

Instrucción técnica

IT-ATM-03

Número y situación de los puntos de
medida.

Acondicionamiento de los focos



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional

ÍNDICE

1. OBJETO.
2. ALCANCE.
3. DEFINICIONES.
4. REQUISITOS DE SITIO Y PLANO DE MEDIDA
 - 4.1. SECCIÓN DE MEDIDA Y PLANO DE MUESTREO
 - 4.1.1. SECCIÓN DE MEDIDA
 - 4.1.2. PLANO DE MUESTREO
5. DESARROLLO
 - 5.1. GENERALIDADES
 - 5.2. MUESTREO EN REJILLA
 - 5.3. EVALUACIÓN DE LA HOMOGENEIDAD DE UN PARÁMETRO EN EL PLANO DE MUESTREO
6. RESPONSABILIDADES.
7. REFERENCIAS.
8. ANEXOS.
 - Anexo I: Diagrama esquemático de ensayo de homogeneidad
 - Anexo II: Términos relacionados con el sitio de medida y con la sección de medida

1. OBJETO

El objeto de esta instrucción técnica es definir los requisitos mínimos que deberán cumplir las chimeneas o conductos donde se realicen las medidas de emisiones.

Dentro de la presente instrucción técnica se definen los requisitos que deben cumplir:

- La sección de medida
- El plano de muestreo

Además, se recoge la sistemática para verificar la homogeneidad del flujo y definir los puntos donde se realizará el muestreo en rejilla, para el caso de que el muestreo sea isocinético o el flujo no homogéneo.

2. ALCANCE Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

El alcance incluye todos los focos de emisión de las instalaciones en las que se desarrollen actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera, tanto nuevas como existentes (conforme a lo establecido en el Decreto 239/2011, de 12 de julio, por el que se regula la calidad del medio ambiente atmosférico y se crea el Registro de Sistemas de Evaluación de la Calidad del Aire en Andalucía). Las instalaciones existentes podrán solicitar una exención de este cumplimiento conforme a lo establecido en la disposición transitoria séptima del citado Decreto, en el plazo máximo de un año desde su entrada en vigor.

El ámbito de aplicación es la Comunidad Autónoma de Andalucía. Aplica a las Entidades Colaboradoras en el desempeño de sus funciones, a los titulares de las instalaciones en la realización de los controles internos y a la Consejería de Medio Ambiente en su labor inspectora.

3. DEFINICIONES

A efectos de esta instrucción técnica, se entenderá como:

Emisión: Descarga continua o discontinua a la atmósfera de sustancias procedentes, directa o indirectamente, de cualquier fuente o foco susceptible de producir contaminación atmosférica

Foco de emisión: elemento o dispositivo a través del cual tiene lugar una descarga a la atmósfera de contaminantes atmosféricos, ya se produzca ésta de forma continua, discontinua o puntual y con origen en un único equipo o diversos equipos, procesos y o actividades y que puedan ser colectados para su emisión continua a la atmósfera.

Sitio de medida: Lugar en la chimenea o conducto de gas residual en el área del(los) plano(s) de medida, que consta de estructuras y equipo técnico, por ejemplo plataformas de trabajo, bocas de medidas, suministro de energía.

Sección de medida: Tramo de la chimenea o conducto de gas residual que incluye el(los) plano(s) de medida y las secciones de entrada y salida.

Plano de medida o muestreo: Plano perpendicular al eje del conducto en la posición de muestreo.

Línea de medida o muestreo: Línea en el plano de muestreo a lo largo de la cual se localizan los puntos de muestreo, limitada por la pared interna del conducto.

Número y situación de los puntos de medida Acondicionamiento de los focos

Punto de medida o muestreo: Posición en el plano de muestreo en el cual se extrae la corriente de muestra o se obtienen directamente los datos de medida de gas residual.

Punto de medida representativo: Punto de medida en el cual la densidad del flujo másico local de la sustancia a determinar es igual a la densidad del flujo másico promediado en el plano de muestreo.

Medida en rejilla: Determinación de un mensurando en una rejilla dada de puntos de medida en el plano de muestreo.

Boca de medida o muestreo: Apertura en el conducto de gas residual a lo largo de la línea de medida, a través de la cual se realiza el acceso al gas residual.

Área libre de obstáculos: Área del espacio libre en la plataforma de trabajo fuera del conducto de gas residual sin obstáculos en el cual se mueven y manipulan las sondas de medida apropiadas.

Medida: Conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de un parámetro o mensurando. A efectos de esta IT, la medida es realizada en un periodo de tiempo definido.

Parámetro o mensurando: Magnitud particular sometida a medida. Es una propiedad cuantificable del gas residual sometido a medida

Magnitud de referencia: Magnitud física o química que es necesario determinar para convertir el mensurando a condiciones normales.

Método de Referencia Patrón (MRP): Método descrito y normalizado que se usa por ejemplo para calibrar y validar un SAM y para mediciones periódicas que verifican el cumplimiento del Valor Límite de Emisión

Sistema Automático de Medida (SAM): Sistema de medida permanentemente instalado en un punto para la medida en continuo de emisiones.

4. REQUISITOS DEL SITIO Y PLANO DE MEDIDA

Para obtener fiabilidad y comparabilidad en resultados de medida de emisión son necesarios secciones y sitios de medida adecuados.

Por ello, en el diseño de una instalación, deberá tenerse en cuenta que habrán de controlarse las emisiones y, por tanto, deben proyectarse unas secciones y sitios de medida apropiados.

El sitio de medida debe estar diseñado de forma que permita a los técnicos el acceso y poder realizar las tomas de muestras y ensayos necesarios para el control de las emisiones. Este diseño debe cumplir los criterios recogidos en la IT-ATM-01.

