología nueva. Estos métodos son generalmente más caros que el monitoreo paramétrico de MP.

El tratamiento térmico es otro tipo de control de MP que típicamente se aplica a aerosoles orgánicos. Aunque este es principalmente una técnica de control de COV, es efectivo para el control de compuestos orgánicos de alto peso molecular que pueden condensarse para formar MP. Las temperaturas de combustión se miden por termopares instalados en las unidades de tratamiento térmico. Las mediciones de temperatura pueden utilizarse para evaluar prácticas de combustión y, si se mantiene dentro de los rangos de operación designados, proporcionarían un nivel razonable de confianza para cumplir con las limitaciones de emisión de MP. El monitoreo de temperatura de un dispositivo de tratamiento térmico no requiere la instalación de equipo adicional, excepto posiblemente de un SAD [9].

#### **4.3.2 Bióxido de Azufre**

Los dos métodos principales de control de bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en uso en los EE.UU. son las torres de limpieza húmeda del gas (*gas wet scrubber*) y los secadores por aspersion. Los secadores por aspersion se están haciendo más prevalentes en instalaciones nuevas, pero las torres de limpieza húmedas de gas son aún más ampliamente utilizadas.

La Regla de ACM utilizó torres de limpieza húmedas (absorbedores de gas), para determinar sus costos de *Regulatory Impact Assessment (RIA)* de monitoreo de  $\text{SO}_2$ . Las torres de limpieza húmedas utilizan una variedad de técnicas incluyendo materiales empacados, bandejas perforadas y aspersores para forzar un contacto cercano entre el gas sucio y el líquido de limpieza del gas (licor), que fluye a través de la torre de limpieza. Un parámetro de  $\text{SO}_2$  utilizado para monitorear emisiones indirectamente, es la caída de presión a través de la torre de limpieza húmeda, medida con un indicador de presión diferencial o manómetro. Similar a nuestra discusión de las casas de bolsas, caídas de presión anormalmente altas y anormalmente bajas pueden indicar problemas de operación. Caídas de presión anormalmente bajas indican que el gas sucio probablemente no está siendo forzado a un contacto adecuado con el licor de la torre de limpieza y que probablemente el  $\text{SO}_2$  está siendo emitido sin tratamiento adecuado. Caídas de presión anormalmente altas probablemente indican problemas mecánicos, tales como inundación (exceso de licor) u obstrucción (contaminación del material de empaque). Estos problemas indican falla para capturar y controlar adecuadamente el  $\text{SO}_2$ . Las técnicas de ACM usadas en este ejemplo son aplicables generalmente a otros contaminantes además del  $\text{SO}_2$ . [10]

El monitoreo de la caída de presión en una torra de limpieza de gas es menos cara que utilizar SMCE de  $SO_2$ , pero solo da una indicación de la operación de la torre de limpieza y no es necesariamente una indicación de cumplimiento con las regulaciones aplicables. Para una verdadera indicación de cumplimiento, debe utilizarse monitoreo paramétrico. En la Tabla 4.6 se proporcionan estimaciones de costo para el monitoreo paramétrico de una torre de limpieza húmeda utilizando la caída de presión.

**Tabla 4.6:** Resumen de Costos Para la Caída de Presión Através de Torres Limpiadoras Húmedas

<b>Concepto</b>	<b>CostoTotal, \$</b>
<b>Costos de capital y otros costos iniciales</b>	
Planeación <sup>a</sup>	4,890
Selección de equipo <sup>b</sup>	0
Instalaciones de soporte <sup>c</sup>	2,000
Costo de equipo comprado <sup>d</sup>	3,260
Instalar y revisar SAD <sup>e</sup>	5,680
Texto de recolección de datos <sup>f</sup>	16,140
<hr/>	
Inversión de capital total ( <i>TCI</i> )	31,970
<hr/>	
<b>Costos anuales, \$/año</b>	
Operación y mantenimiento <sup>g</sup>	900
Annual RATA <sup>h</sup>	10,930
Registros e informes <sup>i</sup>	2,020
Impuestos prediales, seguros y gastos administrativos <sup>g</sup>	1,280
Recuperación de capital <sup>h</sup>	3,020
<hr/>	
Costo Total Anual, \$/año	26,650

<sup>a</sup> Basado en \$ 4,250 de mano de obra por revisar regulaciones, definir requerimientos de monitoreo y desarrollar el plan ACM más \$640 en suministros.

<sup>b</sup> Costo de seleccionar el sistema de adquisición de datos basado en CP (computadora personal), incluido en los costos de planeación.

<sup>c</sup> Costo de instalar los puertos de muestreo en la chimenea.

<sup>d</sup> Costo basado en CP clase Pentium, monitor, impresora y programa operativo. Instalación de la CP e interconexión para las señales de los sensores.

<sup>e</sup> Calibraciones de los equipos y servicios de arranque.

<sup>f</sup> El costo para la recolección de datos de las pruebas se basa en el costo de pruebas RATA<sup>1</sup> iniciales en un MCE.

<sup>g</sup> Basado en 10% del costo de equipo comprado + 10% de mano de obra de instalación.

<sup>h</sup> El costo para la recolección de datos de las pruebas se basa en el costo de la prueba RATA<sup>1</sup> en un MCE.

<sup>i</sup> 5 min. por turno 3 turnos por día x(365 días/año) @ \$17.50/hr para los operadores. Agregar 2.5% del tiempo del operador por revisiones del ingeniero @ \$30/hr, 2.5% del tiempo del operador por revisión gerencial @ \$50/hr, 10% del tiempo del operador por apoyo secretarial @ \$10/hr y \$100 de suministros.

<sup>j</sup> Planeación de AC (aseguramiento de calidad), entrenamiento e inventario de equipo estimados en 50% del costo de ACM.

<sup>k</sup> Basado en 4% del *TCI*

<sup>l</sup>  $CRF = 0.0944 \times TCI$  basado en 20 años de vida útil y 7% de interés.

<sup>1</sup> RATA = APPR = Auditoría de la prueba de precisión relativa.

Una de las formas más simples de monitoreo paramétrico es el monitoreo del contenido de azufre en el combustible y el uso de combustible. El contenido de azufre en el combustible típicamente está disponible como una especificación máxima del proveedor del combustible. También puede ser muestreado en el sitio y proporcionarse como un por ciento en peso de azufre. El peso molecular del  $\text{SO}_2$  es el doble que el del azufre elemental. Por lo tanto, monitoreando la razón de uso de combustible, la razón de las emisiones de  $\text{SO}_2$  pueden calcularse fácilmente suponiendo combustión completa de todo el azufre del combustible a  $\text{SO}_2$ . Los registros de las compras de combustible pueden ser adecuadas para monitorear el uso de combustible. Si esta información no es adecuada para demostrar cumplimiento con la norma aplicable, pueden comprarse dispositivos de monitoreo de combustible.

Los combustibles líquidos y gaseosos pueden monitorearse utilizando un totalizador, el cual mide los galones o pies cúbicos de gas usados. Los totalizadores están disponibles con señales electrónicas para usarse con SAD. El monitoreo de combustible sólido puede lograrse pesando el combustible. Otro enfoque sería medir la salida de calor del equipo. Por ejemplo, monitorear la salida de vapor del generador y convertirlo a entrada de calor. Para la mayoría de las calderas industriales, se puede establecer fácilmente una relación entre el combustible requerido y el vapor producido para un combustible en particular. Una vez que esta relación se ha establecido, la producción de vapor podría usarse como un sustituto del monitoreo del uso de combustible.

### **4.3.3 Monóxido de Carbono**

El monóxido de carbono resulta de la combustión incompleta de combustible a base de carbón. Algunos tipos de equipos de combustión, tales como los incineradores, pueden producir niveles relativamente altos de monóxido de carbono. El tratamiento térmico del gas liberado puede utilizarse para quemar el monóxido de carbono y otros productos de la combustión incompleta. La mayoría del equipo de combustión industrial, incluyendo las turbinas estacionarias y otras máquinas estacionarias, producen cantidades relativamente pequeñas de monóxido de carbono. Para estas fuentes, la optimización de la combustión es el método de control típico. El control de parámetros claves de la operación de la máquina, tales como combustible, aire y carga de la máquina, optimiza la combustión y deja que la máquina opere a un nivel de emisiones bajo y en cumplimiento. También pueden limitarse efectivamente los óxidos de nitrógeno, COVs y otros contaminantes, a través de la optimización de la combustión.

Algunos equipos de combustión industriales requieren de un conjunto bastante estrecho de parámetros de operación. Para este tipo de equipo, las pruebas periódicas pueden establecer un patrón de emisiones que se correlacione con las condiciones óptimas de operación. Las condiciones de operación que se correlacionan con las violaciones a las limitaciones de emisiones, pueden monitorearse utilizando técnicas de monitoreo paramétrico. El aspecto crítico de este tipo de monitoreo es establecer la relación entre las condiciones de operación y las emisiones. Durante las pruebas periódicas de cumplimiento, los parámetros claves, tales como la temperatura

de operación, el exceso de aire y la carga, pueden monitorearse concurrentemente con el CO. Estableciendo una correlación entre estos parámetros y las razones de las emisiones de CO, se pueden desarrollar algoritmos para predecir emisiones.

