



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Diseño de una instalación de atmosferas patrón para certificar analizadores de emisiones gaseosas contaminantes

Autor: Sara Ondoño Tovar

Institución: Universidad de Murcia

e-mail: sara.o.t@um.es

Otros Autores: Marta Doval Miñarro (Grupo de Investigación de Seguridad e Higiene en la Industria, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Murcia), Jonathan Barberá Rico (Grupo de Investigación de Seguridad e Higiene en la Industria, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Murcia), Enrique González Ferradás (Jefe del Grupo de Investigación de Seguridad e Higiene en la Industria, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Murcia).

RESUMEN

La explotación intensiva de los recursos naturales y el desarrollo tecnológico, industrial y económico suponen una amenaza de la capacidad asimiladora y regeneradora del medio ambiente, por lo que se hacen necesarios controles adecuados para mitigar o atenuar las perturbaciones irreversibles de los equilibrios ecológicos. El desarrollo de las tecnologías medioambientales que impiden o disminuyen la génesis de contaminantes en los procesos de producción así como las tecnologías de final de proceso, que reducen las emisiones al medio ambiente, han permitido reducir los daños ambientales. Para el control y seguimiento de las emisiones de las distintas actividades industriales es necesario disponer de técnicas de medición de alto nivel que permitan asegurar el cumplimiento de los límites emisivos de los contaminantes regulados. Esta monitorización se lleva a cabo fundamentalmente con dos tipos de sistemas: en continuo, mediante la utilización de Sistemas Automáticos de Medida (SAM); o en discontinuo, mediante sistemas de toma de muestra in situ y análisis posterior en laboratorio. El correcto funcionamiento de ambos sistemas es fundamental para el conocimiento de las concentraciones reales de los contaminantes emitidos, lo que permite evidenciar de forma objetiva el grado de cumplimiento de los valores límite establecidos en la legislación. Este Proyecto se enmarca en la etapa de aseguramiento de la calidad de los equipos de medida en continuo utilizados en emisión (SAM), que es básica para la correcta gestión del control de las emisiones industriales. En concreto, se ha diseñado una instalación de atmósferas patrón capaz de reproducir las condiciones de los focos emisores (concentración de las especies contaminantes, presión, temperatura, humedad...), de manera que se posibilite llevar a cabo los ensayos de la norma UNE-EN 15267-3: 2008 en laboratorio conducentes a la certificación de estos equipos. El proyecto se encuentra actualmente en fase de montaje y, una vez que la instalación esté operativa, se pretende acreditarla de acuerdo con la norma ISO 17025.

Palabras Clave: emisión; monitorización; sistemas automáticos de medida; certificación; UNE-EN 15267-3:2008;

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO

La explotación intensiva de los recursos naturales y el desarrollo tecnológico, industrial y económico suponen una amenaza de la capacidad asimiladora y regeneradora del medio ambiente, por lo que se hacen necesarios controles adecuados para mitigar o atenuar las perturbaciones irreversibles de los equilibrios ecológicos.

El desarrollo de las tecnologías medioambientales que impiden o disminuyen la génesis de contaminantes en los procesos de producción así como las tecnologías de final de proceso, que reducen las emisiones al medio ambiente, han permitido reducir los daños ambientales. Este desarrollo ha permitido establecer las etapas básicas de la gestión de las emisiones industriales:

- a) Definir las sustancias contaminantes y los procesos industriales que las generan.
- b) Establecer los valores límite de emisión para las sustancias anteriores.
- c) Implantar las mejores técnicas disponibles (MTDs) para lograr un alto nivel de protección del medio ambiente sin menoscabar los costes de producción de las industrias.
- d) Establecer técnicas de medida de referencia para la monitorización de los contaminantes regulados.
- e) Realización de otras actuaciones de control - además de las MTD - en caso de superación de los valores límite establecidos.

Para el control y seguimiento de las emisiones de las distintas actividades industriales es necesario disponer de **técnicas de medición de alto nivel** que permitan asegurar el cumplimiento de los límites emisivos de los contaminantes regulados. Esta monitorización se lleva a cabo fundamentalmente con dos tipos de procedimientos:

1. En continuo, para especies como óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO), partículas totales, carbono orgánico total (COT), cloruro de hidrógeno (HCl), fluoruro de hidrógeno (HF) y dióxido de azufre (SO₂), mediante la utilización de los **Sistemas Automáticos de Medida** (en adelante, SAM).
2. Medidas en discontinuo (generalmente, como mínimo, dos veces al año) de metales pesados, dioxinas y furanos, entre otros.

Un **SAM** es el conjunto de los instrumentos de medida y dispositivos adicionales necesarios que permiten obtener de forma automática resultados de medición de las emisiones de los focos contaminantes habituales.

Foco
emisor

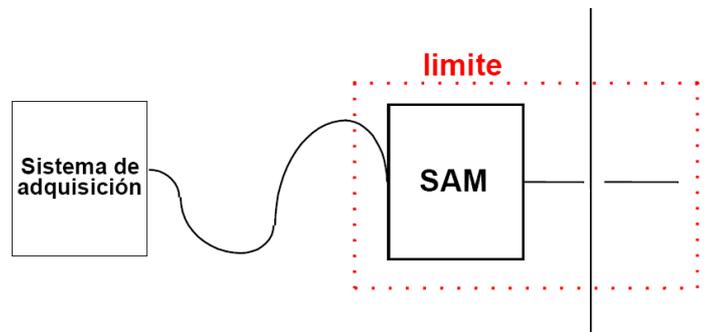


Figura 1.- Ubicación de un SAM.

El correcto funcionamiento de estos equipos es fundamental para el conocimiento de las concentraciones reales de los contaminantes emitidos, lo que permite evidenciar de forma objetiva el grado de cumplimiento de los valores límite establecidos en la legislación.

Este Proyecto se enmarca en la etapa de aseguramiento de la calidad de los equipos de medida utilizados en emisión, que es básica para la correcta gestión del control de las emisiones industriales.

OBJETIVO DEL PROYECTO

En este contexto, se pretende llevar a cabo el **montaje, puesta en marcha y acreditación** según la norma EN ISO/IEC 17025, de un laboratorio de ensayo que permita la certificación de SAM, utilizados de acuerdo a los requisitos de la norma **UNE – EN 15267-3: 2008**. En función de la procedencia de las emisiones que se prevé medir se hace necesario dar respuesta a unos requerimientos mínimos, que permiten evaluar la idoneidad de los equipos.

Para dar cumplimiento al objetivo general citado anteriormente, se llevarán a cabo las siguientes **actuaciones**:

1. Análisis de las especificaciones técnicas de los SAM comúnmente empleados en la monitorización de emisiones, distinguiendo si se emplean en cementeras, plantas de combustión o incineradoras de residuos.
2. Evaluación de los requerimientos mínimos exigidos a los SAM establecidos en la norma UNE – EN 15267-3: 2008.
3. Definición de las necesidades instrumentales y operativas en función de los ensayos a realizar.
4. Diseño de la instalación de atmósferas patrón y acreditación de la misma en base a la norma UNE – EN 17025.

