

# *Charla 6: Consideraciones de la Red de Monitoreo de PM<sub>2.5</sub>*

**Taller Centroamericano de  
Pronosticado de la Calidad del Aire  
San José, Costa Rica  
17-21 de Octubre del 2011**



# Evolución del Muestreo de Material Particulado



**1970**  
TSP Hi-Vol

**1990**  
PM<sub>10</sub> Continuo

**1998**  
FRM: PM<sub>2.5</sub>

**2008**  
FEM: PM<sub>2.5</sub> Continuo



**1988**  
PM<sub>10</sub> Hi-Vol

**1994**  
FRM: PM<sub>10</sub> 47 mm



**2002**  
Muestreador  
Ciclónico de  
Corte Agudo  
(*Very Sharp Cut  
Cyclone – VSCC*)



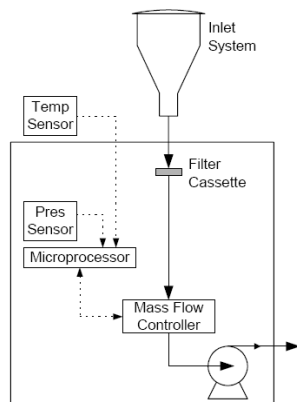
# Tipos de monitoreo de partículas

- Muestreador de filtro de 24 hr (diario) masa de Partículas
  - Canal único o secuencial
- Monitor continuo (horario)
  - Microbalanza de Elemento cónico oscilante (TEOM)
  - Monitores de atenuación beta (BAM)



# Muestreadores de Partículas Diarios

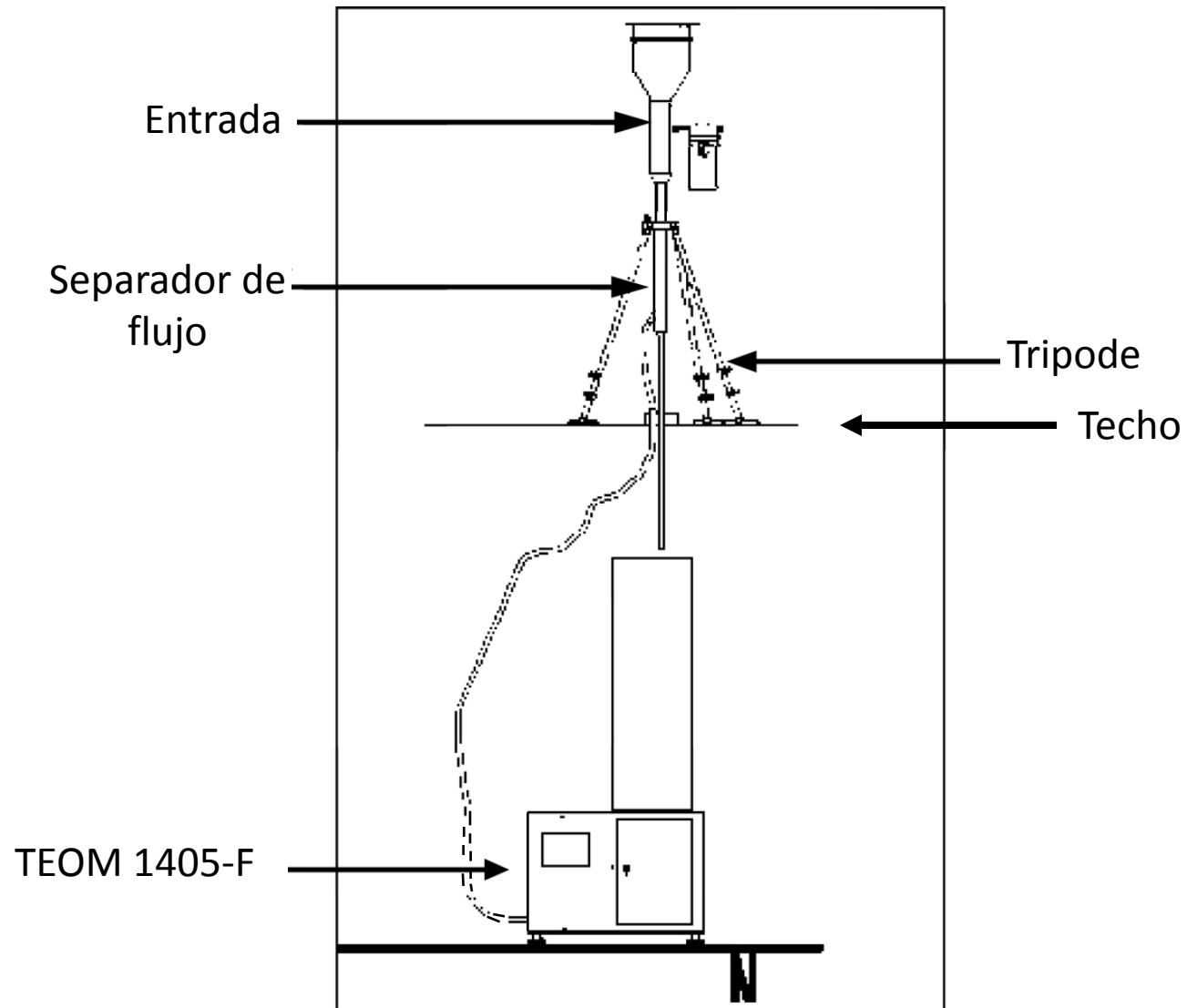
- En aire ambiente es succionado a través de la toma (para remover partículas grandes)
- El material se captura en el filtro; el filtro es analizado en masa y composición posteriormente
- Problemas
  - Pérdida potencial de material volátil.
  - No disponible para intervalos cortos
  - No disponible en tiempo real