Estos algoritmos pueden programarse dentro del SAD. El SAD puede entonces monitorear las operaciones y determinar si ocurre cualquiera de las condiciones que producen exceso de emisiones. Los analizadores portátiles de combustión son una opción aceptable para fuentes de CO y pueden ser utilizados para medir exceso de aire u O<sub>2</sub>, flujo de aire y temperatura.

Este tipo de enfoque puede ser una manera efectiva en costo de monitoreo paramétrico, particularmente cuando varias unidades idénticas son operadas por una compañía. Los costos de desarrollar técnicas de monitoreo paramétricas para unidades adicionales idénticas, puede ser sustancialmente menos que para la primera unidad.

La Tabla 4.7 contiene estimaciones de costos para el desarrollo inicial de este tipo de monitoreo paramétrico de CO en una unidad de combustión individual. En este ejemplo, se utilizan analizadores portátiles por un período de tiempo corto, para establecer una relación entre las condiciones de operación y las emisiones. El costo de equipo comprado es más bajo que utilizando un SMCE de CO, sin embargo, se requiere un sistema de adquisición de datos. Para la mayoría de los equipos de combustión que operan dentro de un rango predecible, este método ofrece mayor aseguramiento que el monitoreo de la caída de presión descrito en los dos ejemplos previos. Algunos equipos industriales de combustión operan a condiciones casi de estado estable y puede ser adecuado un monitoreo paramétrico más simple. Muchas calderas industriales están ya monitoreando los parámetros de operación tales como la carga y el flujo de aire de combustión, utilizando registradores de gráficas de papel. Algunas unidades son capaces de demostrar que su monitoreo existente es adecuado para mantener cumplimiento.

#### **4.3.4 Oxidos Nitrosos**

Las emisiones de NO<sub>x</sub> de equipos industriales de combustión pueden monitorearse de la misma manera que las emisiones de CO discutida anteriormente. Las emisiones de NO<sub>x</sub> varían con la carga y típicamente aumentarán a medida que aumenta la carga. Para limitar la generación de NO<sub>x</sub>, se necesitan minimizar la carga, la temperatura de la zona de combustión y el exceso de aire. Aunque el algoritmo que describe la relación entre el NO<sub>x</sub> y las condiciones de operación obviamente que será diferente que el desarrollado para CO, el enfoque básico es idéntico. Las turbinas estacionarias producen más NO<sub>x</sub> que CO y pueden operar más cerca a los límites regulatorios para NO<sub>x</sub>. El enfoque de monitoreo paramétrico puede necesitar pruebas periódicas directas adicionales de las emisiones de NO<sub>x</sub>, si el margen de cumplimiento es pequeño.[12] La Tabla 4.8 contiene las estimaciones de costo para el desarrollo inicial de monitoreo paramétrico de NO<sub>x</sub> en una unidad individual de combustión.

**Figura 4.7:** Resumen de Costos Para Monitoreo Paramétrico de Emisiones de CO Utilizando la Temperatura y Otros Parámetros de Operación

<b>Concepto</b>	<b>Costo total, \$</b>
<b>Costo de capital y otros costos iniciales</b>	
Planeación <sup>a</sup>	4,890
Selección de equipo <sup>b</sup>	0
Instalaciones de soporte <sup>c</sup>	2,000
Costo de equipo comprado <sup>d</sup>	3,260
Instalar y revisar el SAD <sup>e</sup>	5,680
Texto de recolección de datos <sup>f</sup>	16,140
<b>Inversión de capital total (TCI)</b>	<b>31,970</b>
<b>Costos anuales, \$/año</b>	
Operación y mantenimiento <sup>g</sup>	900
RATA anual <sup>h</sup>	10,930
Registros e informes <sup>i</sup>	2,020
Impuestos prediales, seguros y gastos administrativos <sup>g</sup>	1,280
Recuperación de capital <sup>h</sup>	3,020
<b>Costo total anual, \$/año</b>	<b>26,650</b>

<sup>a</sup> Basado en \$ 4,250 de mano de obra para revisar regulaciones, definir requerimientos de monitoreo y desarrollar el plan de ACM más \$640 en suministros.

<sup>b</sup> Costo de seleccionar el sistema de adquisición de datos basado en CP incluyendo costos de planeación.

<sup>c</sup> Costo de instalación de puertos de muestreo en la chimenea.

<sup>d</sup> Costo basado en una CP clase Pentium, monitor, impresora y programa operativo.

<sup>e</sup> Instalación de la CP e interconexión por sensores de señales y servicios de calibración y arranque de equipo

<sup>f</sup> El costo de recolección de datos de las pruebas se basa en el costo para la prueba RATA<sup>1</sup> inicial en un MCE.

<sup>g</sup> Basado en 10% del costo de equipo comprado + 10% de costo de mano de obra de instalación.

<sup>h</sup> El costo de recolección de datos de las pruebas se basa en el costo del RATA<sup>1</sup> testing anual en un MCE.

<sup>i</sup> 5 min. por turno 3 turnos por día x(365 días/año) @ \$17.50/hr por operadores. Agregar 2.5% de tiempo del operador por revisiones del ingeniero @ \$30/hr, 2.5% del tiempo del operador por revisión gerencial @ \$50/hr, 10% de tiempo del operador por apoyo secretarial @ \$10/hr y \$100 para suministros.

<sup>j</sup> Planeación de AC, entrenamiento e inventario de equipo estimado en 50% del costo del MCE.

<sup>k</sup> Basado en 4% del TCI

<sup>l</sup>  $CRF = 0.0944 \times TCI$  basado en 20 años de vida útil y 7% de interés.

<sup>1</sup> RATA = APPR = Auditoría de la prueba de precisión relativa.



**Tabla 4.8:** Resumen de Costos Para el Monitoreo Paramétrico de Emisiones de NO<sub>x</sub> Utilizando la Temperatura y Otros Parámetros de Combustión

<b>Concepto</b>	<b>Costo total, \$</b>
<b>Costo de capital y otros costos iniciales</b>	
Planeación <sup>a</sup>	4,890
Selección	0
Instalaciones de soporte <sup>c</sup>	2,000
Costo de equipo comprado <sup>d</sup>	3,260
Instalar y revisar el SAD <sup>e</sup>	5,680
Texto de recolección de datos <sup>f</sup>	16,140
<b>Inversión total de capital (TCI)</b>	<b>31,970</b>
<b>Costos anuales, \$/año</b>	
Operación y mantenimiento <sup>g</sup>	900
RATA <sup>1</sup> anual <sup>h</sup>	10,930
Registros e informes <sup>i</sup>	2,020
Impuesto predial, seguros y gastos administrativos <sup>g</sup>	1,280
Recuperación de capital <sup>h</sup>	3,020
<b>Costo total anual, \$/año</b>	<b>26,650</b>

<sup>a</sup> \$4,250 de mano de obra por revisar regulaciones, definir requerimientos de monitoreo y desarrollar el plan de ACM más \$640 en suministros.

<sup>b</sup> Costo de seleccionar el sistema de adquisición de datos basado en CP incluido en los costos de planeación.

<sup>c</sup> Costo de instalación de los puertos de muestreo en la chimenea.

<sup>d</sup> Costo basado en una CP clase Pentium, monitor, impresora y programa operativo.

<sup>e</sup> Instalación de la CP e interconexión para señales de sensores y servicios de calibración y arranque de equipo.

<sup>f</sup> El costo de recolección de datos de las pruebas está basado en el costo de la RATA<sup>1</sup> testing inicial en un MCE.

<sup>g</sup> Basado en 10% del costo de equipo comprado + 10% del costo de mano de obra de instalación.

<sup>h</sup> El costo de recolección de datos de las pruebas está basado en el costo del RATA testing anual en un MCE.

<sup>i</sup> 5 min. por turno 3 turnos por día x(365 días/año) @ \$17.50/hr por operadores. Agregar 2.5% del tiempo del operador por revisión del ingeniero @ \$30/hr, 2.5% del tiempo del operador por revisión gerencial @ \$50/hr, 10% del tiempo del operador por apoyo secretarial @ \$10/hr y \$100 para suministros.

<sup>j</sup> Planeación de AC, entrenamiento e inventario de equipo estimado en 50% del costo del MCE.

<sup>k</sup> Basado en 4% del TCI

<sup>l</sup>  $CRF = 0.0944 \times TCI$  basado en 20 años de vida útil y 7% de interés.

<sup>1</sup> RATA = APPR = Auditoría de la prueba de precisión relativa.