II. METODOLOGÍA: BASES DE DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

A. GENERALIDADES SOBRE EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ATMÓSFERAS PATRÓN.

Con un sistema de atmósferas controladas se pretende conseguir, fundamentalmente, volúmenes o caudales de un gas matriz –aire o nitrógeno, generalmente- con concentraciones conocidas de los contaminantes de interés, a determinadas condiciones de temperatura, presión y humedad. Para ello hay que incorporar al gas de dilución cantidades conocidas de las especies de ensayo y establecer sistemas fiables de control de todas las variables que influyen en el proceso (Figura 1).

No hay ningún método generalizado de diseño de atmósferas patrón, de manera que cada caso debe ser tratado de forma particular y, en consecuencia, un sistema especialmente adecuado para un determinado fin, debe ser modificado o adaptado si se pretende implantar para otra utilidad [Díe, 1978].

En esta línea, Pérez Ballesta et col (1999) han indicado que los sistemas ideales de calibración de técnicas analíticas para la medida de contaminantes en aire ambiente deben cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Tener capacidad para generar concentraciones típicas ambientales (del orden de pocas partes por billón (ppb)), así como permitir la variabilidad en las concentraciones generadas.
- Poder generar atmósferas multicomponentes.
- Disponer de trazabilidad másica, volumétrica, de temperatura y presión.
- Mantener concentraciones constantes en periodos de tiempo relativamente elevados.
- Conseguir la estabilización en cortos periodos de tiempo (1 hora como máximo).
- Permitir el control de la humedad y la temperatura, así como, la selección de la velocidad de viento, en su caso.

Se distinguen dos tipos de sistemas de atmósferas controladas: los estáticos y los dinámicos. Los métodos dinámicos tienen mayor aplicabilidad que los estáticos, siendo especialmente útiles en los siguientes casos [Nelson, 1976]:

- En procesos donde se puedan producir lentamente otros compuestos que puedan interferir en los objetivos de la investigación.
- En estudios donde se necesita mantener o variar de forma controlada la concentración.
- En investigaciones sobre inhalación y olores donde el oxígeno y el gas de interés son consumidos formándose dióxido de carbono y vapor de agua que es preciso eliminar continuamente.
- Para disponer de mezclas patrón que deben ser suministradas permanentemente.

De acuerdo con esto, la instalación diseñada será de tipo dinámico.

B. COMPONENTES BÁSICOS DE LOS SISTEMAS DINÁMICOS DE ATMÓSFERAS PATRÓN.

En la Figura 2 se muestran los componentes básicos de una instalación dinámica de atmósferas controladas. Es fundamental conocer los caudales del gas de dilución y del contaminante para poder determinar con exactitud las concentraciones finales de las especies de interés.

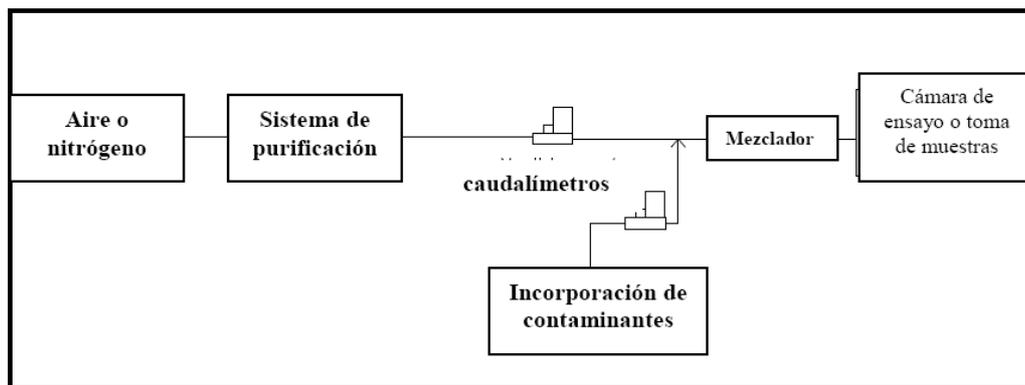


Figura 2.- Elementos básicos de una instalación de atmósferas controladas.

B.1. Purificación del gas matriz

La primera etapa para generar una atmósfera controlada es depurar el gas matriz, esto es, eliminar las impurezas presentes en el mismo para evitar posibles interacciones con las sustancias de interés. Este gas depurado se conoce como aire o nitrógeno “cero”.

Los componentes más comunes presentes en el aire ambiente y que deben ser eliminados son el vapor de agua, gases ácidos, como los óxidos de carbono, azufre y nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y partículas.

El vapor de agua se puede eliminar de forma muy eficaz mediante procedimientos mecánicos (compresión y enfriamiento en etapas) seguido de adsorbentes que se incorporan a los compresores que proporcionan el aire a presión.

Para la depuración de gases ácidos hay gran variedad de adsorbentes con altos rendimientos de eliminación. Cabe destacar la alúmina activa, la mezcla de alúmina con permanganato potásico (comercialmente Purafil®) [Doyle et col, 1977], la cal sodada [Nelson, 1976] y carbones activos especiales con aditivos selectivos.

Los compuestos orgánicos volátiles, por otra parte, se retienen generalmente mediante carbón activo [Baeza, 2000; Bansode et col, 2003; Srivastava et col, 2004]. Los materiales de partida y el proceso utilizado para la obtención de este adsorbente determinan su mayor o menor eficacia de retención.

B.2. Materiales de construcción

Otro aspecto técnico a considerar en el diseño de estas instalaciones son los materiales de construcción en contacto con el gas, que deben ser inertes, de manera que su capacidad de interacción - adsorción o reacción con los contaminantes utilizados - sea nula o irrelevante. Los más utilizados son el vidrio, el teflón y el acero inoxidable.

B.3. Sistemas de incorporación del contaminante

Se debe distinguir, en primer lugar, entre compuestos líquidos y gaseosos. Si se trata de sustancias líquidas vaporizables, se utilizan principalmente sistemas de **difusión** y de **inyección**. En el caso de contaminantes gaseosos, los métodos más utilizados son los de **permeación** y los de **dilución** del compuesto gaseoso puro o previamente diluido contenido en botellas a presión. Este último es el más adecuado, ya que posibilita obtener caudales constantes de gas contaminante que se mezclan con caudales conocidos del gas de dilución. Además, este método se prefiere frente al de permeación si las concentraciones finales son elevadas.

C. GARANTIA DE CALIDAD DE LOS DATOS DE EMISIONES ATMOSFERICAS.

El control y seguimiento de las emisiones de las distintas actividades industriales requiere la disposición de técnicas de medición adecuadas que permitan asegurar el cumplimiento de los límites de emisión establecidos para cada contaminante. La investigación y experiencia adquirida en relación con las técnicas y equipos para la medición de los principales contaminantes permite abordar estos requerimientos.

En este contexto, el Comité Europeo de Normalización (CEN), ha desarrollado trabajos destinados a facilitar un marco que asegure unos resultados de medición comparables y garantice un elevado nivel de calidad en las mediciones. Las normas CEN desarrollan técnicas de muestreo y análisis de los contaminantes regulados, así como los métodos de medición de referencia para calibrar los sistemas automáticos de medición.

La calidad de los resultados depende en gran parte del funcionamiento del sistema de medida utilizado. Por ello, el CEN ha desarrollado normas que permiten **certificar** los SAM y determinar la incertidumbre de las lecturas, asegurando unos objetivos mínimos de calidad.