Por otra parte, la sección de muestreo tendrá que cumplir unos requisitos mínimos con el fin de asegurar la fiabilidad y comparabilidad de los resultados.

En el anexo II se muestran, sobre una figura, algunos términos relacionados con la sección y sitio de medida.

La correcta realización del control de las emisiones requiere unas condiciones de flujo definidas en el plano de muestreo, es decir, un perfil de flujo ordenado y estable, sin turbulencias ni reflujos, de manera que pueda determinarse la velocidad y la concentración másica del mensurando o parámetro a determinar en el gas residual.

4.1. SECCIÓN DE MEDIDA Y PLANO DE MUESTREO

4.1.1. SECCIÓN DE MEDIDA

La sección de medida debe permitir el muestreo y la toma de muestra y ensayos en un plano de muestreo adecuado.

Debe cumplir:

- La sección de medida debe estar situada en un tramo del conducto que cumpla al menos que:
 - a) entre el plano de muestreo y la perturbación anterior a éste en el sentido del flujo de los gases (codo, conexión, cambio de sección, etc.), exista al menos una distancia de 5 diámetros hidráulicos de conducto recto.
 - b) Entre el plano de muestreo y la perturbación posterior a éste en el sentido del flujo de los gases (codo conexión, cambio de sección, etc.), exista al menos una distancia de dos diámetros hidráulicos de conducto recto. Esta longitud será de cinco diámetros hidráulicos en el caso de que la siguiente perturbación sea la descarga a la atmósfera.
- Debe permitir y estar acondicionada para que puedan tomarse muestras representativas de la emisión en el plano de muestreo para la determinación del flujo volumétrico y de la concentración másica de contaminantes.
- La instalación de secciones de medida en conductos horizontales se admitirá sólo en aquellos casos en que no sea viable su instalación en una parte vertical del conducto. Debe tenerse en cuenta la mayor concentración de partículas en las partes inferiores del conducto horizontal.

4.1.2. PLANO DE MUESTREO

El plano de muestreo debe situarse en una sección del conducto o chimenea donde las condiciones de flujo y concentraciones sean homogéneas, para lo que debe cumplir:

- 1) la desviación del ángulo del flujo de gas es inferior, respecto al eje del conducto, a 15° en el caso de los tubos pitot tipo L o $13,5^\circ$ en el caso de tubos pitot tipo S..
- 2) no existe flujo negativo en ningún punto.
- 3) la velocidad mínima es más alta que el límite de detección del método utilizado para la medida del caudal (para tubos Pitot, una presión diferencial >5 Pa).
- 4) la relación entre la velocidad máxima y mínima es inferior a 3:1.

5. DESARROLLO

5.1. GENERALIDADES

Los requisitos de la sección de medida dados en el punto 4.1.2., no aseguran por si solos que la composición y parámetros físicos del gas residual sean homogéneos. Por ello, tiene que aplicarse una estrategia de muestreo apropiada.

Para la toma de muestra manual, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. Si se dispone de información sobre la distribución del mensurando en el plano de muestreo (por ejemplo, de medidas previas o informes anteriores) no es

necesario repetir la evaluación de la homogeneidad, siempre que las condiciones de la medida sean iguales a las existentes cuando se evaluó la homogeneidad, es decir, no haya habido una modificación significativa del proceso, no se haya cambiado de combustible, etc...

- b. En el caso de toma de muestra de:
- I. Partículas;
 - II. Compuestos en forma particulada;
 - III. Compuestos disueltos o adheridos a gotas de agua u otro líquido (por ejemplo, el caso de fluoruros en presencia de gotas de agua);
- las mediciones deben realizarse isocinéticamente, y por tanto, siempre deben hacerse en rejilla.
- c. Cuando se midan concentraciones máxicas gaseosas, el muestreo podrá ser:
- En cualquier punto si se ha demostrado la homogeneidad.
 - En un punto representativo si la distribución no es homogénea, pero sin exceder el valor de la incertidumbre expandida permisible $U_{\text{punto}} \leq 0,5 U_{\text{permitida}}$
 - De otro modo, las mediciones tienen que realizarse en rejilla.
- d. Si se miden compuestos gaseosos en paralelo con materia particulada, cuando se requiera muestreo isocinético, el caudal en las líneas secundarias, si se necesita, debe ser proporcional al caudal total.
- e. Debe mantenerse la eficiencia de absorción o adsorción del medio de captación de la fase gaseosa.
- f. Cuando se están midiendo compuestos gaseosos con medida en rejilla, pueden distinguirse dos casos:
- 1) si el compuesto a determinar se capta sobre solución captadora, pueden aplicarse los dos procedimientos siguientes:

- i. el caudal a través del medio de captación se realiza de forma proporcional a la velocidad del gas (caudal proporcional),
 - ii. el caudal no puede adaptarse sin disminuir la eficiencia de captación del sistema (algunos métodos manuales) o no puede cambiarse (métodos automáticos); en este caso, la muestra se toma en cada punto durante un periodo de tiempo proporcional a la velocidad local (tiempo proporcional)
- 2) si la concentración se determina directamente en los puntos de medida en el plano de muestreo, por ejemplo, utilizando métodos de referencia automáticos, entonces el flujo másico de muestra por área parcial que se requiere para el cálculo, es decir, la densidad del flujo másico, se calcula a partir de la combinación de la concentración local y la velocidad local de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{c}_j \bar{v}_j}{\sum_{j=1}^n \bar{v}_j}$$

Donde:

C=concentración media en el plano;

C_j= concentración media en el punto j;

V_j= velocidad media en el punto j.

Esto significa que para calcular la concentración media en el plano de muestreo durante la duración del muestreo, sólo necesitan determinarse la concentración media y la velocidad media en cada punto de medida.