### 4.3.5 Opacidad

Las regulaciones de opacidad intentan apoyar el cumplimiento de las limitaciones para emisiones de MP. Las normas de opacidad pueden considerarse como enfoque sustituto o paramétrico para determinar cumplimiento en MP. La opacidad puede medirse utilizando un monitor de opacidad o a través del uso de los Métodos 9 y 22 de *EPA*. Es posible que puedan utilizarse los enfoques paramétricos, tales como aquellos discutidos para CO y NO<sub>x</sub>, que dependen de correlacionar la condición de operación del equipo con las razones de emisiones. Sin embargo, para la mayoría de los procesos, la opacidad alta no es una operación típica y probablemente no pueda ser fácilmente correlacionada a los parámetros típicos de operación.

La Regla de ACM propone el Método 9 de *EPA* como un método de establecimiento de cumplimiento con las regulaciones de opacidad y puede también considerarse un método o método de soporte de verificación del cumplimiento con los límites de emisiones de MP. Utilizando el Método 9 de *EPA*, la opacidad se mide por un lector certificado de humo, el cual observa visualmente la opacidad o la densidad óptica de la pluma. Los ojos de los lectores están “calibrados” pasando recertificaciones cada seis meses. Este método es útil para plantas con dispositivos de control que producen normalmente emisiones no visibles, pero que cuando falla el control, ocurren emisiones visibles. Por ejemplo, considere una prensa de impresión con un horno de secado que produce humo visible. Para eliminar el humo, se instala equipo de control por combustión térmica. Para este proceso, cualquier emisiones visibles podrían indicar problemas de operación con el equipo de control.

La mayoría de los puntos de emisiones de contaminantes del aire también están sujetos a regulaciones de opacidad. Para las regulaciones de opacidad, los Métodos 9 y 22 son métodos de verificación de referencia y no son métodos paramétricos. La lectura de opacidad es menos cara que el monitoreo directo de emisiones utilizando MCEs. Los MCEs de MP son nuevos en el mercado, pero son una tecnología relativamente nueva (véase la Sección 4.2.2). Sin embargo, la lectura de opacidad tiene sus inconvenientes. La presencia de vapor de agua en la chimenea, el color del humo emitido y la posición del sol pueden influir sustancialmente la opacidad aparente. A pesar de estos factores de complicación, la lectura de la opacidad sigue siendo usada ampliamente debido a la falta de métodos alternos para la determinación fácil de emisiones de MP.

La Tabla 4.9 contiene estimaciones de costo para el monitoreo paramétrico de opacidad utilizando lecturas visuales de opacidad en una unidad individual.

**Tabla 4.9:** Resumen de Costos Para el Monitoreo Paramétrico de Opacidad Utilizando el Método de Emisiones Visibles

Concepto	Costo total, \$
<b>Costo de capital y otros costos iniciales</b>	
Planeación <sup>a</sup>	1,070
Selección del curso <sup>b</sup>	240
Curso de entrenamiento <sup>c</sup>	550
Certificación <sup>d</sup>	1,100
<hr/>	
Inversión de capital total ( <i>TCI</i> )	2,960
<hr/>	
<b>Costos anuales, \$/año</b>	
Observación diaria de 15 minutos <sup>e</sup>	1,700
Certificación semianual <sup>f</sup>	1,100
Registros e informes <sup>g</sup>	2,015
Impuestos prediales, seguros y gastos administrativos	120
Recuperación de capital <sup>h</sup>	280
<hr/>	
Costo total anual, \$/año	5,215
<hr/>	

<sup>a</sup> Ingeniero, 32 hrs @ \$30/hr + revisión gerencial 2hrs @ \$50/hr + \$10 cargos de teléfono.

<sup>b</sup> Ingeniero y agente de compras 4 hrs @ \$30/hr.

<sup>c</sup> Curso de entrenamiento de un día para dos operadores de la planta @ \$17/hr + \$200 del contratista + \$50 otros costos.

<sup>d</sup> Dos días para que dos operadores pasen las pruebas de certificación @ \$17/hr.

<sup>e</sup> 15 min. por día de observación de opacida por operador @ \$17/hr

<sup>f</sup> 5 min. por turno 3 turnos por día x(365 días/año) @ \$17.50/hr por operadores. Agregar 2.5% del tiempo del operador por revisiones del ingeniero @ \$30/hr, 2.5% del tiempo del operador por revisiones gerenciales @ \$50/hr, 10% del tiempo del operador por apoyo secretarial @ \$10/hr y \$100 para suministros.

<sup>g</sup> Basado en 4% del *TCI*

<sup>h</sup>  $CRF = 0.0944 \times TCI$  basado en 20 años de vida útil y 7% de interés.

#### 4.3.6 COVs

El uso del monitoreo de temperatura para asegurar la destrucción térmica de las partículas orgánicas se aplica principalmente a la suposición de destrucción de COV. Las pruebas periódicas, tales como la prueba de cumplimiento, establecen el funcionamiento del tratamiento térmico (v.g., 98% de destrucción de VOC), a la mínima temperatura de operación alcanzada durante la prueba. Siempre que la temperatura se mantenga y el tipo y cantidad de COV alimentado a la unidad térmica no cambie, se demuestra el funcionamiento de la unidad.

Para evaluar los costos de control para la Regla de ACM, EPA desarrolló un enfoque de monitoreo paramétrico para absorbedores de carbón, los cuales son frecuentemente usados para abatir emisiones de COV. La medición directa periódica o continua de la concentración de salida de COV, es un tipo de monitoreo paramétrico aplicado a los dispositivos de control absorbedores de COV. El propósito de este monitoreo es detectar el “escape” de COV a través del carbón, lo

cual ocurre cuando el carbón se satura de COVs y ya no puede removerlos de la corriente de gas. Entonces, los COVs pasan sin controlarse. La capacidad de absorción del carbón y de la concentración de COV en la corriente del gas, ayudan a determinar el enfoque apropiado de monitoreo.

Los sistemas más grandes típicamente regeneran el carbón en el sitio, a veces varias veces al día. Como resultado, el potencial de escape es muy alto en estos sistemas, así que típicamente se monitorean muchos otros parámetros para mantener la seguridad y el funcionamiento. La medición de la temperatura del gas a la entrada y de la temperatura del lecho de carbón puede detectar fuegos potenciales. El monitoreo de la caída de presión a través del absorbedor de carbón es un indicador del flujo apropiado del gas, de la obstrucción del lecho de carbón o de la canalización en el lecho del carbón. Pueden instalarse indicadores de presión estática o manómetros a la entrada y a la salida para determinar la caída de presión. El monitoreo continuo de COV puede ser también apropiado para estos sistemas. Si se utiliza un monitor de COV de baja resolución, el monitoreo de COV se convierte en un método paramétrico en vez de un método de MCE. El monitor utilizado podría ser menos sensible y menos caro que un MCE de COV, puesto que solo requiere detectar concentraciones de COV después que el absorbedor de carbón ha alcanzado un nivel que indica escape. [13].

Los sistemas más pequeños puede que no regeneren el carbón en el sitio. El reemplazo periódico del carbón o del sistema entero, son prácticas comunes. El sistema puede ser tan simple como un tambor de 55 galones lleno de carbón y una manguera que puede conectarse a la fuente de COVs (tal como un tanque pequeño de almacenamiento). Pueden almacenarse en el sitio múltiples tambores y cambiarse cuando el carbón se satura con COVs. Un reciclador puede entonces reciclar los tambores usados, dejando tambores frescos de repuesto. Para estos sistemas, puede ser adecuado realizar pruebas periódicas con tubos de muestra para detectar cuando el carbón se satura y se requiere reemplazar el tambor. Esta prueba periódica puede utilizarse para establecer un programa razonable de reemplazos. La Tabla 4.10 contiene estimaciones de costo para monitores paramétricos de COVs utilizando la capacidad de absorción del carbón en un unidad individual.

#### **4.3.7 SAD**

El tipo de registros utilizados para demostrar cumplimiento, deben ser consistentes razonablemente con el tamaño, complejidad y requerimientos regulatorios de la fuente y del potencial de la fuente de excederse en emisiones. En los resúmenes de costos presentados en las secciones previas, se incluyó un solo precio de un SAD en las estimaciones de costos para el monitoreo paramétrico de CO y de NO<sub>x</sub>. Para otros ejemplos, tales como el monitoreo de la caída de presión a través de una casa de bolsas, pueden ser adecuados métodos simples; los registros pueden consistir de un operador registrando manualmente la caída de presión una vez por turno. Sin embargo, las fuentes más grandes o las fuentes con requerimientos regulatorios más estrictos, pueden necesitar el uso de SAD.

