

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*Trabajo Fin de Grado*

**SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE  
EMISIONES CONTINUAS EN LA INDUSTRIA  
CEMENTERA**

**(Continuous Emissions Monitoring System in  
the cement industry)**

Para acceder al Título de

***Graduado en  
Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación***

Autor: Bernardo San Segundo San Miguel

Septiembre - 2013



E.T.S. DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACION

## **GRADUADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN**

**CALIFICACIÓN DEL TRABAJO FIN DE GRADO**

**Realizado por: Bernardo San Segundo San Miguel**

**Director del TFG: Adolfo Cobo García**

**Título: “Sistema de Monitorización de Emisiones Continuas en la industria cementera”**

**Title: “Continuous Emissions Monitoring System in the cement industry”**

**Presentado a examen el día: 12 de Septiembre de 2013**

para acceder al Título de

## **GRADUADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN**

Composición del Tribunal:

Presidente (Apellidos, Nombre): Mañana Canteli, Mario

Secretario (Apellidos, Nombre): Cobo García, Adolfo

Vocal (Apellidos, Nombre): Quintela Incera, María Ángeles

Este Tribunal ha resuelto otorgar la calificación de: .....

Fdo.: El Presidente

Fdo.: El Secretario

Fdo.: El Vocal

Fdo.: El Director del TFG  
(sólo si es distinto del Secretario)

Vº Bº del Subdirector

Trabajo Fin de Grado Nº  
(a asignar por Secretaría)





*“Despierta...el clima está cambiando”*

# **ÍNDICE**

**Agradecimientos .....4**

**Introducción .....5**

## **Capítulo 1: Normativa aplicable a los CEMS**

1.1.- Instalaciones que deben disponer de un CEMS ..... 8

1.2.- Homologación de sistemas. Aspectos generales para las instalaciones que se deben calibrar según la norma UNE-EN 14181 ..... 9

1.3.- Responsabilidades con respecto a la aplicación de los niveles de garantía de calidad..... 10

1.4.- Rangos de medida y valores límite de emisión..... 11

1.5.- Puntos de muestreo. Sonda ..... 11

1.6.- Sistemas de adquisición de datos ..... 11

1.7.- Tratamiento de datos ..... 13

1.8.- Visualización de datos en la instalación..... 14

1.9.- Documentación de los analizadores ..... 14

1.10.- Gases de referencia (calibración) ..... 15

1.11.- Accesibilidad, seguridad y servicios ..... 15

1.12.- Proyecto..... 17

1.13.- Calibración conforme a la norma UNE-EN 14181 ..... 23

## **Capítulo 2: Funciones de calibración, tratamiento de datos y pautas de mantenimiento de los CEMS**

2.1.- Procedimiento de instalación y puesta en servicio de un CEMS ..... 26

2.2.- Modificación de la función de calibración del SAM ..... 26

2.3.- Tratamiento de los datos en la instalación ..... 27

2.4.- Interpretación del cumplimiento de los Valores Límites de Emisión ..... 28

2.5.- Disponibilidad de los equipos de medida..... 28

2.6.- Mantenimiento de analizadores..... 29

2.7.- Reparaciones y sustituciones en el CEMS ..... 29

2.8.- Comunicación de incidencias y resultados obtenidos..... 30

2.9.- Conexión a la red..... 31

### **Capítulo 3: Sistema de control de emisiones en la industria cementera**

3.1.- Fundamentos del proceso de elaboración del cemento ..... 33  
3.2.- Focos de emisión y parámetros a medir ..... 36  
3.3.- Señales analógicas y digitales de E/S en los diferentes dispositivos ..... 38  
3.4.- Señales analógicas y digitales de E/S en la unidad de adquisición de datos..... 42  
3.5.- Estructura de interconexión del sistema..... 47

### **Capítulo 4: Analizador de gases MCS100E**

4.1.- Información general ..... 48  
4.2.- Descripción del equipo..... 49  
4.3.- Instalación y puesta en servicio..... 54  
4.4.- Configuración..... 57  
4.5.- Mantenimiento ..... 60

### **Capítulo 5: Medidor de caudal FLOWSIC100**

5.1.- Información general ..... 64  
5.2.- Descripción del equipo..... 65  
5.3.- Instalación y puesta en servicio..... 68  
5.4.- Configuración..... 71  
5.5.- Mantenimiento ..... 73  
5.6.- Detección de fallos de funcionamiento ..... 73

### **Capítulo 6: Medidor de partículas DustHunter SP100**

6.1.- Información general ..... 75  
6.2.- Descripción del equipo..... 76  
6.3.- Instalación y puesta en servicio..... 80  
6.4.- Configuración..... 83  
6.5.- Mantenimiento ..... 84  
6.6.- Detección de fallos de funcionamiento ..... 86

## **Capítulo 7: Sistema de adquisición de datos MEAC2000**

7.1.- Información general .....	88
7.2.- Introducción al programa .....	90
7.3.- Descripción del hardware de la unidad de adquisición de datos (DAU) .....	102

## **Capítulo 8: Aplicación práctica de los CEMS**

8.1.- Focos de emisión y ubicación de los dispositivos de medición .....	106
8.2.- Ejemplo de información recogida por el Sistema de Adquisición .....	115
8.3.- Datos de concentraciones en condiciones de funcionamiento y parada.....	116

<b>Conclusiones .....</b>	<b>121</b>
---------------------------	------------

<b>Bibliografía .....</b>	<b>122</b>
---------------------------	------------

<b>Anexos .....</b>	<b>123</b>
---------------------	------------

## Agradecimientos

---

Antes de comenzar con la exposición del Trabajo de Fin de Grado, quisiera tener unas palabras de agradecimiento hacia todas aquellas personas que han influido de manera positiva para que este proyecto sea una realidad.

A mi mujer Luz, por su paciencia, ánimos y comprensión.

A mi hija Celia, por la fuerza, tranquilidad e ilusión que me regala cada día.

A mis padres, Jesús Manuel y Rosa María, a mi hermana Diana y a mis abuelas, Esperanza e Inés, por su cariño y apoyo constante.

A todos mis amigos, y especialmente a José Luís y David, por toda su ayuda durante estos años de estudio.

Al Director del Proyecto, Adolfo Cobo, por todo el soporte que me ha brindado a la hora de desarrollar este trabajo.

Y finalmente, al Departamento TEISA de la Universidad de Cantabria, por su colaboración.

Quisiera por último recordar de manera especial a todas las personas que han sido importantes en mi vida, y de cuya presencia no tengo la suerte de disfrutar. Siempre estaréis en mi corazón.

## Introducción

---

A lo largo de este proyecto describiremos la importancia de los Sistemas de Control de Emisiones Continuas de gases en los entornos industriales (en adelante CEMS). Veremos cuál es su razón de ser, los elementos que lo componen, el funcionamiento, su ubicación, como se realizan los mantenimientos, y cuál es la normativa aplicable. Finalmente veremos un caso práctico de aplicación de este tipo de sistemas.

Como su propio nombre indica, los CEMS fueron concebidos para evaluar las emisiones a la atmósfera de grandes cantidades de gases contaminantes, partículas y compuestos orgánicos volátiles, provocadas por los procesos ligados a la actividad industrial. Los efectos de una elevada concentración de contaminantes influyen en la calidad del aire que respiramos, contribuyen a potenciar el negativo efecto invernadero y a incrementar el agujero de la capa de ozono de la atmósfera.

Con el fin de evaluar, controlar e intentar minimizar estos efectos perjudiciales, todas las fuentes emisoras de gases contaminantes, materias, sustancias o formas de energía, con independencia que sean de titularidad pública o privada, deberán regirse por la legislación aplicable en materia de medioambiente. Con la cooperación de las Comunidades Autónomas, corresponde al Gobierno establecer cuáles son los componentes que deben ser controlados, así como sus valores límites de emisión. Como ejemplo de sectores industriales afectados por la normativa medioambiental citaremos a las centrales de generación eléctrica, refinerías, papeleras, químicas, acerías, incineradoras, gestión de residuos, fundiciones y plantas cementeras.

Básicamente las sustancias que dichas industrias emiten al aire son gases nocivos y partículas:

**Los gases:** Los principales son los óxidos de azufre y los de nitrógeno, el amoníaco, el metano, el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), el Monóxido de Carbono (CO) y los CFC (gases persistentes en frigoríficos, aerosoles y aire acondicionado).

**Las partículas:** Las más nocivas son las cenizas y los humos generados en los combustibles, los aerosoles y nieblas que escapan de ciertas industrias químicas, el polvo de minas, etc.

Estas emisiones generan una contaminación de la atmósfera, y como consecuencia se producen una serie de efectos perjudiciales:

**Efectos en el clima:** El dióxido de carbono no es un contaminante, puesto que forma parte de la atmósfera y participa en los ciclos naturales. Sin embargo, un aumento rápido de su concentración (como el que se está produciendo por la quema del carbón y el petróleo) podrá incrementar el efecto invernadero natural. Se produciría un aumento

de la temperatura media del planeta, pudiendo desencadenar un cambio climático con consecuencias imprevisibles.

**Efectos en la biosfera:** Algunos gases, como los CFC, reaccionan con el ozono estratosférico y disminuyen su concentración, lo que permite la llegada a la superficie terrestre de más radiaciones ultravioleta, muy nocivas para la vida. Además, hay gases contaminantes, como los óxidos de nitrógeno y los de azufre, que se disuelven en el agua de las nubes y produce ácidos corrosivos. Cuando llueve, se genera la llamada lluvia ácida, la cual es capaz de provocar un importante daño al medio ambiente, sobre todo a la fertilidad de los terrenos, a la vegetación y a los ecosistemas acuáticos.

**Efectos en la salud de las personas:** Algunos gases contaminantes resultan tóxicos para las personas, pudiendo causar los siguientes problemas: irritación del sistema respiratorio, reducción de la función pulmonar, agravamiento de las alergias respiratorias y del asma, lesión de las mucosas que cubren los pulmones

**Efectos en los materiales:** Las partículas de humo y ciertos gases contaminantes, solos o disueltos en el agua de lluvia, pueden deteriorar muchos de los materiales utilizados en la fabricación de objetos y en la construcción.

El continuado desarrollo industrial provoca la existencia de los citados elementos perjudiciales sobre el medio ambiente, que si bien no se pueden evitar completamente, habrá al menos que tratar de limitar y controlar con el fin de minimizar sus efectos adversos. Por este motivo los mencionados sectores industriales se ven obligados a disponer de un CEMS certificado que cumpla con la legislación vigente. El CEMS estará compuesto por un conjunto de dispositivos ópticos y electrónicos (analizadores, caudalímetros, opacímetros, etc) que nos permitirán obtener de manera instantánea y continuada los valores de concentración de los diferentes gases expulsados por un foco de emisión, y de los parámetros de operación de la planta.

Para realizar un correcto diseño del CEMS necesitamos conocer el tipo de parámetros que debemos recoger, registrar, reportar y evaluar, y también saber cuáles son los rangos de trabajo de cada componente, los valores límites de emisión permitidos y en qué punto del foco debemos efectuar la extracción de la muestra a través de una sonda (dicha decisión se llevará a cabo junto con un laboratorio acreditado que certifique la validez del plano de medición elegido, y posteriormente se decidirá cuál será el punto de recogida de muestra), como transportarla hasta los analizadores, como limitar su flujo, el modo de interpretar la muestra y como cuantificarla. Todos los datos deberán estar disponibles de manera instantánea para poder ser visualizados y registrados, por tanto además del equipamiento de análisis es necesario disponer de un sistema de adquisición de datos y de un software de gestión (en adelante DAHS ó SATC).

Del mismo modo, y de manera paralela a la adquisición de datos local, los datos obtenidos por el CEMS deberán ser enviados al Departamento de Medio Ambiente del

Gobierno Autónomo en cuestión, para garantizar que no existe manipulación de información por parte de la empresa objeto de evaluación.

Tras redactar el proyecto donde se describirán las características y datos del emplazamiento de los distintos equipos y dispositivos certificados que conforman el sistema, si el proyecto es aprobado por Medio Ambiente, se procederá a efectuar la instalación del CEMS conforme al citado proyecto. Una vez éste se encuentre operativo, para garantizar su correcto funcionamiento deberán realizarse una serie de calibraciones periódicas, mantenimientos preventivos y por último una serie de inspecciones técnicas a través de una OCA.

A lo largo del primer capítulo haremos referencia a la normativa que afecta a los CEMS: definiremos el tipo de instalaciones que necesitan disponer de un CEMS, las responsabilidades que conllevan, los rangos de medida de los componentes, valores límites de emisión para los componentes, manera y lugar de adquirir las muestras, dispositivos utilizados, calibraciones de los equipos y documentación asociada a los proyectos.

En el segundo capítulo veremos cómo se tratan los datos en una instalación y cómo se interpretan los datos de valores límite, la disponibilidad que deben tener los equipos de medida, cómo efectuar mantenimientos, sustituciones y reemplazos de material, y la manera en que se deben comunicar a la administración las incidencias y los resultados obtenidos.

La aplicación de estos sistemas en un tipo de industria como la cementera, será la base del tercer capítulo de este estudio. En base a los requerimientos impuestos por la normativa aplicable al sector cementero, estableceremos el tipo de dispositivos a utilizar, así como el tipo de componentes a medir, sus rangos de trabajo, valores límites de emisión y cómo realizar el conexionado entre los diferentes dispositivos para transmitir los datos recogidos, etc.

En el resto de capítulos comentaremos las características de los diferentes dispositivos utilizados: el tipo de tecnología de medición que emplean, cómo se realiza su instalación, configuración y puesta en servicio, y finalmente indicaremos las tareas de mantenimiento recomendadas por los fabricantes, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas y conseguir la máxima disponibilidad de los mismos.

En el capítulo final veremos una aplicación práctica de estos sistemas, aportando fotografías de los dispositivos en su emplazamiento, indicando como se configuran, viendo cómo se representan los datos en la sala de control, e incluyendo una serie de gráficas en la que se reflejará la evolución de los datos con el tiempo, en situaciones de planta en funcionamiento y planta en parada.

## Capítulo 1: Normativa aplicable a los CEMS

---

La Instrucción Técnica para la instalación, operación, mantenimiento y calibración de sistemas de medición de emisiones en continuo (Referencia: IT-DPECA-EA-IPPC-09 Rev.01) define la metodología para garantizar la calidad de los datos de estos sistemas (en adelante CEMS) que se instalen o estén instalados en focos de emisión a la atmósfera, para asegurar que las mediciones efectuadas por éstos son representativas de los gases de emisión objeto de medición.

No es el objetivo de este proyecto exponer cada una de las recomendaciones incluidas en la IT, por tanto nos limitaremos a describir a groso modo el contenido de las más relevantes.

### 1.1.- Instalaciones que deben disponer de un CEMS

- Instalaciones incluidas en el Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades. De acuerdo al artículo 6 del citado Real Decreto, los conductos a los que esté conectado un equipo de reducción en cuyo punto final de descarga se emitan más de 10 kg/h, en media, de carbono orgánico total deberán ser objeto de supervisión y control continuos para asegurar el cumplimiento de las disposiciones de este Real Decreto.
- Instalaciones incluidas en el Real Decreto 653/2003, de 30 de mayo, sobre *incineración de residuos*.
- Instalaciones incluidas en el Real Decreto 430/2004, de 12 de marzo, por el que se establecen nuevas normas sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión, y se fijan ciertas condiciones para el control de las emisiones a la atmósfera de las *refinerías de petróleo*.

Además, también deberán instalarse en las siguientes actividades, a partir de un umbral de capacidad de producción:

- Instalaciones de *fabricación de cemento y/o Clinker* en hornos rotatorios con una capacidad de producción superior a 500 toneladas diarias o en hornos de otro tipo con una capacidad de producción superior a 50 toneladas por día.
- Instalaciones para la producción de *fundición o de aceros brutos* (fusión primaria o secundaria), incluidas las correspondientes instalaciones de fundición continua de una capacidad de más de 2,5 toneladas por hora.

- Instalaciones para el *refinamiento de petróleo* o de crudo de petróleo.
- Instalaciones industriales destinadas a la *fabricación de pasta de papel* a partir de madera u otra materia fibrosa por métodos químicos.

Cualquier otra instalación que en su resolución de Autorización Ambiental Integrada se indique que deba disponer de CEMS.

## 1.2.- Homologación de sistemas. Aspectos generales para las instalaciones que se deben calibrar según la norma UNE-EN 14181

La norma UNE-EN 14181 establece tres niveles de garantía de calidad (NGC en la versión española de la norma UNE, que corresponden a los niveles QAL de la versión inglesa) y un ensayo anual de seguimiento (EAS en la versión española, AST en la versión inglesa):

**NGC1 (QAL1):** Procedimiento para demostrar, antes de la instalación de los analizadores, que estos son adecuados para los objetivos de la medida, y que cumplen los requisitos y la incertidumbre establecidos en la legislación aplicable. Esta certificación la proporciona el fabricante de los equipos y es otorgada por un laboratorio acreditado.

**NGC2 (QAL2):** Procedimiento para calibrar el CEMS mediante métodos de referencia una vez instalado. Comprende un ensayo de funcionalidad y una comparación con métodos de referencia patrón para obtener una función de calibración. La calibración del CEMS debe realizarse cuando:

- Se efectúa la instalación del equipo.
- Al menos cada tres años en instalaciones de incineración de residuos, y cada cuatro años en el resto de instalaciones.
- Siempre que haya un cambio significativo en la planta que afecte a las emisiones.
- Después de una reparación importante que afecte a la calibración.

**NGC3 (QAL3):** Un Sistema de Adquisición de Muestras (en adelante SAM) puede derivar o volverse menos preciso durante su funcionamiento. Las derivas o la inestabilidad puede deberse, por ejemplo, a la contaminación de las ópticas, un fallo gradual de algún componente o un bloqueo en un filtro. Estos cambios producen una desviación sistemática en los datos proporcionados por el SAM.

Por otro lado, el SAM también está sujeto a variaciones de corto plazo de la estabilidad y la precisión debido a la influencia de factores tales como la temperatura ambiente. Estas variaciones pueden causar desviaciones aleatorias, sin embargo el grado de estas desviaciones puede ser aceptable. Por lo tanto, NGC3 establece que el operador de la planta disponga de un procedimiento que describa los requerimientos para:

- Medir los valores de cero y de *span* (intervalo). Representar dichos valores en las gráficas de control.
- Usar las gráficas de control para determinar si las desviaciones son aleatorias o sistemáticas, valorar si las desviaciones se han vuelto demasiado grandes, o si se pueden ignorar porque estas se encuentran entre los límites establecidos en las gráficas de control (CUSUM).

Siguiendo el procedimiento NGC3 se verifica que la deriva del cero (será la concentración cero del gas en cuestión, lo cual se comprueba con aire de instrumentos con O<sub>2</sub> al 20,9% de concentración) y del *span* (que será el valor de concentración de cada uno de los gases patrón utilizados) estén bajo control durante el funcionamiento de la planta. De esto modo se garantiza que la calidad requerida se mantiene en los períodos de operación normales del analizador en la planta, y dentro de las especificaciones requeridas por la norma.

**EAS (AST):** Procedimiento para evaluar que el CEMS funciona correctamente y que la función de calibración obtenida durante el NGC2 es todavía válida.

### 1.3.- Responsabilidades con respecto a la aplicación de los niveles de garantía de calidad

**Fabricantes y suministradores de analizadores:** Deben disponer de los equipos con certificación NG1 y mantener ésta según la normativa aplicable, así como suministrar, instalar y mantener apropiadamente los equipos homologados a las instalaciones aplicables.

**Laboratorios de ensayo:** Deben disponer y mantener la acreditación de acuerdo a la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 o cualquier otro sistema similar establecido por la VIMA para calibrar estos equipos. Utilizar métodos de referencia (normas EN siempre que haya disponibles) para las medidas paralelas incluidas en NGC 2 y EAS. Realizar o supervisar el ensayo de funcionalidad previo a NGC 2 y EAS.

**Responsables de planta:** Utilizarán SAM certificados de acuerdo a los criterios de la UNE-EN 14181. Evaluarán semanalmente el rango validado de calibración, realizarán

el procedimiento NGC 3 y mantendrán los registros correspondientes a NGC 2, EAS y NGC 3 el tiempo indicado por la administración competente o la legislación aplicable. Remitirán los informes correspondientes a NGC 2 y EAS a la Viceconsejería de Medio Ambiente.

**Administración competente:** Verificará el cumplimiento de los requisitos de calibración por parte del laboratorio de ensayo así como el cumplimiento de la legislación aplicable por parte de la instalación.

#### **1.4.- Rangos de medida y valores límite de emisión**

Como criterio general, los rangos certificados habrán de ser inferiores a 1.5 veces el valor límite medio diario, en el caso de instalaciones de incineración de residuos, y 2.5 veces este límite medio diario en el caso de grandes instalaciones de combustión. Para el resto de los analizadores, estos deberán abarcar un intervalo de medida de forma que la indicación final del SAM cubra un intervalo del orden de dos veces el valor límite de emisión.

En el caso que nos ocupa, el sector de la industria cementera, los rangos de trabajo que se definirán para cada componente serán dos veces superiores a los límites establecidos.

#### **1.5.- Puntos de muestreo. Sonda**

Una vez definido el punto del foco donde se va a proceder a extraer la muestra, hay que instalar una sonda que conduzca los gases desde el cabezal de la sonda hasta los analizadores. Si el sistema es extractivo, las líneas de gas deberán garantizar que la muestra que llega al analizador es representativa del gas presente en la chimenea, tanto con respecto a posibles interferencias con el material de qué están hechas las líneas, como posibles reacciones del gas en el interior de éstas. En este caso, también se recomienda disponer de un elemento que permita cerrar el paso de muestra al analizador en un punto lo más próximo posible al cabezal de la sonda.

#### **1.6.- Sistemas de adquisición de datos**

El CEMS deberá disponer de una interfaz RS-232 / RS-485 con comunicación full dúplex para permitir su conexión a un sistema de adquisición de datos. La conexión deberá realizarse directamente a través de dicha interfaz.

La comunicación para la transmisión de datos del sistema de adquisición de datos con la Red de Calidad del Aire de la CAPV se realizará a través de una conexión por línea dedicada RTC, GSM o ADSL.

El sistema de adquisición de datos permitirá la conexión local (mediante un portátil) y remota para la visualización de los datos en tiempo real.

La empresa donde se instala el analizador es la responsable de la adquisición, tratamiento y comunicación de los datos del SAM teniendo la obligatoriedad de comprobar que los datos obtenidos y en su caso, tratados y validados, cumplen con la legislación vigente.

El sistema que permite la adquisición, tratamiento, almacenamiento y transmisión de datos se denomina SATC. Los datos del SAM serán adquiridos localmente por el SATC. La explotación de los datos obtenidos se realiza a nivel de configuración local sobre el propio SATC y posteriormente son transmitidos a la Red de Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma pertinente. En cualquier caso, para que los datos transmitidos sean comparables, deberán estar referenciados a las condiciones y unidades establecidas en la Resolución de AAI.

El software implementado en los CEMS permitirá realizar las siguientes funciones:

- Deberá gestionar los diferentes tipos de datos, digitales y analógicos, de los analizadores y sensores instalados.
- Transmitir los datos a la Red de Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma pertinente.
- Configurar el sistema de adquisición local o remotamente.
- Visualizar los datos de manera local (sala de control) para realizar un seguimiento en tiempo real de los valores medidos y el tratamiento de las alarmas generadas.

El sistema deberá asignar códigos de calidad a los datos de manera que se identifiquen datos explotables y los correspondientes a verificaciones de cero y *span* (intervalo), mantenimiento y anomalías. A estos efectos, cuando el SAM no permita identificar automáticamente cuándo está en rutinas de verificaciones o cuándo se le están realizando operaciones de mantenimiento, se deberá proporcionar una señal al SATC, por ejemplo a través de un interruptor que se accione en estas operaciones, para que pueda asignar códigos de calidad a dichos datos.

Siempre que sea posible, se deberá registrar un parámetro indicativo de las condiciones de producción de la instalación. Los datos instantáneos, los archivos de datos agregados, y todos los históricos, se almacenarán durante 2 meses en el adquirente, y se podrán consultar cuando se desee.

### 1.7.- Tratamiento de datos

El sistema de medición en continuo deberá proporcionar los datos de manera que directamente, o a través de una posterior gestión interna de los mismos, permita verificar el cumplimiento de los límites de emisión aplicable.

El sistema de tratamiento de datos debe permitir, como mínimo obtener la siguiente información:

- El CEMS deberá gestionar los datos instantáneos (scan) y deberá indicar si los datos son válidos o no y su causa (códigos de calidad de los datos scan).

Se consideran **datos no válidos** los siguientes:

- a) Los valores medidos en procesos de rutinas de verificaciones internas.
  - b) Los debidos a un mal funcionamiento del sistema.
  - c) Los debidos al mantenimiento del sistema.
- Deberá permitir la gestión del factor de conversión de unidades (volumen hacia unidad de masa, ppm hacia mg/m, extinción de luz a unidad de masa...) para dar los datos en las unidades solicitadas en su autorización.
  - Deberá permitir la edición de las funciones de calibración  $y = a+bx$ .
  - Deberá poder realizar la corrección de los datos proporcionados por el SAM a condiciones normales (0°C, 1013 hP), gas efluente seco y con un contenido determinado de oxígeno.
  - Calcular datos agregados para obtener medias quince-minutales, semihorarias u horarias. Para obtener estos datos, se utilizarán los criterios siguientes:
    - a) Para realizar el cálculo de las medias se necesitará que un mínimo del 75% de los datos de un periodo sean válidos.

Nota: Si no se llega a este porcentaje, el periodo se considerará de funcionamiento anómalo del analizador. Todos los datos no válidos deberán justificarse.
    - b) Para valores por debajo del límite de detección del equipo, se registrará el límite de detección del equipo.

- c) Semanalmente se evaluará la validez del rango válido de calibración de acuerdo a lo indicado en la norma UNE-EN 14181.
- d) Los valores puntuales medidos se corregirán a condiciones normales (0°C, 1013 hPa), gas efluente seco y con un contenido determinado de oxígeno si así lo pide su autorización o legislación sectorial aplicable.
- e) El CEMS deberá proporcionar datos validados, es decir, valores corregidos a condiciones normales, gas seco y concentración determinada de oxígeno y restado el intervalo de confianza del valor límite de emisión establecido.
- f) Siempre habrán de conservarse el valor sin corregir y el valor corregido, por ejemplo, en el caso de que los valores obtenidos de los contaminantes medidos se deban de expresar en un porcentaje determinado de oxígeno o de dióxido de carbono, temperatura o presión de normalización, etc. En estos casos, se hará la media de los valores corregidos individualmente. Asimismo, deberán conservarse los valores de los parámetros utilizados para la corrección.

### **1.8.- Visualización de datos en la instalación**

El SATC deberá permitir visualizar en la instalación como mínimo en todo momento los siguientes datos:

- Valor instantáneo de la medida.
- Valor instantáneo de emisión validado.
- Código de calidad.
- Valor instantáneo de emisión calibrado.
- Valor medio quinceminutal, semihorario u horario en función de la base temporal de trabajo.