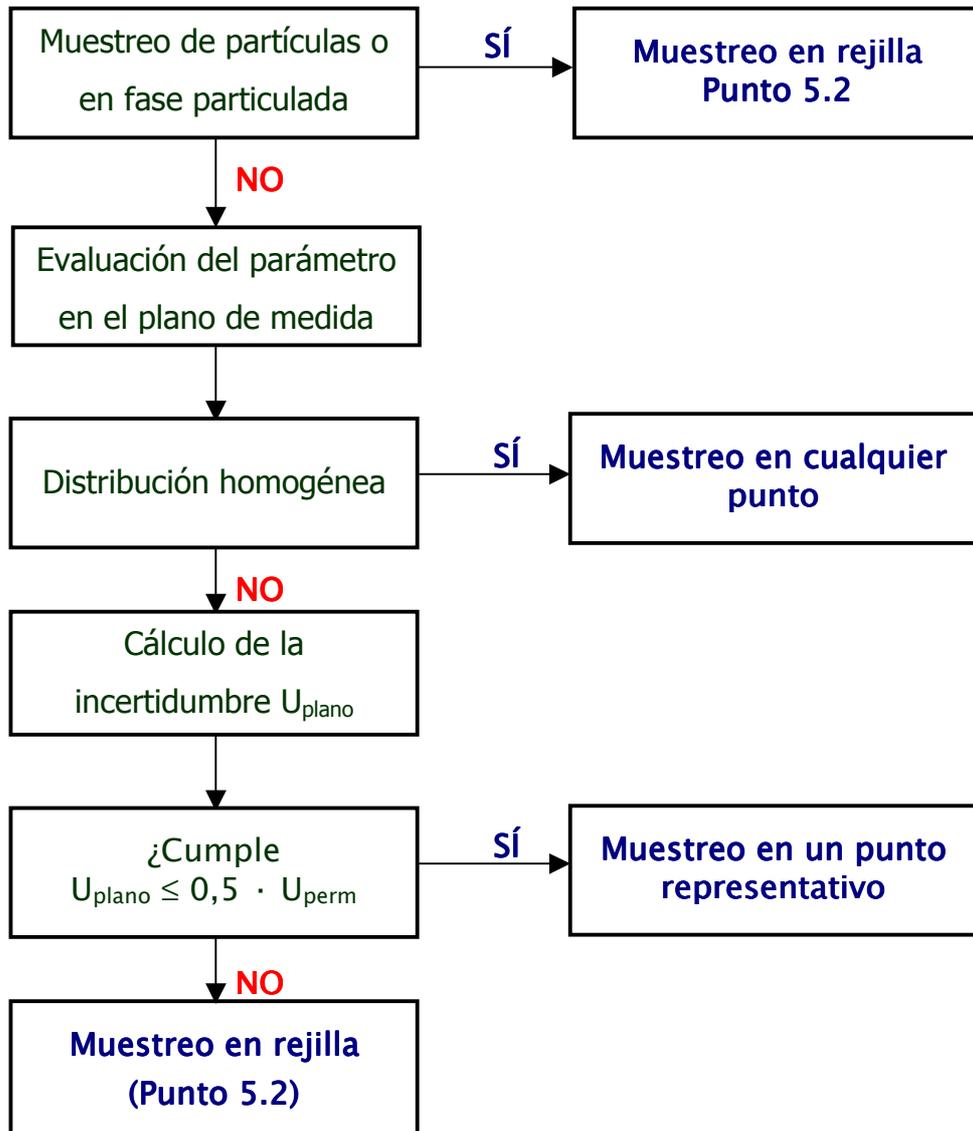


Figura 1. Esquema de la estrategia de muestreo

5.2. MUESTREO EN REJILLA

5.2.1. PUNTOS DE MUESTREO

Las dimensiones del plano de muestreo determinan el número mínimo de puntos de muestreo. Este número se incrementa cuando aumentan las dimensiones del conducto.

Las tablas 1 y 2 especifican el número mínimo de puntos de muestreo a usar para conductos circulares y rectangulares, respectivamente. Los puntos de muestreo a usar deben localizarse en el centro de áreas iguales en el plano de muestreo (véase el punto 5.2.2.).

Los puntos de muestreo deben estar separados de la pared interna del conducto más de 5 cm o más del 3% de la longitud de la línea del muestreo, el valor que sea mayor.

| Rango de los diámetros de los conductos (m) | Número mínimo de las líneas de muestreo (diámetros) | Número mínimo de puntos de muestreo por plano |
|---|---|---|
| < 0,35 | - | 1 |
| 0,35 a 1,1 | 2 | 4 |
| 1,1 a 1,6 | 2 | 8 |
| > 1,6 | 2 | Al menos 12 y 4 por m ² ^a |

^a Se considera suficiente un número máximo de 20 puntos de muestreo.

Tabla 1. Número mínimo de puntos de muestreo en conductos circulares

| Rango de las áreas del plano de muestreo (m ²) | Número mínimo de divisiones laterales ^{a*} | Número mínimo de puntos de muestreo por plano |
|---|---|---|
| < 0,1 | - | 1 |
| 0,1 a 1,0 | 2 | 4 |
| 1,1 a 2,0 | 3 | 9 |
| > 2,0 | ≥3 | Al menos 12 y 4 por m ² ^b |
| ^a Pueden ser necesarias otras divisiones laterales, por ejemplo si la longitud del lado más largo del conducto es superior al doble de la longitud del lado más corto. | | |
| ^b Se considera suficiente un número máximo de 20 puntos de muestreo. | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • división lateral es el número de veces en que se divide el lateral del conducto sobre el que se coloca la boca de muestreo. | | |