**Tabla 4.10:** Resumen de Costos Para el Monitoreo Paramétrico de COVs Utilizando la Capacidad de Absorción de Carbón

<b>Concepto</b>	<b>Costo, \$</b>
<b>Costo de capital y otros costos iniciales</b>	
Planeación <sup>a</sup>	1,070
Selección de equipo <sup>b</sup>	240
Costo de equipo comprado <sup>c</sup>	620
Instalar y calibrar el sistema <sup>d</sup>	630
<hr/>	
Inversión de capital total ( <i>TCI</i> )	2,960
<hr/>	
<b>Costos anuales, \$/año</b>	
Operación y mantenimiento <sup>e</sup>	130
Registros <sup>f</sup>	9,795
Impuestos prediales, seguros y gastos administrativos	100
Recuperación de capital	240
<hr/>	
Costo anual, \$/año	10,265
<hr/>	
<sup>a</sup>	Ingeniero, 32 hrs @ \$30/hr + revisión gerencial 2hrs @ \$50/hr + \$10 cargos de teléfono
<sup>b</sup>	Ingeniero y agente de compras 4 hrs @ \$30/hr
<sup>c</sup>	Costo del fabricante/proveedor del equipo
<sup>d</sup>	Costos combinados de mano de obra de la casa y del contratista de \$630
<sup>e</sup>	10% del costo de equipo comprado + costos combinados de mano de obra de la casa y del contratista de \$65
<sup>f</sup>	5 min. por turno 3 turnos por día x(365 días/año) @ \$17.50/hr por operadores. Agregar 2.5% del tiempo del operador por revisión del ingeniero @ \$30/hr, 2.5% del tiempo del operador por revisión gerencial @ \$50/hr, 10% del tiempo del operador por apoyo secretarial @ \$10/hr y \$100 para suministros.
<sup>g</sup>	Basado en 4% del <i>TCI</i>
<sup>h</sup>	$CRF = 0.0944 \times TCI$ basado en 20 años de vida útil y 7% de interés.

Los sistemas de adquisición de datos incluidos con el monitoreo paramétrico no difieren grandemente de los SAD de los SMCE. La necesidad de obtener una señal electrónica y después procesarla, almacenarla, comprobarla y resumirla como un parámetro reportado, es idéntica. Puede requerirse algún acondicionamiento especial de la señal, sin embargo, la mayoría de los SAD están equipados o son fácilmente mejorados para manejar señales tales como temperaturas proporcionadas por diferentes tipos de termopares. En los ejemplos del CO y del NO<sub>x</sub>, se utilizan un SAD y una computadora para desarrollar correlaciones entre los parámetros del proceso y los perfiles de emisiones observados. En este ejemplo, el SAD es esencial para obtener información de la operación del proceso, que es correlacionada por la computadora a un perfil de emisiones.

## 4.4 Estimación de Los Costos de Capital y Anuales Para SMCE

La Agencia para la Protección Ambiental de los EE.UU. (*U.S. Environmental Protection Agency, EPA*) desarrolló un programa de computadora para estimar los costos de SMCE titulado *Continuous Emission Monitoring System Cost Model, Version 3.0*, CEMS Cost Model (Modelo de costo del sistema de monitoreo continuo de emisiones, versión 3.0, Modelo de costo del SMCE). El modelo de estimación de costo del SMCE en este capítulo representa una versión simplificada de este modelo, apropiada para utilizarse con las hojas de cálculo usadas a través de este manual. Con excepción de los errores por redondeo, las estimaciones de costo producidas con este modelo, coinciden con las del Modelo de costo del SMCE.

Este enfoque representa un método adecuado de estimación para permitir a los ingenieros verificar los costos del equipo durante el análisis del permiso o para los ingenieros que realizan los costos iniciales del equipo en instalaciones típicas. La inversión de capital total (*TCI*) y el costo total anual (*TAC*) pueden estimarse para numerosas configuraciones de SMCE, sin acudir al Modelo de costo del SMCE más complejo. Las ecuaciones proporcionadas en esta sección no cubren todos los escenarios y tipos de monitores y combinaciones de equipos que están disponibles en el Modelo de costo del SMCE.

Esta metodología estima costos a nivel estudio para un SMCE solo, para monitorear emisiones de una fuente en un establecimiento. El valor obtenido para un SMCE solo, no debe multiplicarse por el número de SMCE requeridos para un establecimiento con múltiples fuentes, puesto que esto sobrestima el costo de SMCE múltiples. Un enfoque más detallado requeriría considerar factores adicionales que impactan la exactitud, confiabilidad y el costo de instalación y mantenimiento de un sistema de monitoreo. Las estimaciones detalladas de costo deben contar con el Modelo de costo del SMCE más completo, junto con análisis del proveedor o de otro experto, de los requerimientos específicos de la aplicación.

### 4.4.1 Desarrollo de Las Ecuaciones De Costo

Las ecuaciones de costo para *TCI* y *TAC* en esta sección, fueron desarrolladas a partir del Modelo de costo del SMCE utilizando técnicas de regresión lineal múltiple. Los factores que impactan los costos de capital, anual, de factores del personal y factores de equipo, funcionaron como las variables en el análisis de regresión. A estos factores se les asignan valores por omisión (*default*) de los datos del modelo de costo del SMCE.

Este manual supone que el personal necesario para instalar un SMCE incluye al ingeniero ambiental de la corporación (IAC), dos técnicos de la planta, un consultor de SMCE y personal para las pruebas. Los factores de costo asociados con este personal incluyen los salarios, otros gastos, tiempo de viaje, viáticos, *per diem* y honorarios. Las ecuaciones de *TCI* y *TAC* se derivan suponiendo los valores dados en la Tabla 4.15 localizada en el Anexo A. Estas suposiciones

**Tabla 4.11:** Salarios por Hora y Factores de Costo del Personal, por Omisión

Concepto de costo	IAC	Técnico I de la planta	Técnico II de la planta	Consultor del SMCE	Personal de pruebas
salarios, \$/hr sin OG	30.00	18.00	27.00	27.00	16.00
Otros gastos (OG), % del salario	40	40	40	200	200
Honorario, % de la utilidad	N/A	N/A	N/A	10	10
Salario por hora <sup>1</sup>	42.00	25.20	37.8	89.1	52.8

<sup>1</sup> Salario por hora integrado (*Loaded hourly rate*) \$/hr (salarios con otros gastos y honorarios)

deben ser consideradas al determinar la aplicabilidad de las ecuaciones de costo. En la Tabla 4.11 se proporcionan los valores por omisión del modelo de costo del SMCE para los factores de costo del personal. Los datos de la Tabla 4.11 son los salarios por hora integrados para cada tipo de empleado. Los valores por omisión pueden modificarse si se dispone de información específica de la localidad o específica del vendedor (v.g., salarios locales).

Los factores de costo de equipo incluyen el costo de los monitores y analizadores del SMCE y del equipo auxiliar. Los costos del monitor y del analizador son específicos de la configuración del SMCE (extractivo, in situ, y ETFI) y del(los) contaminante(s) o parámetro(s) monitoreado(s). Los costos auxiliares incluyen al sistema de muestreo, el equipo del SAD, el cobertizo para los equipos, y los controles. También incluye equipo tal como escaleras de acceso y plataformas y la fabricación e instalación del sistema. Las ecuaciones de *TCI* y *TAC* se derivan suponiendo los valores dados en 4.16 localizados en el Apéndice A. En la Tabla 4.12 se proporcionan los valores por omisión del modelo de costo del SMCE para el factor de costo de equipo. Los costos de equipo presentados en la Tabla 4.12 son valores promedio de costos proporcionados por varios proveedores para desarrollar el Modelo de costo del SMCE. Estos valores por omisión pueden modificarse si se dispone de información específica del vendedor.

**Tabla 4.12:** Costos de Equipo por Omisión, de Analizadores y Monitores de SMCE (\$)

Contaminante o parámetro	Extractivo	In-situ	ETFI
Analizadores de compuestos gaseosos			
NO <sub>x</sub>	10,440	N/A	N/A
SO <sub>2</sub>	12,500	35,000	N/A
CO	8,490	28,000	N/A
CO <sub>2</sub>	7,890	N/A	N/A
O <sub>2</sub>	5,860	6,600	N/A
HCT	10,200	N/A	N/A
HCl	12,390	N/A	N/A
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	N/A	37,000	N/A
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> /O <sub>2</sub>	N/A	45,000	N/A
CO/CO <sub>2</sub>	N/A	34,000	N/A
Monitores <sup>a</sup>			
Opacidad	25,000	25,000	25,000
MP	37,700	37,700	37,700
Flujo	18,000	18,000	18,000
Analizador ETFI	N/A	N/A	100,000 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Todos los SMCE utilizan monitores idénticos de opacidad, MP y flujo.

<sup>b</sup> Agregar \$8,000 para la capacidad de monitorear antes del control así como después el control.