Estas certificaciones tienen lugar a tres niveles consecutivos:

1. **Nivel de garantía 1 (NGC1):** antes de que los equipos sean comercializados.
2. **Nivel de garantía 2 (NGC2):** una vez que los equipos han sido instalados en un emplazamiento concreto.

3. **Nivel de garantía 3 (NGC3):** durante la operación normal de medida en la planta industrial.

Asimismo, los SAM se someten a un **ensayo anual de seguimiento (EAS)** que permite evaluar si el funcionamiento de los equipos sigue siendo el adecuado.

Los procedimientos NGC1, NGC2 y el EAS implican laboratorios de ensayo acreditados para su ejecución, mientras que el nivel de garantía NGC3 lo realizan los operadores de la planta industrial.

En la Tabla 1 se especifican las normas que regulan los procedimientos de cada nivel de garantía.

Tabla 1.- Normas que regulan los procedimientos de los distintos niveles de garantía.

PROCEDIMIENTO	NORMA
NGC1	UNE-EN 15267-3: 2008
NGC2	
NGC3	UNE-EN 14181: 2005
EAS	

La **certificación NGC1** implica la realización de pruebas de laboratorio y de campo, de modo que si el SAM de ensayo las supera y, además, la incertidumbre de las medidas es inferior a la máxima especificada en la legislación, será apto para su utilización en aplicaciones reales. Estos ensayos deben realizarse, al menos, con dos analizadores idénticos y son responsabilidad del fabricante de los mismos.

D. ENSAYOS A REALIZAR SEGUN LA NORMA UNE-EN 15267-3: 2008.

D.1. Ensayos de Laboratorio.

Las condiciones de las diferentes pruebas que conforman el **ensayo en laboratorio del NGC1** determinan de forma directa el **equipamiento necesario** y el **rango de operación** de la instalación a diseñar.

Tabla 2.- Clasificación de las distintas pruebas a realizar en laboratorio.

ENSAYOS LABORATORIO	GRUPO	PRUEBAS
	1. Características intrínsecas del analizador	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de respuesta - Desviación típica de repetibilidad - Falta de ajuste - Deriva de cero y rango - Eficiencia del convertidor del SAM de medición de NOx
	2. Parámetros o condiciones ambientales	<ul style="list-style-type: none"> - Influencia de la temperatura ambiente - Influencia de la presión del gas de muestra - Influencia del flujo del gas de muestra (para SAM extractivos) - Influencia de las variaciones del voltaje -Influencia de las vibraciones
	3. Sustancias interferentes	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilidad cruzada - Factores de respuesta

D.2. Ensayos de campo.

Los **ensayos de campo** permiten comprobar el funcionamiento del SAM en un foco emisor industrial real. El seguimiento tiene una duración mínima de 3 meses ininterrumpidos. El emplazamiento de medición se selecciona de acuerdo con la Norma 15259.

Tabla 3.- Clasificación de las distintas pruebas a realizar en campo.

ENSAYOS DE	GRUPO	PRUEBAS

	1. Características intrínsecas del analizador	<ul style="list-style-type: none">- Tiempo de respuesta- Falta de ajuste- Deriva de cero y rango- Función de calibración- Intervalo de mantenimiento- Disponibilidad- Reproducibilidad- Verificación de sistemas <i>in situ</i>
--	---	--

E. REQUISITOS GENERALES DE ENSAYO

E.1. Rangos a ensayar: Rangos de certificación.

Según la Norma UNE EN 15267-3: 2008, el rango de certificación es el rango para el cual se ensaya y certifica el SAM, para cada contaminante, siendo un parámetro básico para el diseño de la instalación.

El rango de certificación debe comprender los siguientes valores mínimos y máximos:

a) Para **incineradoras de residuos** (*Directiva 2000/76/CE*), el rango empieza generalmente en cero, si el SAM es capaz de medir cero, y un valor no superior a 1,5 veces el valor límite de emisión medio diario (VLE).

b) Para **grandes instalaciones de combustión** (*Directiva 2001/80/CE*), el rango empieza generalmente desde cero, si el SAM es capaz de medir cero, y un valor no superior a 2,5 veces el VLE.

c) Para otras plantas, el rango de certificación se establece en relación con el valor límite de emisión correspondiente o cualquier otro requisito relacionado con la aplicación prevista.

Además, esta norma indica que el SAM debe ser capaz de medir valores instantáneos en un rango que sea, al menos, **dos veces el límite superior del rango de certificación**, a fin de medir **valores semihorarios**. Si es necesario usar más de un rango de certificación para conseguir este requisito, se podrán establecer **rangos suplementarios** que requerirán de un ensayo adicional para determinar el tiempo de respuesta, la falta de ajuste y, en su caso, la sensibilidad cruzada para interferentes que hayan mostrado relevancia durante el ensayo en el rango primario de certificación. Las tablas siguientes muestran los rangos de certificación para cada gas de ensayo, según

las *Directivas 2000/76/CE* y *2001/80/CE* y los rangos de certificación suplementarios establecidos para el cumplimiento de las especificaciones anteriores.

Tabla 4.- Rangos de concentraciones a generar, exceptuando el cero, para incineradoras de residuos.

DIRECTIVA 2000/76/CE relativa a INCINERACIÓN DE RESIDUOS				
Gas contaminante	Valor medio diario (ppm)	Rango de certificación según Norma (ppm)	Valor medio semihorario (ppm)	Rango de concentraciones suplementario (ppm) (**)
SO ₂	17,5	2,62 – 26,2	70	10,4 – 104,9
NO _x	97,3	14,6 – 146	195	29,2 – 292
CO	40	6 – 60	120 (*)	17,9 – 179,9
COT	10 (mg/m ³)	1,5 – 15 (mg/m ³)	20 (mg/m ³)	3 – 30 (mg/m ³)
HCl	6,14	0,92 – 9,21	36,8	5,59 – 55,9
HF	1,12	0,167 – 1,67	4,47	0,67 – 6,71

(*) El CO se expresa en valor diezminutal, en lugar de valor semihorario.

(**) Los valores señalados en negrita son las concentraciones máximas de cada sustancia contaminante a tener en cuenta para el diseño de la instalación.

En el caso de incineradoras de residuos, los valores medios semihorarios son mayores que los valores medios diarios, por lo que se ha establecido un **rango de certificación suplementario** que determina las concentraciones máximas a generar en la instalación de atmósferas patrón para la certificación de equipos destinados a la medida de las incineradoras citadas.

Teniendo en cuenta lo anterior, las concentraciones máximas a generar se calculan multiplicando el valor límite de emisión medio (diario o semihorario) por 1,5, mientras que las concentraciones mínimas, exceptuando el cero, se obtienen de los requerimientos operativos del ensayo de la falta de ajuste, que indica la mínima concentración de ensayo a utilizar, igual al 10% del límite superior del rango de certificación.

Tabla 5.- Rangos de concentraciones a generar, exceptuando el cero, relativos a instalaciones de combustión para combustibles sólidos.