Tabla 2. Número mínimo de puntos de muestreo en conductos rectangulares

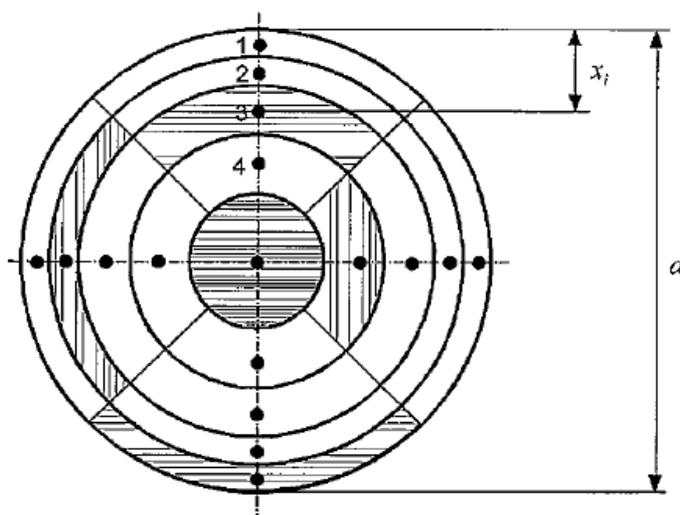
5.2.2. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS POSICIONES DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN CONDUCTOS CIRCULARES Y RECTANGULARES.

Hay dos métodos para la determinación de la posición de los puntos de muestreo en conductos circulares, un método general y otro denominado tangencial. Ambos métodos se consideran equivalentes.

5.2.2.1. MÉTODO GENERAL PARA CONDUCTOS CIRCULARES

En el método general aplicable a conductos circulares, el plano de muestreo se divide en áreas iguales. Los puntos de muestreo, uno en el centro de cada área, se

sitúan en dos o más diámetros (líneas de muestreo), y un punto en el centro del conducto (ver la figura 2).



**Figura 2 - Posiciones de los puntos de muestreo en conductos circulares
Método general (ejemplo de conducto $\varnothing > 2$ m)**

Todas las secciones tienen áreas iguales.

Las localizaciones de los puntos de muestreo dependen del número de puntos de muestreo elegidos.

Para conductos circulares son suficientes dos líneas de muestreo (diámetros), la distancia x_i , de cada punto de muestreo desde la pared del conducto puede expresarse como:

$$x_i = K_i \cdot d$$

Donde:

K_i es el valor en porcentaje, de acuerdo con la tabla 3;

Número y situación de los puntos de medida Acondicionamiento de los focos

d es el diámetro del conducto.

La tabla 3 recoge los valores de K_i en porcentaje, donde n_d es el número de puntos de muestreo por línea de muestreo e i es el punto de muestreo individual a lo largo de la línea de muestreo.

| i | K _i | | | |
|---|----------------|-----------|-----------|----------|
| | $n_d=3$ | $n_d = 5$ | $n_d = 7$ | $n_d= 9$ |
| 1 | 11,3 | 5,9 | 4,0 | 3,0 |
| 2 | 50,0 | 21,1 | 13,3 | 9,8 |
| 3 | 88,7 | 50,0 | 26,0 | 17,8 |
| 4 | | 78,9 | 50,0 | 29,0 |
| 5 | | 94,1 | 74,0 | 50,0 |
| 6 | | | 86,7 | 71,0 |
| 7 | | | 96,0 | 82,2 |
| 8 | | | | 90,2 |
| 9 | | | | 97,0 |

Tabla 3 -Valores de K_i en porcentaje.

Método general para conductos circulares

Para conductos circulares donde sea necesario aumentar el número de líneas de muestreo (diámetros) o el número de puntos de muestreo (debido por ejemplo a condiciones de flujo adversas), las fórmulas para calcular la distancia, desde la pared del conducto hasta los distintos puntos de muestreo a lo largo del diámetro son:

| PARA: | FÓRMULA |
|-------------------------|--|
| $i < \frac{n_d + 1}{2}$ | $x_i = \frac{d}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{n(n_d - 2i) + 1}{n(n_d - 1) + 1}} \right]$ |
| $i = \frac{n_d + 1}{2}$ | $x_i = \frac{d}{2}$ |
| $i > \frac{n_d + 1}{2}$ | $x_i = \frac{d}{2} \left[1 + \sqrt{\frac{n(2i - 2 - n_d) + 1}{n(n_d - 1) + 1}} \right]$ |

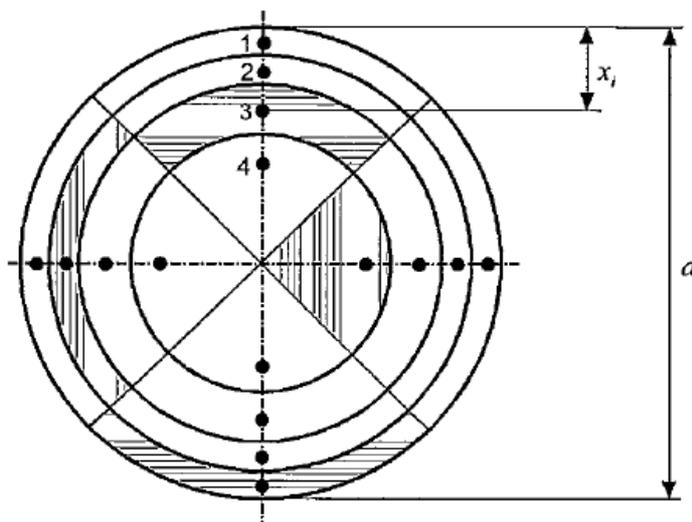
Tabla 4. Distancia de cada punto de muestreo

Donde:

- i es el número de orden del punto de muestreo (1, 2, 3, 4, ..., i-1, i) en la línea de muestreo;
- n_d es el número total de puntos de muestreo a lo largo de cada línea de muestreo (incluyendo el central);
- n es el número de líneas, o diámetros de muestreo;
- X_i es la distancia del punto i desde la pared del conducto;
- d es el diámetro del conducto.