### **1.9.- Documentación de los analizadores**

El responsable de la instalación deberá tener disponible la siguiente documentación correspondiente a los analizadores:

- a) Manual de instrucciones para el usuario de cada uno de los analizadores que componen el CEMS, de acuerdo con las consideraciones del Real Decreto 1644/2008. Esta norma establece que el fabricante o su representante legal elaborarán el manual de instrucciones, que estará redactado en la lengua oficial del país de utilización, y podrá estar acompañado del mismo manual redactado en otra lengua comunitaria; por ejemplo del país del fabricante o de su representante.
- b) Manual de mantenimiento de los equipos, destinado a la utilización de personal especializado, y que habitualmente dependerá del fabricante o de su representante; podrá estar redactado en una sola lengua comunitaria.
- c) Acreditación, si es el caso, de que los SAM están oficialmente homologados.
- d) Puntos del SAM donde se pueden obtener los datos analógicos (adjuntar croquis).

#### **1.10.- Gases de referencia (calibración)**

Como gas cero de referencia se puede utilizar aire sintético, aire de instrumentos, aire ambiente o nitrógeno. En el caso del aire de instrumentos o aire ambiente, hará falta asegurar que no se vea afectado por los contaminantes a medir por el sistema.

Las mezclas patrón para la verificación interna (NGC3 y Control de derivas<sup>7</sup>) realizada por la empresa tendrán una concentración aproximada al 60% del intervalo de medida del analizador para cada uno de los contaminantes a medir. Si se emplea una concentración diferente a este valor de concentración de referencia (60% del intervalo de medida del analizador) deberá justificarse debidamente.

Los gases de referencia utilizados para efectuar el ensayo de funcionalidad deberán disponer de certificado analítico emitido por un laboratorio acreditado por ENAC o cualquier entidad de la European Accreditation (según norma UNE-EN ISO/IEC 17025) o certificado equivalente con respecto a la incertidumbre y trazabilidad, siempre que haya disponibilidad con respecto al contaminante y al intervalo.

#### **1.11.- Accesibilidad, seguridad y servicios**

Las plataformas y los accesos en el punto de toma de muestras deben cumplir lo establecido por la normativa vigente.

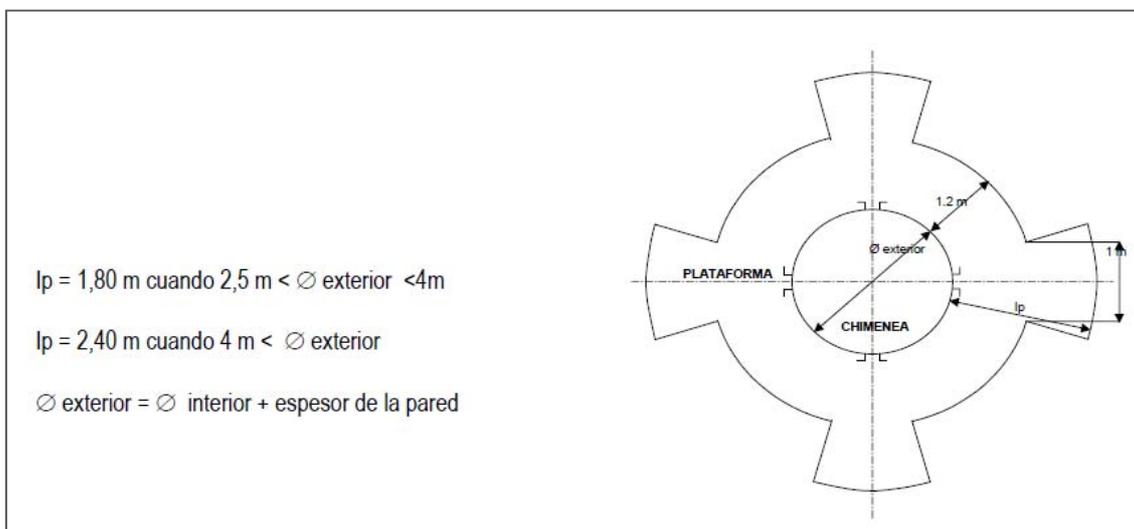
Esta normativa, a fecha de redacción de la presente instrucción técnica, es la siguiente:

- Orden del 18 de octubre de 1976, sobre prevención y corrección de la contaminación industrial de la atmósfera.
- LEY 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, BOE nº 269 10/11/1995, y su posterior desarrollo legislativo.
- UNE-EN ISO 14122-2: Seguridad de las máquinas. Medios de acceso permanente a máquinas e instalaciones industriales. Parte 2: Plataformas de trabajo y pasarelas.
- UNE-EN 15259:2008 Calidad del aire- Emisiones de fuentes estacionarias- Requisitos de las secciones y sitios de medición y para el objetivo, plan e informe de medición.

Dimensiones de la plataforma:

La plataforma debe tener un área mínima de  $5 \text{ m}^2$  y una anchura mínima:

- En el supuesto de que  $2,5 \text{ m} < \text{diámetro exterior} < 4 \text{ m}$ , la plataforma deberá ser agrandada a una anchura mínima  $I_p = 1,8 \text{ m}$  sobre una anchura mínima de  $1 \text{ m}$  delante de la boca de muestreo (véase dibujo).
- En el supuesto de que el diámetro exterior sea superior a  $4 \text{ m}$ ,  $I_p = 2,4 \text{ m}$ .



En todo caso, se deben tomar las medidas de seguridad descritas en el Anexo A de la norma UNE-EN 13284:1, relativa al método gravimétrico manual para la determinación de partículas.

En el supuesto de que en la plataforma no se encuentre ubicada la unidad de registro y evaluación de datos, para poder llevar a cabo los trabajos de inspección, hace falta que la cota de inspección disponga de terminales de las señales analógicas de los

analizadores (mA, V, etc), o disponer de un sistema que garantice la correcta transmisión de los datos desde el analizador al sistema de gestión de datos.

### 1.12.- Proyecto

Una vez se haya decidido la clase y modelo de analizador a instalar así como el lugar de ubicación del mismo y se haya comprobado por laboratorio acreditado la validez del plano y punto de muestreo, se realizará un proyecto donde se describirán las características y datos de emplazamiento de los distintos equipos y dispositivos que conforman el SAM.

El proyecto se remitirá a la Viceconsejería de Medio Ambiente, quien dispondrá de un mes para realizar las notificaciones que considere oportunas. Si transcurrido ese plazo el promotor no ha recibido respuesta, se podrá proceder a la instalación del SAM conforme al citado proyecto.

El contenido del proyecto deberá ajustarse a la siguiente estructura:

#### 1) Identificación de la empresa

DATOS DE LA EMPRESA						
Razón Social					CIF	
Dirección						
CP		Municipio				
Teléfono		Fax		e-mail		

DATOS DEL CENTRO						
Denominación					NIMA	
Dirección						
CP		Municipio				
Teléfono		Fax		e-mail		
Persona de contacto						

2) *Identificación de los focos SAM*

IDENTIFICACION DE FOCOS CON SAM			
Foco		Número de foco	
Proceso asociado			
Sistema(s) de depuración		Fecha de instalación	

3) *Descripción del CEMS*

DATOS DEL SATC				
Modelo		Software		Tipo conexión con la Red de calidad de aire
Memoria (Mb)		Tipo de memoria		Capacidad (días)

SAM(S) GESTIONADOS POR EL SATC				
Foco	SAM / SAM Periférico	Contaminantes / Parámetros	Función de calibración (en SAM o en SATC)	Año instalación

4) *Descripción de los SAM*

CARACTERÍSTICAS DEL SAM				
Contaminante				
Marca		Modelo		
Distribuidor		Dispone de NGC1?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
Catálogo del fabricante (anexar)				
Se deberá adjuntar a este proyecto los certificados NGC1 (QAL 1) de aquellos SAM que se deban calibrar de acuerdo a la norma UNE-EN 14181 y, para el resto de los equipos, el Certificado de homologación del equipo emitido por organismo competente de algún país de la Unión Europea				

La siguiente documentación del SAM deberá estar disponible en la empresa:

- Manual de instrucciones, traducido según las especificaciones del Anexo I del RD 1644/2008.
- Manual de mantenimiento del equipo.
- Certificado e informe de homologación del equipo emitido por organismo competente de algún país de la Unión Europea.
- Esquema del SAM, indicando dónde pueden obtenerse los datos analógicos (o brutos).
- Instrucciones para realizar la comprobación de las constantes introducidas de la función analítica.

DATOS DEL SAM					
Contaminante	Principio de medida	Intervalo de medida <sup>1</sup>		Valor Límite de Emisión <sup>2</sup>	Límite de detección <sup>3</sup>
		Desde	Hasta		

<sup>1</sup> Apartado 5.1.2 de la instrucción técnica.  
<sup>2</sup> Se ha de expresar en las mismas unidades que el valor límite de emisión legal.  
<sup>3</sup> Apartado 5.1.2 de la instrucción técnica.

COMPONENTES DEL SISTEMA EXTRACTIVO					
Sonda de muestreo	Longitud		m	Material	
	Dispone de sistema de calefacción	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	Temperatura	
Línea de muestreo	Longitud		m	Material	
	Dispone de sistema de calefacción	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	Temperatura	
Tratamiento de eliminación de la humedad	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	Ubicación	<input type="checkbox"/> A la salida del analizador	<input type="checkbox"/> Antes del analizador
Sistema de dilución	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	Error de sistema de dilución		
	Sistema de generación de aire de dilución				
Otras características del sistema:					

COMPONENTES DEL SISTEMA IN SITU			
Muestreo	Tipo	<input type="checkbox"/> Puntual <input type="checkbox"/> Transversal	
	Longitud	m	Material

SISTEMA DE VERIFICACIONES DE CERO Y SPAN			
Rutina de verificación		Intervalo de verificación	
		Duración de la verificación	
Contaminante	Concentración del gas patrón o de referencia	Incertidumbre	Trazabilidad
GAS CERO			
Dispone de sistema que conduzca los gases de cero y span hasta el cabezal de la sonda			<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
¿Se dispone de un procedimiento para establecer NGC 3?		<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
		Periodicidad prevista	

5) Descripción de los SAM periféricos

Se deberá incorporar la siguiente información para cada foco en el que se disponga de SAM periféricos:

CARACTERÍSTICAS DEL SAM			
Parámetro			
Marca		Modelo	
Distribuidor		Dispone de NGC1?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
Catálogo del fabricante (anexar)			

Parámetro	Principio de medida	Intervalo de medida	Límite de detección	Error respecto a fondo de escala	¿Está en el mismo plano que el SAM de contaminantes?	Ubicación <sup>4</sup>
Caudal					<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
Temperatura					<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
Humedad					<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
Oxígeno					<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
Presión					<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	

<sup>4</sup> En caso de que no se encuentre en el mismo plano, se indicará la ubicación

6) Sistema de gestión de datos

Se indicará para cada contaminante los datos validados que genera el sistema de tratamiento de datos:

GESTIÓN DE DATOS			
El sistema caracteriza los datos (válidos, calibración, superación de rango válido, etc.)		<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
El sistema realiza la validación de los datos		<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
Registros que puede facilitar el sistema de medición en continuo	<input type="checkbox"/> Diez minutales	<input type="checkbox"/> 15 minutales	
	<input type="checkbox"/> Semihorarios	<input type="checkbox"/> Horarios	
	<input type="checkbox"/> Diarios	<input type="checkbox"/> 48 horas	
	<input type="checkbox"/> Mensuales	<input type="checkbox"/> Otros	
	<input type="checkbox"/> Percentiles	<input type="checkbox"/> Registro de superación de límites	
	<input type="checkbox"/> Registro de superación de rango válido	<input type="checkbox"/> Registro de valores fuera de fondo de escala	
Expresión de resultados	<input type="checkbox"/> Base seca <input type="checkbox"/> Base húmeda		
	<input type="checkbox"/> Corregido a % de oxígeno	% de oxígeno al que se corrige	

7) Ubicación del analizador

Se adjuntarán los siguientes planos:

- Plano de ubicación de los focos con SAM en la instalación y ubicación del SATC.
- Planos de alzada de la chimenea indicando numéricamente las cotas correspondientes a la ubicación de cada uno de los siguientes elementos:
  - Medidores en continuo, sondas extractivas y SAM periféricos.

- Orificios de toma de muestra para efectuar las pruebas de contraste y controles reglamentarios.
- Perturbaciones de la corriente de gas (cambios de diámetro, codos,...)
- Sección transversal de la chimenea, indicando los ángulos entre los ejes de medida de los SAM y los de los métodos de referencia.
- Plataformas: Sección transversal y área de las mismas. Escaleras de acceso.

8) Datos de la chimenea y del punto de toma de muestras

DATOS DE LA CHIMENEA Y DEL PUNTO DE MUESTREO <sup>6</sup>			
Diámetro interior de la chimenea (m)	en el punto de emisión de los gases		
	en el punto de toma de muestra		
Altura respecto del suelo (m)	total de la chimenea		
	del punto de toma de muestra de los analizadores		
	del punto de toma de muestra manual		
Distancia del plano de toma de muestra (m)	de los analizadores	a la perturbación anterior	
		a la perturbación posterior	
	manual	a la perturbación anterior	
		a la perturbación posterior	
Toma de muestra manual	Numero de orificios disponibles	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 4	
	Dimensiones de los orificios (m)		

Plataforma	Área (m <sup>2</sup> )	
Instalaciones auxiliares	Iluminación disponible en el punto de toma de muestras	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
	Disponibilidad de toma de corriente en el punto de toma de muestras	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
	Disponibilidad de terminales de señal analógica de los analizadores en el punto de toma de muestras	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
<sup>6</sup> Se deberá adjuntar informe de laboratorio acreditado de la comprobación de la representatividad del plano y punto de toma de muestra de acuerdo al punto 5.6 de la presente Instrucción técnica		

9) *Mantenimiento del CEMS*

MANTENIMIENTO PREVISTO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN EN CONTINUO			
Cómo está planificado efectuar el mantenimiento del analizador	<input type="checkbox"/>	Efectuada por entidad externa	Periodicidad
			Renovación de contrato
	<input type="checkbox"/>	Equipo de mantenimiento interno	
Tipos de mantenimiento que están programados	Verificaciones que se realizan		
	Periodicidad		
	Tiempo de respuesta de atención a las averías		
	Sistemas de detección de averías del analizador		

10) *Anexos*

- Planos.
- Fotografías descriptivas de las instalaciones.
- Catálogos de SAM.
- Certificados de SAM.
- Certificados de SAM periféricos.
- Informe de laboratorio acreditado de Comprobación de la representatividad del plano y punto de toma de muestra.

**1.13.- Calibración conforme a la norma UNE-EN 14181**

Las instalaciones en las cuales se llevará a cabo la calibración de acuerdo a las normas deben seguir los puntos siguientes:

- Se debe realizar un NGC2 :
  - Cada tres años, por Real Decreto 653/2003 de incineración de residuos.
  - Cada cuatro, por Real Decreto 430/2004 de grandes instalaciones de combustión.
  - Si la evaluación semanal del rango válido de calibración demuestra que es necesario un NGC2.
  - Si se produce un cambio significativo de combustible.
  - Si se produce un cambio significativo del proceso.
  
- Cada año (que no se haga NGC 2), se debe hacer un EAS.

- Anualmente, y previo a un NGC 2 o a un EAS (lo que corresponda), se deberá realizar un ensayo de funcionalidad.
- Semanalmente el responsable de la instalación deberá evaluar la validez del rango de calibración.
- Periódicamente el responsable de la instalación deberá llevar a cabo los controles correspondientes al NGC 3.

### *Ensayo de funcionalidad*

El ensayo de funcionalidad se debe realizar siempre previo a la realización de un NGC 2 de la norma UNE-EN 14181 y al ensayo anual de seguimiento (EAS) de la citada norma UNE-EN.

El personal que lleva a cabo el ensayo de funcionalidad deberá tener los suficientes conocimientos sobre los equipos para realizar todas las operaciones descritas en esta instrucción técnica, pudiendo ser realizado por:

- Representante del fabricante del SAM.
- Responsable externo de mantenimiento.
- Técnicos propios de la instalación.
- Laboratorio encargado de toda la calibración.

El laboratorio encargado de toda la calibración es el responsable último de la calidad de los trabajos y debe incorporar los resultados obtenidos en el informe final de calibración. No se podrán iniciar las medidas paralelas para obtener la función de calibración hasta obtener los resultados satisfactorios del ensayo de funcionalidad.

A través de este ensayo se certifica que las medidas proporcionadas por los equipos de control son las adecuadas. En caso de no superar la prueba, deberá realizarse una calibración o ajuste en aquellos dispositivos cuyas medidas se encuentren fuera del rango esperado.

En caso de superar el ensayo, se procederá a realizar el ensayo siguiente: el EAS o el NGC2. En la siguiente tabla se describen el conjunto de pruebas a realizar durante dichos ensayos:

ACTIVIDAD	NGC2	EAS
Alineación y limpieza	SI	SI
Sistema de toma de muestras	SI	SI
Documentación y registros	SI	SI
Utilidad	SI	SI
Estanqueidad	SI	SI
Verificación de cero y <i>span</i>	SI	SI
Linealidad	SI	SI
Interferencias	NO	SI
Deriva de cero y <i>span</i> (Auditoría)	NO	SI
Tiempo de respuesta	SI	SI
Informe	SI	SI

En la IT-DPECA-EA-IPPC-09 se refleja el procedimiento a seguir para efectuar cada una de las labores descritas.

#### *Determinación de la función de calibración del SAM (NGC2)*

Las constantes que se obtienen mediante la determinación de la función de calibración se deben utilizar para realizar las correcciones oportunas en el tratamiento de datos. Estas constantes no pueden ser modificadas a posteriori sin la correspondiente justificación y comunicación al organismo competente.

El laboratorio de ensayo encargado de realizar las medidas paralelas con el método de referencia deberá disponer de un sistema de garantía de calidad acreditado, de acuerdo a la norma UNE- ISO/IEC 17025 o, estando en proceso de acreditación, tener el visto bueno de la VIMA para la realización de estos trabajos.

En la IT-DPECA-EA-IPPC-09 se refleja el procedimiento detallado a seguir para determinar la función de calibración, lo cual no es objetivo de este estudio.

## Capítulo 2: Funciones de calibración, tratamiento de datos y pautas de mantenimiento de los CEMS

---

### 2.1.- Procedimiento de instalación y puesta en servicio de un CEMS

El procedimiento de instalación y calibración se encuentra incluido en la IT-DPECA-EA-IPPC-09 “*Instrucción Técnica para la instalación, operación, mantenimiento y calibración de sistemas de medición en continuo de emisiones*”.

### 2.2.- Modificación de la función de calibración del SAM

Cuando se realiza una calibración por parte de un laboratorio acreditado, se efectúan una serie de medidas en paralelo de los diferentes parámetros que se deben controlar: a través de los nuevos equipos instalados y a través de los equipos de la empresa certificadora. Tras la finalización de las pruebas y la obtención de datos, éstos son analizados y comparados por parte de una OCA, la cual se encargará de definir una función de ajuste que se denomina “Función de Calibración”.

La función de calibración del SAM consta de dos parámetros “a y b” ( $y = a + bx$ ) que se deberán introducir en el sistema de adquisición, tratamiento y comunicación (SATC), o en su defecto, en cada uno de los dispositivos, ya que dicha funcionalidad suele estar implementada en ellos.

Se deberá modificar la función de calibración tan pronto el titular disponga del informe de calibración emitido por el laboratorio encargado de la calibración. El titular de la instalación deberá remitir al Departamento de Medio Ambiente el informe de calibración junto con la ficha de calibración que elaborará el laboratorio encargado de la calibración.

Una vez que se reciba esta comunicación, se gestionará el cambio de la configuración de los parámetros en el SATC desde la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma en cuestión. Cuando se realice dicha modificación se comunicará al titular la fecha y hora en el que se ha realizado.

Con el fin de comprobar el estado de calibración de los SAM, deberán estar disponibles en la instalación a disposición de la autoridad ambiental los siguientes documentos:

- Tabla de resultados, gráfica de NGC3, registro de operaciones de mantenimiento y resultados de las verificaciones periódicas de cero y *span* (intervalo).
- Último informe de calibración.

- Última comunicación al Departamento de Medio Ambiente indicando la modificación de la recta de calibración.

### **2.3.- Tratamiento de los datos en la instalación**

El SATC proporcionará datos quinceminutales, semihorarios u horarios. Con estos datos el titular de la instalación deberá realizar un tratamiento posterior para que sean comparables con los valores límite de emisión exigidos.

- Se necesitarán que al menos el 75% de los datos válidos recogidos en cada periodo sean correctos para poder realizar la media del periodo (quinceminutal, semihorario u horario).
- En instalaciones que el SATC no proporcione medias horarias las medias horarias se calcularán a partir de los datos quinceminutales. Se necesitará que al menos el 75% de datos quinceminutales de cada periodo sean correctos para poder realizar la media horaria.
- En el caso de las instalaciones afectadas por el RD 653/2003, se utilizará la base semihoraria en el SATC.
- Para la realización de medias diarias se utilizarán las medias horarias. En el caso de instalaciones afectadas por el RD 653/2003 las medias diarias se realizarán a partir de los datos semihorarios.
- Para la realización de medias de 48 horas se utilizarán las medias horarias.

El titular de la instalación, así mismo, deberá, como responsable de los datos, identificar aquellos datos no válidos que no han sido identificados automáticamente por el SATC y a los que se les ha dado erróneamente un código de calidad como válido.

El titular deberá identificar los datos no válidos y sus causas, y deberá notificarlo al Departamento de Medio Ambiente. A estos efectos, trimestralmente se enviará un informe en el que se relacionen dichos datos para cada analizador (hora:minuto, valor quinceminutal / semihorario registrado).

## **2.4.- Interpretación del cumplimiento de los Valores Límites de Emisión**

El CEMS deberá proporcionar los datos de manera que se pueda verificar directamente el cumplimiento de los valores límites de emisión aplicable. Además los registros de los datos de los analizadores se deben mantener un mínimo de 10 años, y no serán aceptables sistemas de registro únicamente gráfico. Los datos a registrar serán aquellos que certifiquen el cumplimiento de los VLE establecidos para cada componente.

En aquellos casos en los que la legislación sectorial aplicable o su Autorización Ambiental Integrada no defina el cumplimiento de los valores límites de emisión a la atmósfera, en lo que se refiere a los parámetros medidos en continuo, se considerará que se cumplen los valores límites de emisión si el 94% de los valores medios horarios validados a lo largo de un año no supera el valor límite de emisión establecido.

La gestión de datos para comprobar la validez de los mismos, y el tratamiento de datos para obtener los datos validados a partir de datos válidos, se deberán realizar en el SATC, de acuerdo a lo indicado en la instrucción técnica IT-DPECA-EA-IPPC-09, de modo que el CEMS proporcione valores validados.

## **2.5.- Disponibilidad de los equipos de medida**

El promotor deberá mantener el sistema de medición en continuo según un plan de mantenimiento preventivo que garantice tanto la fiabilidad de dichos datos como la cantidad mínima a obtener de los mismos. En cualquier caso, la responsabilidad de la fiabilidad y cantidad de los datos obtenidos será del promotor.

En aquellos casos en los que la legislación sectorial aplicable o su Autorización Ambiental Integrada no definan la disponibilidad de los CEMS, entendido como proporción de periodos de tiempo en que se obtienen registros válidos, esta deberá ser al menos del 90 por 100 del tiempo de funcionamiento efectivo anual, salvo autorización puntual expresa de la Viceconsejería de Medio Ambiente.

La disponibilidad se entiende sobre los datos válidos proporcionados por el CEMS para cada contaminante. En los casos de que se disponga de equipos redundantes, se considerará la disponibilidad de los datos válidos proporcionados por ambos equipos.

Si la disponibilidad de los equipos es inferior a la indicada, el titular deberá mejorar la fiabilidad del sistema de medición en continuo. El titular deberá presentar ante la Viceconsejería de Medio Ambiente un plan detallado de las medidas que se tomarán para la mejora de la fiabilidad del CEMS. Así mismo deberá presentar un informe de los resultados obtenidos en la mejora de la disponibilidad de los equipos como consecuencia de las medidas tomadas de acuerdo con dicho plan.

En todas las instalaciones, en el caso de que durante más de 15 días consecutivos el CEMS no esté conectado o no funcione correctamente, se deberán realizar controles periódicos con Método de Referencia Patrón por Organismo de Control Autorizado (OCA) , con una periodicidad de 15 días a partir del inicio de la incidencia y hasta el correcto funcionamiento del CEMS.

## **2.6.- Mantenimiento de analizadores**

Deberán definirse unas pautas de mantenimiento (internas o externas) en la que como mínimo se deberán contemplar las operaciones de mantenimiento con las periodicidades indicadas por el fabricante. Todas las operaciones de mantenimiento realizadas se deberán registrar en documento comprensivo que estará a disposición de la autoridad competente de inspección.

Para la realización de estas verificaciones se deberá disponer de un procedimiento en el que se indiquen como mínimo los responsables de las actuaciones, método estadístico de control empleado, material de referencia, valores de actuación y hojas y gráficos de control. Se deberán documentar los resultados obtenidos y los ajustes en el caso de que se realicen.

Las operaciones de mantenimiento y los ajustes que se hagan como consecuencia del NGC3 y las verificaciones de cero y *span* (intervalo) deberán anotarse en los apartados correspondientes de los libros de registro de emisiones, según se indica en la IT-DPECA-EA-IPPC-12.

## **2.7.- Reparaciones y sustituciones en el CEMS**

Se consideran cambio significativo cuando se produce:

- Una reparación o sustitución de un componente o componentes del SAM, donde la reparación o sustitución pudiera afectar a la función de calibración.
- Una sustitución del SAM por un SAM del mismo tipo que el original.
- Una sustitución del SAM por un SAM que se diferencia del original.

En los dos primeros casos, con el fin de garantizar que el CEMS proporciona resultados válidos se deberá proceder de la siguiente manera:

- Aplicar la función de calibración existente.

- Se deberá realizar un procedimiento de EAS, incluyendo el Ensayo de funcionalidad, en un plazo máximo de 15 días y se deberá informar inmediatamente cuando se dispongan de los resultados de la misma a la Viceconsejería de Medio Ambiente, sin esperar al informe del laboratorio de ensayo.
- Si el EAS muestra que la función de calibración sigue siendo válida, entonces no se requerirá un NGC2 completo hasta el siguiente NGC2 programado.
- Si el EAS muestra que la función de calibración no es válida y que el SAM necesita una nueva calibración, entonces se requerirá un NGC2 completo de acuerdo a la norma UNE-EN 14181.

En el caso de que se sustituya por otro SAM que difiere del original se requerirá una calibración completa o un NGC2.