# Microbalanza de Elemento Cónico Oscilante (TEOM)

- Método federal equivalente de  $PM_{10}$ , 1990
- Monitor de medición directa que extrae el aire ambiente a través de un filtro con un caudal constante, pesa continuamente el filtro y da el cálculo de las concentraciones de masa en tiempo casi real

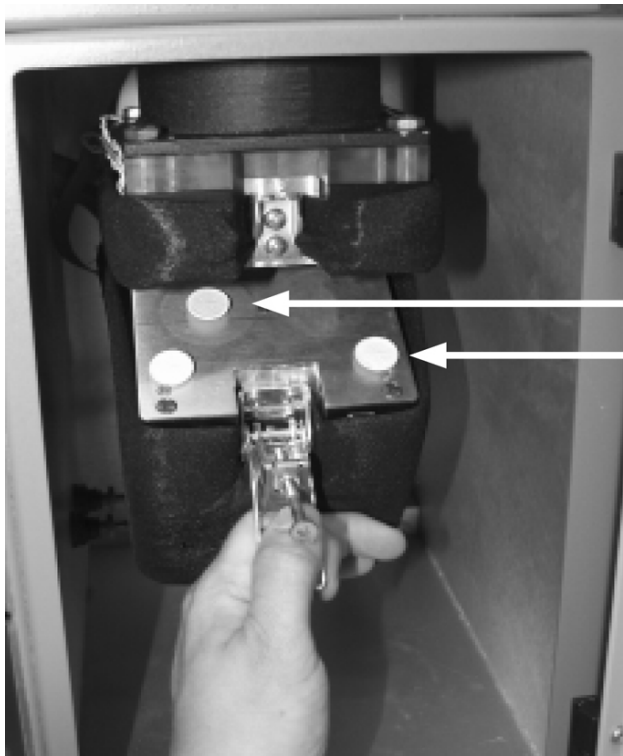
# Esquema del TEOM



# Monitor de PM Tipo TEOM

## Cambio del Filtro

- El filtro nuevo debe estar entre el 15% y el 30% de vida útil.
- Se cambia el filtro cada ~21 días a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$ .
- Cuando el filtro llega al  $\geq 90\%$  de vida útil, el equipo avisa para el cambio.
- Los filtros nuevos deben mantenerse en un ambiente controlado.



$$\Delta m = K_0 \left( \frac{1}{f_b^2} - \frac{1}{f_a^2} \right)$$

Filtro TEOM

Filtros TEOM  
Acondicionados





# Limitaciones y Fortalezas del TEOM

## Fortalezas:

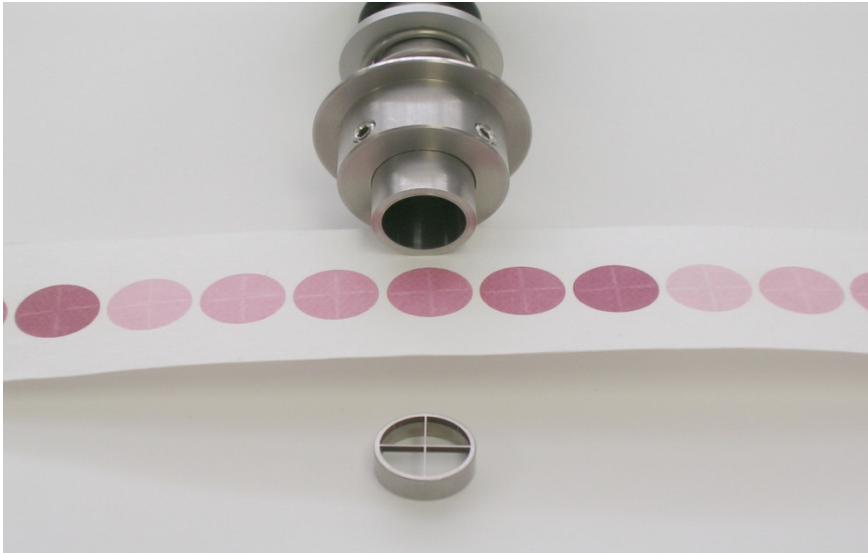
- Medición directa con un principio de masa inercia
- Medición de masa trazable NIST
- Casi en tiempo real
- Sensibilidad en sub-microgramos
- Medición sin vigilancia durante unos 21 días (a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- El sistema nuevo (FDMS™) considera partículas volátiles y no-volátiles