5.2.2.2. MÉTODO TANGENCIAL PARA CONDUCTOS CIRCULARES

En el método tangencial aplicable a conductos circulares, el plano de muestreo se divide en áreas iguales. Los puntos de muestreo, uno en el centro de cada área, se sitúan en dos o más diámetros (líneas de muestreo), sin que haya un punto en el centro del conducto (véase la figura 3).



**Figura 3 - Posiciones de los puntos de muestreo en conductos circulares
Método tangencial (ejemplo de conducto $\varnothing > 2$ m)**

Las localizaciones de los puntos de muestreo en cada diámetro dependen del número de puntos de muestreo en cada diámetro, pero son independientes del número de diámetros de muestreo.

Para conductos circulares en los que son suficientes dos líneas de muestreo, la distancia x_i , de cada punto de muestreo desde la pared del conducto se puede expresar convenientemente, de acuerdo con la ecuación:

$$x_i = K_i \cdot d$$

Donde

K_i es el valor, en porcentaje, de acuerdo a la tabla 5;

d es el diámetro del conducto.

Número y situación de los puntos de medida Acondicionamiento de los focos

La tabla 5 da valores de K_i en porcentaje, donde n_d es el número de puntos de muestreo por línea de muestreo (diámetro) e i es el número de puntos de muestreo individuales a lo largo del diámetro.

| i | K_i | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|
| | $n_d=2$ | $n_d=4$ | $n_d=6$ | $n_d=8$ |
| 1 | 14,6 | 6,7 | 4,4 | 3,3 |
| 2 | 85,4 | 25,0 | 14,6 | 10,5 |
| 3 | | 75,0 | 29,6 | 19,4 |
| 4 | | 93,3 | 70,4 | 32,3 |
| 5 | | | 85,4 | 67,7 |
| 6 | | | 95,6 | 80,6 |
| 7 | | | | 89,5 |
| 8 | | | | 96,7 |

Tabla 5 - Valores de K_i como porcentaje.

Método tangencial para conductos circulares

Para conductos circulares donde sea necesario aumentar el número de líneas de muestreo (diámetros) o el número de puntos de muestreo, las fórmulas tangenciales para el cálculo de la distancia, desde la pared del conducto a lo largo del diámetro son:

| PARA: | FÓRMULA |
|------------------------|--|
| $i \leq \frac{n_d}{2}$ | $x_i = \frac{d}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2i-1}{n}} \right]$ |
| $i > \frac{n_d+1}{2}$ | $x_i = \frac{d}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{2i-1}{n} - 1} \right]$ |

Donde:

- i es el número de orden del punto de muestreo (1, 2, 3, 4, ..., i-1, i) en la línea de muestreo;
- n_d es el número de puntos de muestreo a lo largo de cada línea de muestreo (incluyendo el central);
- n es el número de líneas, o diámetros de muestreo;
- X_i es la distancia del punto i desde la pared del conducto;
- d es el diámetro del conducto.

Este método es particularmente útil para conductos grandes donde sería difícil alcanzar el centro del conducto

5.2.2.3. MÉTODO PARA CONDUCTOS RECTANGULARES

En el método aplicable a conductos rectangulares, el plano de muestreo se divide en áreas iguales mediante líneas paralelas a los lados del conducto y situando un punto de muestreo en el centro de cada área (véase la figura 4).

En general, se dividen ambos lados del conducto rectangular en un número igual de partes, resultando áreas que tienen la misma forma que el conducto.

El número de áreas parciales es, por lo tanto, el cuadrado de 1, 2, 3, etc. (véase la figura 4a).

Cuando $\frac{L_1}{L_2} > 2$, el lado L_1 debe dividirse en un número de veces mayor que el lado L_2 ,

de forma que para cada sección parcial, la relación $\frac{l_1}{l_2} < 2$.

$l_1 = \frac{L_1}{n_1}$; Donde, n_1 es el número de veces en que se divide L_1

$l_2 = \frac{L_2}{n_2}$; Donde, n_2 es el número de veces en que se divide L_2

Por tanto, la longitud más pequeña desde una pared del conducto es $l_1/2$ y $l_2/2$.