Se realizó regresión lineal multivariable utilizando los factores de costos por omisión, para producir constantes de regresión para varias configuraciones de muestreo del SMCE y de monitores de contaminantes. Hay constantes de regresión únicas para ambas ecuaciones de costo, de *TCl* y de *TAC*, las cuales actúan como “factores de correlación” para los valores por omisión de los factores de costo. El conjunto de constantes a ser utilizadas en las ecuaciones de costo está determinado por el diseño del SMCE. Las opciones de diseño que se toman en cuenta, incluyen:

- Tipo de dispositivo - la configuración de muestreo del SMCE (extractivo, in situ y ETFI),
- Parámetro monitoreado - un solo contaminante, múltiples contaminantes, opacidad y flujo,
- Muestra de pre-control - localización de muestreo adicional antes del dispositivo de control de la contaminación, y
- Nueva instalación - instalación en un establecimiento nuevo contra reconversión del establecimiento existente.

El usuario debe primero seleccionar entre una instalación extractiva, in situ o ETFI; después seleccionar el(los) contaminante(s) o parámetro(s) a ser monitoreado(s). La ecuación supone una localización de muestreo del SMCE instalada corriente abajo del dispositivo de control de la contaminación. El costo de una localización de muestreo adicional antes del control, puede incluirse utilizando el parámetro de muestra de pre-control. La ecuación supone la reconversión del SMCE en un establecimiento existente y corrige el costo de instalación en un establecimiento nuevo, utilizando el parámetros de instalación nueva. El conjunto de constantes de regresión se localizan en la Tabla 4.13 para los costos de capital y en la Tabla 4.14 para los costos anuales.



**Tabla 4.13:** Coeficientes para Calcular la Inversión de Capital Total (TCI) Para SMCE

Parámetro medido	Muestra de pre-control	Instalación	k1	k2 (hrs)	k3 (hrs)	k4 (hrs)	k5 (hrs)	k6 (hrs)	k7 (hrs)
<b>Tipo de dispositivo</b>		<b>Extractivo</b>							
NO <sub>x</sub>		X	\$88,366	332.5	152.5	0	109.9	90.7	1
NO <sub>x</sub>	X	X	\$150,130	368.5	248.1	0	120.8	135.0	2
NO <sub>x</sub>			\$88,634	342.7	167.7	0	109.9	90.7	1
NO <sub>x</sub>	X		\$150,606	383.1	282.1	0	120.8	135.0	2
HCl	X		\$88,866	332.5	152.5	0	109.9	95.7	1
HCl	X	X	\$150,630	368.5	248.1	0	120.8	140.0	2
HCl			\$89,134	342.7	167.7	0	109.9	95.7	1
HCl	X		\$151,106	383.1	282.1	0	120.8	140.0	2
CO <sub>2</sub>		X	\$88,280	261.5	152.5	0	109.9	90.7	1
CO <sub>2</sub>	X	X	\$150,037	293.0	248.1	0	120.8	135.0	2
CO <sub>2</sub>			\$88,548	272.5	167.7	0	109.9	90.7	1
CO <sub>2</sub>	X		\$150,513	308.0	282.1	0	120.8	135.0	2
Flujo		X	\$22,470	192.1	98.5	0	62.7	42.0	1
Flujo	X	X	\$25,095	205.5	128.8	0	69.1	43.2	2
Flujo			\$22,638	199.1	100.5	0	62.7	42.0	1
Flujo	X		\$25,371	214.6	131.6	0	69.1	43.2	2
Opacidad		X	\$22,033	192.1	98.5	0	62.7	6.0	1
Opacidad	X	X	\$24,657	205.5	128.8	0	69.1	7.2	2
Opacidad			\$22,201	199.1	100.5	0	62.7	6.0	1
Opacidad	X		\$24,933	214.6	131.6	0	69.1	7.2	2
CO		X	\$88,366	332.5	152.5	0	109.9	90.7	1
CO	X	X	\$150,130	368.5	248.1	0	120.8	135.0	2
CO			\$88,634	342.7	167.7	0	109.9	90.7	1
CO	X		\$150,606	383.1	282.1	0	120.8	135.0	2
SO <sub>2</sub>		X	\$88,366	332.5	152.5	0	109.9	90.7	1
SO <sub>2</sub>	X	X	\$150,130	368.5	248.1	0	120.8	135.0	2
SO <sub>2</sub>			\$88,634	342.7	167.7	0	109.9	90.7	1
SO <sub>2</sub>	X		\$150,606	383.1	282.1	0	120.8	135.0	2
O <sub>2</sub>		X	\$88,280	261.5	152.5	0	109.9	90.7	1
O <sub>2</sub>	X	X	\$150,037	293.0	248.1	0	120.8	135.0	2
O <sub>2</sub>			\$88,548	272.5	167.7	0	109.9	90.7	1
O <sub>2</sub>	X		\$150,513	308.0	282.1	0	120.8	135.0	2
MP		X	\$28,855	211.2	153.9	0	64.7	27.1	1
MP	X	X	\$36,482	224.9	200.4	0	71.1	28.6	2
MP			\$29,223	218.2	155.9	0	64.7	27.1	1
MP	X		\$37,158	234.0	203.2	0	71.1	28.6	2
HCT		X	\$85,086	332.9	152.7	0	109.9	93.2	1
HCT	X	X	\$143,350	369.3	248.5	0	120.8	137.5	2
HCT			\$85,354	343.1	167.9	0	109.9	93.2	1
HCT	X		\$143,826	383.9	282.5	0	120.8	137.5	2
<b>Tipo de dispositivo</b>		<b>In-Situ</b>							
CO/CO <sub>2</sub>		X	\$39,228	288.1	101.0	0	105.1	91.8	1
CO/CO <sub>2</sub>	X	X	\$45,992	328.8	151.9	0	122.1	137.2	2
CO/CO <sub>2</sub>			\$39,501	298.3	108.6	0	105.1	91.8	1
CO/CO <sub>2</sub>	X		\$46,479	343.0	167.5	0	122.1	137.2	2
CO		X	\$38,028	283.8	97.4	0	105.1	91.8	1
CO	X	X	\$43,592	320.3	144.7	0	122.1	137.2	2
CO			\$38,301	294.0	105.0	0	105.1	91.8	1
CO	X		\$44,079	334.5	160.3	0	122.1	137.2	2
SO <sub>2</sub>		X	\$38,028	283.8	97.4	0	105.1	91.8	1
SO <sub>2</sub>	X	X	\$43,592	320.3	144.7	0	122.1	137.2	2
SO <sub>2</sub>			\$38,301	294.0	105.0	0	105.1	91.8	1
SO <sub>2</sub>	X		\$44,079	334.5	160.3	0	122.1	137.2	2
O <sub>2</sub>		X	\$38,028	287.0	97.4	0	105.1	91.8	1
O <sub>2</sub>	X	X	\$43,592	323.5	144.7	0	122.1	137.2	2
O <sub>2</sub>			\$38,301	298.0	105.0	0	105.1	91.8	1



**Tabla 4.13:** Coeficientes Para Calcular la Inversión de Capital Total (TCI) Para SMCE (Cont.)

Parámetro medido	Muestra de pre-control	Instalación	k1	k2 (hrs)	k3 (hrs)	k4 (hrs)	k5 (hrs)	k6 (hrs)	k7 (hrs)	
<b>Tipo de dispositivo</b>		<b>In-Situ</b>								
O <sub>2</sub>	X		\$44,079	338.5	160.3	0	122.1	137.2	2	
Flujo		X	\$25,875	253.5	98.6	0	64.3	42.0	0.367	
Flujo	X	X	\$32,737	290.6	158.8	0	71.2	86.4	0.733	
Flujo			\$26,049	260.5	100.6	0	64.3	42.0	0.367	
Flujo	X		\$33,223	302.9	167.2	0	71.2	86.4	0.733	
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>		X	\$39,228	289.7	101.0	0	105.1	91.8	1	
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	X	X	\$45,992	330.4	151.9	0	122.1	137.2	2	
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>			\$39,501	300.3	108.6	0	105.1	91.8	1	
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	X		\$46,479	345.0	167.5	0	122.1	137.2	2	
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> /O <sub>2</sub>		X	\$40,428	293.9	104.6	0	105.1	91.8	1	
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> /O <sub>2</sub>	X	X	\$48,392	338.9	159.1	0	122.1	137.2	2	
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> /O <sub>2</sub>			\$40,701	304.5	112.2	0	105.1	91.8	1	
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> /O <sub>2</sub>	X		\$48,879	353.5	174.7	0	122.1	137.2	2	
<b>Tipo de dispositivo</b>		<b>ETFI</b>								
NO <sub>x</sub>		X	\$168,674	352.5	77.6	109.0	109.9	91.6	0	
NO <sub>x</sub>	X	X	\$226,296	376.2	108.4	131.8	120.8	135.6	0	
NO <sub>x</sub>			\$168,966	363.5	71.6	109.0	109.9	91.6	0	
NO <sub>x</sub>	X		\$226,788	391.2	98.4	131.8	120.8	135.6	0	
SO <sub>2</sub>		X	\$168,674	352.5	77.6	109.0	109.9	91.6	0	
SO <sub>2</sub>	X	X	\$226,296	376.2	108.4	131.8	120.8	135.6	0	
SO <sub>2</sub>			\$168,966	363.5	71.6	109.0	109.9	91.6	0	
SO <sub>2</sub>	X		\$226,788	391.2	98.4	131.8	120.8	135.6	0	
CO		X	\$168,674	352.5	77.6	109.0	109.9	91.6	0	
CO	X	X	\$226,296	376.2	108.4	131.8	120.8	135.6	0	
CO			\$168,966	363.5	71.6	109.0	109.9	91.6	0	
CO	X		\$226,788	391.2	98.4	131.8	120.8	135.6	0	
HCl		X	\$168,674	352.5	77.6	109.0	109.9	91.6	0	
HCl	X	X	\$226,296	376.2	108.4	131.8	120.8	135.6	0	
HCl			\$168,966	363.5	71.6	109.0	109.9	91.6	0	
HCl	X		\$226,788	391.2	98.4	131.8	120.8	135.6	0	
CO <sub>2</sub>		X	\$168,674	281.6	77.6	109.0	109.9	91.6	0	
CO <sub>2</sub>	X	X	\$176,931	283.8	79.6	121.0	120.8	92.4	0	
CO <sub>2</sub>			\$168,966	292.6	71.6	109.0	109.9	91.6	0	
CO <sub>2</sub>	X		\$177,223	294.8	73.6	121.0	120.8	92.4	0	
O <sub>2</sub>		X	\$168,674	281.6	77.6	109.0	109.9	91.6	0	
O <sub>2</sub>	X	X	\$176,931	283.8	79.6	121.0	120.8	92.4	0	
O <sub>2</sub>			\$168,966	292.6	71.6	109.0	109.9	91.6	0	
O <sub>2</sub>	X		\$177,223	294.8	73.6	121.0	120.8	92.4	0	
Flujo		X	\$184,793	301.3	115.1	89.0	62.7	72.0	1	
Flujo	X	X	\$236,742	332.1	171.3	100.7	69.1	116.4	2	
Flujo			\$184,993	312.3	109.1	89.0	62.7	72.0	1	
Flujo	X		\$237,250	348.4	162.1	100.7	69.1	116.4	2	