DIRECTIVA 2001/80/CE relativa a INSTALACIONES DE COMBUSTIÓN			
Combustibles sólidos			
Gas contaminante	Potencia (Mwth)	Valor límite (ppm)	Rango de concentraciones a generar (ppm)
SO ₂	> 500	140	35 – 350
	100 – 500	700 – 140	(175-1750) – (35-350)
	50 – 100	700	175 – 1750
NO _x	50 – 500	292	73 - 730
	> 500	252,2	60,83 – 608,3
Materia particulada	≥ 500	50 (mg/m ³)	0 – 125 (mg/m ³)
	< 500	100 (mg/m ³)	0 – 250 (mg/m ³)

Tabla 6.- Rangos de concentraciones a generar, exceptuando el cero, relativos a instalaciones de combustión para combustibles líquidos.

DIRECTIVA 2001/80/CE relativa a INSTALACIONES DE COMBUSTIÓN			
Combustibles líquidos			
Gas contaminante	Potencia (Mwth)	Valor límite (ppm)	Rango de concentraciones a generar (ppm)

	> 500	140	35 – 350
SO ₂	300 – 500	594,6 – 140	(148,6-1486,5) – (35-350)
	50 – 300	594,6	148,6 – 1486,5
NO _x	50 – 500	219	54,75 – 547,5
	> 500	149,7	48,67 – 486,7
Materia particulada	Todas las instalaciones	50 (mg/m ³)	0 – 125 (mg/m ³)

Tabla 7.- Rangos de concentraciones a generar, exceptuando el cero, relativos a instalaciones de combustión para combustibles gaseosos.

DIRECTIVA 2001/80/CE relativa a INSTALACIONES DE COMBUSTIÓN

Combustibles gaseosos

Gas contaminante	Potencia (Mwth)	Valor límite (ppm)	Rango de concentraciones a generar (ppm)
SO ₂	Combustibles gaseosos en general	12,2	3,06 – 30,6
NO _x	50 – 500	146	36,5 - 365
	> 500	97,3	24,3 – 243,3
Materia particulada	Todas las instalaciones	5 (mg/m ³) ^a	0 – 12,5 (mg/m ³)
		10 (mg/m ³) ^b	0 – 25 (mg/m ³)
		50 (mg/m ³) ^c	0 – 125 (mg/m ³)

(^a): en general.

(^b): gases de altos hornos.

(^c): gases de siderurgia.

Las bases de diseño de la instalación de atmósferas patrón, para cada gas, se han realizado teniendo en cuenta los valores máximo y mínimo de concentración calculados en las Tablas 4 a 7.

En el caso de grandes instalaciones de combustión no es necesario utilizar rangos de certificación suplementarios, ya que los valores límite de emisión solamente se dan en promedios diarios. Las concentraciones máximas se calculan multiplicando el valor límite de emisión por 2,5 y las concentraciones mínimas del mismo modo que en incineración de residuos (el 10% del límite superior del rango de certificación).

E.2. Caudal de mezcla patrón.

El objetivo de la instalación es la certificación de sistemas automáticos de medida de contaminantes procedentes de fuentes de emisión estacionarias. La certificación se realiza para dos analizadores dispuestos en paralelo. Ambos analizadores deben instalarse dentro de una cámara termostataada para prevenir que las variaciones externas de temperatura puedan modificar la respuesta del SAM.

Para poder dimensionar de forma adecuada la instalación es necesario tener una idea aproximada de los caudales de aspiración de los SAM. Para ello se ha buscado información acerca de dichos caudales, de forma que la instalación diseñada sea versátil y capaz de certificar una amplia gama de analizadores. La Tabla 8 muestra algunos de los modelos de analizadores más comúnmente empleados para la medición de emisiones junto con su caudal nominal de aspiración.

Tabla 8.- Caudal de aspiración de algunos SAM empleados en emisión.

Analizador	Fabricante	Caudal de aspiración (IN/min.)	Gases analizados
ENDA-C2000	Horiba	1,5	NH ₃ , NO _x y O ₂ .
MGS 300	JCT Analysentechnik GmbH	2,0	CO, CO ₂ , NO, NO ₂ , N ₂ O, SO ₂ , O ₂ , HCl, HF, H ₂ O, NH ₃ .
XE-CEMS	Horiba	0,5	NO _x , CO ₂ , CO, SO ₂ , O ₂ . NDIR: CO, CO ₂ , N ₂ O, CH ₄ , SO ₂ .
VA-3.000/VS-3.000	Horiba	0,5	CLD: NO _x . MPA, Galvánico, Zirconio, Paramagnético: O ₂ .
Modelo 410i	Thermo Electron	1,0	CO ₂
Modelo 200EH/200EM	API Teledyne	0,25	NO, NO ₂ y NO _x .
Modelo 300 EH	API Teledyne	0,80	CO y CO ₂
FTIR Multi-Gas CEMS, Modelo 70	Thermo Electron	4,0	CO, CO ₂ , NO, NO ₂ , N ₂ O, SO ₂ , O ₂ , HCl, HF, H ₂ O, NH ₃ .
NDIR Multi-Gas, Modelo 60i	Thermo Electron	1,0	CO, CO ₂ , NO, NO ₂ , SO ₂ , O ₂ .

Como se puede observar en la Tabla 8, el mayor caudal de aspiración encontrado está en torno a unos **4 IN/min.** Este dato es necesario para determinar el caudal total de muestra que hay que generar, de modo que se asegure el abastecimiento de los analizadores.

Es importante tener en cuenta las siguientes cuestiones:

- El **caudal de nitrógeno o aire cero** a generar es función del caudal de aspiración de los analizadores. Es necesario que el caudal de aire que entre al analizador sea superior al caudal de aspiración especificado por el fabricante para asegurar que no entra aire ambiente al analizador.
- Según los datos de la Tabla 8, el caudal de aspiración de los distintos analizadores presentes en el mercado es inferior, en todos los casos encontrados, a 4 IN/min. Dado que las pruebas de certificación se tienen que realizar con dos analizadores dispuestos

en paralelo, el caudal mínimo de aspiración necesario será de 8 IN/min. Así pues, el **caudal mínimo de operación** se establece en $1.25 \times 8 \text{ IN/min.} = 10 \text{ IN/min.}$

- El **caudal máximo** se fija en torno a unos **40 IN/min** ya que el generador de nitrógeno escogido es capaz de generar este caudal máximo para una pureza de nitrógeno superior al 99,8%.

E.3. Requisitos operacionales.

En determinadas pruebas, como es el caso de la desviación típica de repetibilidad o la deriva, se evalúan las propiedades intrínsecas a los equipos; en otras pruebas, se estudia el efecto de ciertas variables como la presión, la temperatura o el voltaje sobre las respuestas de los mismos.

Para llevar a cabo ambos tipos de estudios es preciso que las demás variables que pueden influir en los resultados permanezcan constantes dentro de unos rangos determinados. En la Tabla 9 se recogen los valores de consigna y la estabilidad exigida en la norma UNE EN 15267-3 respecto a los ensayos.

Tabla 9.- Requisitos operacionales.

Variable	Valor de consigna	Estabilidad
Presión de la muestra	101,3 KPa	($\pm 0,2 \text{ kPa}$)
Temperatura de la muestra	20°C	($\pm 1,0^\circ\text{C}$)
Humedad de la muestra	Gas seco	-
Voltaje eléctrico	220V	-
Incertidumbre expandida de los materiales de referencia		$\leq 2\%$
Incertidumbre expandida de la concentración de los gases de ensayo (nivel confianza del 95%)	Concentración de los gases de ensayo	$\leq 3\%$ Falta de ajuste: $\leq 0,7\%$

E.4. Otros requisitos adicionales.