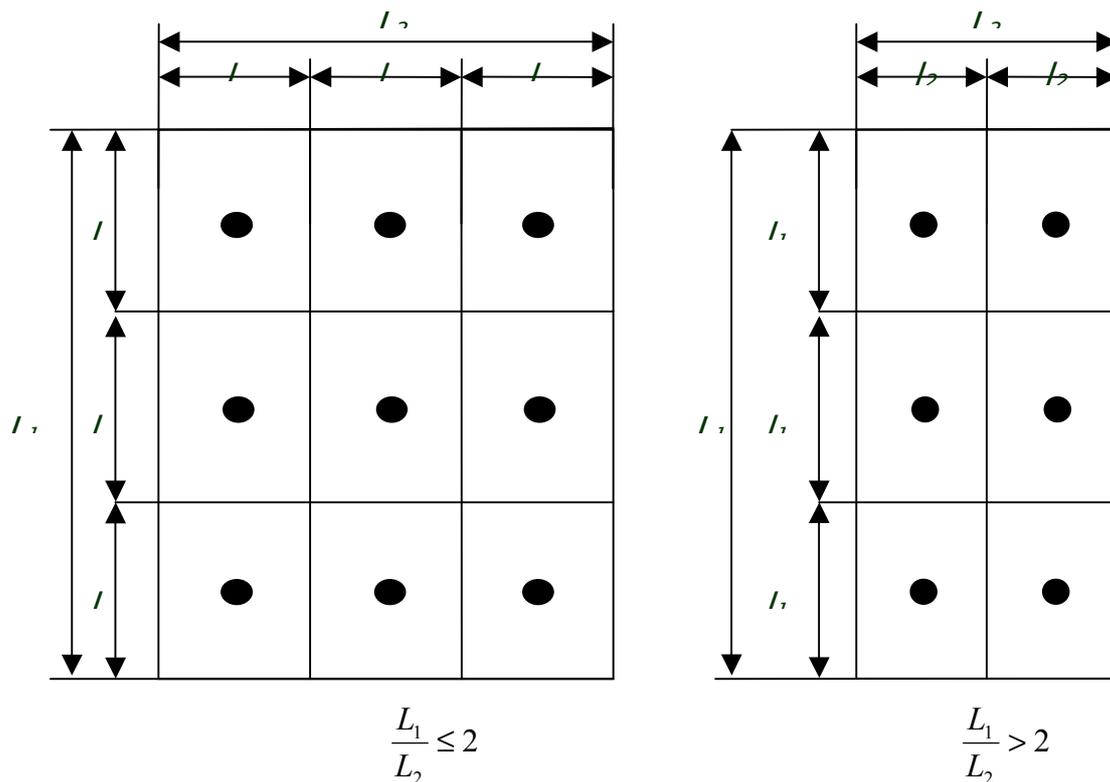


Figura 4- Representaciones de las posiciones de los puntos de muestreo en conductos rectangulares

5.3. EVALUACIÓN DE LA HOMOGENEIDAD DE UN PARÁMETRO EN EL PLANO DE MUESTREO

La homogeneidad de la distribución de un parámetro en el plano de muestreo debe determinarse por una medida en rejilla y en las mismas condiciones en las que se exprese el parámetro.

Puesto que el parámetro también varía con el tiempo debido a fluctuaciones en el proceso, deben realizarse mediciones paralelas simultáneas con un sistema de medida independiente en un punto fijo en la sección de medida (medida de referencia).

Hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) La distribución del parámetro en el plano de muestreo puede no ser homogénea, aunque la distribución de la velocidad del gas sí lo sea.
- 2) La homogeneidad puede demostrarse para el parámetro considerado o para un parámetro sucedáneo o sustitutivo; por ejemplo, el COT puede usarse como un parámetro indicativo para la homogeneidad de la concentración del tolueno.
- 3) La homogeneidad, generalmente, se determina una vez.
- 4) La homogeneidad está influenciada por ciertos factores como la carga o el combustible. Un cambio en tales factores hace necesario una repetición de la determinación de la homogeneidad.
- 5) La homogeneidad, generalmente, se determina utilizando instrumentos de lectura directa. Para determinar la homogeneidad debe aplicarse el procedimiento siguiente, cubriendo las variaciones espaciales y temporales:

5.3.1. SISTEMÁTICA A SEGUIR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA HOMOGENEIDAD EN EL PLANO DE MUESTREO

- a. Determinar los puntos de muestreo para la medida en rejilla de acuerdo con el apartado 5.2.
- b. Instalar la sonda del sistema de medida para la medida en rejilla.
- c. Instalar la sonda de un sistema de medida independiente (medida de referencia) en un punto fijo en la sección de medida.
- d. Ajustar el flujo de muestra en ambos sistemas a fin de obtener tiempos de respuesta iguales.
- e. Realizar una medida en rejilla y mediciones en paralelo en un punto fijo en la sección de medida, con un tiempo de muestreo de al menos cuatro veces el tiempo de respuesta del sistema de medida, pero no menos de tres minutos en cada punto de muestreo, (i). A la realización de estas medidas destinadas a la realización del estudio de homogeneidad, no le es de aplicación la sistemática definida en la IT-ATM-8.3.
- f. Registrar para cada punto de muestreo i, el valor real y_{punto} o y_p del mensurando en la rejilla y el valor $y_{i,\text{ref}}$ de la medida de referencia.
- g. Calcular para cada punto de muestreo i, el cociente r_i de acuerdo con la fórmula:

$$r_i = \frac{y_{i,\text{punto}}}{y_{i,\text{ref}}}$$

- h. Calcular:
 - la desviación típica s_{punto} de las mediciones en rejilla de acuerdo con la fórmula:

$$S_{punto} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_{i,P} - \bar{y}_P)^2}$$

- la desviación típica S_{ref} de las mediciones de referencia de acuerdo con la fórmula:

$$S_{ref} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_{i,ref} - \bar{y}_{ref})^2}$$

- la media \bar{r} de los cocientes r_i de acuerdo con la fórmula:

$$\bar{r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i$$

- si $S_{punto} \leq S_{ref}$ se considera que el gas es homogéneo. Se puede muestrear en un punto cualquiera del plano de muestreo.
- si $S_{punto} > S_{ref}$ se calcula el factor F:

$$F = \frac{S_{punto}^2}{S_{ref}^2}$$

- Si $F < F_{N-1, N-1, 0,95}$ para el número de puntos tal y como se dan en la tabla 6 la distribución del gas es homogénea. Se puede muestrear en un punto cualquiera del plano de muestreo.
- en caso contrario, la distribución se considera no homogénea, y hay que calcular la desviación típica del plano de muestreo S_{plano} (desviación típica de la medición combinada rejilla y punto de referencia) de acuerdo a la fórmula:

$$S_{plano} = \sqrt{S_{punto}^2 - S_{ref}^2}$$

Y su correspondiente incertidumbre de la medición combinada rejilla y punto de referencia, U_{plano} , expandida de acuerdo a:

$$U_{\text{plano}} = t_{N-1;0,95} \times s_{\text{plano}}$$

Si U_{plano} es menor o igual que el 50% de la incertidumbre expandida permisible, entonces esta se considera despreciable y se puede medir en un punto representativo en el plano de muestreo, puesto que la contribución de la incertidumbre debida a la no homogeneidad del gas residual a la incertidumbre total es despreciable. El punto de rejilla con el cociente r_i más próximo al valor medio \bar{r} de los cocientes se asume que es el punto representativo.