## **2.8.- Comunicación de incidencias y resultados obtenidos**

Las comunicaciones que deberán realizarse a la Viceconsejería de Medio Ambiente serán las siguientes:

- Notificar cualquier superación de los valores límite en el SMEC cuando la concentración de un dato validado supere en un 100% el valor límite. La comunicación se hará un plazo máximo de 24 horas tras la superación, cuando se trate de días laborables, o el primer día laborable siguiente al día en que se ha producido dicha superación en caso de días no laborables.
- Notificar cualquier avería o fallo que implique que los equipos no proporcionen datos fiables durante más de 24 horas. La comunicación se hará un plazo máximo de 24 horas tras la incidencia, cuando se trate de días laborables, o el primer día laborable siguiente al día en que se ha producido dicha incidencia en caso de días no laborables.
- Notificar paradas programadas de la instalación en aquellos procesos continuos, incluidas operaciones de mantenimiento preventivo previstas, con una antelación mínima de 15 días.
- Si de la evaluación semanal de la validez del rango de calibración se dedujera la necesidad de realizar una nueva calibración (NGC 2) o un EAS, dicha circunstancia se deberá comunicar en el plazo de una semana a partir de dicha evaluación.

- Anualmente se deberá realizar y remitir un informe del funcionamiento del sistema de medición en continuo. Dicho informe deberá proporcionar información relativa a los equipos instalados, calibraciones producidas y previstas, un resumen anual de la disponibilidad del equipo, un resumen anual de las emisiones producidas, un resumen anual de las incidencias producidas y un resumen anual del mantenimiento realizado.

Todas las notificaciones e informes que deban realizarse se ajustarán a los modelos incluidos en los Anexos I, II, III, IV y V recogidos en la Instrucción Técnica IT-DPECA-EA-IPPC-08 / 01.

## **2.9.- Conexión a la red**

Todo CEMS instalado según lo indicado en el apartado 2.1 de esta instrucción técnica, se deberá conectar con la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire y deberán incorporar el protocolo de comunicación definido en la IT-DPECA-EA-IPPC-09.

## Capítulo 3: Sistema de control de emisiones en la industria cementera

---

En este apartado comentaremos las particularidades del proceso de producción cementero, los principales contaminantes que llevan asociados (los cuales deben ser controlados), los focos donde éstos se generan, y los dispositivos recomendados para la captación de los datos requeridos por la legislación vigente en materia de Medio Ambiente. Veremos cuáles son las señales que intervienen en cada dispositivo, cómo se interconectan con los demás dispositivos y con el sistema de adquisición de datos.

La aplicación del sistema de control de emisiones que nos ocupa, estará instalado en una planta de fabricación de cemento, por tanto comenzaremos indicando cuales son los objetivos principales dentro de este tipo de industria:

- Conseguir una alta eficiencia energética en los procesos de producción.
- Obtener un producto competitivo de alta calidad.
- Realizar una producción lo más económica posible.

La diferencia con el resto de sectores industriales radica en que, para obtener el producto final, necesariamente hay que pasar por una serie de procesos que provocan la contaminación del entorno debido a la emisión de partículas y agentes contaminantes. Dicha contaminación debe ser controlada y minimizada, por tal motivo se necesita supervisar los procesos de manera continua con sistemas de análisis, y por otro lado, dicha supervisión nos sirve para controlar que los valores de emisión no superen los límites impuestos por las normas medioambientales.

Llegados a este punto se nos plantea la necesidad de buscar un fabricante que nos pueda aportar una solución que satisfaga los requerimientos mencionados. A la hora de decidir cuál sería el más conveniente, hemos tenido en cuenta los siguientes factores:

- Necesitamos dispositivos para la medición de partículas, caudal, temperatura y gases. En cuanto a los gases, nos interesa encontrar un equipo que nos mida los ocho parámetros exigidos, y que disponga de certificación NGC1 (QAL1) para cada uno de ellos, lo cual es indispensable a efectos de cumplir con la legislación vigente en materia de Medio Ambiente.
- Nos interesa conseguir la máxima disponibilidad de los equipos. Lo podemos conseguir si disponemos de un único analizador de gases, ya que de este modo reduciremos al mínimo los tiempos de parada en planta debido a los mantenimientos del equipo. Por otro lado, gracias a la “simplicidad” de trabajar con un único dispositivo, las tasas de fallo serán inferiores a las que presentan varios analizadores para un único componente. Como consecuencia se minimiza también el coste, tanto en piezas de repuesto como en tiempo de mano de obra.

- Recibir repuestos de manera urgente en caso de necesidad, recibir una respuesta inmediata por parte del Servicio Técnico del fabricante y tener la posibilidad de disponer de equipos de respaldo en caso de necesidad urgente.

El único fabricante que cumplía con los requisitos mencionados era la empresa alemana SICK, que posee una dilatada experiencia y contrastada reputación en el desarrollo de sistemas de análisis para aplicaciones en la industria cementera. Su amplia gama de productos nos proporcionan la solución óptima para controlar todos los parámetros exigidos.

En nuestro caso los dispositivos que hemos elegido son los siguientes:

- Un analizador de gases multi-componente: modelo MCS100E.
- Un medidor de partículas (opacímetro): modelo SP100.
- Un medidor de caudal y temperatura (caudalímetro): modelo FLOWSIC100.
- Un software para la adquisición y evaluación de datos: MEAC2000.

En próximos capítulos nos detendremos a conocer con detalle estos dispositivos, ya que en este apartado comenzaremos realizando una introducción al proceso de fabricación del cemento.

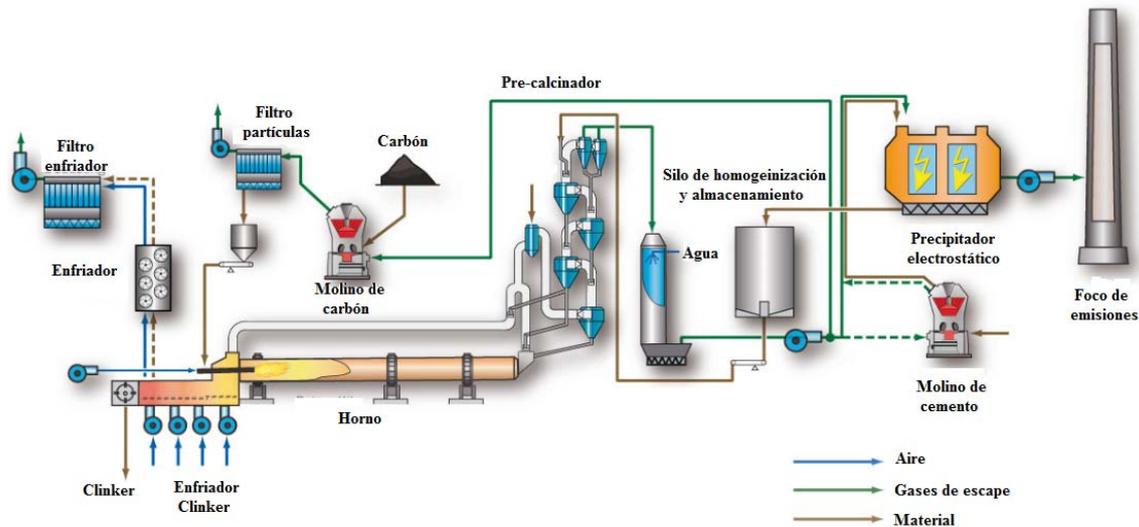
### **3.1.- Fundamentos del proceso de elaboración del cemento**

Tanto el cemento como el hormigón (una mezcla de cemento, agregados, arena y agua) son materiales básicos para la construcción de edificios y para la ingeniería civil, tal es así que la producción de la industria del cemento está directamente relacionada con el estado del comercio de la construcción y por consiguiente sigue el mismo camino, o muy cercano, al de la situación económica general.

El objeto de este estudio no está enfocado a detallar todos los procesos involucrados en la producción de estos materiales, no obstante daremos una visión general de sus diferentes fases con el fin de comprender mejor el tipo de parámetros que necesariamente habrá que medir (según se indica en la normativa aplicable), los dispositivos que deberán utilizarse y los focos donde se encontrarán instalados.

El cemento es un material inorgánico no metálico finamente molido, y que mezclado con agua forma una pasta que fragua y endurece, manteniendo su resistencia y estabilidad incluso dentro de medios acuáticos. Para ser fabricado es necesario calcinar la materia prima (clinkerización) mediante la alimentación de caliza en un gran horno cilíndrico ( $\pm 70-100$  m), rotativo y ligeramente inclinado, y la circulación contracorriente desde su parte inferior del aire caliente a altas temperaturas que posibilita el proceso.

Mostraremos en la siguiente figura un esquema con las diferentes fases del proceso productivo:



De manera resumida, podemos clasificar las fases de fabricación del cemento en:

#### *Extracción de las materias primas*

La materia prima fundamental para la fabricación del cemento es la piedra caliza, la cual se extrae de las canteras. Durante esta etapa se pone especial énfasis en controlar la composición química, granulometría y humedad de la caliza.

#### *Preparación de las materias primas*

Tras la recepción de la caliza, se procede a efectuar la trituración de la misma. Mediante este proceso se logra dar a las piedras el diámetro requerido para el horno de calcinación.

#### *Preparación de los combustibles*

Entre los combustibles mencionados, el más utilizado por las cementeras es el carbón pulverizado. El carbón en bruto almacenado se transporta hasta un molino donde se pulveriza, y servirá de combustible al horno para calcinar la materia prima (caliza y arcilla), a unas temperaturas entre 1350 y 1450°C. Los gases de escape resultantes de la molienda pasarán por un filtro para evitar que las partículas se emitan al medio ambiente, por tanto este será uno de los puntos que deberán controlarse. Se instalará un medidor de partículas y otro de caudal.

Para cumplir con la normativa ambiental, se hace necesaria la captación del polvo en los focos de emisión relacionados con los procesos productivos, de esta manera se minimiza la cantidad de partículas emitidas, y también se recupera material que podrá ser reutilizado (como por ejemplo en el molino de carbón). En este tipo de focos los dispositivos de filtrado que se utilizan son los llamados filtros de mangas.

### *Proceso de combustión/clinkerización*

El horno se alimenta con materia prima a través del pre-calcinador. En esta etapa el material se precalienta y pre-calcina para que se aceleren los procesos en el interior del horno, consiguiendo una reducción en el consumo total de combustible. La calcinación consiste en la aplicación de calor para la descomposición (reacción térmica) de la caliza. En este proceso se pierde cerca de la mitad de peso, por la pérdida del dióxido de carbono de la caliza original. Es un proceso que requiere mucha energía, y en un esquema típico el coste energético se sitúa en un 30-40% de los costes de producción. Por este motivo, tradicionalmente los combustibles utilizados tienden a ser los de menor coste: coque de petróleo, carbón, y algunos tipos de residuos (aceites, fangos de depuradoras, residuos de papel, plástico y madera, neumáticos, harinas animales, etc).

El producto final, llamado Clinker, sale del horno para someterse a otros procesos y convertirse así en cemento. La fase de calcinación en el horno implica la evacuación a la atmósfera de gases contaminantes y partículas que deben controlarse, por tanto en el foco de emisión del horno habrá que instalar un analizador de gases, un medidor de partículas y un medidor de caudal.

En este caso para minimizar la emisión de partículas se utilizan unos dispositivos de filtrado denominados precipitadores electrostáticos, y se ubican en el foco de emisión del horno para captar el polvo de los gases de escape calientes del pre-calcinador y el horno.

### *Molienda de cemento*

El Clinker será la base del cemento, el cual se consigue añadiendo otros materiales, como el yeso (u otro retardante de fraguado) y una serie de aditivos que dependerán del uso que se vaya a dar al cemento resultante. Tras las diferentes fases de enfriamiento, secado, molienda y filtrado se obtiene el producto final. Es en la etapa de molienda del cemento donde también deben controlarse las partículas emitidas a la atmósfera.

### *Ensacado y expedición*

En la fase final del proceso productivo se procede al envasado del producto y a su posterior almacenaje o expedición.

### 3.2.- Focos de emisión y parámetros a medir

Tras la breve introducción al proceso de fabricación del cemento, vamos a reducir la dimensión de una planta cementera a lo que realmente nos compete en este proyecto, encontrar soluciones efectivas para la captación y monitorización de emisiones. Indicaremos por tanto los principales focos de emisión de una planta cementera que están sujetos a la normativa de control medioambiental. Son los siguientes:

- Foco de emisiones de gases y partículas procedentes del horno.
- Foco de emisiones de partículas procedentes del molino de cemento.
- Foco de emisiones de partículas procedentes del molino de carbón.

A continuación indicaremos los parámetros que deberán medirse en cada foco, los dispositivos que vamos a utilizar para realizar las mediciones, los rangos de trabajo y los valores límites de emisión de los diferentes contaminantes.

#### *Foco de emisiones del horno*

En función del tipo de combustible que se utilice y de la normativa ambiental local, deben controlarse determinados contaminantes (a ser posible, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO y SO<sub>2</sub>) en el gas de combustión, junto con el polvo (partículas), el caudal de gas y los valores de referencia de H<sub>2</sub>O, temperatura y O<sub>2</sub>. Los datos del control se transmiten al sistema específico de adquisición de datos (MEAC2000) para continuar el procesado y presentar informes a las autoridades.

Si se utilizan combustibles alternativos (como la madera, neumáticos, harinas animales, etc), quizá será necesario supervisar también otros componentes, como el HCl, HF, y TOC (compuestos derivados del Carbono). En el caso que nos ocupa, nos centraremos en controlar el parámetro de HCl.

Para controlar todos estos parámetros, se instalarán en el foco de emisiones un analizador de gases de ocho componentes, un medidor de caudal y temperatura. Además de un opacímetro.

La normativa establece los parámetros a medir, así como los valores límite de emisión y los rangos de medición que deben tener. En la siguiente tabla mostraremos los parámetros que se configurarán en los dispositivos de medición:

Componente	Rango	Unidades	Valor límite (en mg/m3)	Dispositivo
NO2	0-300	mg/m3	-	ANALIZ. GASES
NO	0-1.600	mg/m3	800	ANALIZ. GASES
SO2	0-1.600	mg/m3	800	ANALIZ. GASES
HCl	0-20	mg/m3	10	ANALIZ. GASES
CO	0-10.000	mg/m3	-	ANALIZ. GASES
CO2	0-20	%	-	ANALIZ. GASES
H2O	0-100	%	-	ANALIZ. GASES
O2	0-25	%	-	ANALIZ. GASES
Partículas	0-60	mg/m3	30	OPACÍMETRO
Caudal	0-300.000	m3/h	-	CAUDALÍMETRO
Temperatura	0-200	°C	-	CAUDALÍMETRO

#### *Foco de emisiones del molino de cemento*

Se van a medir las componentes de concentración de partículas, caudal y temperatura. En este caso únicamente utilizaremos un medidor de partículas y un medidor de caudal, siendo los parámetros a medir los siguientes:

Componente	Rango	Unidades	Valor límite (en mg/m3)	Dispositivo
Partículas	0-60	mg/m3	30	OPACÍMETRO
Caudal	0-250.000	m3/h	-	CAUDALÍMETRO
Temperatura	0-200	°C	-	CAUDALÍMETRO

#### *Foco de emisiones del molino de carbón*

Se van a medir las componentes de concentración de partículas, caudal y temperatura. Al igual que en el anterior foco, haremos uso de los dispositivos de medición de partículas y de caudal. Los parámetros a medir serán los siguientes:

Componente	Rango	Unidades	Valor límite (en mg/m3)	Dispositivo
Partículas	0-60	mg/m3	30	OPACÍMETRO
Caudal	0-250.000	m3/h	-	CAUDALÍMETRO
Temperatura	0-200	°C	-	CAUDALÍMETRO

### 3.3.- Señales analógicas y digitales de E/S en los diferentes dispositivos

Una vez definidos los focos y parámetros que necesitamos medir, vamos a realizar los esquemas de los diferentes tipos de señales de los dispositivos que vamos a utilizar, y los clasificaremos según el lugar de ubicación.

En el caso del analizador de gases, indicaremos el componente que se va a medir, el tipo de señal asociada, si es de entrada o salida, la ubicación de la tarjeta en el PLC, el canal y el código de identificación de la señal.

En cuanto a los dispositivos externos, la información la clasificaremos según el tipo de señal asociada, si es de entrada o salida, el dispositivo correspondiente, el lugar de conexión de la señal en el dispositivo y el código de identificación de la señal.

#### *Foco de emisiones del horno*

El PLC del analizador dispondrá de las tarjetas necesarias para tratar las señales de E/S (A/D) que figuran en la siguiente tabla. El diseño del esquema se ha realizado en base a las tarjetas disponibles para el modelo de analizador que hemos elegido, y que más adelante veremos con mayor detalle.

Señal	Tipo	E/S	Nº tarjeta	Canal	Código de señal
<b>NO2</b>	Analógica	Salida	1	1	AS001
<b>NO</b>	Analógica	Salida	1	2	AS002
<b>SO2</b>	Analógica	Salida	1	3	AS003
<b>HCl</b>	Analógica	Salida	1	4	AS004
<b>CO</b>	Analógica	Salida	1	5	AS005
<b>CO2</b>	Analógica	Salida	1	6	AS006
<b>H2O</b>	Analógica	Salida	1	7	AS007
<b>O2</b>	Analógica	Salida	1	8	AS008
<b>Partículas</b>	Analógica	Salida	2	1	AS009
<b>Caudal</b>	Analógica	Salida	2	2	AS010
<b>Temperatura</b>	Analógica	Salida	2	3	AS011
<b>Modo Mantenimiento</b>	Digital	Salida	3	1	DS001
<b>Fallo Analizador</b>	Digital	Salida	3	2	DS002
<b>Ciclo de Calibración</b>	Digital	Salida	3	3	DS003
<b>Partículas</b>	Analógica	Entrada	4	1	AE001
<b>Caudal</b>	Analógica	Entrada	4	2	AE002
<b>Temperatura</b>	Analógica	Entrada	4	3	AE003
<b>Petición calibración</b>	Digital	Entrada	5	1	DE001
<b>Mant. Remoto</b>	Digital	Entrada	5	2	DE002
<b>Mant. Conmutador</b>	Digital	Entrada	5	3	DE003

*La información acerca de la disposición de las tarjetas y el número de canales utilizados en cada una de ellas figuran en el plano del anexo con referencia MPC000.*

Las señales analógicas de salida se corresponden con las ocho componentes de gases medidas por el analizador, más las tres señales de partículas, caudal y temperatura obtenidas por los dispositivos externos.

En cuanto a las señales digitales de salida, definen los diferentes estados del analizador, y nos indican si se encuentra en modo normal de operación o en mantenimiento, si existe algún fallo, o si está en modo de calibración. Todas las señales de salida irán conectadas a las correspondientes tarjetas de la unidad de adquisición de datos con el fin de ser procesadas y almacenadas en el PC de emisiones.

Las señales analógicas de entrada proporcionan al analizador la información acerca de la concentración de partículas, el caudal y la temperatura de chimenea. De este modo podremos visualizar dichos datos en la propia pantalla del analizador. Estas mismas señales se enviarán a la DAU a través del PLC del analizador (AS009-AS011).

En cuanto a las señales digitales de entrada, nos dan la posibilidad de realizar en modo remoto una calibración automática del analizador, o ponerlo en modo mantenimiento. También podremos activar el modo mantenimiento de manera mecánica a través de un interruptor externo.

*La asignación de canales en cada una de las tarjetas se describe en los planos anexos con las siguientes referencias: MPC007 (SLOT1), MPC008 (SLOT2), MPC009 (SLOT3), MPC010 (SLOT4) y MPC011 (SLOT5).*

Mostramos a continuación la distribución de señales digitales en los medidores de caudal y partículas. Al igual que en el caso del analizador, el esquema se ha realizado en base a las especificaciones de los modelos de dispositivos elegidos, los cuales conoceremos con mayor detalle en posteriores capítulos.

Señal	Tipo	E/S	Dispositivo	Pines conexión equipo	Código de señal
<b>Modo Mantenimiento</b>	Digital	Salida	Opacímetro	4, 5 y 6	DS004
<b>Fallo Funcionamiento</b>	Digital	Salida	Opacímetro	1, 2 y 3	DS005
<b>Ciclo de Calibración</b>	Digital	Salida	Opacímetro	7, 8 y 9	DS006
<b>Modo Mantenimiento</b>	Digital	Salida	Caudalímetro	1, 2 y 3	DS007
<b>Fallo Funcionamiento</b>	Digital	Salida	Caudalímetro	4, 5 y 6	DS008
<b>Ciclo de Calibración</b>	Digital	Salida	Caudalímetro	7, 8 y 9	DS009
<b>Petición calibración</b>	Digital	Entrada	Opacímetro	16 y 18 (GND)	DE004
<b>Mant. remoto</b>	Digital	Entrada	Opacímetro	17 y 18 (GND)	DE005
<b>Mant. switch</b>	Digital	Entrada	Opacímetro	19 y 21 (GND)	DE006
<b>Petición calibración</b>	Digital	Entrada	Caudalímetro	16 y 18 (GND)	DE007
<b>Mant. remoto</b>	Digital	Entrada	Caudalímetro	17 y 18 (GND)	DE008
<b>Mant. switch</b>	Digital	Entrada	Caudalímetro	19 y 21 (GND)	DE009

Las señales digitales de los medidores de caudal y opacidad irán directamente conectadas a la DAU, no así las analógicas, que irán conectadas al PLC del analizador con el fin de poder visualizar los datos en su pantalla junto con el resto de componentes.

*La asignación de canales en los dispositivos se describe en los planos anexos con las referencias siguientes: MPC012 (opacímetro) y MPC013 (caudalímetro).*

#### *Foco de emisiones del molino de cemento*

Las señales en el foco serán las siguientes:

Señal	Tipo	E/S	Dispositivo	Pines conexión equipo	Código de señal
<b>Partículas</b>	Analógica	Salida	Opacímetro	22, 23 y 24 (GND)	AS012
<b>Caudal</b>	Analógica	Salida	Caudalímetro	22, 23 y 24 (GND)	AS013
<b>Temp. (módulo exp)</b>	Analógica	Salida	Caudalímetro	1,2 y 3 (GND)	AS014
<b>Modo Mant.</b>	Digital	Salida	Opacímetro	4, 5 y 6	DS010
<b>Fallo Funcionamiento</b>	Digital	Salida	Opacímetro	1, 2 y 3	DS011
<b>Ciclo de Calibración</b>	Digital	Salida	Opacímetro	7, 8 y 9	DS012
<b>Modo Mant.</b>	Digital	Salida	Caudalímetro	1, 2 y 3	DS013
<b>Fallo Funcionamiento</b>	Digital	Salida	Caudalímetro	4, 5 y 6	DS014
<b>Ciclo de Calibración</b>	Digital	Salida	Caudalímetro	7, 8 y 9	DS015
<b>Petición calibración</b>	Digital	Entrada	Opacímetro	16 y 18 (GND)	DE010
<b>Mant. remoto</b>	Digital	Entrada	Opacímetro	17 y 18 (GND)	DE011
<b>Mant. Conmutador</b>	Digital	Entrada	Opacímetro	19 y 21 (GND)	DE012
<b>Petición calibración</b>	Digital	Entrada	Caudalímetro	16 y 18 (GND)	DE013
<b>Mant. Remoto</b>	Digital	Entrada	Caudalímetro	17 y 18 (GND)	DE014
<b>Mant. Conmutador</b>	Digital	Entrada	Caudalímetro	19 y 21 (GND)	DE015

Las señales analógicas de salida se corresponden con las componentes que deseamos medir: partículas, caudal y temperatura del foco del molino de cemento.

En relación a las señales digitales de salida, nos indicarán si el dispositivo en cuestión se encuentra en modo normal de operación o en mantenimiento, si existe algún fallo, o si está en modo de calibración.

Finalmente a través de las señales digitales de entrada podremos realizar una calibración automática del analizador (en modo remoto) y ponerlo en modo mantenimiento (en modo remoto, o manual utilizando un conmutador externo).

*La asignación de canales en los dispositivos se describe en los planos anexos con las siguientes referencias: MPC014 (opacímetro) y MPC015 (caudalímetro).*

#### *Foco de emisiones del molino de carbón*

Las señales del foco serán las siguientes:

Señal	Tipo	E/S	Dispositivo	Pines conexión equipo	Código de señal
<b>Partículas</b>	Analógica	Salida	Opacímetro	22, 23 y 24 (GND)	AS015
<b>Caudal</b>	Analógica	Salida	Caudalímetro	22, 23 y 24 (GND)	AS016
<b>Temp. (módulo exp)</b>	Analógica	Salida	Caudalímetro	1,2 y 3 (GND)	AS017
<b>Modo Mant.</b>	Digital	Salida	Opacímetro	4, 5 y 6	DS016
<b>Fallo Funcionamiento</b>	Digital	Salida	Opacímetro	1, 2 y 3	DS017
<b>Ciclo de Calibración</b>	Digital	Salida	Opacímetro	7, 8 y 9	DS018
<b>Modo Mant.</b>	Digital	Salida	Caudalímetro	1, 2 y 3	DS019
<b>Fallo Funcionamiento</b>	Digital	Salida	Caudalímetro	4, 5 y 6	DS020
<b>Ciclo de Calibración</b>	Digital	Salida	Caudalímetro	7, 8 y 9	DS021
<b>Petición calibración</b>	Digital	Entrada	Opacímetro	16 y 18 (GND)	DE016
<b>Mant. remoto</b>	Digital	Entrada	Opacímetro	17 y 18 (GND)	DE017
<b>Mant. Conmutador</b>	Digital	Entrada	Opacímetro	19 y 21 (GND)	DE018
<b>Petición calibración</b>	Digital	Entrada	Caudalímetro	16 y 18 (GND)	DE019
<b>Mant. Remoto</b>	Digital	Entrada	Caudalímetro	17 y 18 (GND)	DE020
<b>Mant. Conmutador</b>	Digital	Entrada	Caudalímetro	19 y 21 (GND)	DE021

Las señales analógicas de salida se corresponden con las componentes que deseamos medir: partículas, caudal y temperatura del foco del molino de carbón.

Las señales digitales de salida nos indicarán si el dispositivo en cuestión se encuentra en modo normal de operación o en mantenimiento, si existe algún fallo, o si está en modo de calibración.

Por último, a través de las señales digitales de entrada podremos realizar una calibración automática del analizador (en modo remoto) y ponerlo en modo mantenimiento (en modo remoto, o manual utilizando un conmutador externo).

*La asignación de canales en los dispositivos se describe en los planos anexos con las siguientes referencias: MPC016 (opacímetro) y MPC017 (caudalímetro).*

### **3.4.- Señales analógicas y digitales de E/S en la unidad de adquisición de datos**

La unidad de adquisición de datos (DAU) posee 16 ranuras para la ubicación de las diferentes tarjetas que necesitemos conectar. En caso de corte de comunicaciones con el PC de emisiones, posee un *buffer* de memoria que permite almacenar los datos minutales de 16 entradas analógicas durante 7 días. Al reestablecerse la comunicación, el contenido de la memoria se transmite al PC, y no perdemos por tanto los datos registrados. La comunicación con el PC se establecerá a través del puerto RS232.

Las compactas dimensiones de la DAU nos permiten instalarla en un armario de 19", siendo su peso estándar de unos 12 kilos.

Vamos a definir el número y tipo de señales que tiene que recibir la DAU, y de esta manera determinar el número y tipo de tarjetas (A/D, E/S) que vamos a necesitar.