## Limitaciones:

- Valores negativos debido a la volatilización.
- Volatilización de nitratos y de las especies de carbono, especialmente durante clima frío o humedad pueden causar una subestimación de la masa

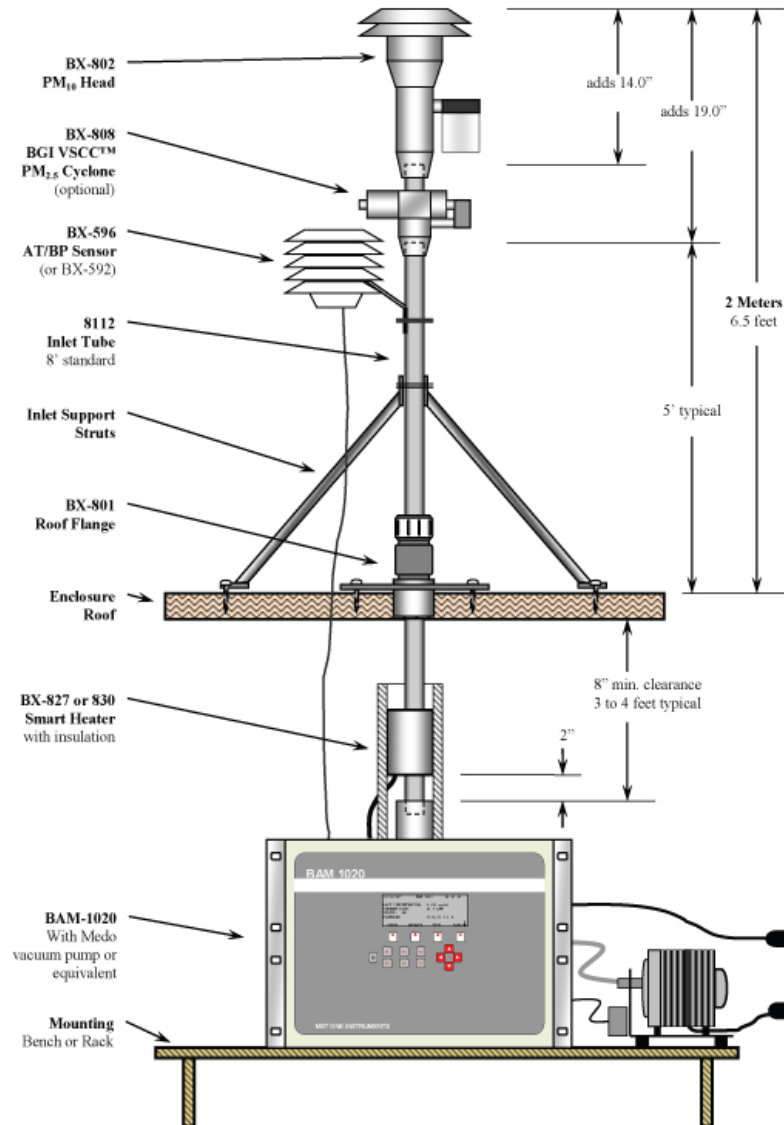
# Monitor de Atenuación Beta (BAM)

- Masa de partículas se capturan en papel filtro y se exponen a rayos  $\beta$
- La atenuación de rayos  $\beta$  es proporcional a la masa de partículas en el filtro



# Instalación del Monitor Tipo BAM

Esquema típico para la instalación de un Monitor BAM-1020



# Instalación del Monitor Tipo BAM (4 de 6)

## Filtro Cinta y Boquilla



# Ventajas y Limitaciones de (BAM)

## Fortalezas:

- La tecnología  $\beta$  es prácticamente insensible a la composición química de las partículas de la muestra.
- La técnica de atenuación  $\beta$  es siempre, fácil de usar, y requiere menos intercambio de filtros.
- $^{14}\text{C}$ , isotopo radioactivo del carbón a un nivel de 60 mCi, no requiere de una licencia especial.
- Mediciones en casi tiempo real.