Los laboratorios de ensayo deben estar **acreditados según la Norma EN ISO/IEC 17025** que establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

III. EQUIPAMIENTO REQUERIDO EN LA INSTALACIÓN DE ATMÓSFERAS PATRÓN.

Para poder determinar el equipamiento requerido en la instalación de atmósferas patrón se deben tener en cuenta los requisitos especificados en la norma UNE – EN 15267-3: 2008. A partir de estas especificaciones y de las pruebas o ensayos a los que deben someterse los SAM para su posterior certificación, se puede configurar la mencionada instalación. Los distintos componentes de la instalación (ver Anexo I) se agrupan en los siguientes bloques:

- A. Generación del gas matriz.**
- B. Incorporación de contaminantes de ensayo e interferentes.**
- C. Sistema de humidificación y acondicionamiento térmico de la muestra.**
- D. Sistema de medida y control de caudales.**
- E. Sistema de mezcla y toma de muestras.**
- F. Otros requerimientos adicionales.**

A. Generación del gas matriz.

La generación de mezclas patrón para su empleo en calibraciones y certificaciones de sistemas automáticos de medida se lleva a cabo adicionando el o los contaminantes de interés en un gas matriz que, habitualmente, suele ser aire ambiente o nitrógeno, comprimidos y purificados.

En la mayoría de las certificaciones de gases se puede operar con aire ambiente previamente acondicionado lo que, sin duda, es más económico, sin embargo, para aquellos SAM que miden oxígeno es imprescindible trabajar con N₂ de alta pureza (en algunos casos, con un contenido de oxígeno inferior al 0,2%) por lo que se hace necesario un generador de nitrógeno. Este generador puede ser alimentado con aire ambiente comprimido y depurado, lo que aumenta su vida útil.

- **Compresión y purificación del aire ambiente**

La presión mínima necesaria del aire será aquella capaz de vencer la pérdida de carga de la instalación (DP ≈ 0.5 bar). Si el aire comprimido se emplea para alimentar el generador de nitrógeno, la presión necesaria del aire será la de entrada a este último equipo, especificada por el fabricante.

- **Compresión**

Es necesario que el compresor utilizado no esté lubricado con aceite, ya que contiene cantidades considerables de hidrocarburos que podrían interferir en los posteriores análisis, contaminando las muestras y dificultando la etapa posterior de purificación. La refrigeración de los compresores exentos de aceite se realiza con el propio aire ambiente, sin ser necesario el empleo de agentes lubricantes.

Concretamente, se ha seleccionado un compresor BOGE modelo K8, cuyas características técnicas son:

- Potencia del motor: 3 Kw.
- Capacidad: 19,7 m³ N/h.
- Presión de trabajo: 8 bar.
- Depósito de acumulación: 270 litros.



Figura 3.- Compresor BOGE, exento de aceite.

➤ **Purificación del aire ambiente**

- **Secado**

La operación de secado es fundamental puesto que, salvo en el análisis de la interferencia del vapor de agua en las lecturas del SAM y en unos pocos ensayos especificados en donde se opera con gases húmedos, la mayoría de las pruebas se llevan a cabo con gases secos. Además, si el aire comprimido se emplea como alimentación del generador de nitrógeno – que es lo habitual - deberá ser seco puesto que la presencia de agua reduce la eficacia de la generación de nitrógeno.

La operación de secado puede llevarse a cabo mediante diferentes mecanismos como el **enfriamiento**, la **adsorción sobre sólidos**, la **absorción con desecantes líquidos** o la **compresión**. En esta aplicación el aire, una vez comprimido, se suele depurar mediante absorción.

De los secadores comerciales por adsorción disponibles se ha seleccionado el siguiente:

- Fabricante: PNEUDRI MIDAS, modelo DAS3.
- Absorción por carbón activo.
- Regeneración por PSA.
- Caudal de aire a tratar: 10,3 m³/h.

- Aire de regeneración: 2,7 m³/h.
- Presión mínima de trabajo: 4 bar.
- Presión máxima de trabajo: 12 bar.
- Temperatura máxima de entrada: 50° C.
- Temperatura mínima de trabajo: 2° C.
- Temperatura del punto de rocío a presión nominal (-40° C) y a presión opcional (-70° C).



Figura 4.- Secador por adsorción, DAS3.

- Eliminación de gases traza.

La purificación del aire puede variar en función de la finalidad del mismo, aunque normalmente se centra en la eliminación de la humedad residual procedente de la etapa de secado anterior y de compuestos presentes en el aire ambiente, como compuestos orgánicos volátiles, CO₂, CO, SO₂ o NO_x.

La eliminación de estos gases se lleva a cabo, generalmente, por adsorción con materiales de diferente naturaleza. El material adsorbente se sitúa en lechos, convencionalmente agrupados dos a dos, lo que permite la regeneración de uno de ellos mientras el otro está en operación, favoreciendo la continuidad del proceso.



Figura 5.- Detalle de los cilindros de acero inoxidable del sistema de purificación del aire diseñados por el Grupo de Investigación de Seguridad e Higiene en la Industria de la UMU.

- **Generación de nitrógeno.**

Los generadores de nitrógeno utilizan aire como gas de partida y separan el nitrógeno mediante dos tecnologías: de membrana y de tamiz molecular. En la Tabla 10 se pueden apreciar las principales diferencias entre ambos tipos de generadores.

Tabla 10.- Principales diferencias entre ambos tipos de tecnologías de separación.

Características	Generador por tamiz molecular (PSA).	Generador de membrana
Presión de entrada	Entre 6 y 7 bares	Entre 10 y 13 bares
Caudal de aire comprimido	Bajo	Alto
Compresor	Independiente del equipo	Asociado al equipo
Calentamiento del aire comprimido/eficacia	No es necesario	Temperatura entre 45 y 55°C
Sensibilidad a la contaminación	Baja	Elevada
Vida útil del sistema	10 - 15 años	6 - 8 años
Caudal de nitrógeno generado y pureza	No es posible regular la pureza de N ₂ por el usuario.	Permiten la regulación del nivel de pureza y, por tanto, del caudal.

En función de las características anteriores, el generador que mejor satisface nuestras necesidades, en este caso, es el de tamiz molecular (PSA). Entre las diferentes opciones disponibles en el mercado se ha optado por un generador de nitrógeno MIDIGAS (Figura 6), que incorpora un analizador de oxígeno para poder comprobar la

pureza de nitrógeno generado, y un depósito pulmón de acero al carbono, con una capacidad de 200 litros.



Figura 6.- Generador de nitrógeno MIDIGAS.

Las características del generador escogido se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11.- Principales características del generador MIDIGAS.

Parámetro	Valor
Voltaje/Frecuencia	220V/50Hz
Caudal de N ₂ generado	40 lN/min
Pureza de N ₂	99,9 %
Presión de salida del N ₂	5,6 bar
Presión del aire a la entrada del generador	7 bar
Presión de entrada al secador	8 bar
Caudal de aire necesario	≈13 m ³ N/h

B. INCORPORACION DE CONTAMINANTES DE ENSAYO E INTERFERENTES.

La incorporación de gases contaminantes e interferentes se realiza en esta instalación mediante botellas que albergan el gas a ensayar a presión. Estas botellas pueden ser suministradas por diferentes productores de gases y mezclas como *Air Liquide*, *Praxair*, *Linde*... Para asegurar la exactitud y precisión de las concentraciones requeridas del gas en cuestión las botellas deben contar con certificación ENAC.