**Tabla 4.14:** Coeficientes Para Calcular Los Costos Totales Anuales (TAC) Para SMCE

Parámetro medido	Muestra de Instalación pre-control		k8 (hrs)	k9 (hrs)	k10 (hrs)	k11 (hrs)	k12 (hrs)	k13 (hrs)	k14
<i>Tipo de dispositivo Extractivo</i>									
NO <sub>x</sub>		X	\$3,860	44.2	390.3	0	1.7	76.9	0.1
NO <sub>x</sub>	X	X	\$5,110	50.8	548.9	0	1.8	113.9	0.2
NO <sub>x</sub>			\$3,860	44.2	390.3	0	1.7	76.9	0.1
NO <sub>x</sub>	X		\$5,110	50.8	548.9	0	1.8	113.9	0.2
HCl		X	\$4,360	44.2	390.3	0	1.7	80.9	0.1
HCl	X	X	\$5,610	50.8	548.9	0	1.8	117.9	0.2
HCl			\$4,360	44.2	390.3	0	1.7	80.9	0.1
HCl	X		\$5,610	50.8	548.9	0	1.8	117.9	0.2
CO <sub>2</sub>		X	\$3,860	42.2	389.2	0	1.7	74.7	0.1
CO <sub>2</sub>	X	X	\$5,110	48.8	547.6	0	1.8	111.4	0.2
CO <sub>2</sub>			\$3,860	42.2	389.2	0	1.7	74.7	0.1
CO <sub>2</sub>	X		\$5,110	48.8	547.6	0	1.8	111.4	0.2
Flujo		X	\$1,655	22.1	386.6	0	0.0	34.0	0.05
Flujo	X	X	\$1,885	27.3	652.1	0	0.0	34.0	0.1
Flujo			\$1,655	22.1	386.6	0	0.0	34.0	0.05
Flujo	X		\$1,885	27.3	652.1	0	0.0	34.0	0.1
Opacidad		X	\$1,218	22.1	386.6	0	0.0	0.0	0.05
Opacidad	X	X	\$1,448	27.3	652.1	0	0.0	0.1	0.1
Opacidad			\$1,218	22.1	386.6	0	0.0	0.0	0.05
Opacidad	X		\$1,448	27.3	652.1	0	0.0	0.1	0.1
CO		X	\$3,860	44.2	390.3	0	1.7	76.9	0.1
CO	X	X	\$5,110	50.8	548.9	0	1.8	113.9	0.2
CO			\$3,860	44.2	390.3	0	1.7	76.9	0.1
CO	X		\$5,110	50.8	548.9	0	1.8	113.9	0.2
SO <sub>2</sub>		X	\$3,860	44.2	390.3	0	1.7	76.9	0.1
SO <sub>2</sub>	X	X	\$5,110	50.8	548.9	0	1.8	113.9	0.2
SO <sub>2</sub>			\$3,860	44.2	390.3	0	1.7	76.9	0.1
SO <sub>2</sub>	X		\$5,110	50.8	548.9	0	1.8	113.9	0.2
O <sub>2</sub>		X	\$3,860	42.2	389.2	0	1.7	74.7	0.1
O <sub>2</sub>	X	X	\$5,110	48.8	547.6	0	1.8	111.4	0.2
O <sub>2</sub>			\$3,860	42.2	389.2	0	1.7	74.7	0.1
O <sub>2</sub>	X		\$5,110	48.8	547.6	0	1.8	111.4	0.2
MP		X	\$2,723	32.7	521.4	0	1.5	89.3	0.1
MP	X	X	\$2,953	37.9	861.5	0	1.5	89.3	0.2
MP			\$2,723	32.7	521.4	0	1.5	89.3	0.1
MP	X		\$2,953	37.9	861.5	0	1.5	89.3	0.2
HCT		X	\$4,060	44.2	390.8	0	1.7	78.9	0.1
HCT	X	X	\$5,310	50.8	549.8	0	1.8	115.9	0.2
HCT			\$4,060	44.2	390.8	0	1.7	78.9	0.1
HCT	X		\$5,310	50.8	549.8	0	1.8	115.9	0.2
<i>Tipo de dispositivo In-Situ</i>									
CO/CO <sub>2</sub>		X	\$4,948	48.0	502.3	0	1.8	77.6	0.05
CO/CO <sub>2</sub>	X	X	\$6,257	61.5	795.2	0	2.0	115.0	0.1
CO/CO <sub>2</sub>			\$4,948	48.0	502.3	0	1.8	77.6	0.05
CO/CO <sub>2</sub>	X		\$6,257	61.5	795.2	0	2.0	115.0	0.1
CO		X	\$4,948	43.7	406.3	0	1.7	77.1	0.05
CO	X	X	\$6,257	52.9	603.2	0	1.8	114.0	0.1
CO			\$4,948	43.7	406.3	0	1.7	77.1	0.05
CO	X		\$6,257	52.9	603.2	0	1.8	114.0	0.1
SO <sub>2</sub>		X	\$4,948	43.7	406.3	0	1.7	77.1	0.05
SO <sub>2</sub>	X	X	\$6,257	52.9	603.2	0	1.8	114.0	0.1
SO <sub>2</sub>			\$4,948	43.7	406.3	0	1.7	77.1	0.05
SO <sub>2</sub>	X		\$6,257	52.9	603.2	0	1.8	114.0	0.1
O <sub>2</sub>		X	\$4,948	41.7	405.2	0	1.7	74.9	0.05