## Limitaciones:

- Especies de partículas pueden atenuar los rayos  $\beta$  de forma diferente
- La humedad relativa (HR) puede influir en el cálculo de la masa de PM de los datos de atenuación o es causa de sobreestimación de la masa de PM durante los períodos de fluctuación de valores de HR

# Consideraciones del Muestreo

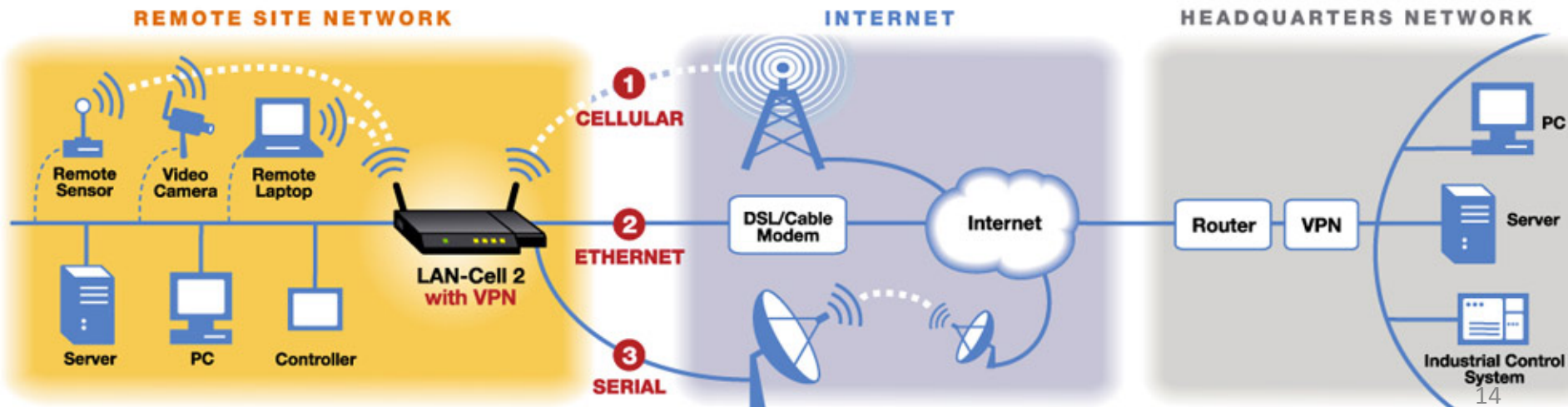
Para determinar la validez de la base de datos de monitoreo del aire, se debe demostrar que:

- El método de muestreo propuesto cumple con las normas de control adecuado.
- El equipo está situado adecuadamente.
- El equipo fue calibrado con precisión utilizando métodos de calibración correctos y establecidos.
- Las personas que realizan la operación de recolección de datos están debidamente entrenados y calificados.

# Consideraciones sobre la Colección de Datos

## Alternativas de Sistemas de Adquisición de Datos (DAS) :

- Basado en un microprocesador capaz de grabación analógica o digital de las lecturas de PM
- La descarga de datos de forma manual requiere de visitar cada sitio o mediante el uso de telemetría remota.
  - Modem telefónico, G3
  - Conectividad Ethernet
  - Servicio de Internet Inalámbrico



# Aseguramiento de la Calidad y Control de Calidad

El objetivo de un sistema de calidad es para asegurar que

- Los programas ambientales y las decisiones se apoyan en datos del tipo y calidad esperada para el uso previsto.
- Las decisiones y aplicaciones que involucran tecnología ambiental se apoyan por normas y prácticas apropiadas de ingeniería de calidad.

# Aseguramiento de la Calidad

Sistema integrado de actividades de gestión

- Incluyen la planificación, ejecución, evaluación, información y la mejora
- Asegura que los datos son del tipo y calidad necesarias
- Normalmente aplicadas por los administradores o el personal técnico
- Ejemplos:
  - Equipo técnico de evaluación del desempeño
  - Gestión de operaciones del proyecto de evaluación

# Control de Calidad

## Sistema general de actividades técnicas

- Medidas del desempeño de un proceso o instrumento contra las normas definidas
- Verifica que el rendimiento cumple con requisitos establecidos
- Por lo general aplicado por personal técnico
- Ejemplos:
  - Prueba de rendimiento de los instrumentos de campo
  - Revisión de datos