Si U_{plano} es mayor que el 50% de la incertidumbre expandida permitida para el parámetro, U_{perm} (ver la tabla 7 donde se recogen los valores de las incertidumbres expandidas máximas permitidas), entonces hay que medir en rejilla.

Número y situación de los puntos de medida Acondicionamiento de los focos

| Número de puntos de muestreo N | Factor F $F_{N-1;N-1;0,95}$ | Factor t $F_{N-1; 0,95}$ | Número de puntos de muestreo N | Factor F $F_{N-1;N-1;0,95}$ | Factor t $F_{N-1; 0,95}$ |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 4 | 9,28 | 3,182 | 19 | 2,22 | 2,101 |
| 5 | 6,39 | 2,776 | 20 | 2,17 | 2,093 |
| 6 | 5,05 | 2,571 | 21 | 2,12 | 2,086 |
| 7 | 4,28 | 2,447 | 22 | 2,08 | 2,080 |
| 8 | 3,79 | 2,365 | 23 | 2,05 | 2,074 |
| 9 | 3,44 | 2,306 | 24 | 2,01 | 2,069 |
| 10 | 3,18 | 2,262 | 25 | 1,98 | 2,064 |
| 11 | 2,98 | 2,228 | 26 | 1,96 | 2,060 |
| 12 | 2,82 | 2,201 | 27 | 1,93 | 2,056 |
| 13 | 2,69 | 2,179 | 28 | 1,90 | 2,052 |
| 14 | 2,58 | 2,160 | 29 | 1,88 | 2,048 |
| 15 | 2,48 | 2,145 | 30 | 1,86 | 2,045 |
| 16 | 2,40 | 2,131 | 31 | 1,84 | 2,042 |
| 17 | 2,33 | 2,120 | 32 | 1,82 | 2,039 |
| 18 | 2,27 | 2,110 | 33 | 1,80 | 2,036 |

Tabla 6 - Factores F y factores t en función del número de puntos de muestreo para un nivel de confianza del 95%

Número y situación de los puntos de medida Acondicionamiento de los focos

| PARÁMETRO | U _{perm} | PARÁMETRO | U _{perm} |
|------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Monóxido de carbono | 10 % | Mercurio | 40 % |
| Dióxido de azufre | 20 % | Ácido sulfhídrico | 30 % |
| Óxidos de nitrógeno | 20 % | Amoníaco | 30 % |
| Partículas | 30 % | Caudal | 20 % |
| Carbono Orgánico Total | 30 % | Humedad | 30 % |
| Cloruro de hidrógeno | 40 % | Oxígeno: | 10 % |
| Fluoruro de hidrógeno | 40 % | Dióxido de carbono | 10 % |

Tabla 7. Incertidumbres expandidas permitidas

U_{perm} es un valor en porcentaje sobre el valor límite de emisión, VLE; en caso de que el parámetro no tenga definido un VLE de emisión, se tomará como tal, a efectos de cálculos, el correspondiente a 1,6 veces el valor máximo medido durante las medidas actuales en el plano de muestreo o el rango del equipo, el menor de los dos.

La homogeneidad puede demostrarse con un único analizador, midiendo primero en rejilla e inmediatamente después midiendo en el punto de referencia.

Cuando el resultado de las pruebas sea de no homogeneidad y $U_{\text{plano}} \leq 0,5 \cdot U_{\text{perm}}$ (muestreo en un punto representativo) y éstas se hayan realizado con un único analizador, este resultado no será válido, debiendo demostrarse esta condición mediante el uso de dos analizadores simultáneamente, uno para la medida en rejilla y otro para el punto de referencia.

El analizador utilizado como de referencia puede ser un SAM certificado de acuerdo a la norma UNE EN 14181:2005

Toda la secuencia descrita para la comprobación de la homogeneidad, se encuentra esquematizada en el anexo I

6. RESPONSABILIDADES

Es responsabilidad del titular de la instalación adaptar sus sitios y secciones de muestreo a la presente instrucción técnica, así como facilitar en todo momento el que la inspección se realice de acuerdo a ella.

7. REFERENCIAS

UNE-EN 15259:2008. Calidad del aire. Emisiones de fuentes estacionarias. Requisitos y sitios de medición y para el objetivo, plan e informe de medición.

8. ANEXOS

Anexo I: Diagrama esquemático del ensayo de homogeneidad

Anexo II: Términos relacionados con el sitio de medida y con la sección de medida