El gas de las botellas puede encontrarse a presiones elevadas, hasta 150 bar, por lo que deben instalarse manorreductores que permitan regular la presión del gas de salida.



Figura 7.- Botella que contiene el gas de ensayo.

En función de los rangos de certificación de cada gas, que determinan las concentraciones de ensayo (ver Tablas 4 a 7), y de los caudales máximos y mínimos de nitrógeno y de gas contaminante se calculan las concentraciones de las botellas de gases.

Las variables anteriores, esto es, la concentración de la botella, los caudales de N_2 y de gas contaminante y la concentración de ensayo están relacionadas entre sí mediante la Ecuación 1, obtenida al realizar un balance de materia en el sistema respecto al gas de ensayo.

$$[Cont] = \frac{C_{bot} * Q_{bot}}{Q_{N_2} + Q_{bot}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde $[Cont]$ es la concentración del gas contaminante generado en la mezcla, C_{bot} y Q_{bot} son la concentración y el caudal del gas de la botella, respectivamente, y Q_{N_2} es el caudal de nitrógeno generado en la instalación.

De acuerdo con esta expresión, para una concentración dada de botella, C_{bot} , se obtendrá la concentración máxima de contaminante en la mezcla cuando se utilice el máximo valor de Q_{bot} y el mínimo de Q_{N_2} , y viceversa, para calcular la concentración mínima de ensayo.

A partir de la Ecuación 1 se puede obtener la concentración que debe tener la botella que contiene la sustancia de interés.

$$C_{bot} = \frac{(Q_{N_2} + Q_{bot}) [Cont]}{Q_{bot}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Así pues, el primer paso para el cálculo de las concentraciones de las botellas es calcular la concentración máxima de la misma con la que se podría conseguir la mínima concentración de ensayo. Este cálculo se realiza a partir del caudal máximo de nitrógeno (40 lN/min) y el mínimo de la botella (se ha seleccionado un rango entre 20 – 580 mlN/min).

Con la concentración C_{bot} y el caudal máximo y mínimo de la botella y de nitrógeno, respectivamente, se calcula la máxima concentración de contaminante que se puede obtener. Si esta concentración es superior a la máxima requerida para llevar a cabo los ensayos, será suficiente con una única botella. En el caso contrario, habrá que utilizar otra botella adicional.

El nuevo cálculo se realiza de forma análoga al anterior solo que ahora la concentración mínima de ensayo es la máxima que se puede obtener con la botella anterior. En las Tablas 12 y 13 se muestran las botellas necesarias para cada gas contaminante, para instalaciones de incineración de residuos y de combustión, respectivamente.

Tabla 12.- Concentraciones de las botellas de gases contaminantes obtenidas a partir de los valores límite de emisión regulados en la Directiva 2000/76/CE de incineración de residuos.

Gas Contaminante	Rango de certificación (ppm) (A)	Concentración de la botella (ppm)	Concentración máxima que se puede obtener con la botella (ppm) (B)	Botellas necesarias (B<A=2) (B>A=1)	Concentración máxima que se puede obtener con la segunda botella (ppm)
SO ₂	0 – 104,9	1260,2	69,09	2	1822
NO _x	0 – 292	7022,6	407,9	1	-
HCl	0 – 55,9	447,3	24,52	2	646,5
HF	0 – 6,71	81,7	4,48	2	118,13
CO	0 – 179,9	2881,2	167,7	2	2790

Tabla 13.- Concentraciones de las botellas de gases contaminantes obtenidas a partir de los valores límite de emisión regulados en la Directiva 2001/80/CE de grandes instalaciones de combustión.

Gas Contaminante	Rango de certificación (ppm) (A)	Concentración de la botella (ppm)	Concentración máxima que se puede obtener con la botella (ppm) (B)	Botellas necesarias
				(B<A=2) (B>A=1)
SO ₂	0 – 1749	84126,9	4611,8	*
NO _x	0 – 730	35113	2037,1	1

* Se utilizan las botellas de SO₂ calculadas para incineración de residuos, ya que con estas se cubre también el rango de certificación de este gas para instalaciones de combustión (1822 > 1749 ppm).

C. SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE LA MUESTRA.

En algunos de los ensayos es necesario trabajar con humedad; además, la muestra tiene que encontrarse a una temperatura aproximada de 200° C antes de entrar a los analizadores, esto es, en condiciones similares a las de una instalación industrial.

Para lograr ambos objetivos, se deberá instalar un generador de vapor de agua, que funcionará como tal, y además servirá para acondicionar la corriente gaseosa a la temperatura requerida y conseguir una mezcla homogénea del aire o N₂ y el vapor de agua.



Figura 8.- Sistema de control de evaporación de agua y mezcla (CEM).

El sistema a utilizar es un Sistema de Control de Evaporación y Mezcla, conocido por las siglas CEM, también llamado sistema de inyección líquida. El agua es transportada desde un depósito hasta el CEM y su caudal se regula mediante un controlador másico de líquidos. Dentro del CEM se alcanza una temperatura máxima de unos 200°C, el agua se evapora y el vapor de agua se mezcla con un gas de arrastre. El flujo total de vapor resultante es conducido hacia el analizador, propiciando una buena mezcla.

D. SISTEMA DE MEDIDA Y CONTROL DE CAUDALES.

Es necesario incorporar sistemas de medida y de control de caudales para regular el flujo de gases procedentes tanto del generador de nitrógeno como de las botellas. También se necesitan controladores de caudal del líquido para operar con vapor de agua. Los caudales de gas se miden y se controlan, preferentemente, mediante controladores másicos, capaces de proporcionar resultados con elevada precisión, independientemente de las condiciones de presión y temperatura de la muestra. En total, se requieren nueve controladores másicos.

Los caudalímetros vienen acompañados de una unidad electrónica que envía los datos a un ordenador a través de un software de comunicación de manera que las mediciones se pueden controlar y registrar a través de un ordenador.



Figura 9.- Controlador másico de caudal.

E. SISTEMA DE MEZCLA Y TOMA DE MUESTRAS

Es preciso intercalar un mezclador que homogeneice la concentración patrón antes de ser introducida en el analizador. El sistema de toma de muestras, así como el resto de la instalación, debe construirse con materiales inertes como vidrio de borosilicato, teflón, PFA y acero inoxidable 316, que minimizan los posibles efectos de adsorción en sus paredes de los contaminantes. Se debe tener especial cuidado al trabajar con gases como el HCl y HF con los que únicamente se debe utilizar teflón o monel (aleación de níquel y cobre con una relación 2:1).

El sistema de toma de muestras consta de un tubo de teflón, por el que discurre la muestra de gas a medir desde el mezclador hasta su conexión con la sonda de aspiración del analizador. La conducción debe estar envuelta por una resistencia eléctrica y, a su vez, por un aislante térmico (como se muestra en la Figura 10) para impedir que la temperatura a la que se transporta el gas por su interior se modifique.