# Ejemplo de Control de Calidad (Manuales)



**MiniVol Portable Sampler  
NIST Traceable Flow Calibration  
Unit: 4623**

Calibration Date: 07/31/2007  
Ambient Temp, °C: 22.6  
Atmos Press, mmHg: 754.0

Primary Flow Std: LFE774300

By: \_\_\_\_\_

Chk: \_\_\_\_\_

Q <sub>ind</sub> (lpm)	Q <sub>act</sub> (alpm)	Q <sub>std</sub> (slpm)	Q <sub>calc</sub> (slpm)	Diff (%)
6.50	6.794	6.795	6.794	0.01
6.00	6.284	6.285	6.280	0.08
5.40	5.665	5.666	5.663	0.05
5.00	5.234	5.235	5.252	-0.34
4.40	4.640	4.640	4.636	0.10
3.90	4.125	4.126	4.122	0.10

**Linear Regression Results:**

$$m_{vol} = 1.0277$$

$$b_{vol} = 0.1137$$

$$r^2 = 0.9999$$

The MiniVol Calibration is performed with an NIST-traceable standard. Each unit has a unique pair of calibration constants derived from the calibration which are used to calculate the Sampler's actual flow rate at all ambient conditions. The Sampler's calibration should be recertified annually.

For an indicated rotameter flow rate (Q<sub>ind</sub>), the flow rate at actual sampling conditions (Q<sub>act</sub>) is given by the following equation (Eq.1):

$$Q_{act} = (m_{vol} Q_{ind} + b_{vol}) \times \sqrt{\frac{P_{std}}{P_{act}} \times \frac{T_{act}}{T_{std}}} \quad \text{Eq.1}$$

The Sampler is designed to operate at 5.0 lpm at actual conditions. The rotameter setting for this nominal flow rate (I<sub>sp</sub>) can be calculated by using the following equation (Eq.2):

$$I_{sp} = \frac{5.0 \times \sqrt{\frac{P_{act}}{P_{std}} \times \frac{T_{std}}{T_{act}} - b_{vol}}}{m_{vol}} \quad \text{Eq.2}$$

Where:

- I<sub>sp</sub> = Calculated Rotameter Setpoint, liters/min.
- P<sub>std</sub> = Standard Atmospheric Pressure (760 mm Hg)
- T<sub>std</sub> = Standard Temperature (298 °K)
- P<sub>act</sub> = Actual Ambient Pressure, mm Hg
- T<sub>act</sub> = Actual Ambient Temperature, °K
- Q<sub>act</sub> = Actual Flow Rate, liters/min.
- Q<sub>ind</sub> = Rotameter Indicated Flow Rate, liters/min.

**Airmetrics**

2095 Garden Ave, Suite 102  
Eugene, OR 97403  
(541) 683-5420

# Ejemplo de Control de Calidad (TEOM)

- Mensual
  - Un punto de verificación de la tasa de flujo del caudal total y la muestra
    - Flujo total ( $16.03 \leq 16.7 \leq 17.37$  Lpm)
    - Flujo principal ( $2.88 \leq 3.0 \leq 3.12$  Lpm)
  - Fugas
    - Flujo total  $\leq 0.6$  Lpm
    - Flujo principal  $\leq 0.15$  Lpm
  - Verificación de la temperatura ambiental ( $\pm 2$  °C)
  - Verificación de la presión ambiental ( $\pm 10$  mmHg)
  - Entrada limpia e impactor virtual
  - Cambio de TEOM y filtros de 47 mm

# Ejemplo de Control de Calidad BAM

- Verificación quincenal
  - Un punto de verificación de la tasa de flujo
    - $16.03 \leq 16.7 \leq 17.37$  Lpm
    - Optimizar el rendimiento de la entrada y VSCC para asegurar que se mide adecuadamente las PM
  - Revisión de fugas  $\leq 1.0$  Lpm
    - Después de la limpieza revisión de fugas  $\leq 0.5$  Lpm
    - Asegurarse contra las lecturas negativas de concentración y valor de flujo de control.
- Limpieza de la boquilla
  - Revisión de fugas
  - Sustitución de la cinta del filtro
- Verificación Mensual
  - Verificación de temperatura ambiente,  $\pm 2$  °C
  - Verificación de presión ambiental,  $\pm 10$  mmHg
  - Limpiar la entrada y VSCC

# Ejemplo de Control de Calidad: Monitor BAM

## BAM 1020 Monthly Check

**Perform all tasks monthly and tasks in BLUE bi-weekly.**

1) Date/Time: \_\_\_\_\_ Tech: \_\_\_\_\_ Trailer #: \_\_\_\_\_ BAM Serial #: \_\_\_\_\_ PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>

2) DAS Time: \_\_\_\_\_ BAM Time: \_\_\_\_\_ BAM Adjusted? Y / N

3) BAM Last C (mg/m<sup>3</sup>) : \_\_\_\_\_ BAM Last m (mg/cm<sup>2</sup>): \_\_\_\_\_

4) (a): Record BAM Actual flow from NORMAL screen in row (a) under BAM, and 'as found' flow rate measured by the DeltaCal in row (a) under Ref. Std. (Measured Ref. Std. flow must be between 16.0 & 17.3 lpm.