**Tabla 4.14:** Coeficientes Para Calcular los Costos Totales Anuales (TAC) Para SMCE (Cont.)

Parámetro medido	Muestra de pre-control	Instalación	k8 (hrs)	k9 (hrs)	k10 (hrs)	k11 (hrs)	k12 (hrs)	k13 (hrs)	k14
<b>Tipo de dispositivo</b>		<b>In-Situ</b>							
O <sub>2</sub>	X	X	\$6,257	50.9	602.1	0	1.8	111.8	0.1
O <sub>2</sub>			\$4,948	41.7	405.2	0	1.7	74.9	0.05
O <sub>2</sub>	X		\$6,257	50.9	602.1	0	1.8	111.8	0.1
Flujo		X	\$1,875	26.4	485.1	0	1.7	42.5	0.05
Flujo	X	X	\$2,054	36.3	854.5	0	1.8	79.0	0.1
Flujo			\$1,875	26.4	485.1	0	1.7	42.5	0.05
Flujo	X		\$2,054	36.3	854.5	0	1.8	79.0	0.1
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>		X	\$4,948	48.0	502.5	0	1.8	77.9	0.05
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	X	X	\$6,257	61.5	795.4	0	2.0	115.3	0.1
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>			\$4,948	48.0	502.5	0	1.8	77.9	0.05
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub>	X		\$6,257	61.5	795.4	0	2.0	115.3	0.1
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> /O <sub>2</sub>		X	\$4,948	52.3	598.5	0	1.9	78.4	0.05
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> /O <sub>2</sub>	X	X	\$6,257	70.1	987.4	0	2.2	116.3	0.1
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> /O <sub>2</sub>			\$4,948	52.3	598.5	0	1.9	78.4	0.05
SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> /O <sub>2</sub>	X		\$6,257	70.1	987.4	0	2.2	116.3	0.1
<b>Tipo de dispositivo</b>		<b>ETFI</b>							
NO <sub>x</sub>		X	\$22,375	35.5	30.2	301.2	1.7	76.9	0
NO <sub>x</sub>	X	X	\$24,861	41.7	36.2	439.9	1.8	113.9	0
NO <sub>x</sub>			\$22,375	35.5	30.2	301.2	1.7	76.9	0
NO <sub>x</sub>	X		\$24,861	41.7	36.2	439.9	1.8	113.9	0
SO <sub>2</sub>		X	\$22,375	35.5	30.2	301.2	1.7	76.9	0
SO <sub>2</sub>	X	X	\$24,861	41.7	36.2	439.9	1.8	113.9	0
SO <sub>2</sub>			\$22,375	35.5	30.2	301.2	1.7	76.9	0
SO <sub>2</sub>	X		\$24,861	41.7	36.2	439.9	1.8	113.9	0
CO		X	\$22,375	35.5	30.2	301.2	1.7	76.9	0
CO	X	X	\$24,861	41.7	36.2	439.9	1.8	113.9	0
CO			\$22,375	35.5	30.2	301.2	1.7	76.9	0
CO	X		\$24,861	41.7	36.2	439.9	1.8	113.9	0
HCl		X	\$22,375	35.5	30.2	301.2	1.7	76.9	0
HCl	X	X	\$24,861	41.7	36.2	439.9	1.8	113.9	0
HCl			\$22,375	35.5	30.2	301.2	1.7	76.9	0
HCl	X		\$24,861	41.7	36.2	439.9	1.8	113.9	0
CO <sub>2</sub>		X	\$22,375	33.5	30.2	300.1	1.7	74.7	0
CO <sub>2</sub>	X	X	\$24,674	39.7	30.8	435.0	1.8	75.4	0
CO <sub>2</sub>			\$22,375	33.5	30.2	300.1	1.7	74.7	0
O <sub>2</sub>	X		\$24,674	39.7	30.8	435.0	1.8	75.4	0
O <sub>2</sub>		X	\$22,375	33.5	30.2	300.1	1.7	74.7	0
O <sub>2</sub>	X	X	\$24,674	39.7	30.8	435.0	1.8	75.4	0
O <sub>2</sub>			\$22,375	33.5	30.2	300.1	1.7	74.7	0
O <sub>2</sub>	X		\$24,674	39.7	30.8	435.0	1.8	75.4	0
Flujo		X	\$2,616	27.1	397.6	21.2	0.0	34.0	0.05
Flujo	X	X	\$2,913	32.3	666.8	25.6	0.0	70.0	0.1
Flujo			\$2,616	27.1	397.6	21.2	0.0	34.0	0.05
Flujo	X		\$2,913	32.3	666.8	25.6	0.0	70.0	0.1

#### 4.4.2 Inversión de Capital Total

La inversión de capital total (*Total Capital Investment, TCI*), incluye los costos directos e indirectos asociados con la compra e instalación de equipo. Los costos incluyen el costo del equipo, el cual puede componerse de los siguientes componentes: costo del sistema de muestreo del SMCE, costo del monitor, costo del SAD, costo de equipo auxiliar y ambos costos de instalación, directos e indirectos. La estimación incluye los costos asociados con la planeación para el SMCE, selección de equipo, compra, instalación, instalaciones de soporte, pruebas de funcionamiento (Pruebas de funcionalidad aceptable) y evaluaciones de aseguramiento de calidad. Finalmente, la *TCI* incluye la instalación de cualquier plataforma y escaleras que se requieran para acceso de rutina y servicios. La *TCI* se calcula de la siguiente ecuación:

$$TCI = k_1 + (k_2 \times A) + (k_3 \times B) + (k_4 \times C) + (k_5 \times D) + (k_6 \times E) + (k_7 \times F) \quad (4.1)$$

donde  $k_1$  a  $k_7$  son las constantes de regresión para los costos de capital dados en la Tabla 4.13. Las variables de factor de costo  $A$  a  $F$  son los factores de costo del personal y del equipo, tal como se define a continuación:

$A$  = Costo por hora del IAC (incluye salarios, otros gastos y honorarios)

$B$  = Costo por hora del técnico de la planta (incluye salarios, otros gastos y honorarios)

$C$  = Costo por hora del técnico II de la planta (incluye salarios, otros gastos y honorarios)

$D$  = Costo por hora del consultor del SMCE (incluye salarios, otros gastos y honorarios)

$E$  = Costo por hora de la cuadrilla de pruebas (incluye salarios, otros gastos y honorarios)

$F$  = Costo de equipo

En la Tabla 4.11 se dan los valores por omisión de los factores de costo del personal  $A$  a  $E$ . En la Tabla 4.12 se dan los valores por omisión de los factores de costo de equipo,  $F$ .

#### 4.4.3 Costos Totales Anuales

El costo total anual (*Total annual cost, TAC*), es la suma de los costos directos e indirectos anuales. Los costos directos anuales incluyen los costos fijos, variables y semivariables. Los costos directos anuales variables toman en cuenta la compra del gas de calibración, agua y electricidad u otros consumibles requeridos por el SMCE. Los costos directos anuales fijos y semivariables incluyen los costos de la mano de obra de supervisión y de operación, los costos de mantenimiento y el costo de reemplazo de equipo. En general, los costos indirectos anuales incluyen el costo de recuperación de capital, los impuestos prediales, seguros, gastos administrativos y otros gastos. El costo de recuperación de capital se basa en la vida útil anticipada del equipo y en la tasa de interés anual empleada. Para los SMCE es típica una vida útil de 10 años. Los *TAC* se calculan de la siguiente ecuación:

$$TCI = k1 + (k2 \times A) + (k3 \times B) + (k4 \times K) + (k5 \times D) + (k6 \times E) + (k7 \times F) \quad (4.2)$$

donde  $k8$  a  $k14$  son constantes de regresión para los costos anuales dados en la Tabla 4.14 y  $A$  a  $F$  son los factores de costo por omisión dados en las Tablas 4.11 y 4.12, tal como se definen en la sección del costo de capital. La  $TCI$  es el costo del capital total según se calculó en la sección anterior y  $CRF$  es el factor de recuperación de capital (*Capital Recovery Factor*).

El factor de recuperación de capital,  $CRF$ , en la Ecuación 4.2 puede calcularse de la siguiente ecuación:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]} \quad (4.3)$$

donde

$i$  = tasa de interés (v.g.,  $i = 0.07$  para una tasa de interés de 7%)  
 $n$  = vida útil del equipo (en número de años)

Para SMCE, la agencia típicamente supone una vida útil del equipo de 10 años.

## 4.5 Cálculo de Muestra

¿Cual es el costo de un analizador extractivo de gas  $SO_2$  en un establecimiento nuevo con localizaciones de muestreo antes y después del dispositivo de control? Suponga una tasa de interés de 7% y que el monitor tiene una vida útil de 10 años.

Paso 1: Calcular la inversión de capital total,  $TCI$ , de la Ecuación 4.1:

$$TCI = k1 + (k2 \times A) + (k3 \times B) + (k4 \times K) + (k5 \times D) + (k6 \times E) + (k7 \times F)$$

Los salarios integrados de la Tabla 4.11:

$A$  = Salario del IAC = \$42.0/hr  
 $B$  = Salario del técnico I de la planta = \$25.2/hr  
 $C$  = Salario del técnico II de la planta = \$37.8/hr  
 $D$  = Honorarios del consultor = \$89.1/hr  
 $E$  = Salario de la cuadrilla de pruebas = \$52.8/hr

El costo de equipo de la Tabla 4.12:

$$F = \text{Costo de equipo para un SMCE extractivo de SO}_2 = \$12,500$$

Coefficientes  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$  y  $k_7$  de la Tabla 4.13:

$$k_1 = \$150,130$$

$$k_2 = 368.5 \text{ hrs}$$

$$k_3 = 248.1 \text{ hrs}$$

$$k_4 = 0 \text{ hrs}$$

$$k_5 = 120.8 \text{ hrs}$$

$$k_6 = 135.0 \text{ hrs}$$

$$k_7 = 2$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 4.1 resulta:

$$\begin{aligned} TCI &= \$150,130 + \$15,477 + \$6,252 + \$0 + \$10,763 + \$7,128 + \$25,000 \\ &= \$214,750 \end{aligned}$$