#### *Foco de emisiones del horno*

El PLC enviará señales analógicas y digitales a la DAU para emitir los valores de concentraciones de gases, caudal, temperatura y partículas, además de informar del estado de funcionamiento del analizador (mantenimiento, fallo, calibración):

- 11 señales analógicas de salida (AS001-AS011), las cuales irán conectadas a los canales de una tarjeta de señales analógicas de entrada en la DAU.
- 3 señales digitales de salida (DS001-DS003), que irán conectadas a los canales de una tarjeta de señales digitales de entrada en la DAU.

Los medidores de caudal y partículas enviarán a la DAU señales digitales para indicar sus estados de funcionamiento (mantenimiento, fallo, calibración):

- 3 señales digitales de salida (DS004-DS006) del medidor de partículas a la tarjeta de entradas digitales de la DAU.
- 3 señales digitales de salida (DS007-DS009) del medidor de caudal a la tarjeta de entradas digitales de la DAU.

La DAU enviará señales digitales al PLC del analizador y a los medidores de caudal y partículas para controlar los estados de funcionamiento:

- 2 señales digitales a la entrada del PLC (DE001 y DE002) desde la tarjeta de salidas digitales de la DAU.
- 2 señales digitales al medidor de partículas (DE004 y DE005) desde la tarjeta de salidas digitales de la DAU.
- 2 señales digitales al medidor de caudal (DE007 y DE008) desde la tarjeta de salidas digitales de la DAU.

Para establecer en modo local el modo de funcionamiento del equipo (medida o mantenimiento), utilizaremos un interruptor mecánico para cada dispositivo, que irá cableado a la correspondiente entrada digital (DE003, DE006 y DE009).

En resumen, para el foco del horno, la DAU deberá disponer de los siguientes canales:

- 11 entradas analógicas.
- 9 entradas digitales.
- 6 salidas digitales.

#### *Foco de emisiones del molino de cemento*

Los dispositivos de medición de caudal y partículas del molino de cemento enviarán señales analógicas y digitales a la DAU para emitir los valores de partículas, caudal y temperatura, además de informar de sus estados de funcionamiento (mantenimiento, fallo, calibración):

- 3 señales analógicas de salida (AS012-AS014), las cuales irán conectadas a los canales de una tarjeta de señales analógicas de entrada en la DAU.
- 6 señales digitales de salida (DS010-DS015), que irán conectadas a los canales de una tarjeta de señales digitales de entrada en la DAU.

La DAU enviará señales digitales a los medidores de caudal y partículas para controlar los estados de funcionamiento:

- 2 señales digitales al medidor de partículas (DE010 y DE011) desde la tarjeta de salidas digitales de la DAU.
- 2 señales digitales al medidor de caudal (DE013 y DE014) desde la tarjeta de salidas digitales de la DAU.

Para establecer en modo local el modo de funcionamiento del equipo (medida o mantenimiento), utilizaremos un interruptor mecánico para cada dispositivo, que irá cableado a la correspondiente entrada digital (DE012 y DE015).

En resumen, para el foco del molino de cemento la DAU deberá disponer de los siguientes canales:

- 3 entradas analógicas.
- 6 entradas digitales.
- 4 salidas digitales.

### *Foco de emisiones del molino de carbón*

Los dispositivos de medición de caudal y partículas del molino de carbón enviarán señales analógicas y digitales a la DAU para emitir los valores de partículas, caudal y temperatura, además de informar de sus estados de funcionamiento (mantenimiento, fallo, calibración):

- 3 señales analógicas de salida (AS015-AS017), las cuales irán conectadas a los canales de una tarjeta de señales analógicas de entrada en la DAU.
- 6 señales digitales de salida (DS016-DS021), que irán conectadas a los canales de una tarjeta de señales digitales de entrada en la DAU.

La DAU enviará señales digitales a los medidores de caudal y partículas para controlar los estados de funcionamiento:

- 2 señales digitales al medidor de partículas (DE016 y DE017) desde la tarjeta de salidas digitales de la DAU.
- 2 señales digitales al medidor de caudal (DE019 y DE020) desde la tarjeta de salidas digitales de la DAU.

Para establecer en modo local el modo de funcionamiento del equipo (medida o mantenimiento), utilizaremos un interruptor mecánico para cada dispositivo, que irá cableado a la correspondiente entrada digital (DE018 y DE021).

En resumen, para el foco del molino de carbón la DAU deberá disponer de los siguientes canales:

- 3 entradas analógicas.
- 6 entradas digitales.
- 4 salidas digitales.

### Asignación y ubicación de las tarjetas de comunicaciones en la DAU

Haciendo un recuento de las señales calculadas en cada foco, obtenemos los siguientes resultados:

FOCO	Sal. Analog.	Ent. Analog.	Sal. Dig.	Ent. Dig.
<b>HORNO</b>	0	11	6	9
<b>MOLINO CEMENTO</b>	0	3	4	6
<b>MOLINO CARBÓN</b>	0	3	4	6
<b>TOTAL:</b>	<b>0</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>21</b>

Las tarjetas de señales analógicas de entrada que conectamos a la DAU disponen de un máximo de 16 canales, por tanto necesitaremos 2 tarjetas que ocuparán las ranuras de expansión SLOT1 (16 canales) y SLOT2 (1 canal).

Las tarjetas de señales digitales de salida que conectamos a la DAU disponen de un máximo de 12 canales, por tanto necesitaremos 2 tarjetas que ocuparán las ranuras de expansión SLOT3 (12 canales) y SLOT4 (2 canales).

Las tarjetas de señales digitales de entrada que conectamos a la DAU disponen de un máximo de 32 canales, por tanto necesitaremos 1 tarjeta que ocupará la ranura de expansión SLOT5 (21 canales).

*El esquema con la disposición de las tarjetas en la DAU queda definido en el plano anexo con referencia MPC001.*

### Asignación de canales en las tarjetas de comunicaciones de la DAU

Mostramos a continuación la relación de todas las señales en la DAU:

Señal	Dispositivo / Ubicación	Tipo	E/S	Nº tarjeta	Canal	Código de señal
NO2	Analizador gases Horno	Analógica	Entrada	1	1	AS001
NO	Analizador gases Horno	Analógica	Entrada	1	2	AS002
SO2	Analizador gases Horno	Analógica	Entrada	1	3	AS003
HCl	Analizador gases Horno	Analógica	Entrada	1	4	AS004
CO	Analizador gases Horno	Analógica	Entrada	1	5	AS005
CO2	Analizador gases Horno	Analógica	Entrada	1	6	AS006
H2O	Analizador gases Horno	Analógica	Entrada	1	7	AS007
O2	Analizador gases Horno	Analógica	Entrada	1	8	AS008
Partículas	Opacímetro Horno	Analógica	Entrada	1	9	AS009
Caudal	Caudalímetro Horno	Analógica	Entrada	1	10	AS010
Temperatura	Caudalímetro Horno	Analógica	Entrada	1	11	AS011
Partículas	Opacímetro M.Cemento	Analógica	Entrada	1	12	AS012
Caudal	Caudalímetro M.Cemento	Analógica	Entrada	1	13	AS013

Temperatura	Caudalímetro M.Cemento	Analógica	Entrada	1	14	AS014
Partículas	Opacímetro M.Carbón	Analógica	Entrada	1	15	AS015
Caudal	Caudalímetro M.Carbón	Analógica	Entrada	1	16	AS016
Temperatura	Caudalímetro M.Carbón	Analógica	Entrada	2	1	AS017
Petición Calibración	Analizador gases Horno	Digital	Salida	3	1	DE001
Mant. Remoto	Analizador gases Horno	Digital	Salida	3	2	DE002
Petición Calibración	Opacímetro Horno	Digital	Salida	3	3	DE004
Mant. Remoto	Opacímetro Horno	Digital	Salida	3	4	DE005
Petición Calibración	Caudalímetro Horno	Digital	Salida	3	5	DE007
Mant. Remoto	Caudalímetro Horno	Digital	Salida	3	6	DE008
Petición Calibración	Opacímetro M.Cemento	Digital	Salida	3	7	DE010
Mant. Remoto	Opacímetro M.Cemento	Digital	Salida	3	8	DE011
Petición Calibración	Caudalímetro M.Cemento	Digital	Salida	3	9	DE013
Mant. Remoto	Caudalímetro M.Cemento	Digital	Salida	3	10	DE014
Petición Calibración	Opacímetro M.Carbón	Digital	Salida	3	11	DE016
Mant. Remoto	Opacímetro M.Carbón	Digital	Salida	3	12	DE017
Petición Calibración	Caudalímetro M. Carbón	Digital	Salida	4	1	DE019
Mant. Remoto	Caudalímetro M. Carbón	Digital	Salida	4	2	DE020
Modo Mantenimiento	Analizador gases Horno	Digital	Entrada	5	1	DS001
Fallo Analizador	Analizador gases Horno	Digital	Entrada	5	2	DS002
Ciclo Calibración	Analizador gases Horno	Digital	Entrada	5	3	DS003
Modo Mantenimiento	Opacímetro Horno	Digital	Entrada	5	4	DS004
Fallo Funcionamiento	Opacímetro Horno	Digital	Entrada	5	5	DS005
Ciclo Calibración	Opacímetro Horno	Digital	Entrada	5	6	DS006
Modo Mantenimiento	Caudalímetro Horno	Digital	Entrada	5	7	DS007
Fallo Funcionamiento	Caudalímetro Horno	Digital	Entrada	5	8	DS008
Ciclo Calibración	Caudalímetro Horno	Digital	Entrada	5	9	DS009
Modo Mantenimiento	Opacímetro M.Cemento	Digital	Entrada	5	10	DS010
Fallo Funcionamiento	Opacímetro M.Cemento	Digital	Entrada	5	11	DS011
Ciclo Calibración	Opacímetro M.Cemento	Digital	Entrada	5	12	DS012
Modo Mantenimiento	Caudalímetro M.Cemento	Digital	Entrada	5	13	DS013
Fallo Funcionamiento	Caudalímetro M.Cemento	Digital	Entrada	5	14	DS014
Ciclo Calibración	Caudalímetro M.Cemento	Digital	Entrada	5	15	DS015
Modo Mantenimiento	Opacímetro M.Carbón	Digital	Entrada	5	16	DS016
Fallo Funcionamiento	Opacímetro M.Carbón	Digital	Entrada	5	17	DS017
Ciclo Calibración	Opacímetro M.Carbón	Digital	Entrada	5	18	DS018
Modo Mantenimiento	Caudalímetro M.Carbón	Digital	Entrada	5	19	DS019
Fallo Funcionamiento	Caudalímetro M.Carbón	Digital	Entrada	5	20	DS020
Ciclo Calibración	Caudalímetro M.Carbón	Digital	Entrada	5	21	DS021

*La asignación de canales en cada una de las tarjetas se describe en los planos anexos con las siguientes referencias: MPC002 (SLOT1), MPC003 (SLOT2), MPC004 (SLOT3), MPC005 (SLOT4) y MPC006 (SLOT5).*

### 3.5.- Estructura de interconexión del sistema

Como hemos indicado anteriormente, la DAU es un dispositivo interfaz entre los diferentes equipos de medida y el PC de emisiones (donde se encuentra el software de gestión). Se comunica con los diferentes dispositivos con el fin de enviar y recibir señales analógicas y digitales.

En el plano anexo con referencia *MPC018* podemos observar de manera general la estructura del sistema a nivel de interconexión:

- De los dispositivos con la unidad de adquisición de datos (señales A/D de E/S).
- De la DAU con el PC de emisiones (software de adquisición y tratamiento de datos) a través del puerto RS232.
- Del PC de emisiones con el Departamento de Medio Ambiente, a quién debemos enviar toda la información de la planta. Esta conexión se realiza a través de una línea dedicada vía módem.

## Capítulo 4: Analizador de gases MCS100E

---

### 4.1.- Información general

#### *Uso previsto*

El analizador MCS 100 E es un dispositivo que se utiliza para la medición selectiva y continuada de partículas nocivas en los gases de escape de las plantas industriales sujetas a la normativa medioambiental.

Otro tipo de aplicación de gran utilidad sería el control eficiente de procesos en los entornos industriales en base a los datos de concentración registrados en determinados componentes gaseosos.



#### *Conformidades*

Este equipo ha sido diseñado y probado con el propósito de cumplir las siguientes directivas de la CEE y normas EN:

- Directiva CEE NSP 73/23/EEC
- Directiva CEE EMV 89/336/EEC  
EN 61010-1, Normas de seguridad para equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio.
- Norma genérica EMC EN 61326-1, equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio.

#### *Protección eléctrica*

*Aislamiento:* Clase de protección 1 según EN 61010-1.

*Categoría de instalación:* Este equipo puede resistir sobretensiones transitorias de acuerdo con la Categoría de Instalación II definida en EN 61010-1.

*Grado de contaminación:* Este equipo funciona con seguridad en entornos que contengan partículas no conductivas y condensación hasta el Grado de Contaminación 2 definido en EN 61010-1.

*Alimentación eléctrica:* El cableado destinado a la alimentación eléctrica del sistema debe estar instalado de acuerdo con la normativa correspondiente y protegido mediante fusibles.

#### *Condiciones de funcionamiento*

El equipo funcionará correctamente en las siguientes condiciones:

- En salas donde la temperatura ambiente se encuentre entre +5 °C y +35 °C y la humedad ambiental relativa será como máximo del 80% sin condensación.
- Evitar que el equipo sea golpeado y esté sujeto a vibraciones.

#### *Condiciones de almacenamiento*

El equipo puede ser almacenado de forma segura en las siguientes condiciones:

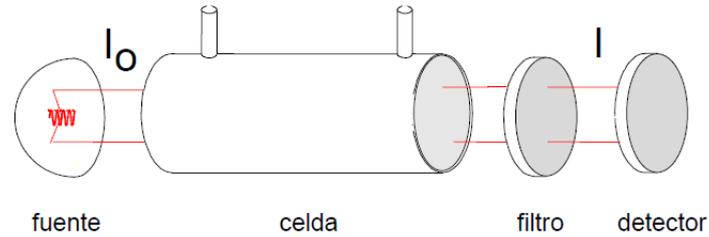
- La temperatura ambiente se encuentre entre -10 °C y +80 °C y la humedad ambiental relativa sea como máximo del 80% sin condensación.

### **4.2.- Descripción del equipo**

El analizador infrarrojo MCS 100 E es un analizador multi-componente montado de forma compacta en un armario de 19“, siendo su peso de aproximadamente 100 kilogramos. Su principal característica: es capaz de medir hasta ocho componentes diferentes de gases (CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, H<sub>2</sub>O y O<sub>2</sub>).

#### *Principio de medición*

El analizador dispone de un fotómetro de infrarrojos de un solo haz cuya luz se propaga a lo largo de una celda de medición (donde se encontrará la muestra de gases) que contiene unos espejos en sus dos extremos los cuales provocan una serie de reflexiones de tal manera que la luz recorre una distancia fija. Al abandonar la celda, el haz de luz pasa por una serie de filtros de medición y referencia hasta llegar al detector.



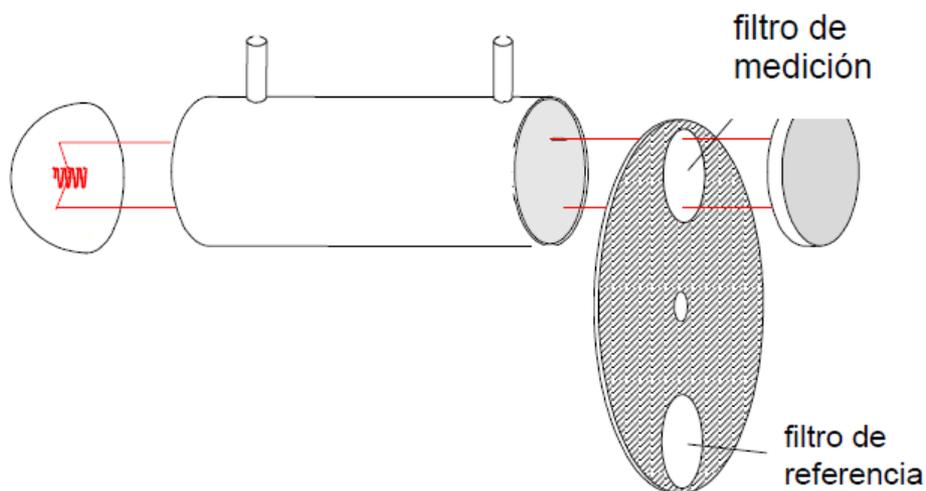
Para determinar las concentraciones por métodos fotométricos el MCS 100 E se basa en la ley de Lambert-Beer:

$$A = \log_{10} (I_0 / I) = e * c * d$$

*A = Atenuación de la radiación al pasar por el componente medido (absorbancia)*  
*I<sub>0</sub> = Intensidad de la radiación que pasa por el sistema de medición sin ser atenuada*  
*I = Intensidad de la radiación que es atenuada por el componente medido*

*e = Coeficiente de absorbancia*  
*c = Concentración del componente medido*  
*d = Longitud de la trayectoria*

Se calculan los valores de la intensidad del haz de luz, **I<sub>0</sub>** e **I**, utilizando los siguientes filtros:



Los rangos espectrales se seleccionan interponiendo alternativamente los filtros de medición (I) y el filtro de referencia (I<sub>0</sub>). Una vez el sistema determina los valores de intensidad, calcula el valor de la absorbancia (A).

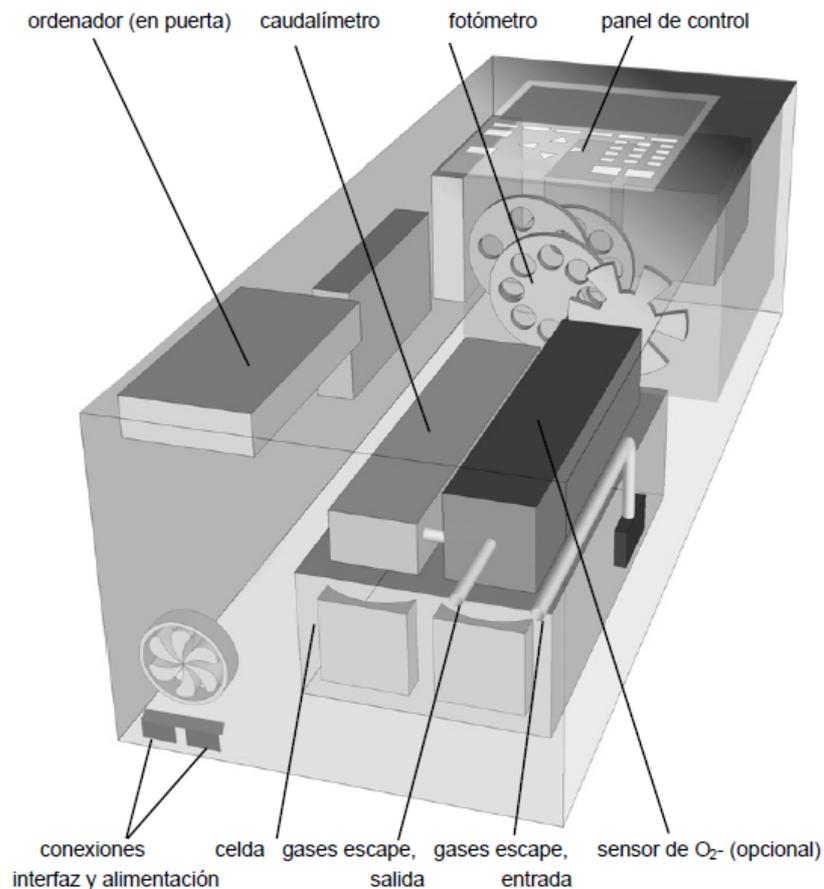
Conociendo la distancia que recorre el haz de luz en la celda de medición (su valor es de 6,36 metros) y con el dato del coeficiente de absorbancia del componente que deseamos

medir (por ejemplo el SO<sub>2</sub>), se determina el valor de concentración de dicho componente según la anterior ecuación de Lambert-Beer.

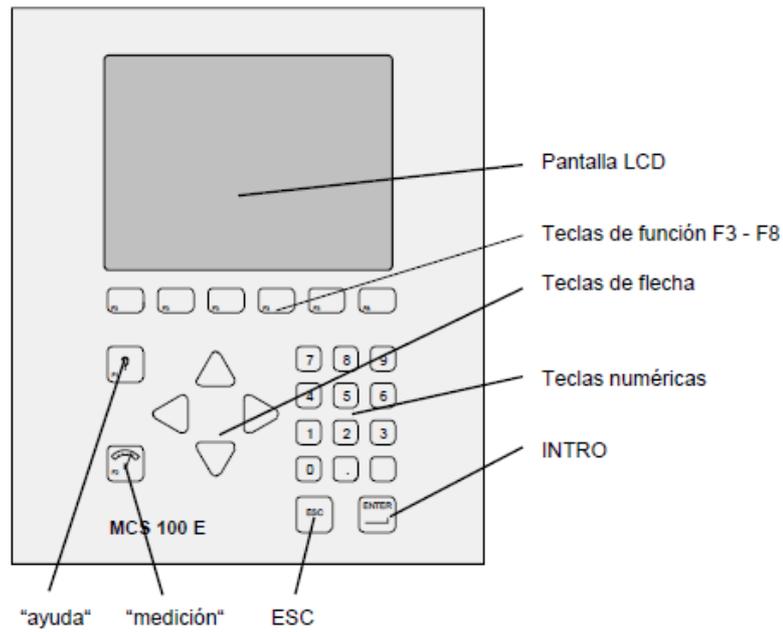
### Componentes

El equipo está básicamente formado por los siguientes elementos:

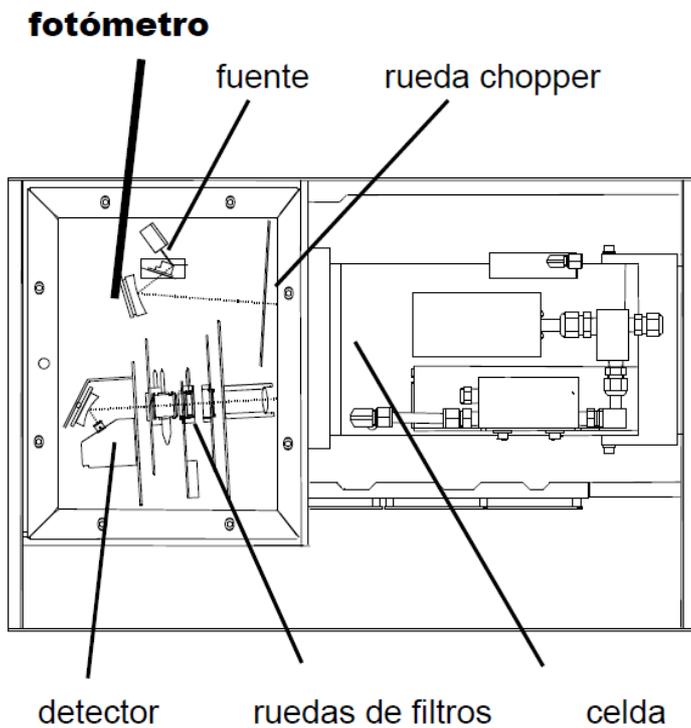
- CPU y placas electrónicas (fuentes de alimentación, controles de temperatura, relés, comunicaciones, etc).
- Celda de medición.
- Fotómetro.
- Caudalímetro.
- Sensor de O<sub>2</sub> (sonda lambda).
- Panel LCD.
- Teclado.

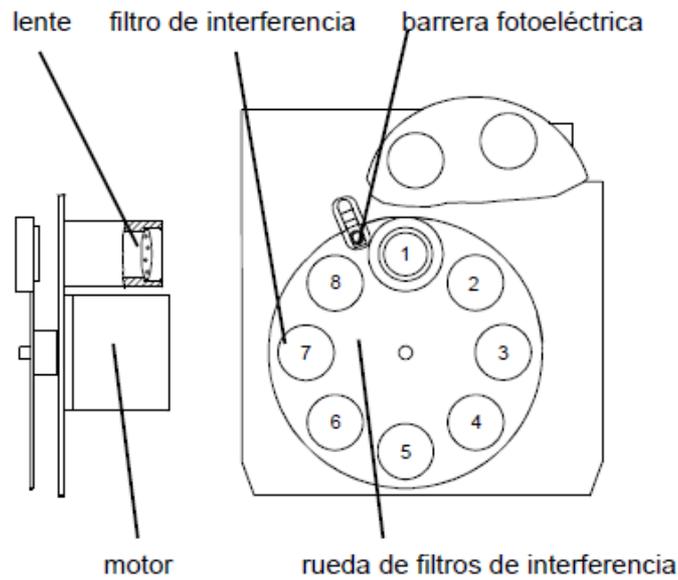


A través de la pantalla LCD podremos ver en tiempo real el valor de las concentraciones de los diferentes gases, así como acceder a los menús de configuración del equipo.



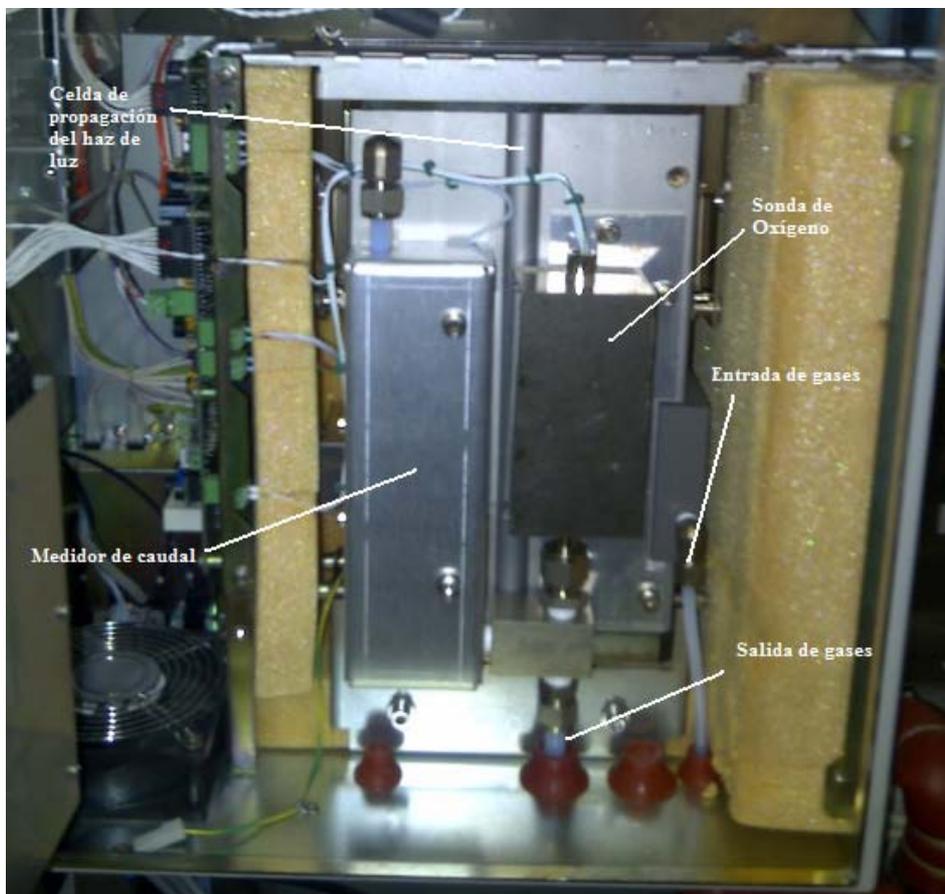
En cuanto al fotómetro, está compuesto por una fuente de SiC (Carburo de Silicio, alta energía emisión en la banda infrarroja), rueda chopper, rueda de filtros, celda de propagación del haz y un detector (de tipo PLC con preamplificador).