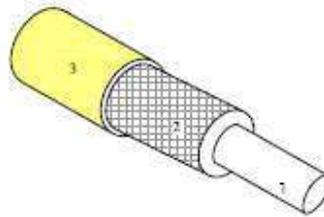


Figura 10.- Tubo de teflón por el que discurre la muestra hasta la entrada al analizador, junto con la resistencia eléctrica y el aislante térmico.

F. OTROS REQUERIMIENTOS ADICIONALES

a. Estabilizador de tensión (SAI) y transformador de corriente multivariable

El estabilizador de tensión es necesario para evitar variaciones del voltaje de la red eléctrica y que podrían afectar al funcionamiento del SAM, mientras que el transformador sirve para realizar variaciones de dicho voltaje, necesarias para la realización del ensayo que determina la influencia de las mismas en la respuesta de los equipos.



Figura 11.- Transformador de corriente multivariable.

➤ **Sistema de vibración**

Es necesario instalar un sistema de vibración a modo de plataforma en la que se sitúe el SAM para la realización del ensayo de la influencia de las vibraciones.

El equipo seleccionado es una mesa de vibración multiaxial de la marca SITec, que genera vibración mediante un sistema servohidráulico. El equipo puede configurarse para reproducir una vibración vertical u horizontal, e incluso en los 3 ejes perpendiculares (x, y, z y sus respectivas rotaciones), tal y como indica la norma.



Figura 12.- Mesa de vibración multiaxial, marca SITec.

➤ **Cámara termostática.**

Es necesaria para mantener los equipos a temperatura constante durante la realización de los ensayos (20° C), así como para la prueba que determina la influencia de las variaciones de temperatura sobre las lecturas de los equipos.

Para ello, se ha seleccionado una cámara termostática que es capaz de mantener la temperatura constante en un rango entre -42° C y +190° C y que, por tanto, cubre el rango de temperatura a la cual se realiza el citado ensayo (entre -20° C y 50° C).



Figura 13.- Cámara termostática marca Memmert, modelo TTC 256.

➤ **Trampa de condensados.**

Se necesita instalar una trampa de condensados para asegurar que el SAM muestrea corrientes gaseosas (sin líquidos).

➤ **Sistema de venteo de gases.**

El objetivo del mismo es evitar la sobrepresurización de los SAM.

➤ **Accesorios de tuberías, conexiones, unidad electrónica y ordenador.**

IV. PRESUPUESTO

El coste total aproximado de la instalación diseñada se recoge en la Tabla 14. Para determinarlo, se desglosa el precio total en unidades funcionales de la instalación y estas, a su vez, se subdividen en precios unitarios de cada componente que configura la instalación.

Tabla 14.- Estimación económica de la instalación de atmósferas patrón.

	Unidades	PRODUCTO	PRECIO (€)
I. COMPRESIÓN Y PURIFICACIÓN DEL AIRE AMBIENTE			
I.1	1	Compresor de pistón exento de aceite (BOGE).	6.900
I.2	1	Secador de adsorción (MIDAS).	1.590
I.3	1	Filtros de carbón activo (SACE, Universidad de Murcia).	3.000
		Subtotal.....	11.490
II. SISTEMA DE GENERACIÓN DE NITRÓGENO			
II.1.	1	Generador de Nitrógeno PNEUDRI MIDIGAS con analizador de oxígeno incluido.	9.926
II.2	1	Depósito pulmón para el generador de N ₂	797
		Subtotal.....	10.723
III. SISTEMA DE MEDIDA Y CONTROL DE CAUDALES			
III.1	9	Controlador másico de líquido y gas 2.700/Ud.	24.300
		Subtotal.....	24.300
IV. INCORPORACIÓN DE CONTAMINANTES E INTERFERENTES			
IV. 1	9	Botella de gas de ensayo. 500€/ud.	4.500
	9	+ 100€ de alquiler anual.....	900
IV.2	8	Botella de interferente. 500€/ud.	4.000
	8	+ 100€ de alquiler anual.....	800
		Subtotal.....	10.200
V. SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE LA MUESTRA			
V.1	1	Sistema de Control de Evaporación y Mezcla (120gr/hora).	2.500
	1	Resistencias eléctricas y material aislante	500
		Subtotal.....	3.000

VI. SISTEMA DE MEZCLA Y TOMA DE MUESTRAS			
VI.1	1	Tubo de teflón recubierto de una resistencia eléctrica y de aislante térmico. 3€/metro (25 metros).....	75
VI.2	1	Manifold	400
		Subtotal.....	475
VII. REQUERIMIENTOS ADICIONALES			
VII.1	1	Estabilizador de tensión (SAID)	1.400
VII.2	1	Transformador de corriente multivariable	3.000
VII.3	1	Cámara termostática	8.000
VII.4	1	Banco de vibraciones	3.000
VII.5	1	Trampa de condensados	300
VII.6	1	Sistema de Venteo	200
VII.7	1	Unidad electrónica.....	1.600
		Conexiones varias.....	500
		Subtotal.....	18.000
COSTE TOTAL INSTALACIÓN			78.188

Como se observa en la Tabla 14, el coste inicial de material para la construcción del laboratorio es de 78.188 euros. A esta cantidad habría que añadir los gastos de acreditación del laboratorio de acuerdo con la Norma ISO 17025 que ascenderían a unos 10.000 euros, aproximadamente. Este precio incluye la propia acreditación por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) como laboratorio de ensayo y el coste de las calibraciones de los equipos empleados (controladores másicos, sondas de presión y temperatura) frente a patrones nacionales o transferidos de modo que la trazabilidad de todas las variables esté asegurada.

Asimismo, habría que añadir el coste del personal técnico cualificado para la realización de los ensayos, que aproximadamente puede ascender a 30.000 euros anuales. El coste de la instalación y la mano de obra podrían ser amortizados a corto plazo (alrededor de dos años) dado el elevado valor añadido del servicio ofrecido. Basta con poner de ejemplo el coste de una certificación de un SAM multiparamétrico (7 gases) por el laboratorio TÜV Rheinland (Alemania), que asciende a 122.000 euros.

V. CONCLUSIONES

Partiendo de los requisitos de funcionamiento especificados en la norma UNE EN 15267-3:2008 se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. Las mezclas patrón para llevar a cabo los ensayos tienen como matriz aire cero o nitrógeno de alta pureza. El **caudal mínimo de nitrógeno o aire cero** a generar es de **10 IN/min** mientras que el **caudal máximo** viene determinado por las características del generador de nitrógeno empleado y se ha considerado en torno a **40 IN/min**.

2. Los **rangos de concentraciones** para llevar a cabo la **certificación de los equipos** para cada sustancia contaminante se han calculado teniendo en cuenta las distintas fuentes de las que proceden (ver Tablas 4 a 7).

3. Para la **incorporación de los contaminantes e interferentes** se propone la utilización de botellas de gases a presión con las concentraciones indicadas en las Tablas 12 y 13.

4. Se hace necesaria la instalación de un **generador de vapor de agua** para la realización del ensayo que evalúa la interferencia de esta sustancia.

5. Se necesitan nueve **caudalímetros o controladores máxicos** para regular los flujos de nitrógeno generado y de los contaminantes e interferentes necesarios para la realización de las pruebas.

6. Es necesario incorporar un **sistema de mezcla y de toma de muestras**. A continuación del sistema de mezcla, se instala un conector múltiple (*manifold*) para la introducción de sondas de medición de presión, temperatura y humedad. La tubería de toma de muestras, por su parte, es de teflón, calefactada y aislada mediante un recubrimiento eléctrico y térmico.