Número y situación de los puntos de medida Acondicionamiento de los focos

Anexo I: Diagrama esquemático del ensayo de homogeneidad

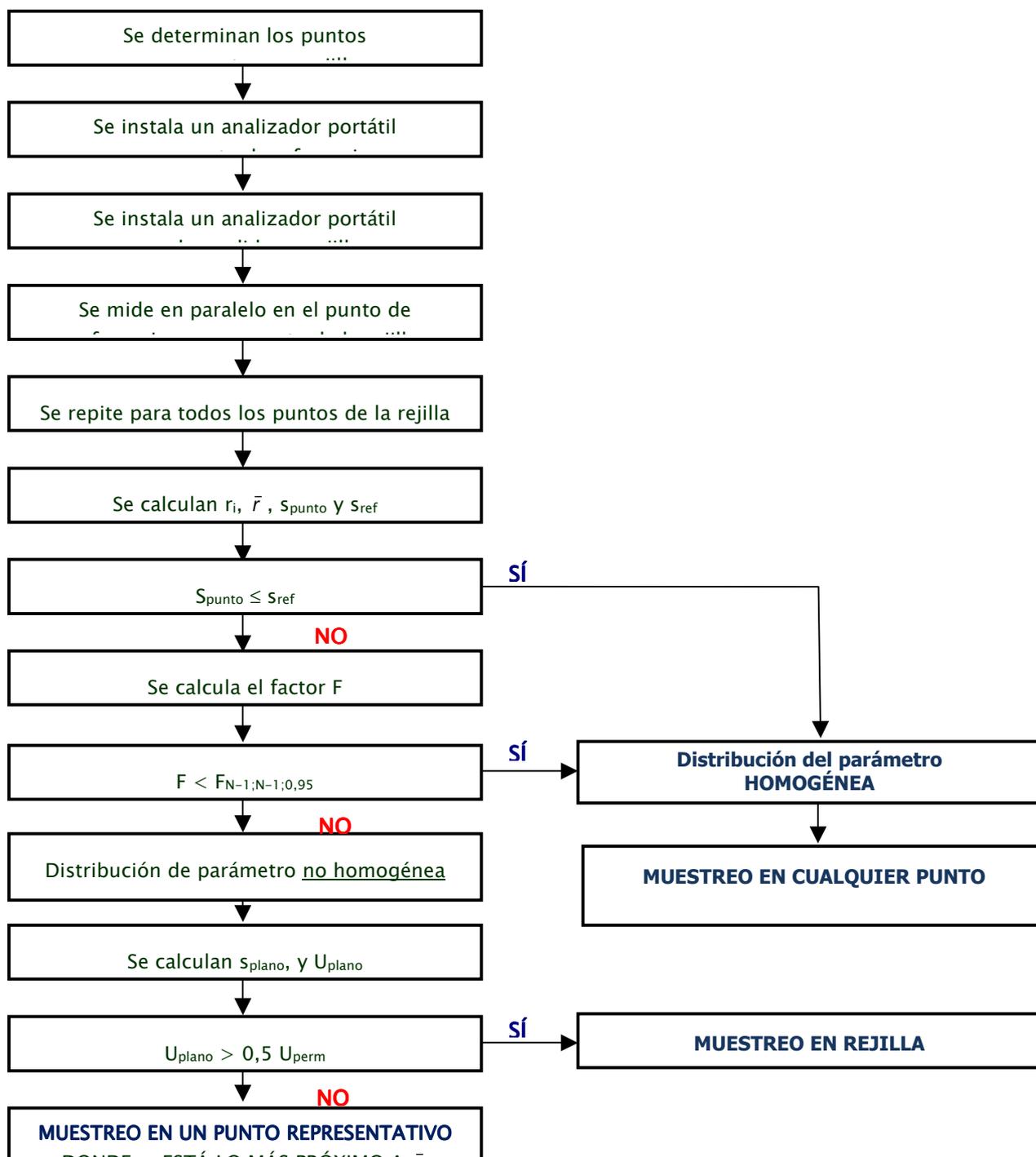
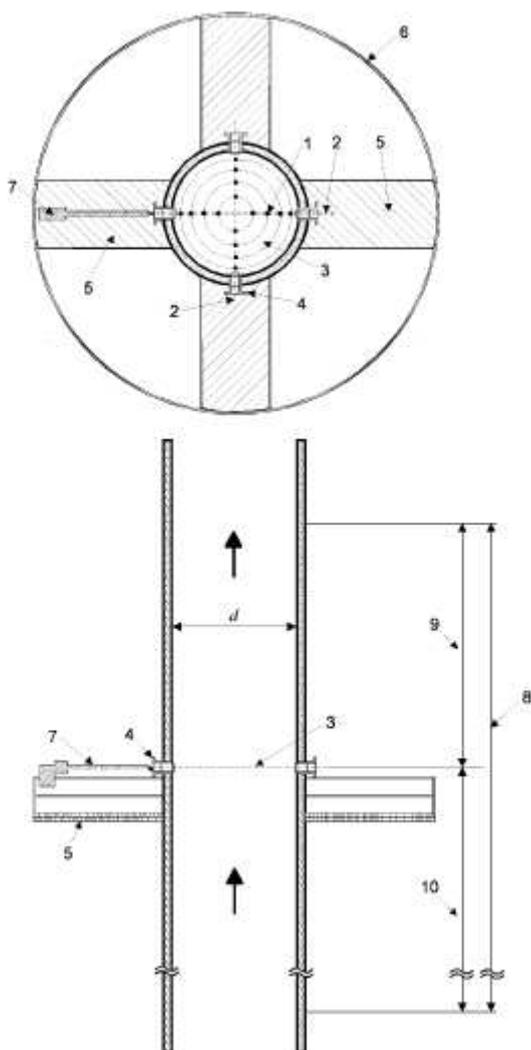


Diagrama esquemático de ensayo de homogeneidad

Número y situación de los puntos de medida Acondicionamiento de los focos

Anexo II: Términos relacionados con el sitio de medida y con la sección de medida



| Leyenda | |
|---------|-------------------------------|
| 1 | Punto de medida |
| 2 | Línea de medida |
| 3 | Plano de muestreo |
| 4 | Boca de muestreo |
| 5 | Área libre de obstáculos |
| 6 | Sitio de medida |
| 7 | Tren de muestreo manual |
| 8 | Sección de medida |
| 9 | Sección de salida |
| 10 | Sección de entrada |
| d | diámetro interno del conducto |

Términos relacionados con el sitio y la sección de medida