Posee una rueda de filtros de interferencia capaz de albergar hasta ocho filtros, por tanto podremos medir como máximo ocho componentes.

En la siguiente imagen podemos observar el interior del analizador:



En la parte inferior derecha se encuentra el puerto de entrada de gases al equipo. Seguidamente nos encontramos con un filtro, cuyo principal cometido es impedir que las partículas sólidas procedentes de la chimenea entren en la celda de medición del equipo, ya que podrían contaminar los espejos interiores y falsear de este modo las medidas obtenidas.

Tras el filtro está el caudalímetro, que nos indica el flujo de muestra que está llegando al analizador. Para que la muestra sea representativa, el caudal deberá ser como mínimo de unos 300 l/h. Se dispone también de una sonda de Oxígeno que nos indica la concentración de O<sub>2</sub> en la chimenea. Finalmente en la celda de medida se introduce la muestra de gas filtrada, libre de partículas, y es donde el haz de luz incide sobre las partículas de los diferentes componentes gaseosos. En la salida de gases se evacúa la muestra contenida en la celda, de tal modo que el flujo de muestra en el interior de ella es continuo.

En cuanto al software, tiene una serie de programas integrados que nos permiten realizar, entre otras funciones, los ajustes y calibraciones internas, controlar la toma de muestras, realizar purgas con aire de instrumentos, interactuar con módulos de entrada/salida (digitales y analógicos). A través de sus puertos podemos también conectar diversos dispositivos periféricos (PC, Impresora, Teclado, Sistema Adquisición de Datos).

#### **4.3.- Instalación y puesta en servicio**

El equipo deberá instalarse en una sala donde la temperatura y la humedad se encuentren dentro de los requisitos indicados previamente en las condiciones de funcionamiento. La zona donde se encuentre instalado no deberá presentar vibraciones, y deberá soportar el peso del equipo (unos 100 kilos). No deberán bloquearse las zonas de ventilación del armario, y se tendrá que procurar dejar un espacio mínimo de 5 centímetros alrededor del equipo para garantizar una buena disipación de calor. Con el fin de facilitar las tareas de mantenimiento será conveniente mantener limpia la sala.

Una vez decidido el lugar de ubicación del analizador instalaremos los siguientes componentes:

- Los cables de alimentación.
- El cableado de señales de entrada y salida (analógicas y digitales).
- Las botellas patrón certificadas para la calibración de los diferentes componentes.

- La línea calefactada con la muestra de gases.

Tras instalar el cableado de alimentación, podemos conectar el analizador para que vaya tomando temperatura la cámara de acondicionamiento de muestras. El equipo tiene un período de calentamiento de unas 4 horas, durante este tiempo es fundamental no tomar muestras de gas, ya que los valores medidos no serán correctos. Por tanto, la manguera de entrada de muestra permanecerá desconectada.

A la hora de realizar el conexionado de la manguera de entrada de muestra, tenemos que asegurarnos de que la bomba de extracción se encuentra desconectada. A continuación comprobaremos que la manguera no se encuentra doblada ni obstruida en su interior, realizando una purga de la línea con aire de instrumentos a alta presión (unos 3 bares).

Una vez hayamos comprobado la línea de muestreo, conectaremos la resistencia calefactora de la línea (la que garantiza que la temperatura es constante en su interior) a la alimentación, y también el termopar de la línea al controlador de temperatura. En la programación del controlador, cuando la temperatura de la línea es inferior a 170° se activa la resistencia calefactora, y cuando es superior a 180° se desactiva.

Cuando la línea alcanza la temperatura de consigna, puede ser conectada a la bomba de extracción de muestra, y la bomba a la entrada del analizador. Debido a que los vapores o gases emitidos por el sistema pueden contener componentes tóxicos o irritantes, antes de conectar la bomba, nos aseguraremos de que la salida de gases del analizador se encuentra conectada a un escape de salida para evacuar los gases al exterior de la sala o a un extractor. Comprobaremos previamente que dicho sistema de evacuación no se encuentra obstruido, aplicando aire de instrumentos a la entrada (purga). Finalmente se activará la bomba y el sistema comenzará a realizar las mediciones.

En cuanto a la conexión de las botellas patrón utilizadas para realizar las verificaciones y calibraciones, deberán instalarse lo más próximas al equipo, y a ser posible, que los tubos de conexión sean de acero inoxidable. El uso de tubos de Teflón tiene un impacto negativo sobre el tiempo de respuesta del analizador, ya que ciertos gases como el HCl tienden a “pegarse”, a reaccionar con el Teflón, provocando así un retraso en el tiempo de respuesta del analizador, y por tanto en la obtención de un dato correcto.

Cada una de las botellas patrón que se encuentren instaladas deberá disponer de su certificado oportuno, el cuál mostrará la siguiente información:

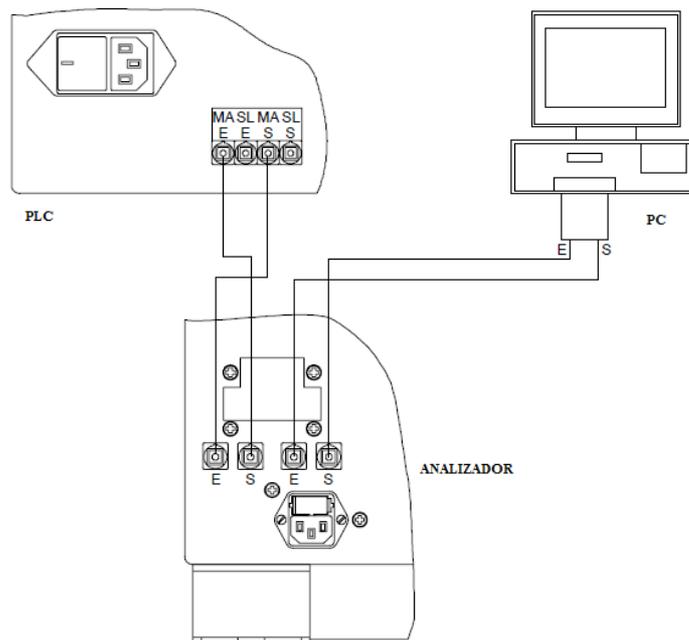
- Número de serie de la botella.
- Composición de la mezcla (componentes, concentración teórica, concentración real, y/o porcentaje).
- Fecha de fabricación.

- Fecha de caducidad.

Tras conectar las botellas al analizador, por seguridad se realizará una prueba para descartar que existan fugas a lo largo del recorrido. Una vez descartada la presencia de fugas, podemos realizar una verificación automática de los niveles de cero y *span* (valor de concentración de la botella patrón).

En el caso de tener que desconectar el equipo, se deberá purgar el interior de la celda con Nitrógeno u Oxígeno, durante al menos una hora, con el fin de que no se depositen otro tipo de gases corrosivos que pudieran dañar la superficie de los espejos internos de la celda de medición.

En cuanto al cableado de las señales de comunicaciones de entrada y salida: El analizador está conectado a un PLC a través de fibra óptica, y posteriormente las señales del PLC irán conectadas a las diferentes tarjetas (Analógicas o digitales, de entrada o salida) de una unidad de adquisición de datos (DAU). Cabe la posibilidad de enlazar el analizador directamente con un PC para visualizar los datos, pero lo más común es realizar la conexión a través de una DAU.



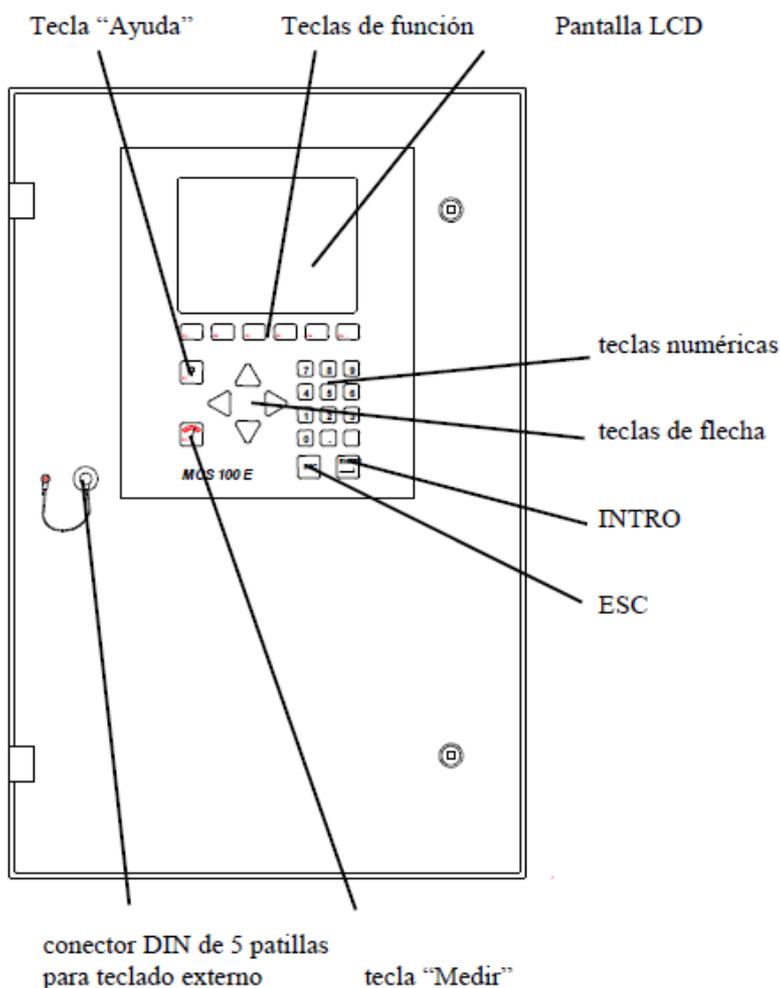
El PLC tiene una serie de tarjetas de E/S, analógicas y digitales, donde se cablearán las señales:

- Salida analógica: Valores 4-20 mA de las diferentes concentraciones de los componentes (gases) y de los dispositivos externos (caudalímetros, opacímetros, sondas de presión y temperatura, etc).

- Salida digital: Alarmas y valores de estado del analizador (mantenimiento, fallo y calibración) y de los dispositivos externos (caudalímetros, opacímetros, etc).
- Entrada analógica: Valores 4-20 mA de los dispositivos externos (opacímetros, caudalímetros, etc) cuyos datos interese representar en la pantalla del analizador.
- Entrada digital: Alarmas y valores de estado de los dispositivos externos (opacímetros, caudalímetros, etc) cuyos datos interese conocer a través de la pantalla del analizador.

#### 4.4.- Configuración

El analizador dispone de un LCD y de un teclado básico según se muestra en la siguiente figura:



Para acceder en modo local al equipo también cabe la posibilidad de conectar un teclado externo, pero es únicamente útil cuando se necesita reprogramar el equipo. Para el modo estándar de operación, el teclado básico es suficiente.

Vamos a indicar cuales son las teclas de función programadas de fábrica:

- Tecla F1 (“Ayuda”): Permite acceder al menú de ayuda. Recibiremos ayuda sobre el menú que se esté utilizando en ese momento. Pulsando ESC saldremos de la ayuda.
- Tecla F2 (“Medir”): Permite visualizar en pantalla en tiempo real los datos de concentración de los componentes, así como los datos de los dispositivos externos conectados al PLC del analizador.
- Teclas F3-F8: Se programan conforme a las necesidades del cliente. Normalmente se asigna una tecla para iniciar y parar la bomba de extracción, otra para indicar que se van a realizar tareas de mantenimiento, otra para ejecutar una verificación o una calibración automática, otra tecla para la configuración de rangos, otra para visualizar la evolución de los datos en el tiempo, etc.

La programación del equipo es bastante compleja, y se entrega al cliente con una programación ajustada a sus necesidades. Nos centraremos por tanto en describir los menús y submenús más importantes. Comenzaremos con el menú principal:

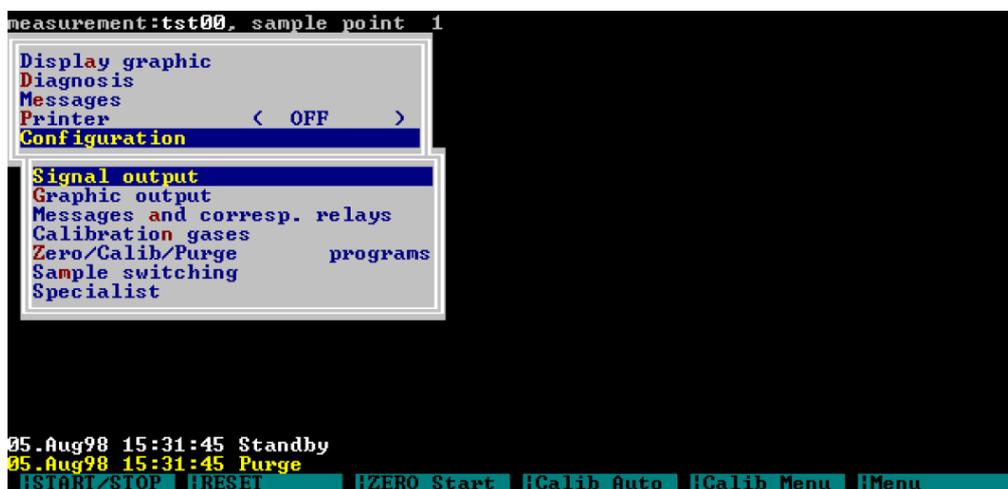


Fig.3.17: Menú principal

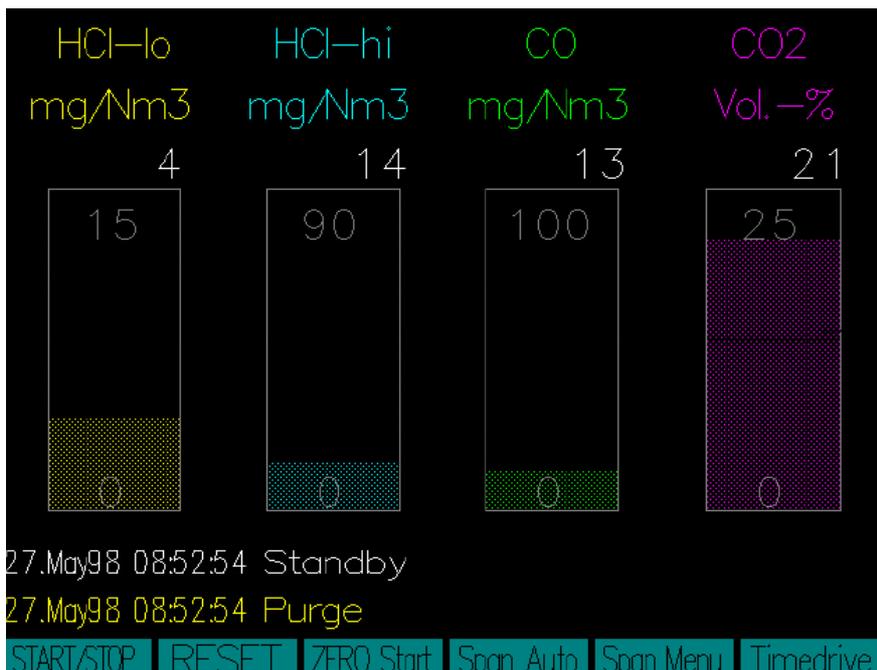
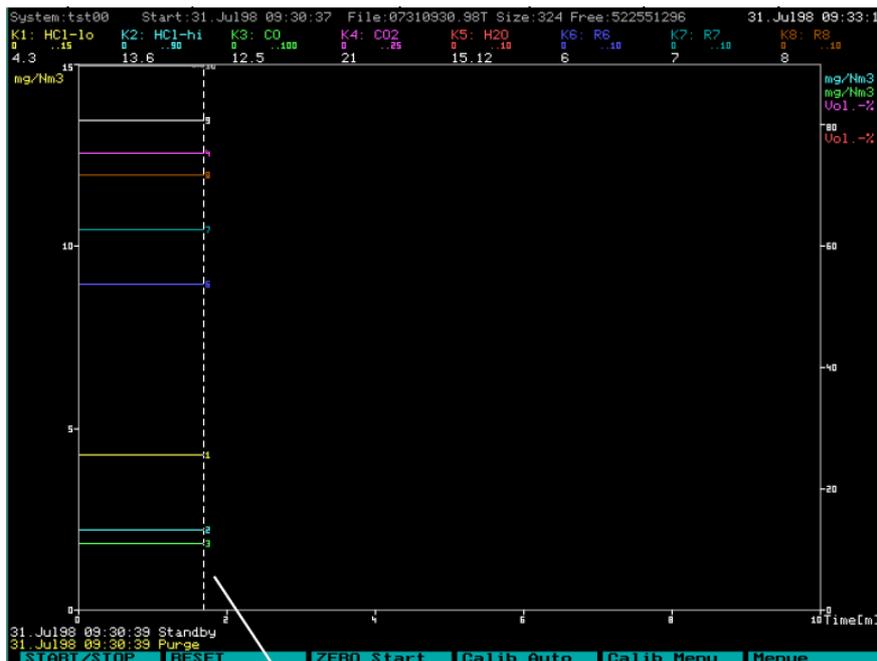
*Display Graphic:* Pulsando este botón aparece la pantalla con los valores de concentración en tiempo real.

*Diagnosis / Messages:* Nos muestran los problemas detectados por el analizador (temperaturas, presiones, caudal, etc) y los mensajes de advertencia (como pueden ser los errores en las verificaciones).

*Printer:* Tenemos la posibilidad de volcar los datos a una impresora.

*Configuration/Signal Output:* Esta opción se utiliza para configurar las salidas de las señales analógicas y los rangos de medición. Se define el número de canal, si está activado o no, el nombre del componente, las unidades de medición, el rango de medida y cómo se propagará la señal (4-20mA ó 0-20mA).

*Configuration/Graphic Output:* Podemos elegir el modo de representación de los datos, en modo de gráfico de barras o viendo la evolución de todos los valores con el tiempo.



*Configuration/Calibration gases:* Aquí se ajustan los valores para el cero y el valor patrón de concentración que se utilizará (span). Se indica el nombre del componente, el rango de medición, la concentración del gas patrón, la tolerancia que no debe ser superada (4%). Si se supera se muestra un mensaje de error en el menú principal (Messages). La deriva que se produce, tanto en el cero como en el *span*, queda almacenada y puede visualizarse en el menú principal (Diagnosis).

*Configuration/Zero/Calib/Purge Programs:* Aquí se definen los programas automáticos de calibración y de purga de la sonda. Se define la duración de los ciclos y la hora en que deben ejecutarse.

*Configuration/Specialist:* Es el modo de programación del equipo. Se requiere contraseña para evitar que el operador pueda modificar los parámetros configurados en fábrica.

#### 4.5.- Mantenimiento

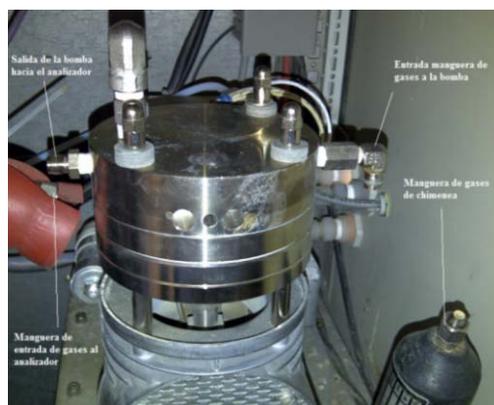
Para un correcto funcionamiento del equipo, se recomienda realizar de manera periódica (cada 3 meses) las siguientes tareas de mantenimiento:

*Inspección visual y cambio de filtros de ventilación:* Se comprobará que la ventilación en el interior del armario es la adecuada, por tanto se verificará el estado de los filtros y el funcionamiento de los ventiladores. En la parte inferior del analizador, se encuentra el filtro de entrada, el cual deberá ser reemplazado.

Del mismo modo comprobaremos si existe algún tipo de fuga en el interior del armario, en las entradas y salidas de gas del analizador, así como en los tubos que van de las botellas de gases patrón al analizador.

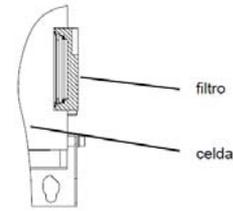


*Bomba de muestreo:* Se recomienda realizar un cambio de los diafragmas cada 3 meses, así como revisar el termopar y la resistencia de calentamiento del interior de la bomba. Debido a que la temperatura interior de la bomba es elevada (unos 180°C), al realizar el cambio de los diafragmas se puede provocar la ruptura del termopar, y por tanto se debe comprobar que el analizador registre la temperatura correctamente una vez activemos la bomba. Al



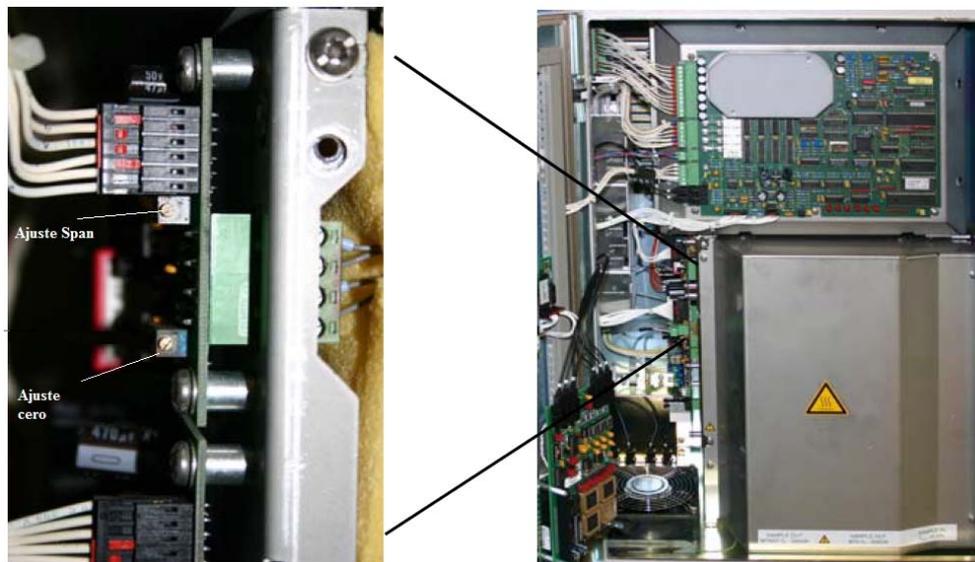
desactivar y desmontar la bomba, el termopar registrará un dato de temperatura cercana a la del ambiente, y al activar de nuevo la bomba la temperatura comenzará a subir hasta llegar a la consigna.

*Filtro de entrada de gases y juntas de silicona:* Para evitar que las partículas acumuladas obstruyan la entrada de gases deben reemplazarse el filtro de entrada. Para garantizar la estanqueidad del filtro se utiliza una junta de silicona, que deberá ser también reemplazada, ya que debido a las altas temperaturas queda deformada y no puede ser reutilizada.



*Comprobación del caudalímetro:* Comprobamos que en ausencia de entrada de gases el caudal registrado por el analizador es cero. Para ello retiramos la manguera de entrada, y taponamos la entrada de gases. Verificamos que el valor mostrado en la pantalla del analizador es cero. Si no es así, ajustamos el potenciómetro inferior (ajuste de cero) de la placa de control de caudal hasta obtener el valor cero.

A continuación comprobaremos la medición de caudal con la ayuda de un rotámetro. Ajustamos el valor de gas de entrada (aire de instrumentos) a un valor conocido, por ejemplo 300l/h y aplicamos el aire a la entrada del analizador. Comprobaremos en pantalla el valor de caudal registrado. Si se encuentra desviado, ajustamos el potenciómetro superior (ajuste de *span*) de la tarjeta de control de caudal hasta que el valor sea igual que el mostrado en el rotámetro.

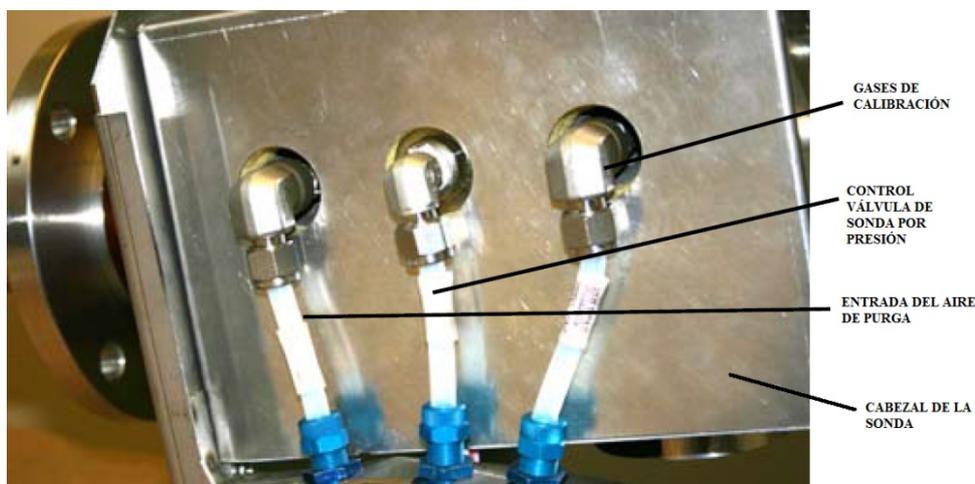


*Sustitución del filtro de sonda:* La sonda se encuentra instalada en la chimenea, en la cota del punto de muestreo. Dicho filtro se encarga de impedir que las partículas provenientes de la chimenea accedan a la línea de muestreo, por tanto para garantizar que la línea (que va de la sonda a la



entrada del analizador) no quedé obstruida, se recomienda efectuar un cambio del filtro cada 3 meses.

El analizador dispone de un sistema de purga para garantizar que la línea no se obstruya, y utiliza aire de instrumentos a alta presión para eliminar las partículas que hayan podido acceder a la línea de muestreo. Cuando se produce la purga (cuya periodicidad es programable), la bomba de extracción de muestra se desactiva, y se activa una válvula que se encuentra en la sonda, la cual impide que los gases accedan a la línea de muestreo. A continuación se activa una electroválvula ubicada en el armario del analizador que permite el flujo de aire de instrumentos hacia la chimenea. El resultado es que se produce una purga de la línea por aire a alta presión, y como consecuencia una limpieza del cabezal de la sonda.



*Verificación de los valores de cero y span (concentración botella patrón):* El analizador dispone de un sistema para la comprobación de las concentraciones de los diferentes componentes de las botellas de gases patrón.

En primer lugar se realiza una verificación de los valores cero de cada componente. Al iniciar la secuencia de comprobación del cero, la bomba de entrada de muestra queda desactivada, y se activa la electroválvula que da paso al aire de instrumentos (O<sub>2</sub> al 20.9%). El aire fluye hasta el cabezal de la sonda y regresa a través de la línea calefactada hasta el analizador. A medida que la celda de medición se va saturando con el aire de instrumentos, los valores de los componentes se van acercando a cero, hasta que se estabilizan. Los datos finales obtenidos deberán registrarse en la ficha de verificación, tal y como indica la normativa.