7. Para el ensayo de la influencia de la vibración en el SAM se utiliza una **mesa de vibración multiaxial** que genera una vibración en las tres direcciones espaciales (x, y, z), con frecuencias comprendidas entre 10Hz y 160Hz.

8. Para evaluar la influencia de las variaciones del voltaje eléctrico es necesario un **estabilizador de tensión y un transformador de corriente** capaz de modificar el voltaje nominal entre 190 y 240 V.

9. Para mantener los equipos de medida a las temperaturas requeridas por la norma (-20°C a 50°C) se debe utilizar una **cámara termostática** capaz de albergar a los dos analizadores a ensayar.

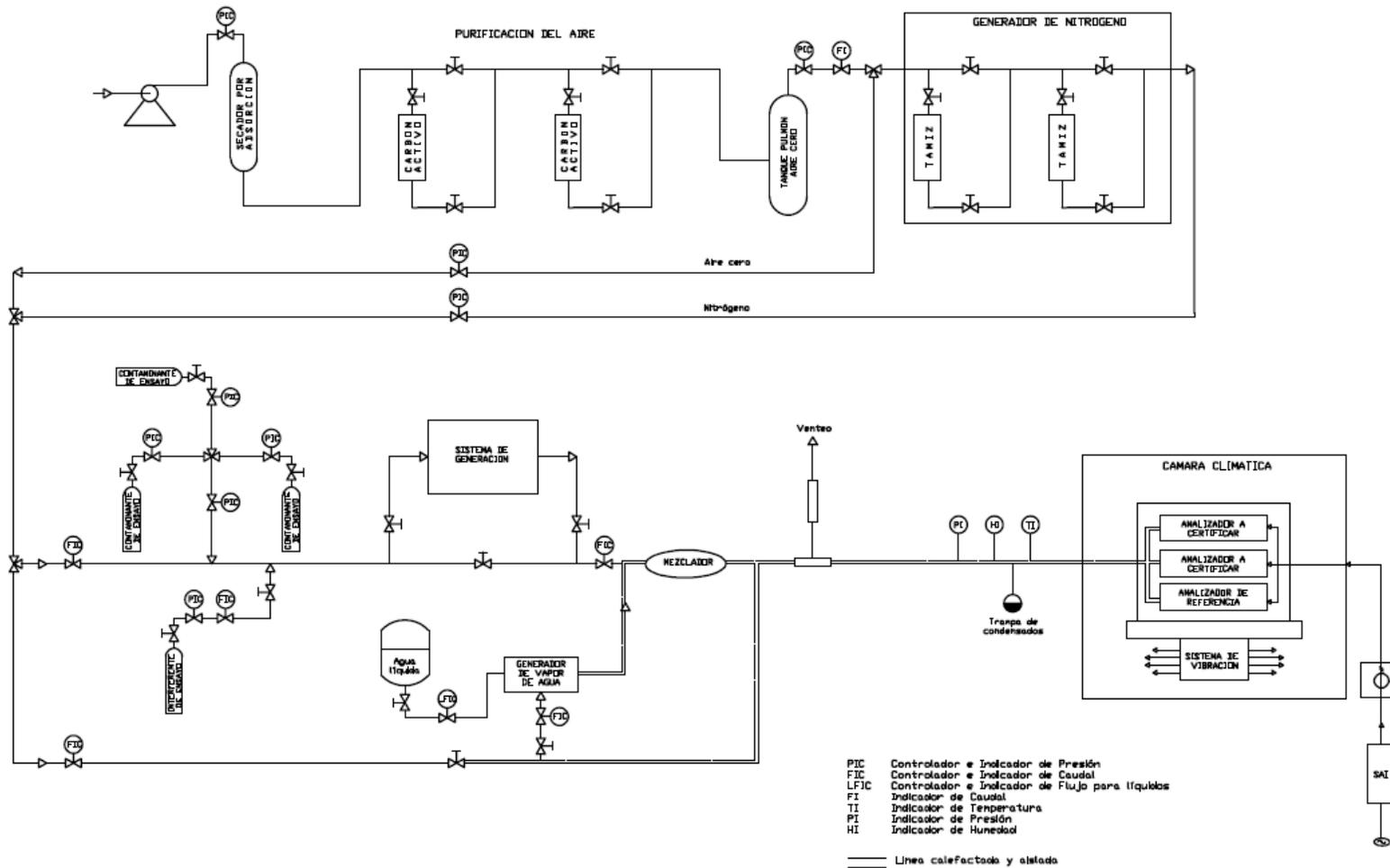
10. La instalación debe construirse con **materiales compatibles** con los gases utilizados (vidrio, teflón, acero inoxidable o monel).

11. Cabe destacar que para que un Organismo o laboratorio pueda llevar a cabo estos ensayos debe disponer de la **certificación ISO 17025** y ser convenientemente **designado por la autoridad competente**.

12. Finalmente, la **inversión inicial** estimada asciende a unos 78.200 €, si bien se considera que la amortización de la inversión se puede alcanzar en un plazo inferior a dos años.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- 📖 Baeza C.A. (2000). "Incidencia de benceno, tolueno y xilenos en la calidad del aire en la ciudad de Murcia". Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. España.
- 📖 Bansode R.R., Losso J.N., Marshall W.E., Rao R.M., Portier R.J. (2003) "Adsorption of volatile organic compounds by pecan shell and almond shell-based granular activated carbons". *Bioresour. Technol.*, 90, 175-184.
- 📖 Díe C. (1978). "Manual técnico de higiene industrial. Atmósferas controladas". Ministerio de Sanidad y Seguridad Social. ISBN: 84-7425-052-8.
- 📖 Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos.
- 📖 Directiva 2001/80/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión.
- 📖 Doyle G.J., Bekowies P.J., Winer A.M., Pitts J.N. Jr. (1977). "Charcoaladsorption air purification system for chamber studies investigating atmospheric photochemistry". *Env. Sci. Technol.*, 11, 45-51.
- 📖 Doval M.M. (2009). "Evaluación de la norma UNE EN 14211:2006 para la medida de óxidos de nitrógeno en aire: Propuestas de modificaciones". Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. España.
- 📖 Nelson G. O. (1976). "Controlled Test Atmospheres. Principles and Techniques". Ed. Ann Arbor. Michigan. United States. ISBN: 250-97506-8.
- 📖 Pérez B.P., Baldan A., Cancelinha J. (1999). "Atmosphere generation system for the preparation of ambient air volatile organic compound standard mixtures". *Anal. Chem.*, 71, 2241-2245.
- 📖 Srivastava A., Joseph A.E., Wachasunder S.D. (2004). "Qualitative detection of valatile organic compounds in outdoor and indoor air". *Environ. Monit. Assess.*, 96, 263-271.
- 📖 UNE EN 14181. (2005). "Emisiones de fuentes estacionarias. Aseguramiento de la calidad de los sistemas automáticos de medida".
- 📖 UNE EN 15267-3. (2008). "Certificación de sistemas automáticos de medida. Parte 3: Requisitos de funcionamiento y procedimientos de ensayo de los sistemas automáticos de medida".



ANEXO I.- Diagrama de flujo de la instalación de atmósferas patrón.