Paso 2: Calcular el factor de recuperación de capital,  $CRF$ , de la Ecuación 4.3:

$$CRF = \frac{0.07 \times (1 + 0.07)^{10}}{[(1 + 0.07)^{10} - 1]}$$

$$CRF = 0.1424$$

Paso 3: Calcular el costo total anual,  $TAC$ , de la Ecuación 4.2:

$$\begin{aligned} TAC &= k_8 + (k_9 \times A) + (k_{10} \times B) + (k_{11} \times C) + (k_{12} \times D) \\ &\quad + (k_{13} \times E) + (k_{14} \times F) + (CRF \times TCI) \end{aligned}$$

Salarios integrados de la Tabla 4.11:

$$A = \text{Salario del IAC} = \$42.0/\text{hr}$$

$$B = \text{Salario del técnico I de la planta} = \$25.2/\text{hr}$$

$$C = \text{Salario del técnico II de la planta} = \$37.8/\text{hr}$$

$$D = \text{Honorarios del consultor} = \$89.1/\text{hr}$$

$$E = \text{Salario de la cuadrilla de pruebas} = \$52.8/\text{hr}$$

Costo de equipo de la Tabla 4.12:

$$F = \text{Costo de equipo para un monitor extractivo de SO}_2 = \$12,500$$

Coefficientes  $k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}, k_{13}$  y  $k_{14}$  de la Tabla 4.14:

$$\begin{aligned}k_8 &= \$5,110 \\k_9 &= 50.8 \text{ hrs} \\k_{10} &= 548.9 \text{ hrs} \\k_{11} &= 0 \text{ hrs} \\k_{12} &= 1.8 \text{ hrs} \\k_{13} &= 113.9 \text{ hrs} \\k_{14} &= 0.2\end{aligned}$$

Del Paso 1,  $TCI = \$214,750$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación 4.2 resulta:

$$\begin{aligned}TAC &= \$5,110 + \$2,134 + \$13,832 + \$0 + \$160 + \$6,014 + \$2,500 + (CRF \times TCI) \\&= \$29,750 + (0.1424 \times \$214,750) \\&= \$60,330\end{aligned}$$

La inversión de capital total es de \$214,750 y el costo total anual es \$60,330 para un SMCE extractivo de SO<sub>2</sub> con localizaciones de muestreo antes y después del dispositivo de control.

## 4.6 Reconocimientos

Reconocemos agradecidamente a las siguientes compañías por contribuir con datos a esta sección:

- Cisco Systems
- Monitor Labs
- Analect Instruments

## Referencias

- [1] *Continuous Emissions Monitoring Systems Market Analysis, October 1994 p. 1-1*
- [2] *Technical Support Document for the Regulatory Impact Analysis of the Enhanced Monitoring Rule. Mathtech, Inc. September 30,1993, p 2-23.*
- [3] *Draft Periodic Monitoring Guidance, May 11, 1998*
- [3a] *Continuous Emissions Monitoring Systems Market Analysis, October 1994, p2-1.*
- [4] *User Manual: United States Environmental Protection Agency's Continuous Emissions Monitoring System Cost Model Version 3.0, p 3-2.*
- [5] *Continuous Emissions Monitoring Systems Market Analysis, October 1994, p2-6.*
- [6] *User Manual: United States Environmental Protection Agency's Continuous Emissions Monitoring System Cost Model Version 3.0, p 3-3.*
- [7] *User Manual: United States Environmental Protection Agency's Continuous Emissions Monitoring System Cost Model Version 3.0, p 3-4.*
- [8] *User Manual: United States Environmental Protection Agency's Continuous Emissions Monitoring System Cost Model Version 3.0, p 3-4, 3-5.*
- [9] *Ohio EPA's Operation and Maintenance (O&M) Guidelines for Air Pollution Control Equipment, 1993, p 4-22,4-23.*
- [10] *Ohio EPA's Operation and Maintenance (O&M) Guidelines for Air Pollution Control Equipment, 1993, p 9-13.*
- [11] *Periodic Monitoring Technical Reference Document, April 1999, p 5-26.*
- [12] *Periodic Monitoring Technical Reference Document, April 1999, p 5-23.*
- [13] *Periodic Monitoring Technical Reference Document, April 1999, p 5-11.*
- [14] *Ohio EPA's Operation and Maintenance (O&M) Guidelines for Air Pollution Control Equipment, 1993, p 6-22, 6-23.*
- [15] *Ohio EPA's Operation and Maintenance (O&M) Guidelines for Air Pollution Control Equipment, 1993, p 2-16.*



- [16] *Technical Support Document for the Regulatory Impact Analysis of the Enhanced Monitoring Rule. Mathtech, Inc. September 30, 1993, p 2-21, 2-22.*
- [17] *User Manual: United States Environmental Protection Agency's Continuous Emissions Monitoring System Cost Model Version 3.0, p 3-7*
- [18] *Jahnke, James A. Continuous Emission Monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York, c1993.*

## **Apéndice A**

# **SUPOSICIONES PARA LOS FACTORES DE COSTO DEL PER- SONAL Y DE EQUIPO**

El Apéndice A consiste de tablas de valores supuestos de los factores de costos del personal y de equipo. Las ecuaciones de inversión de capital total (*TCI*) y de costo total anual (*TAC*), Ecuaciones 4.1 y 4.2, se derivaron con estos valores incluidos en ellas. Estas suposiciones deben ser consideradas al determinar la aplicabilidad de las ecuaciones a fuentes específicas. Véase el Modelo de costo de SMCE para información adicional en relación a esta tablas y a su desarrollo.

**Tabla 4.15:** Factores de Costo Por Omisión de Viáticos y *Per Diem*

Concepto de costo	IAC de planta I	Técnico de planta II	Técnico del SMCE	Consultor de pruebas	Personal
Salario, \$/hr sin OG	30.00	18.00	27.00	27.00	16.00
Otros gastos (OG), % de salarios	40	40	40	200	200
Honorarios, % de la utilidad	N/A	N/A	N/A	10	10
Salarios 1	42.00	25.20	37.	89.1	52.8

**Tabla 4.16:** Costos Por Omisión de Equipo Auxiliar del SMCE (\$)

Equipo	Extractivo	<i>In-situ</i>	ETFI
Sistema de muestreo			
Antes del control	40,000	1,000	38,000
Después del control	50,000	2,000	48,000
Sistema de adquisición de datos	20,000	20,000	16,000 <sup>a</sup>
Cobertizo del SMCE	12,000	N/A	10,000
Fabricación del sistema en el cobertizo	12,800	N/A	7,700
Unidad de control del monitor	N/A	10,000	N/A

<sup>a</sup> Solo es necesario si el sistema incluye monitor de opacidad o de MP.

## TECHNICAL REPORT DATA

(Please read Instructions on reverse before completing)

1. REPORT NO. <b>452/B-02-002</b>	2.	3. RECIPIENT'S ACCESSION NO.
4. TITLE AND SUBTITLE  <b>Manual de Costos de Control de Contaminacion del Aire de la EPA</b>	5. REPORT DATE <b>July, 2002</b>	
	6. PERFORMING ORGANIZATION CODE	
7. AUTHOR(S) <b>Daniel Charles Mussatti</b>	8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO.	
9. PERFORMING ORGANIZATION NAME AND ADDRESS <b>U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Standards and Strategies Division Innovative Strategies and Economics Group Research Triangle Park, NC 27711</b>	10. PROGRAM ELEMENT NO.	
	11. CONTRACT/GRANT NO.	
12. SPONSORING AGENCY NAME AND ADDRESS  <b>Director Office of Air Quality Planning and Standards Office of Air and Radiation U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, NC 27711</b>	13. TYPE OF REPORT AND PERIOD COVERED <b>Final</b>	
	14. SPONSORING AGENCY CODE <b>EPA/200/04</b>	
15. SUPPLEMENTARY NOTES <b>Updates and revises EPA 453/b-96-001, OAQPS Control Cost Manual, fifth edition (in English only)</b>		
16. ABSTRACT <b>In Spanish, this document provides a detailed methodology for the proper sizing and costing of numerous air pollution control devices for planning and permitting purposes. Includes costing for volatile organic compounds (VOCs); particulate matter (PM); oxides of nitrogen (NOx); SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, and other acid gases; and hazardous air pollutants (HAPs).</b>		
17. KEY WORDS AND DOCUMENT ANALYSIS		
a. DESCRIPTORS	b. IDENTIFIERS/OPEN ENDED TERMS	c. COSATI Field/Group
<b>Economics Cost Engineering cost Sizing Estimation Design</b>	<b>Air Pollution control Incinerators Absorbers Adsorbers Filters Condensers Electrostatic Precipitators Scrubbers</b>	
18. DISTRIBUTION STATEMENT  <b>Release Unlimited</b>	19. SECURITY CLASS ( <i>Report</i> ) <b>Unclassified</b>	21. NO. OF PAGES <b>1,400</b>
	20. SECURITY CLASS ( <i>Page</i> ) <b>Unclassified</b>	22. PRICE