A continuación se realiza la comprobación con gases patrón. Cada botella irá conectada a una electroválvula de control, de tal manera que cuando se active la válvula correspondiente, el gas de esa botella fluirá hasta el analizador. Tras un tiempo de estabilización (saturación de la celda), el analizador mostrará la concentración de los gases incluidos en la botella patrón. Los datos finales obtenidos deberán registrarse en la ficha de verificación, tal y como indica la normativa.

Como no todos los gases se pueden contener en una sola botella, dispondremos de unas cinco botellas para comprobar ocho componentes diferentes, por tanto esta última fase de verificación se realizará de manera secuencial. Tendremos cinco electroválvulas de control, una permanecerá abierta y las otras cuatro cerradas. Fluirán los gases contenidos en esa botella hasta alcanzar la estabilización en la celda (tiempo programado que puede ser modificado). Así sucesivamente hasta completar los cinco ciclos.

Un ejemplo de ficha de verificación sería el siguiente:

Componente	Val. Cero	Cal. Cero	Val. Span	Cal. Span	Dif.	Rango	Deriva %	Conforme
CO	0	0,00	1780,00	1615,00	-165,00	3000,00	-5,50	NO
NO2	0	0,10	188,00	186,20	-1,80	300,00	-0,60	OK
NO	0	0,00	927,00	912,00	-15,00	1500,00	-1,00	OK
SO2	0	0,00	590,00	590,00	0,00	1500,00	0,00	OK
CO2	0	0,00	15,17	15,19	0,02	20,00	0,10	OK
O2	2,03	2,14	21,38	22,05	0,67	25,00	2,68	OK
HCl	0	-0,13	12,90	7,49	-5,41	30,00	-18,03	NO

Se realizan las comprobaciones de cero y *span* y se calcula la deriva de los valores respecto a la concentración de las botellas. Si la deriva supera el 4%, el dato obtenido no será conforme y deberá recalibrarse dicho componente.

*Comprobación de datos:* Por último se verificará la correspondencia entre los datos reflejados en la pantalla del analizador y los recibidos por el software de adquisición de datos ubicado en la sala de control de la planta.

## Capítulo 5: Medidor de caudal FLOWSIC100

---

### 5.1.- Información general

#### *Uso previsto*

El medidor de caudal FLOWSIC100 es un dispositivo utilizado en entornos industriales para medir de manera continuada la velocidad y la temperatura de los gases en un foco de emisión (control de emisiones) o en un conducto (control de procesos).



El dispositivo estará instalado directamente en el conducto de transporte de gas (foco de emisión). En instalaciones con un potencial reducido de peligro (sin riesgo para la salud, a presión ambiente y a bajas temperaturas) se puede realizar el montaje o desmontaje del equipo mientras la planta se encuentra en funcionamiento, siempre que se respeten las normativas vigentes e instrucciones de seguridad de la planta, y se adopten todas las medidas de protección necesarias y apropiadas.

#### *Conformidades*

La ejecución técnica del dispositivo cumple las siguientes directivas de la CE y las normas EN:

- Directiva CE: directiva de baja tensión.
- Directiva CE: CEM (compatibilidad electromagnética)
- Normas EN aplicadas:
  - EN 61010-1, Normas de seguridad para equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio.
  - Norma genérica EMC EN 61326-1, equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio.
  - EN 14181, Aseguramiento de calidad de los Sistemas automáticos de medidas.
  - EN 15267-3: Certificación de los sistemas automáticos de medida - parte 3.

### *Protección eléctrica*

*Aislamiento:* Clase de protección 1 según EN 61010-1.

*Categoría de instalación:* Este equipo puede resistir sobretensiones transitorias de acuerdo con la Categoría de Instalación II definida en EN 61010-1.

*Grado de contaminación:* Este equipo funciona con seguridad en entornos que contengan partículas no conductivas y condensación hasta el Grado de Contaminación 2 definido en EN 61010-1.

*Alimentación eléctrica:* El cableado destinado a la alimentación eléctrica del sistema debe estar instalado de acuerdo con la normativa correspondiente y protegido mediante fusibles.

## **5.2.- Descripción del equipo**

### *Principio de medición*

El medidor de caudal opera según el principio de la medición diferencial del tiempo de propagación del ultrasonido. En ambos lados del foco de emisión se montan unas bridas con tubo inclinada un cierto ángulo, donde irán instaladas las unidades de Tx/Rx. Dichos unidades contienen unos transductores ultrasónicos piezoeléctricos que operan alternativamente como transmisor y receptor, emitiendo impulsos de sonido en un extremo y siendo recibidos en el otro. Posteriormente el receptor funcionará como emisor, el emisor como receptor, y así sucesivamente.

Conociendo el ángulo de inclinación de los dispositivos ( $\alpha$ ), la distancia de separación entre los transeptores (L) y los tiempos de propagación ( $t_v$  y  $t_r$ ) del sonido en ambas direcciones obtendremos la velocidad de los gases según la siguiente ecuación:

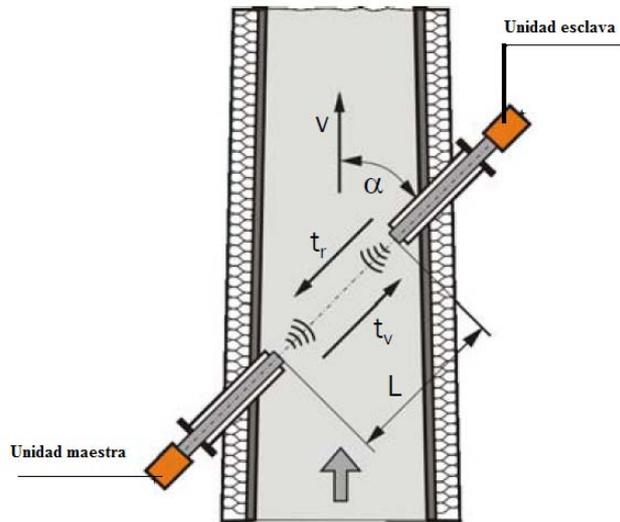
$$v = \frac{L}{2 * \cos \alpha} * \left( \frac{1}{t_v} - \frac{1}{t_r} \right)$$

**$t_r$ :** es el tiempo que tarda el sonido en llegar de la unidad esclava a la unidad maestra.

**$t_v$ :** es el tiempo que tarda el sonido en llegar de la unidad maestra a la unidad esclava. Como su componente “y” va a favor de la velocidad de escape de los gases, su valor será inferior al  $t_r$ .

$\alpha$ : es el ángulo de inclinación del transceptor correspondiente respecto la vertical (esclavo) o respecto la horizontal (maestro).

$L$ : distancia entre los transductores. Conociendo el ángulo  $\alpha$  podemos calcular la distancia con los datos del diámetro de la chimenea y de la diferencia de altura entre los transductores. Para ser más precisos se utiliza un medidor de distancias láser entre los extremos de las bridas con tubo, y después se le restará la longitud de cada brida.

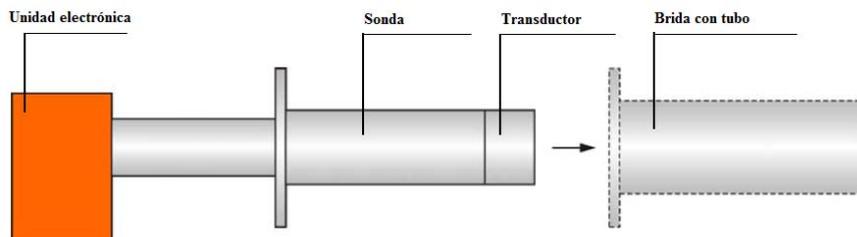


El cálculo del caudal volumétrico bajo las condiciones de funcionamiento se efectúa en el propio equipo, pero es necesario introducir ciertos parámetros del proceso: la presión, la temperatura y el contenido de humedad. La temperatura se obtiene directamente a través de un termopar que tienen incorporado los propios transductores, y el resto de parámetros son facilitados por el cliente. Durante la fase de puesta en marcha, se incluirán dichos datos a la hora de configurar los parámetros de funcionamiento.

### Componentes

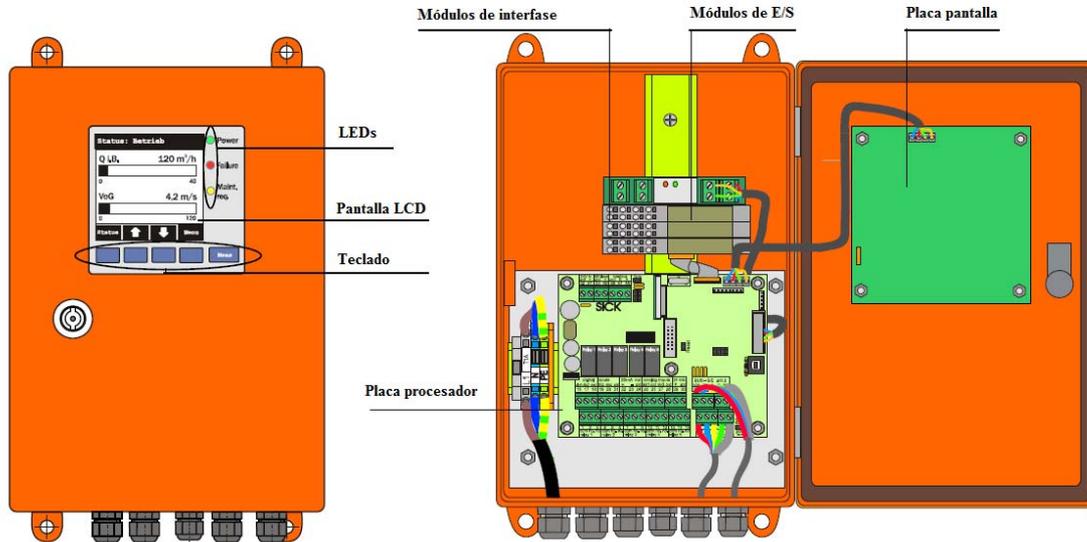
El sistema de medición de caudal consta de tres dispositivos:

- *Unidades de transmisión / recepción:* Donde se producen la transmisión y recepción de ultrasonidos y el procesamiento de señales.



- *Caja de conexiones:* Donde se realiza el conexionado de las señales de control y alimentación entre las unidades de Tx/Rx y la unidad de control.
- *Unidad de control:* Se encarga de realizar el procesamiento de información y el control de la transferencia de datos (RS485) y donde podemos configurar los parámetros del dispositivo. Dispone de entradas para la alimentación y puertos de comunicaciones (RS232, RS485, USB, entradas/salidas A/D). Cabe la

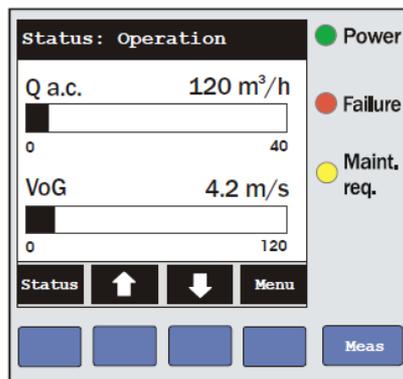
posibilidad de realizar la configuración a través del teclado y la LCD de la propia unidad de control, o bien a través de los puertos USB ó RS232 conectados a un PC que tenga instalado el software de gestión.



Los LEDs que aparecen en el frontal definen el estado de funcionamiento del dispositivo:

- Power (verde): Indica que dispone de alimentación eléctrica.
- Failure (rojo): Indica que existe un problema de funcionamiento.
- Maintenance request (amarillo): Indica que se ha solicitado el modo de mantenimiento, por tanto el equipo no está registrando valores en tiempo real, y se puede proceder a efectuar el mantenimiento requerido.

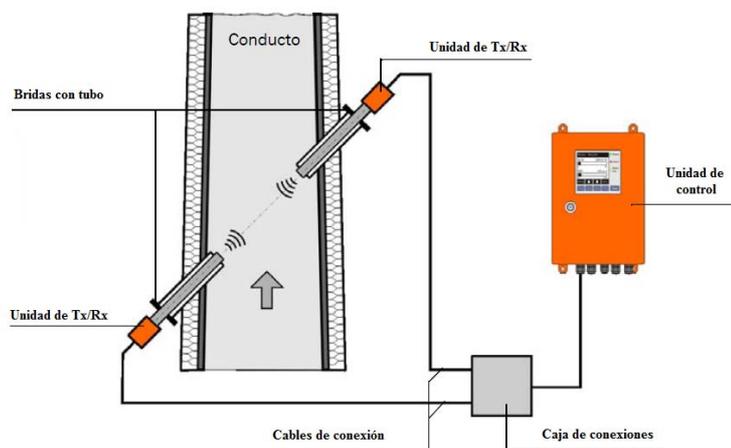
La pantalla muestra la información en tiempo real de los valores de caudal (m<sup>3</sup>/h) y velocidad de los gases (m/s).



Las teclas que figuran en la unidad de control son cinco:

- MEAS: Visualizamos los valores en tiempo real del caudal y velocidad de los gases.
- Flechas (2 teclas): Se utilizan para desplazarnos por los diferentes menús de configuración.
- Status: Accedemos a los mensajes de alarma o error.
- Menú: Visualizamos el menú principal y accedemos al resto de submenús.

Finalmente mostraremos un esquema del sistema de medición de caudal. Sería el siguiente:



### 5.3.- Instalación y puesta en servicio

Se definirá en primer lugar el lugar donde se va a realizar la instalación. Deberá ser un lugar donde la distribución del caudal sea homogénea, por tanto deberán evitarse cambios en la sección transversal del conducto, curvaturas y obstáculos (válvulas de escape, tubos de alimentación, accesorios, etc).

Teniendo en cuenta que los transductores irán instalados a diferentes cotas, habrá que facilitar el acceso a dichas ubicaciones y tomar las medidas de prevención y seguridad adecuadas para realizar la instalación y posterior mantenimiento de los equipos en condiciones seguras.

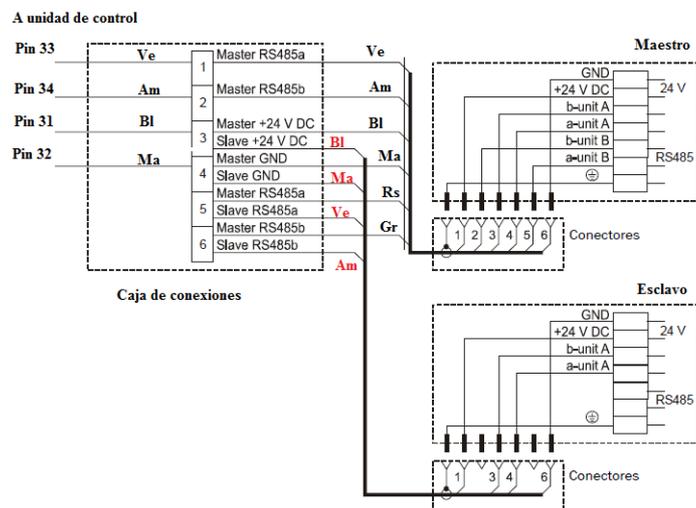
Tendremos en cuenta los siguientes aspectos:

- Comprobaremos que tanto el rango de temperaturas ambiente y como el nivel de humedad en el lugar de la instalación no afecten al funcionamiento del equipo.
- Protegeremos la unidad contra la radiación solar directa.
- Elegiremos un lugar de montaje exento de vibraciones.
- Dejaremos espacio libre suficiente alrededor de la unidad de control para instalar el cableado de alimentación y señales, así como para poder abrir la propia puerta del cajetín.

Se instalarán las dos bridas con tubo con unos ángulos adecuados, de tal forma que los transductores queden alineados. A continuación se colocarán en su interior los transductores y se dejarán anclados al foco, pudiendo instalarse de manera opcional una cubierta de protección.

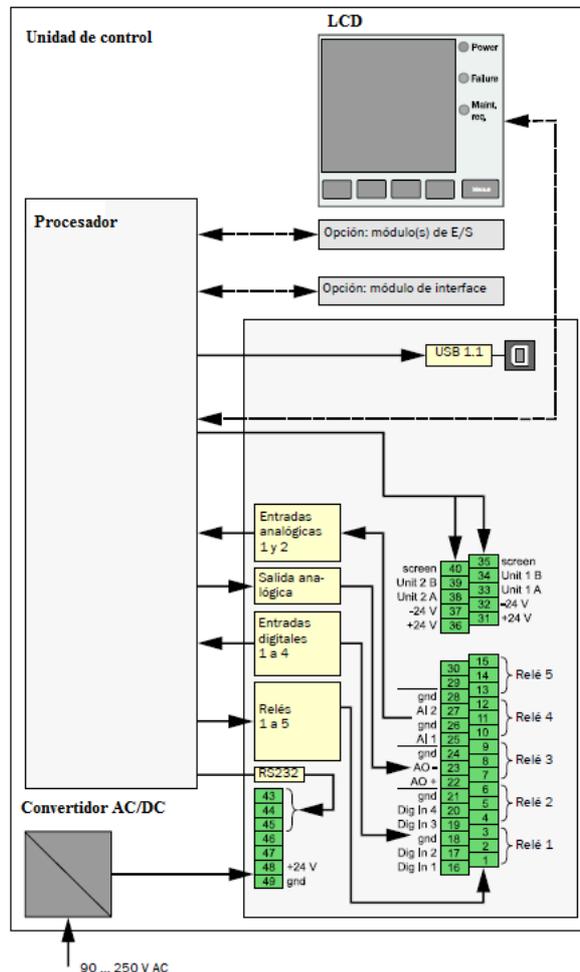
En cuanto a la unidad de control, se recomienda instalarla en un lugar con buen acceso. Podrá encontrarse en la misma cota de chimenea que el transductor maestro, o por ejemplo, en la sala donde se encuentren el resto de analizadores.

A continuación se instalará la caja de conexiones, y el cableado de alimentación y datos para cada uno de los transductores. Se realizarán todas las conexiones entre los transductores y la caja de conexiones, y entre la caja de conexiones y la unidad de control según figura en el siguiente esquema:



Una vez se han cableado los transductores con la unidad de control a través de la caja de conexiones, pasamos a cablear las interfaces estándar que vayamos a utilizar. El sistema dispone de los siguientes interfaces estándar:

- Una salida analógica de 4-20 mA (pines del 22 al 24) a las que podemos asignar las siguientes variables: velocidad, caudal o temperatura. En nuestro caso al querer obtener dos variables, instalaremos un módulo de expansión de señal analógica.
- Dos entradas analógicas de 4-20 mA (pines del 25 al 28): para introducir por ejemplo los valores de presión y humedad del proceso.
- Cinco salidas de relé (pines del 1 al 15) para la indicación de los siguientes estados: Funcionamiento / Fallo, Mantenimiento, Ciclo de control, Advertencia y superación de valor límite.
- Cuatro entradas digitales (pines del 16 al 20): normalmente se utilizan para conectar un interruptor manual de mantenimiento y para activar un ciclo de verificación.
- Comunicaciones: 1 puerto USB 1.1 y 1 puerto RS232 (pines del 43 al 45) para la interrogación de valores y configuración de parámetros. 1 puerto RS485 más tomas de tensión de 24v (pines del 31 al 40) para la conexión de los sensores. Alimentación de la unidad de control a 24v (pines 48 y 49).



Cabe la posibilidad de instalar módulos de expansión, como puede ser un módulo Ethernet, que nos permitiría incluir el dispositivo en la red de la planta, y de este modo poder realizar en modo remoto la configuración del dispositivo, o bien visualizar los datos en tiempo real. También tenemos la posibilidad de instalar un módulo de salida analógica (4-20mA) que nos permita enviar al sistema de adquisición de datos el valor de la temperatura detectada por el sensor.

Tras finalizar de instalar el cableado de señales, conectamos la alimentación al equipo y procedemos con la configuración y puesta en marcha.

#### 5.4.- Configuración

La puesta en funcionamiento consistirá en configurar el dispositivo con los parámetros propios de la instalación. Dicha configuración podrá realizarse a través del teclado y el LCD de la unidad de control, o bien a través de un PC que lleve instalado el programa de gestión, el cuál conectaremos al puerto USB de la unidad de control. Otra opción sería establecer la comunicación con el dispositivo a través del puerto RS232 de la unidad de control.

En cuanto a los parámetros que tendremos que configurar, serán los siguientes:

- Ángulo de instalación.
- Distancia entre los transductores.
- Sección transversal del foco de emisión.

$\alpha$ : Es el ángulo entre el eje de medición y el eje propagación de los gases.

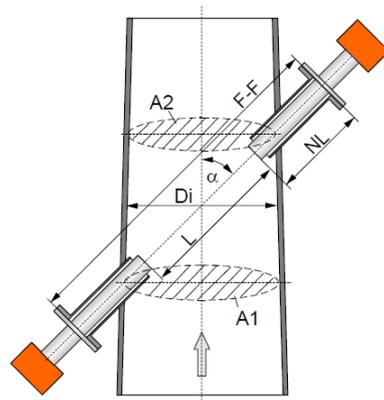
$NL$ : es la distancia entre la base y el extremo del tubo del transductor.

$FF$ : es la distancia “Flange to Flange”, entre las bridas. Dicho dato se obtiene con un medidor láser.

$L$ : es la distancia entre las puntas de los transductores. Este será el dato a introducir en la configuración. Conocidos los datos  $NL$  y  $F-F$ , calculamos  $L$  como:

$$L = FF - 2 * NL$$

En cuanto al dato de la sección ( $A$ ), si el foco no es perfectamente cilíndrico, calcularemos la sección transversal media como:



$$A = \frac{A1+A2}{2} \qquad A = \pi \frac{D_i^2}{4}$$

*A1: es la sección del foco en la cota del transductor maestro.*

*A2: es la sección del foco en la cota del transductor esclavo.*

A continuación definiremos que la salida analógica que vamos a utilizar será la correspondiente al valor de caudal del foco (unidades en m<sup>3</sup>/h), así como su rango de trabajo (por ejemplo, de 0 a 300.000 m<sup>3</sup>/h).

Definiremos que el cero de la señal se propaga con un valor de intensidad de 4 mA (de esta manera en caso de corte de la línea de señal analógica, el cero se correspondería con un valor de 0 mA, y podríamos detectar que existe un fallo en la transmisión) y el valor máximo de la señal serían los 20 mA (los 300.000 m<sup>3</sup>/h del ejemplo anterior).

En el caso de que el equipo se encuentre en modo de mantenimiento, existe la posibilidad de configurar la salida analógica para que muestre un valor de 0,5 mA. Si también se produjera un fallo, la configuramos para que muestre un valor de 21 mA (fuera de rango).

Activaremos la ejecución del ciclo de verificación automática cada 8 horas, y estableceremos la hora en que se iniciará la prueba.

Si estamos interesados en que algún parámetro externo, como puede ser la humedad, temperatura o la presión en la chimenea, aparezcan en la pantalla de la unidad de control, tenemos la posibilidad de configurar las entradas analógicas y definir los rangos de trabajo.

En cuanto a los relés, no es necesaria una configuración, ya que viene definido por defecto. Únicamente habrá que realizar el cableado correspondiente hasta el sistema de adquisición de datos de planta.

Del mismo modo, están configuradas por defecto las entradas digitales, para tener la posibilidad de poner el equipo en mantenimiento en modo remoto o manual a través de un interruptor, o para ejecutar una rutina de verificación desde un acceso remoto, como puede ser la propia sala de control.

Una vez configurados los parámetros del dispositivo, observaremos que no existen mensajes de alarma o error, y que el equipo comienza a medir correctamente de manera continuada.

## 5.5.- Mantenimiento

Como cualquier sistema electrónico de medición, el medidor de caudal necesita de un mantenimiento en intervalos constantes, los cuales serán definidos en función de las características de la instalación: el contenido y estado del polvo, la temperatura del gas, la presión en el interior del foco de emisiones y las condiciones ambientales.

Para una empresa cementera, se recomienda realizar cada tres meses el mantenimiento completo de los medidores de caudal. Efectuar dichas labores de mantenimiento garantizará la fiabilidad de las mediciones y alargará la vida útil del sistema.

Antes de comenzar hay que poner el equipo en modo mantenimiento, de esta manera el sistema de adquisición de datos reconoce como no válidos los datos que registrará durante el tiempo que duren dichas labores. Debido al principio de medición y a la estructura del sistema, los trabajos de mantenimiento del medidor de caudal son escasos, y se reducen a:

- Efectuar una limpieza en los transductores para retirar las deposiciones de polvo y ligeras incrustaciones.
- Comprobar que los dispositivos no presentan corrosión o deterioro.
- Verificar la correspondencia entre los datos que figuran en la pantalla de la unidad de control y el sistema de adquisición de datos.

## 5.6.- Detección de fallos de funcionamiento

Cuando el equipo detecta que existe un fallo, conmuta el correspondiente relé de la unidad de control. Por otro lado, en la pantalla de la unidad de control se mostrará una indicación de estado y se iluminará el LED correspondiente (Maintenance Request ó Failure).

Para tener más información acerca del error pulsaremos la tecla “Status” y entramos al submenú de diagnóstico, donde nos aparecerán las posibles causas. Los principales problemas que nos podemos encontrar son los siguientes:

- Fallo de alimentación: Comprobaremos si llega tensión al equipo, el fusible de entrada y el cableado.
- Fallo de calibración: El mensaje de fallo de calibración aparece cuando los valores de cero y/o *span* registrados tras un ciclo de verificación superan la desviación que tengamos configurada. Cuando esto sucede tenemos que

comprobar el estado de los transductores. Se desmontarán los cabezales y se realizará la limpieza de los tubos.

- Fallos de configuración de E/S: Este problema surge cuando el equipo dispone de algún módulo de expansión y éste no se encuentra correctamente instalado y/o cableado.
- Sondas no encontradas: Tendremos que revisar el cable de conexión (alimentación y RS485) entre las sondas y la unidad de control, pasando por la caja de conexiones. Es probable que algún conector no se encuentre correctamente instalado, o bien cabe la posibilidad de que exista un mal contacto.
- Fallo de memoria: Representa un fallo en la memoria EEPROM del equipo. Es necesario reemplazar la tarjeta.
- La pantalla LCD no funciona: Se revisará el cable de conexión con la placa de control y la alimentación. En caso de no encontrar el problema, se cambiará el LCD.

## Capítulo 6: Medidor de partículas DustHunter SP100

---

### 6.1.- Información general

#### *Uso previsto*

El opacímetro DustHunter SP100 es un dispositivo opto-electrónico que se utiliza en entornos industriales para medir de manera continuada la concentración de partículas en un foco de emisión.



El dispositivo estará instalado directamente en el conducto de transporte de gas (foco de emisión). En instalaciones con un potencial reducido de peligro (sin riesgo para la salud, a presión ambiente y a bajas temperaturas) se puede realizar el montaje o desmontaje del equipo mientras la planta se encuentra en funcionamiento, siempre que se respeten las normativas vigentes e instrucciones de seguridad de la planta, y se adopten todas las medidas de protección necesarias y apropiadas.