4) (b): Conduct a leak check, Manual Rev G, page 32. Record result in row (b) under BAM

4) (c): Clean the nozzle and vane (Rev G, page 33), rethread tape and do self test (Rev. G, page 22) and conduct a second leak check. Enter result in row (c), under BAM.

4) (d) through (i): see Rev G, page 35 for the procedure on T, BP, and 3-point flow cal

		BAM	Ref. Std.		BAM	Ref. Std.
a) Nominal 16.7 lpm flow check (±0.67 lpm, ±4% flow variance)	as found:					
b) Leak Check 1 (<1.0 lpm)	as found:	lpm				
c) Leak Check 2 (<0.5 lpm)	as left:	lpm				
<b>For below, see Rev. G, p 35</b>						
d) Ambient Temperature: (±2°C)	as found:	C	C	as left:	C	C
e) Barometric Pressure: (±10 mmHg)	as found:	mmHg	mmHg	as left:	mmHg	mmHg
f) Flow Rate (Actual):						
g) Flow Rate 1: (Target 15.0)	as found:	lpm	lpm	as left:	lpm	lpm
h) Flow Rate 2: (Target 18.3)	as found:	lpm	lpm	as left:	lpm	lpm
i) Flow Rate 3: (Target 16.7)	as found:	lpm	lpm	as left:	lpm	lpm

TAPE DAYS LEFT: \_\_\_\_\_ CHANGED? Y / N SELF TEST: \_\_\_\_\_

PM<sub>10</sub> INLET & VSCC CHECK: CLEANED? Y / N

COMMENTS/ADJUSTMENTS: \_\_\_\_\_

UPON LEAVING SITE: INLETS REPLACED: Y / N ; NORMAL SCREEN: \_\_\_\_\_

# Objetivos Típicos de la red de Monitoreo

- Evaluación de la exposición de la población
- Juzgar el cumplimiento y/o los progresos realizados hacia el cumplimiento de las normas de calidad del aire
- Activar los procedimientos de control de emergencias para prevenir o aliviar los episodios de contaminación del aire (p.e. el informe al público, predicción, IMECA)
- Observar las tendencias de la contaminación en toda la región.
- Proporcionar datos para la evaluación (p.e. modelos de calidad del aire, inventarios de emisiones, efectos sobre la salud)
- Seguimiento de fuentes específicas (p.e. cercano a vialidades)
- Caracterización de las concentraciones de fondo o por transporte.

## Otras Consideraciones

- Determinar las concentraciones representativas en áreas de alta densidad de población
- Determinar las concentraciones más altas esperadas que ocurran en el área cubierta por la red.
- ¿Colocación de monitores en cada jurisdicción?

## Escala Espacial del Monitoreo

La escala de monitoreo es el área cubierta o representada por los datos recogidos en el sitio (puede variar por contaminante)

Colocado	1 to 10 m
Microescala (p.e. cerca de la fuente)	10 to 100 m
De mediana escala (p.e., gradientes de fuentes tales como las carreteras)	100 to 500 m
Escala de barrio	500 m to 4 km
Urban-scale	4 to 100 km
Regional-scale	100 to 1,000 km

# Objetivos del monitoreo a escala de barrio y urbana

- Evaluar la exposición de la población
- Determinar el cumplimiento con las normas de calidad del aire
- Proporcionar datos para la predicción de la calidad del aire y emisión de alertas
- Evaluar las relaciones fuente-receptor
- Evaluar los efectos en la salud, la radiación y los efectos ecológicos



# Características de la Red Urbana y/o Salud

- Múltiples años de duración
- Zona de escala urbana de la representación cerca de las poblaciones expuestas
- Frecuencia y promedio de horario a diario
- Concentraciones de partículas por tamaño y composición
- Los contaminantes gaseosos y la meteorología, los cuales contribuyen a la PM y afectan la salud

# Características Adicionales de la Red

Para apoyar los objetivos de la red a escala urbana, regional que también deben

- Representar el fondo urbano
- Representar las condiciones de transporte de viento abajo (por influencia de la zona urbana)
- Funcionar sin interrupción durante varios años