#### *Conformidades*

La ejecución técnica del dispositivo cumple las siguientes directivas de la CE y las normas EN:

- Directiva CE: directiva de baja tensión.
- Directiva CE: CEM (compatibilidad electromagnética)
- Normas EN aplicadas:
  - EN 61010-1, Normas de seguridad para equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio.
  - Norma genérica EMC EN 61326-1, equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio.
  - EN 14181, Aseguramiento de calidad de los Sistemas automáticos de medidas.
  - EN 15267-3: Certificación de los sistemas automáticos de medida - parte 3.

## Protección eléctrica

*Aislamiento:* Clase de protección 1 según EN 61010-1.

*Categoría de instalación:* Este equipo puede resistir sobretensiones transitorias de acuerdo con la Categoría de Instalación II definida en EN 61010-1.

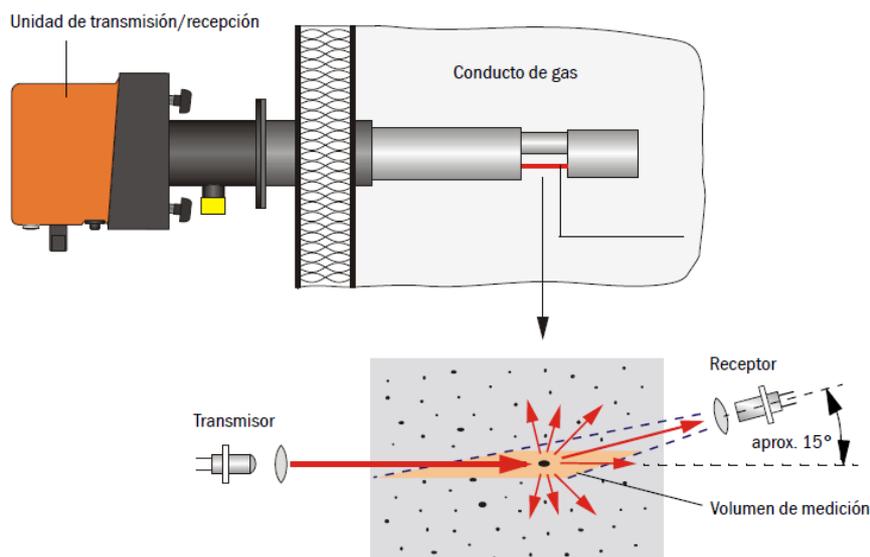
*Grado de contaminación:* Este equipo funciona con seguridad en entornos que contengan partículas no conductivas y condensación hasta el Grado de Contaminación 2 definido en EN 61010-1.

*Alimentación eléctrica:* El cableado destinado a la alimentación eléctrica del sistema debe estar instalado de acuerdo con la normativa correspondiente y protegido mediante fusibles.

## 6.2.- Descripción del equipo

### Principio de medición

El sistema de medición opera según el principio de dispersión de la luz. Un diodo láser ilumina las partículas de polvo en el caudal de gas con luz modulada en el espectro visible (longitud de onda de 650 nm). Un detector altamente sensible capta la luz dispersada por las partículas, la amplifica eléctricamente y dicha señal se evalúa en el microprocesador. El volumen de medición dentro del conducto de gas está definido por la superposición del haz de transmisión y la apertura de la recepción.



¿Cómo se determina la concentración de partículas?, la intensidad de la luz dispersada (Scattered Light, SL) medida es proporcional a la concentración de partículas (c). Puesto que la intensidad de la luz dispersada no sólo depende del número y tamaño de las partículas, sino también de sus características ópticas, hace falta calibrar el sistema de medición a través de una medición comparativa gravimétrica para obtener una medición exacta de la concentración de partículas. Dichos trabajos se realizan con la colaboración de un laboratorio acreditado para tales fines.

Los coeficientes de calibración así determinados pueden introducirse directamente en el sistema de medición con la fórmula:

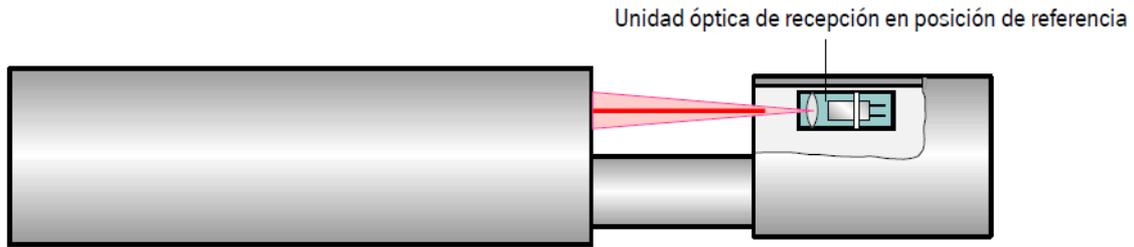
$$c = cc2 \cdot SL^2 + cc1 \cdot SL + cc0$$

El ajuste predefinido de fábrica es:  $cc2 = 0$ ,  $cc1 = 1$ ,  $cc0 = 0$

Para verificar el correcto funcionamiento del dispositivo, se puede activar una verificación automática en intervalos definidos (por ejemplo, cada 8 horas), de tal manera que el propio equipo realiza una comprobación de los valores de cero y *span* (valor máximo del rango de trabajo) con el fin de asegurar que está midiendo correctamente. Las posibles desviaciones serán señalizadas como error, de tal forma que se puede monitorizar de manera remota el estado del equipo.

Describiremos a continuación cómo realiza el equipo las comprobaciones automáticas:

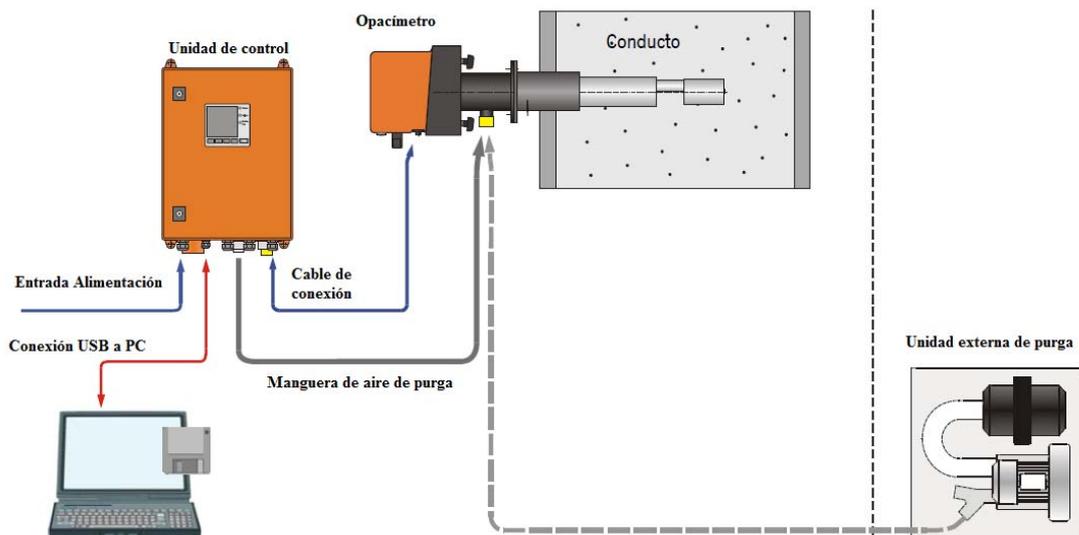
- En primer lugar realiza una comprobación de cero, lo que equivale a ausencia de luz dispersada. Para ello se desactiva el diodo láser de modo que no se produce el impacto de luz sobre las partículas. Si se registra un valor distinto de cero, se genera un mensaje de error.
- A continuación se activa el diodo láser modificando su intensidad en una escala del 70 al 100% y se compara la intensidad recibida con un valor predefinido (será del 70%). Si la desviación del valor obtenido supera el 2%, se genera un mensaje de error.
- Finalmente se mide el grado de contaminación de las ópticas. Para ello se gira la unidad óptica de recepción a una posición de referencia y se mide la intensidad de la luz dispersada. El valor de medición así determinado se procesará con el valor determinado de fábrica para obtener así un factor de corrección. De esta manera se compensan completamente las contaminaciones que se presentan. Si los valores de contaminación medidos superan el 40%, se genera un mensaje de error.



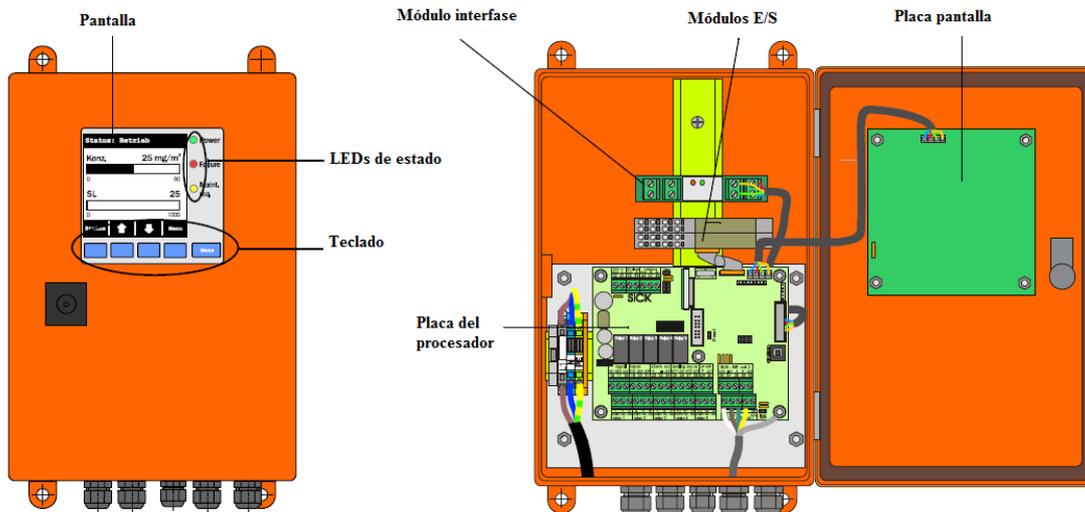
### Componentes

El sistema de medición de partículas consta de tres dispositivos:

- *Opacímetro*: Es la sonda de medición. Contiene los componentes ópticos y electrónicos necesarios para transmitir y recibir el haz láser.
- *Unidad de control*: Se encarga de realizar el procesamiento de las medidas y donde podemos configurar los parámetros del dispositivo. Dispone de entradas para la alimentación y puertos de comunicaciones (RS232, RS485, USB, entradas/salidas A/D). Cabe la posibilidad de realizar la configuración a través del teclado y la LCD de la propia unidad de control, o bien a través de los puertos USB ó RS232 conectados a un PC que tenga instalado el software de gestión.
- *Unidad externa de purga*: Efectúa un soplado con aire filtrado a presión para garantizar que las ópticas del opacímetro no se contaminen con partículas provenientes del conducto.



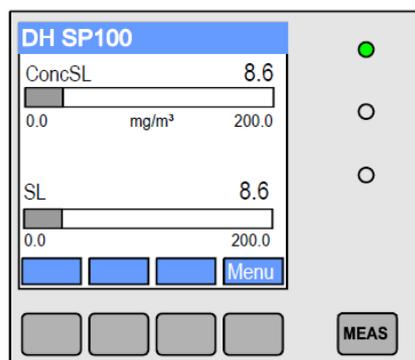
El aspecto de la unidad de control es el siguiente:



Los LEDs que aparecen en el frontal definen el estado de funcionamiento del dispositivo:

- Power (verde): Indica que dispone de alimentación eléctrica.
- Failure (rojo): Indica que existe un problema de funcionamiento.
- Maintenance request (amarillo): Indica que se ha solicitado el modo de mantenimiento, por tanto el equipo no está registrando valores en tiempo real, y se puede proceder a efectuar el mantenimiento requerido.

La pantalla muestra la información en tiempo real de los valores de concentración de partículas (ConcSL en mg/m<sup>3</sup>) y de luz dispersada (Scattered Light, SL).



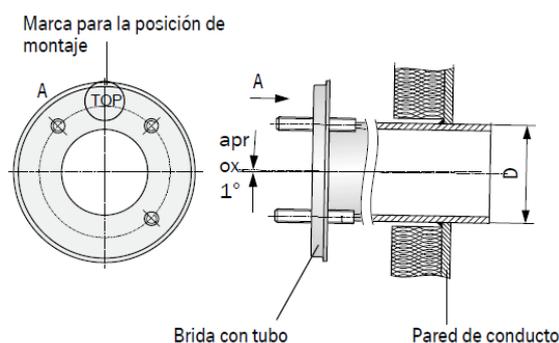
Las teclas que figuran en la unidad de control son cinco:

- MEAS: Visualizamos los valores en tiempo real de la concentración de partículas y de luz dispersada.

- Flechas (2 teclas): Se utilizan para desplazarnos por los diferentes menús de configuración.
- Diag: Accedemos a los mensajes de alarma o error.
- Menú: Visualizamos el menú principal y accedemos al resto de submenús.

### 6.3.- Instalación y puesta en servicio

En primer lugar se definirá junto con un laboratorio acreditado la ubicación del punto de muestreo más representativo. A continuación se instalará el opacímetro en el lugar indicado, y la unidad externa de aire de purga estará lo más cerca posible al dispositivo de medición. Para instalar el opacímetro utilizaremos una brida con tubo de 76 mms de diámetro (parámetro D) que irá anclada a la pared del foco de emisión. En dicho tubo introduciremos el opacímetro y lo dejaremos fijado según se indica en la figura.

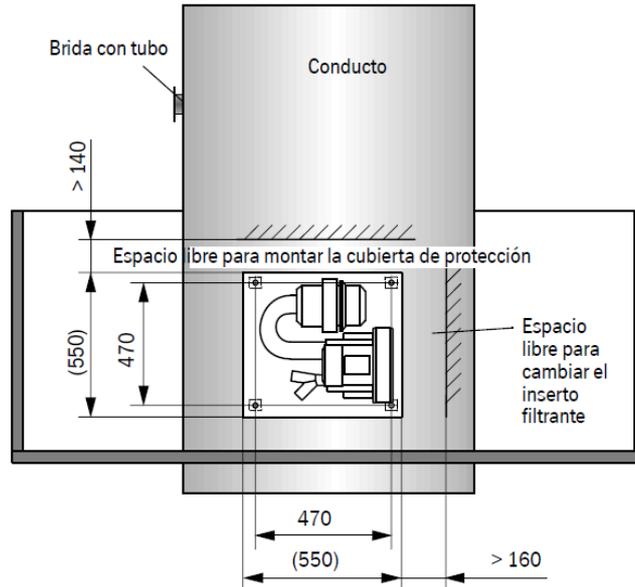


En cuanto a la unidad de control, se recomienda instalarla en un lugar con buen acceso. Podrá encontrarse en la misma cota de chimenea, o por ejemplo, en la sala donde se encuentren el resto de analizadores.

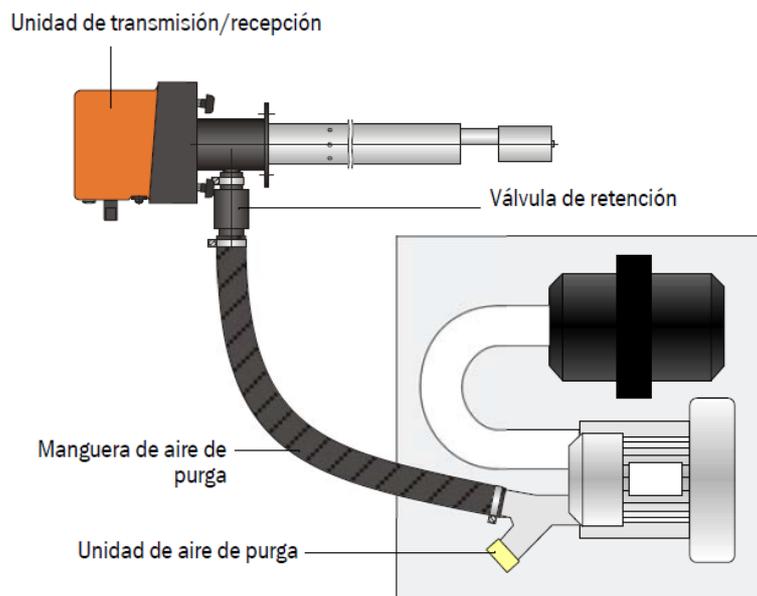
Tendremos en cuenta lo siguiente:

- Comprobaremos que tanto el rango de temperaturas ambiente y como el nivel de humedad en el lugar de la instalación no afecten al funcionamiento del equipo.
- Protegeremos la unidad contra la radiación solar directa.
- Elegiremos un lugar de montaje exento de vibraciones.
- Dejaremos espacio libre suficiente alrededor de la unidad de control para instalar el cableado de alimentación y señales, así como para poder abrir la propia puerta del cajetín.

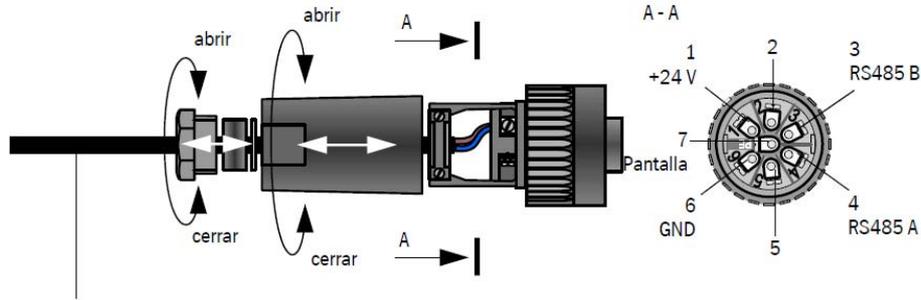
En relación a la unidad externa de aire de purga, se recomienda montarla en una zona donde el aire que se vaya a utilizar sea lo más limpio posible. Dejaremos el suficiente espacio libre como para poder acceder a su interior en caso de avería o necesidad de mantenimiento.



Una vez finalizada la instalación, pasamos a conectar la salida de la bomba con el opacímetro utilizando una manguera. Seguidamente conectaremos los cables de alimentación y tras activar la bomba nos aseguraremos de que la dirección de soplado es la correcta (si no se produciría aspiración).

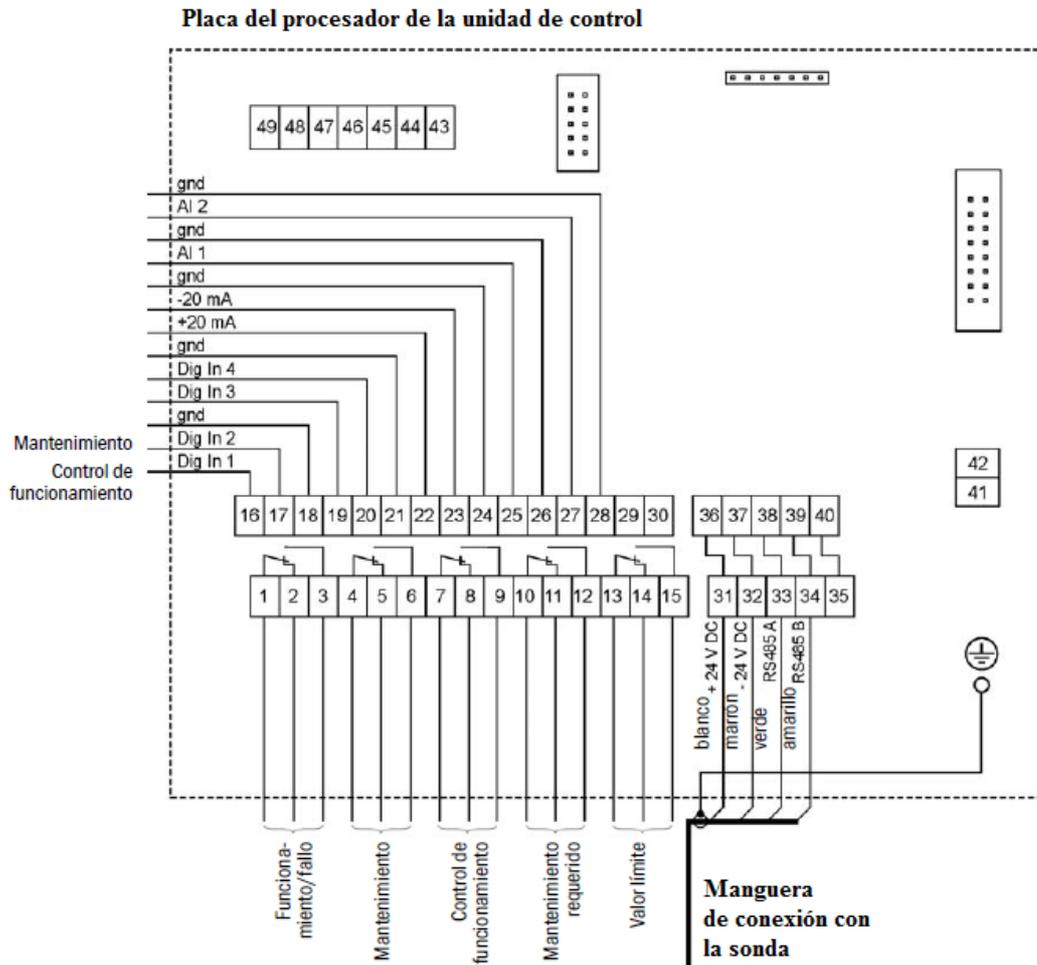


Tras finalizar con la instalación del sistema de aire, pasamos a conectar la unidad de control con el opacímetro utilizando un cable que contiene la señal RS485 y la alimentación de la sonda. El extremo conectado a la sonda tiene el siguiente esquema:



A continuación conectamos los cables de señales (Entrada/Salida A/D) y la manguera de la señal de alimentación de 24 voltios, y nos aseguramos de que el cajetín queda estanco.

En cuanto al esquema de la placa del procesador, es el siguiente:



En la parte inferior observamos el conexionado de la manguera que va conectada al cabezal de la sonda. Por otro lado tenemos los relés que informan acerca de los diferentes estados (pines del 1 al 15):

- Funcionamiento / Fallo.
- Mantenimiento.
- Control de funcionamiento.
- Advertencia.
- Superación del valor límite programado.

En la parte izquierda nos encontramos con cuatro entradas digitales configurables (pines del 16 al 21), dos salidas analógicas de 4-20 mA (pines del 22 al 24) y dos entradas analógicas configurables (pines del 25 al 28).

En la parte superior nos encontramos con tres pines para la alimentación de 24 voltios (pines del 47 al 49), un puerto RS232 (pines del 43 al 45). No figura en el esquemático el puerto USB que nos permite conectar un PC para realizar la configuración del dispositivo a través del software de gestión.

Existe la posibilidad de instalar módulos de expansión, como puede ser un módulo Ethernet, que nos permitiría incluir el dispositivo en la red de la planta, y de este modo poder realizar en modo remoto la configuración del dispositivo, o visualizar los datos en tiempo real.

Tras finalizar de instalar el cableado de señales, conectamos la alimentación al equipo y comenzamos con la configuración y puesta en marcha.

#### **6.4.- Configuración**

En este apartado se introducirán los parámetros al dispositivo, tales como el rango de trabajo, las unidades, configuración de alarmas y mensajes de error, señales de entrada y salida, etc. Tal y como se comentó anteriormente, existe la posibilidad de realizar la configuración a través del teclado de la unidad de control, o bien utilizando un PC con el software de gestión apropiado conectado al puerto USB (también se puede utilizar el RS232).

Tras acceder al menú de configuración, los primeros parámetros que introduciremos serán los coeficientes (cc2, cc1 y cc0) proporcionados por el laboratorio acreditado que realizó la prueba gravimétrica.

A continuación definiremos que la salida analógica que vamos a utilizar será la correspondiente al valor de concentración de partículas (unidades en  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), así como su rango de trabajo (por ejemplo, de 0 a  $120 \text{ mg}/\text{m}^3$ ).

Indicaremos que el cero de la señal se propaga con un valor de intensidad de 4 mA (de esta manera en caso de corte de la línea de señal analógica, el cero se correspondería con un valor de 0 mA, y podríamos detectar que existe un fallo en la transmisión) y el valor máximo de la señal serían los 20 mA (los  $120 \text{ mg}/\text{m}^3$  del ejemplo anterior).

En el caso de que el equipo se encuentre en modo de mantenimiento, existe la posibilidad de configurar la salida analógica para que muestre un valor de 0,5 mA. Si también se produjera un fallo, la configuramos para que muestre un valor de 21 mA (fuera de rango).

Activaremos la ejecución del ciclo de verificación automática cada 8 horas, y estableceremos la hora en que se iniciará la prueba.

Si estamos interesados en que algún parámetro externo, como puede ser la humedad, temperatura o la presión en la chimenea, aparezcan en la pantalla de la unidad de control, tenemos la posibilidad de configurar las entradas analógicas y definir los rangos de trabajo.

En cuanto a los relés, no es necesaria una configuración, ya que viene definido por defecto. Únicamente habrá que realizar el cableado correspondiente hasta el sistema de adquisición de datos de planta.

Del mismo modo, están configuradas por defecto las entradas digitales, para tener la posibilidad de poner el equipo en mantenimiento en modo remoto o manual a través de un interruptor, o para ejecutar una rutina de verificación desde un acceso remoto, como puede ser la propia sala de control.

Una vez configurados los parámetros del dispositivo, observaremos que no existen mensajes de alarma o error, y que el equipo comienza a medir correctamente de manera continuada.

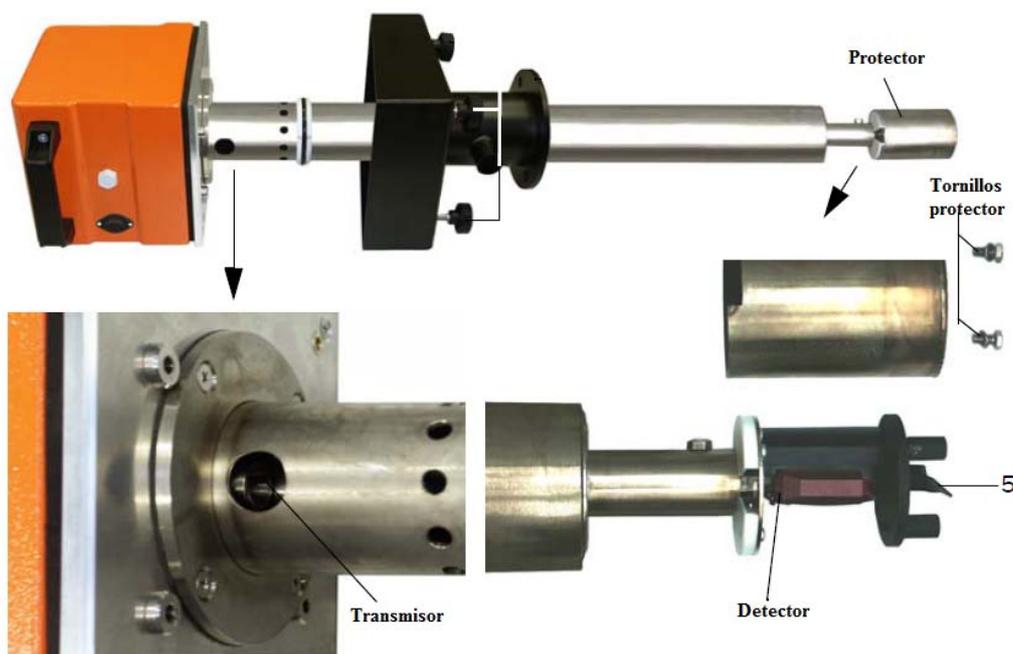
## **6.5.- Mantenimiento**

Los trabajos periódicos de mantenimiento se reducen a realizar trabajos de limpieza de las ópticas y comprobación de funcionamiento de la unidad externa de aire de purga. Antes de comenzar los trabajos, hay que poner el equipo en modo mantenimiento, de esta manera el sistema de adquisición de datos reconoce como no válidos los datos que registrará durante el tiempo que duren dichas labores.