# Características de escalas espaciales relativas a las

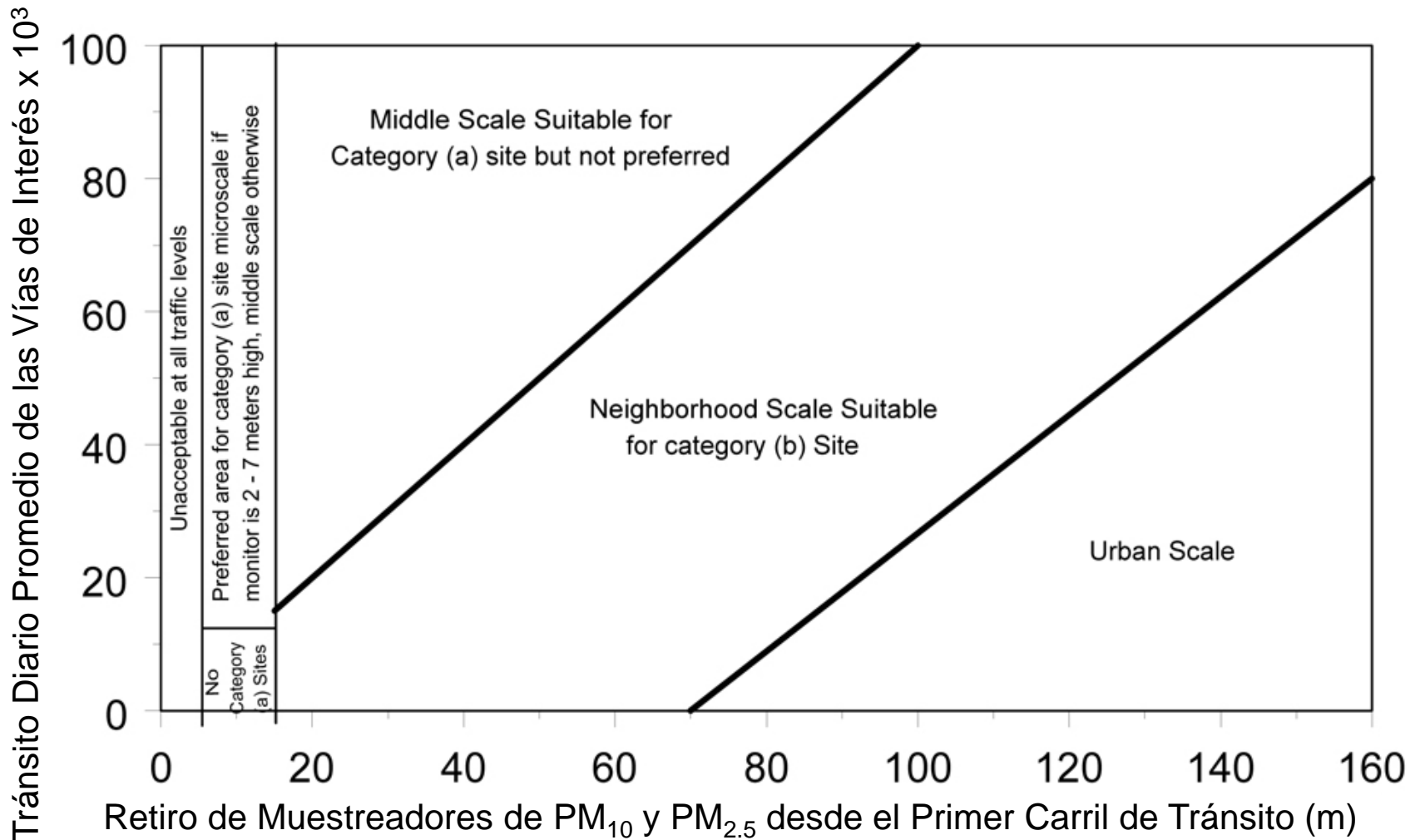
## PM

- Micro
  - Áreas donde el público puede estar expuesto a concentraciones máxima de PM (por ejemplo, cañones de las calles del centro, corredores de tráfico, cerca de la barda de las fuentes)
- Medio
  - La mayoría de la exposición a corto plazo de la exposición a PM es a escalas medias y de vecindario
  - Personas que se desplazan a través de centros de la ciudad o que viven cerca de carreteras o de fuentes fijas de emisión pueden encontrar contaminación PM se caracteriza por la escala media
- Vecindario
  - Se refiere a las condiciones de PM, así como el uso de suelo y suelo
  - Razonablemente homogéneo de unos pocos kilómetros; de forma mas regular que a escala media
  - Características de superficie homogénea

# Características de escalas espaciales relativas a PM

- Urbana
  - Utilizado para caracterizar la concentración de PM de toda el área metropolitana o rural que va en tamaño de 4 a 50 km
  - Útiles para evaluar las tendencias y la eficacia de las estrategias de control.
- Regional
  - Se utiliza para caracterizar las condiciones sobre áreas con dimensiones de hasta cientos de metros.
  - Más aplicado para zonas poco pobladas
  - Proporciona información sobre los procesos a gran escala de PM

# Características de las Escalas Espaciales en Relación con el Material Particulado



# Consideraciones de Ubicación de Monitores

Para todas las escalas de monitoreo:

- Influencia de las fuentes de emisión cercanas
- Densidad de la población
- Terreno
- Meteorología
- Mediciones existentes de calidad del aire y meteorología

# Consideraciones de Ubicación

## Barrio y de gran escala

- Fuentes cercanas mínimas – los monitores deben estar en una zona fuera de la influencia de fuentes específicas
- Mediciones complementarias – otras mediciones de calidad del aire y meteorológicas.
- Compromiso del sitio a largo plazo - el espacio suficiente para su funcionamiento, accesibilidad, seguridad, energía y control ambiental

# Representatividad del Monitoreo

- Representatividad:
  - ¿Los monitores miden las condiciones imperantes en el sitio, ubicación o región?
  - ¿Los monitores miden condiciones similares o se yuxtaponen? (las variaciones pueden existir entre las técnicas de monitoreo)
  - ¿Los monitores con ubicaciones cercanas miden condiciones similares?

# Consideraciones para el Sitio de muestreo

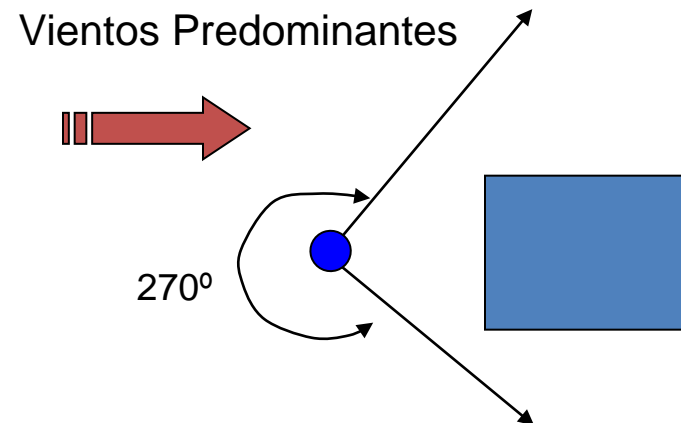
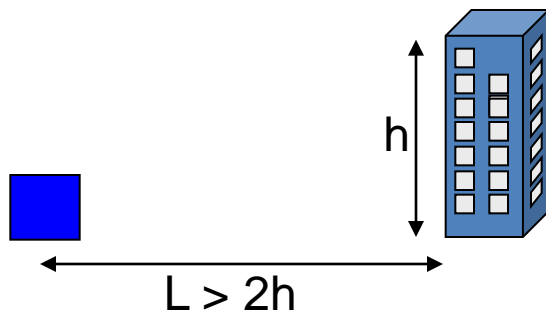
Un sitio para monitorear el aire ambiental debe:

- Ser accesible con vehículo sin importar las condiciones climatológicas.
- Ser ubicado en un lugar seguro sobre terreno plano y rodeado de vegetación natural o áreas enzacatadas.
- Tener acceso al servicio público de electricidad y telemetría de alta velocidad.
- Tener espacio suficiente para una plataforma que acomode a los equipos muestreadores complementarios.
- Ser plano o con pendiente no superior a los 20 grados.

# Criterios para la Ubicación de la Toma de Aire

La toma de aire para el muestreo debe:

- Estar ubicada a un mínimo de 20 metros de cualquier árbol.
- Estar retirada de cualquier obstáculo a una distancia equivalente a dos veces la altura del obstáculo.
- Tener un radio mínimo de dos metros completamente libre de cualquier estructura de soporte horizontal.
- Permitir el flujo irrestricto de aire dentro de un arco de  $270^\circ$  alrededor de la toma.



# Contaminantes y Metadatos

- Ubicar un monitor de meteorología superficial junto al equipo muestreador.
- Ubicar juntos los equipos de filtración y medición continua.
- Documentar la descripción del sitio, fotografías, etc.
- Incluir otras mediciones complementarias según el objetivo (p.ej., conteo vehicular para un sitio cerca de una carretera).
- Considerar el monitoreo de múltiples contaminantes.

# Sitio de muestreo en Costa Rica



# Informes Anuales

Preparar informaciones anuales a los sitios de documento

- Historia del monitoreo (una vez instalado, los contaminantes medidos, los tipos de instrumentos, la duración de las muestras, etc.)
- Integridad de datos
- Resumen de estadísticas anuales



# Guidance For Network Design and Optimum Site Exposure For $PM_{2.5}$ And $PM_{10}$