El espaciado de los períodos de mantenimiento dependerán del tipo de instalación y las condiciones de trabajo: el contenido y estado del polvo, la temperatura del gas, la presión en el interior del foco de emisiones y las condiciones ambientales. Para una empresa cementera, se recomienda comprobar la contaminación de las ópticas una vez por semana, realizando cada tres meses el mantenimiento completo de los equipos.

En relación a los repuestos que deben cambiarse, únicamente utilizaremos un nuevo filtro para la unidad externa del aire de purga en el caso de que el filtro se encuentre completamente obstruido y apelmazado. En algunas ocasiones basta con realizar una purga del filtro con aire a presión (aire de instrumentos), y de esta manera podrá ser reutilizado. En el caso de que la suciedad esté muy pegada al filtro, o que la capa de partículas esté apelmazada y compactada, se recomienda cambiar el cartucho del filtro.

En la sonda de medición, las superficies ópticas se limpiarán en cada mantenimiento, y únicamente se utilizará agua destilada y un paño de limpieza para lentes. Para acceder a las lentes, hay que soltar los tornillos que sujetan la sonda a la brida con tubo, se extraerá el equipo y se situará en posición vertical apoyado sobre el suelo. A continuación se deberán soltar los tornillos que sujetan el protector de la punta, y de esta manera accederemos al detector.



En cuanto al transmisor, hay que retirar un tapón de protección para poder tener acceso a él. Como se indicó anteriormente, limpiaremos ambas superficies ópticas con la ayuda de un paño de limpieza de lentes y agua destilada.

Tras finalizar los trabajos de limpieza, se colocarán los tapones de protección y se instalará de nuevo el equipo en la brida de chimenea. Para finalizar, realizaremos una

verificación automática con el fin de comprobar los nuevos valores para el cero, *span* y nivel de contaminación (idealmente será del 0%).

Por último, modificamos el estado de operación del equipo (mantenimiento) activando el modo de medida. Se comprobarán que existe una correspondencia entre los datos de concentración de partículas en la pantalla de la unidad de control y en la sala de control (PC con el sistema de adquisición de datos).

## 6.6.- Detección de fallos de funcionamiento

Cuando el equipo detecta que existe un fallo, conmuta el correspondiente relé de la unidad de control. Por otro lado, en la pantalla de la unidad de control se mostrará una indicación de estado y se iluminará el LED correspondiente (Maintenance Request ó Failure).

Para tener más información acerca del error pulsaremos la tecla “Diag” y entramos al submenú de diagnóstico, donde nos aparecerán las posibles causas. Los principales problemas que nos podemos encontrar son los siguientes:

- No hay haz de láser: Se deberá comprobar si existe algún problema con la alimentación, cableado o fusible de protección.
- Fallo de alimentación: Comprobaremos si llega tensión al equipo, el fusible de entrada y el cableado.
- Contaminación: Este problema se produce cuando alguna de las ópticas se encuentra sucia. La alarma de contaminación actúa cuando su valor es superior al 40%. Únicamente limpiaremos las ópticas como se describió en el anterior apartado.
- Fallo de calibración: El mensaje de fallo de calibración aparece cuando los valores de cero y/o *span* registrados tras un ciclo de verificación superan la desviación que tengamos configurada. Cuando esto sucede tenemos que comprobar si se ha producido un desplazamiento en el transmisor o en el detector (pueden surgir con el tiempo, y se deben a las vibraciones a las que el equipo está expuesto). En caso de ser así, tendremos que alinear el transmisor y el detector a través de un sistema de posicionamiento mecánico del que dispone el equipo.
- Fallos de configuración de E/S: Este problema surge cuando el equipo dispone de algún módulo de expansión y éste no se encuentra correctamente instalado y/o cableado.

- Sonda no encontrada: Tendremos que revisar el cable de conexión (alimentación y RS485) entre la sonda y la unidad de control. Es probable que el conector no se encuentre correctamente instalado, o bien cabe la posibilidad de que exista un mal contacto.
- Fallo de memoria: Representa un fallo en la memoria EEPROM del equipo. Es necesario reemplazar la tarjeta.
- La pantalla LCD no funciona: Se revisará el cable de conexión con la placa de control y la alimentación. En caso de no encontrar el problema, se cambiará el LCD.

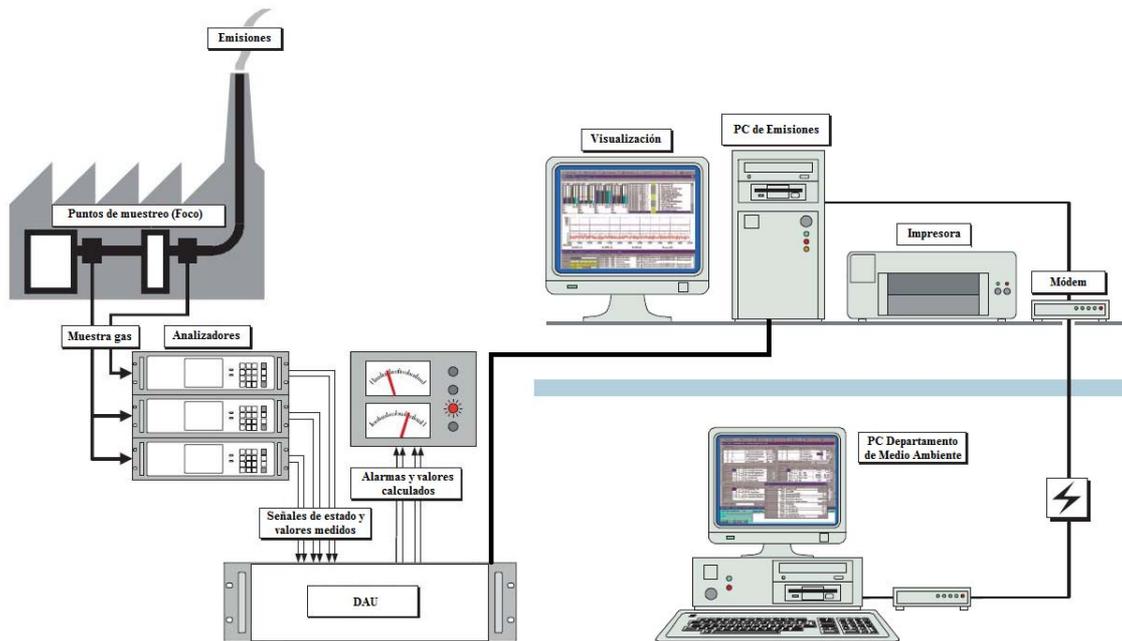
## Capítulo 7: Sistema de adquisición de datos MEAC2000

### 7.1.- Información general

El MEAC2000 es un sistema de adquisición de datos que nos permite visualizar en tiempo real los datos de las emisiones de gases y los estados de operación de los diferentes dispositivos.

Está formado por tres elementos:

- Una Unidad de Adquisición de Datos (DAU): es un dispositivo controlado por un microprocesador capaz de recoger los datos medidos, procesarlos y enviarlos al PC de emisiones.
- Un PC de emisiones: ordenador personal con conexión a red y con sistema operativo Windows NT.
- Software MEAC 2000: se encarga de registrar, procesar y representar gráficamente los datos medidos.



Entre las principales características del sistema de adquisición, destacaremos las siguientes:

- Gestión de hasta 400 salidas y 800 entradas analógicas.
- Gestión de hasta 1.000 salidas de estado y 2.000 entradas de estado.

- Administración de usuarios con acceso individual y derechos de edición.
- Configuración, control y evaluación de las DAU's conectadas.
- Almacenamiento de los datos de emisiones en valores medios por minuto en el disco duro del PC de emisiones. En caso de fallo del sistema, y con el fin de salvaguardar los datos históricos registrados, se puede programar una tarea periódica de copia de seguridad a un segundo disco duro.
- Posibilidad de visualizar todos los datos almacenados: datos actuales o retrospectivos, y de representarlos en modo gráfico o en tablas.
- Se puede configurar qué visualizar y de qué modo hacerlo, y al mismo tiempo se pueden crear perfiles de visualización con la estructura deseada por cada usuario, y recuperarlo cada vez que se necesite.
- Posibilidad de abrir informes de fallos para documentar la superación de límites, fallos y otros eventos que requieran comentarios.
- Permite enviar los datos de emisiones a los organismos reguladores mediante un módem.
- Posibilidad de incluir el PC en la red local de planta.
- Opción de realizar los mantenimientos o las ampliaciones de funciones por vía remota.
- Seguridad: Antes de activar una configuración de parámetros cabe la posibilidad de probar los efectos mediante una simulación. Mientras tanto el sistema continúa funcionando en paralelo con los ajustes anteriores. Todos los cambios de parámetros quedan documentados en archivos de registro, tal y como exige la normativa.
- Es posible exportar los datos de emisiones a los programas de hojas de cálculo más comunes. En modo retrospectivo se pueden crear tablas y exportarlas en formato ASCII.

## 7.2.- Introducción al programa

El software MEAC2000 se ejecuta automáticamente al encender el PC de emisiones, y enlaza automáticamente con las unidades de adquisición de datos (DAU's) que estén conectadas a él.

Se puede acceder a las funciones del programa mediante la siguiente barra:



Con la finalidad de proteger la estructura del sistema, antes de realizar cualquier operación es necesario iniciar una sesión con un usuario y contraseña registrados. Todo inicio de sesión queda registrado en el archivo de registro interno del sistema.

Para familiarizarnos con el entorno de trabajo, vamos a describir las diferentes opciones del menú principal:

*Current*: muestra los valores y mensajes del sistema en tiempo real, gráficamente, numéricamente o una combinación de ambas opciones.

*Retrospect*: muestra los valores históricos del sistema que se han registrado. Accederemos a los todos los valores almacenados.

*Configuration*: Muestra la configuración actual del sistema.

*Reports of fault*: Genera, administra y muestra los informes de fallos.

*ERT*: ajustes para la transmisión remota de emisiones al departamento de Medio Ambiente correspondiente. Es tarea de éste último realizar dicha configuración, por tanto no entraremos en más detalles acerca del uso de esta función.

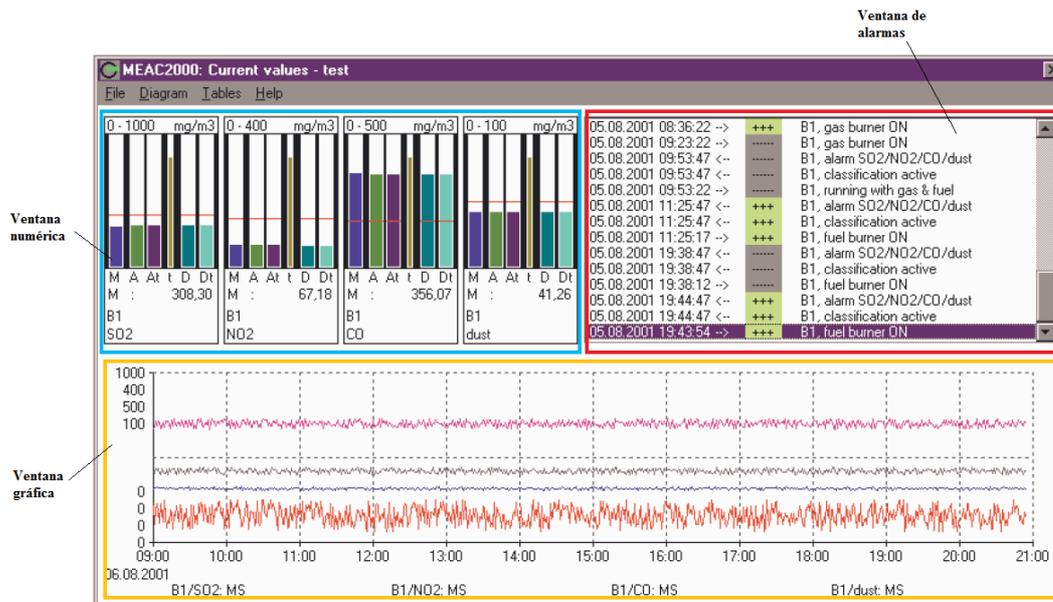
*System*: ajustes por defecto del software MEAC2000.

*Simulation*: crea y edita una configuración de evaluación y la prueba en una realidad virtual simulada, con condiciones ajustables.

A continuación nos detendremos en cada una de las funciones descritas para descubrir las utilidades que nos proporcionan:

### *Current*

Vamos a mostrar un ejemplo de visualización mixta, la cual combina una ventana numérica, una ventana gráfica y una ventana de alarmas.



En la ventana numérica se definen cuatro componentes (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y partículas) correspondientes al foco denominado B1. En las barras se muestra información de los diferentes valores del componente:

- M: Valor por minuto corregido.
- A: Valor actual.
- At: Valor medio en el intervalo “t” definido.
- t: Intervalo temporal para realizar la media.
- D: Valor medio diario.
- Dt: Media diaria.

También tenemos información acerca del límite de emisión del componente (línea roja) y el rango de trabajo (se indica en la parte superior de cada componente).

En la ventana gráfica, aparece la evolución de valores de los mismos componentes en el tiempo, con lo cual podemos observar su tendencia con el paso de los minutos, u observar su comportamiento a lo largo de un período que podemos determinar. En el eje vertical se define la escala y unidades de medición, y en el eje horizontal tenemos el tiempo (días, horas o minutos).

En la ventana de alarmas figuran los diferentes eventos que van sucediendo (activación y desactivación de alarmas), y se indica la fecha y hora en que se han producido los cambios de estado. El símbolo +++ representa un estado activo (TRUE) y el símbolo --- representa un estado inactivo (FALSE).

Otra manera de visualizar los datos en tiempo real es a través del *listado de componentes de un foco de emisión*. Para ello se elige un foco determinado y nos

aparecerán en una tabla los datos de todos los componentes de ese foco, con sus valores actuales, medios y tendencias:

Current values: List diagram									
Components									
Name	Dimension	MR	MS	RW	RT	RG	TW	TT	TG
B1, steamflow	t/h	65,43	65,43	74,14	71,53		71,26	71,50	
B1, O2	Vol%	5,25	5,25	5,25	5,25		5,25	5,25	
B1, temperature	°C	165,00	165,00	165,00	165,00		---	165,00	
B1, SO2	mg/m3	314,32	359,22	354,87	356,17	400,00	357,41	356,30	400,00
B1, NO2	mg/m3	0,00	0,00	0,00	-	150,00	---	-	---
B1, CO	mg/m3	333,23	380,84	392,08	388,71	175,00	---	-	---
B1, dust	mg/m3	23,88	43,79	43,79	43,79	50,00	43,79	43,79	50,00

Plant: 1 Boiler 1  Show formula results

Describiremos a continuación cada una de las columnas de la tabla:

*Name:* Representa el nombre de los componentes y hace mención a su ubicación. Por ejemplo “B1, O2”, hace referencia al componente O2 del foco de emisión B1.

*Dimension:* se indica las unidades de medida para cada componente. En el caso del O2, es el volumen en tanto por ciento.

*MR:* Valor actual bruto del componente.

*MS:* Valor actual normalizado del componente.

*RW:* Valor medio.

*RT:* Valor medio sobre el intervalo definido.

*RG:* Valor límite medio del intervalo.

*TW:* Valor medio diario.

*TT:* Valor diario sobre el intervalo definido.

*TG:* Valor límite diario.

## Retrospect

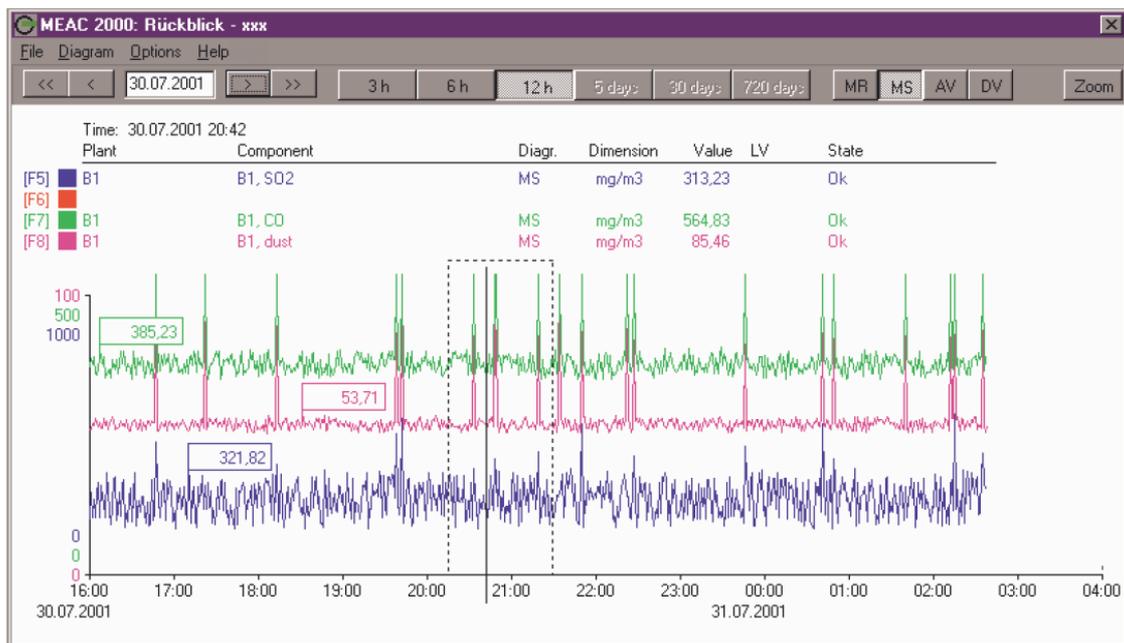
En esta sección se puede acceder a todos los datos que se han guardado en el sistema desde su puesta en marcha inicial. De esta forma, es posible acceder a todos los datos antiguos de mediciones y estado, así como los valores calculados internamente.

La principal funcionalidad que nos ofrece es decidir qué valores se van a visualizar y de qué modo:

- Representar los datos de las mediciones con líneas poligonales (máximo de 4 componentes).
- Representar las condiciones de estado (máximo de 24 variables).

Su modo de operación es similar al de la opción “Current”, con la salvedad de que no estaremos visualizando datos en tiempo real. Cabe la posibilidad de exportar los datos históricos a un programa para el tratamiento de hojas de cálculo, e incluso volcar la información a una impresora o archivo PDF.

La ventana gráfica para la visualización de los datos de medición es la siguiente:

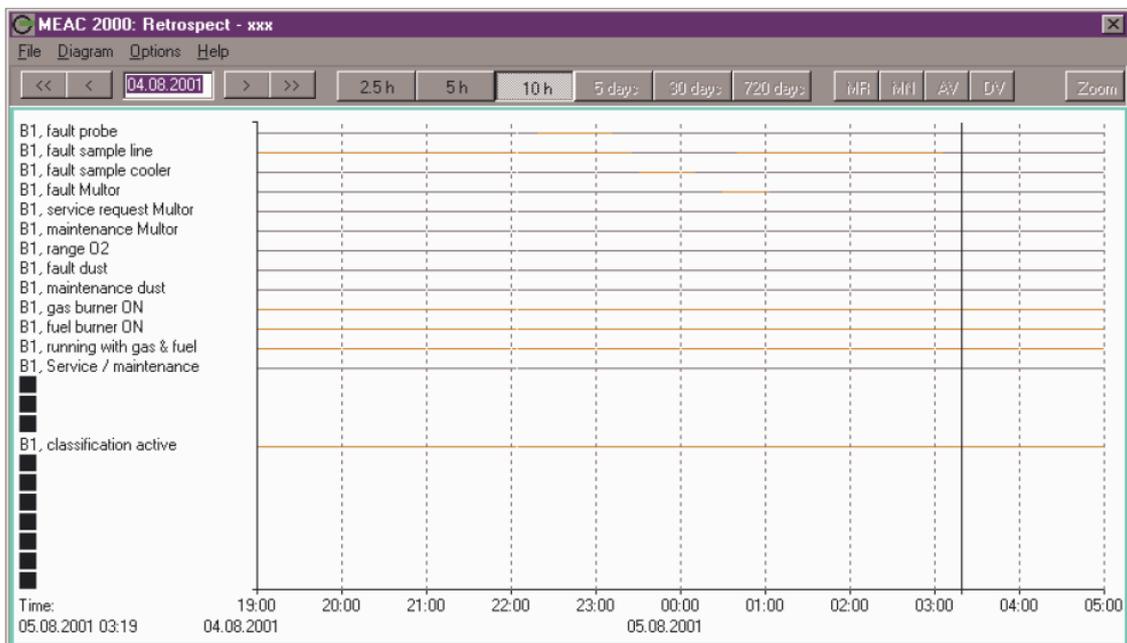


Se definirán los componentes que se desea comprobar (hasta un máximo de 4), y a continuación se elegirá la fecha y hora, así como la franja horaria (por defecto 3, 6 o 12 horas). Se podrá realizar un zoom para observar los datos con más detalle en una determinada zona, y además tenemos la posibilidad de ver los datos brutos, normalizados o medios.

Existen dos zonas claramente diferenciadas: la numérica y la gráfica. En la primera se muestran tres componentes (SO<sub>2</sub>, CO y partículas) correspondientes al foco de emisión denominado B1. Para diferenciarlas adecuadamente cada uno de los componentes se muestra con un determinado color. Se muestra el tipo de dato que se está visualizando (MS es el valor actual normalizado), las unidades de medida, el valor que tomó el componente en dicho instante y el estado.

En cuanto a la zona gráfica, podemos ver la evolución de las tres componentes en el tiempo, mostrándose en el eje vertical la escala de cada una de ellas. Si seleccionamos con el ratón un punto concreto de la gráfica, se mostrará el valor en dicho instante.

En cuanto a la representación de las variables de estado, la ventana sería la siguiente:



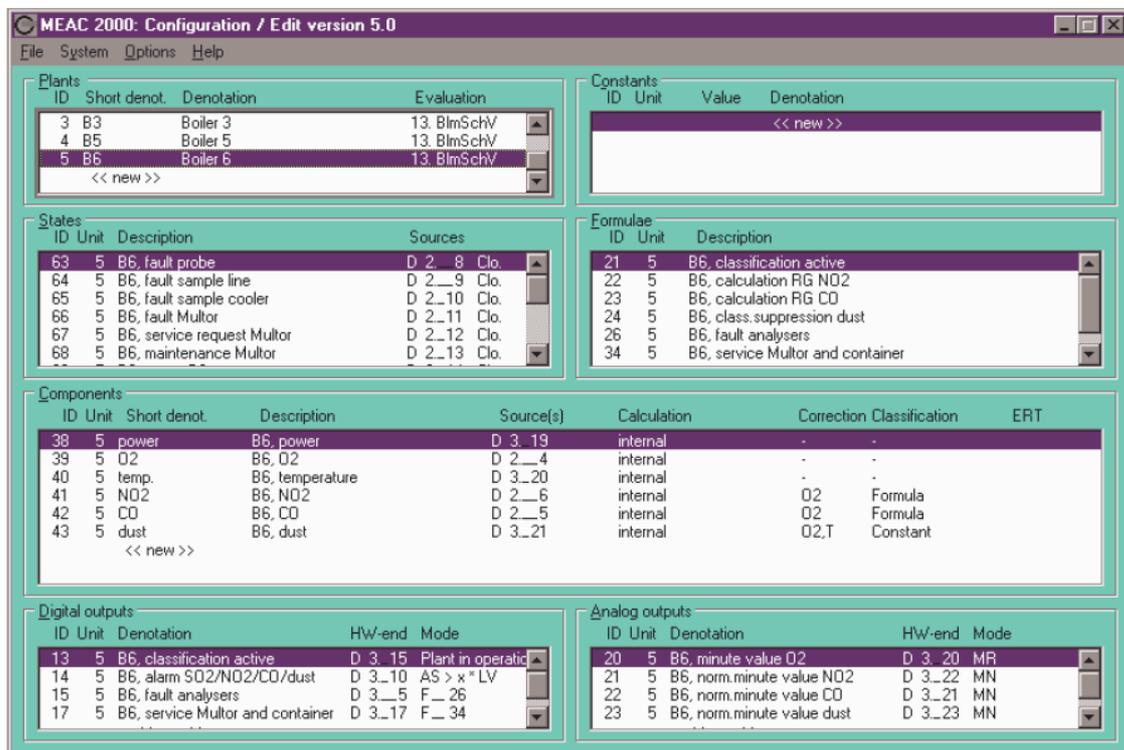
La forma de proceder es similar al anterior caso. Se definirán las variables de estado que se desean comprobar (hasta un máximo de 24), y a continuación se elegirá la fecha y hora, así como la franja horaria (por defecto 2.5, 5 o 10 horas). En la parte izquierda se reflejan las variables de estado seleccionadas junto con la información del foco al que pertenecen. En la gráfica se mostrará la información de estado de cada variable según la franja horaria seleccionada. El color de las líneas nos indica el estado de la variable, si es **amarillo** nos indica que está **ACTIVA**, y si es **gris** que **NO está ACTIVA**.

## Configuration

Una de las utilidades que nos permite esta funcionalidad es la posibilidad de visualizar cómo se procesan y administran internamente los valores de muestreo y los mensajes.

Si nuestro nivel de acceso al programa nos lo permite, podremos modificar la configuración de las unidades (focos de emisión), de las componentes (gases, partículas, caudal, temperatura, etc) y variables de estado (alarmas), aunque antes de realizar cualquier cambio es recomendable realizar una serie de pruebas previas a través de la opción de simulación (Simulation).

La ventana de visualización tendrá la siguiente estructura:



Está compuesta por cinco ventanas:

- Plants: Se corresponde con los focos de emisión que hemos definido.
- Constants: Se introducen los datos que serán constantes y que utilizaremos en la formulación.
- States: Se corresponde con las variables de estado (señales digitales de entrada).
- Formulae: En este campo se definen las fórmulas que se deseen aplicar, como por ejemplo, realizar un cambio de unidades, normalizar un valor, etc.
- Components: Se definen las componentes que vamos a medir.

- Digital outputs: Son los datos de las señales digitales de salida.
  - Analog outputs: Son los datos de las señales analógicas de salida.
- En el apartado de simulación haremos hincapié a la manera de añadir nuevas señales, y cómo realizaremos su configuración.

### *Reports of fault*

Cuando se produce algún evento que afecte a las componentes o variables de estado, el MEAC2000 ofrece la posibilidad de elaborar informes para documentar adecuadamente dichas incidencias. Para crear un nuevo informe seleccionaremos la opción “Reports of fault” y completaremos los campos de la siguiente ventana:

The screenshot shows a window titled "Report of fault" with the following fields and controls:

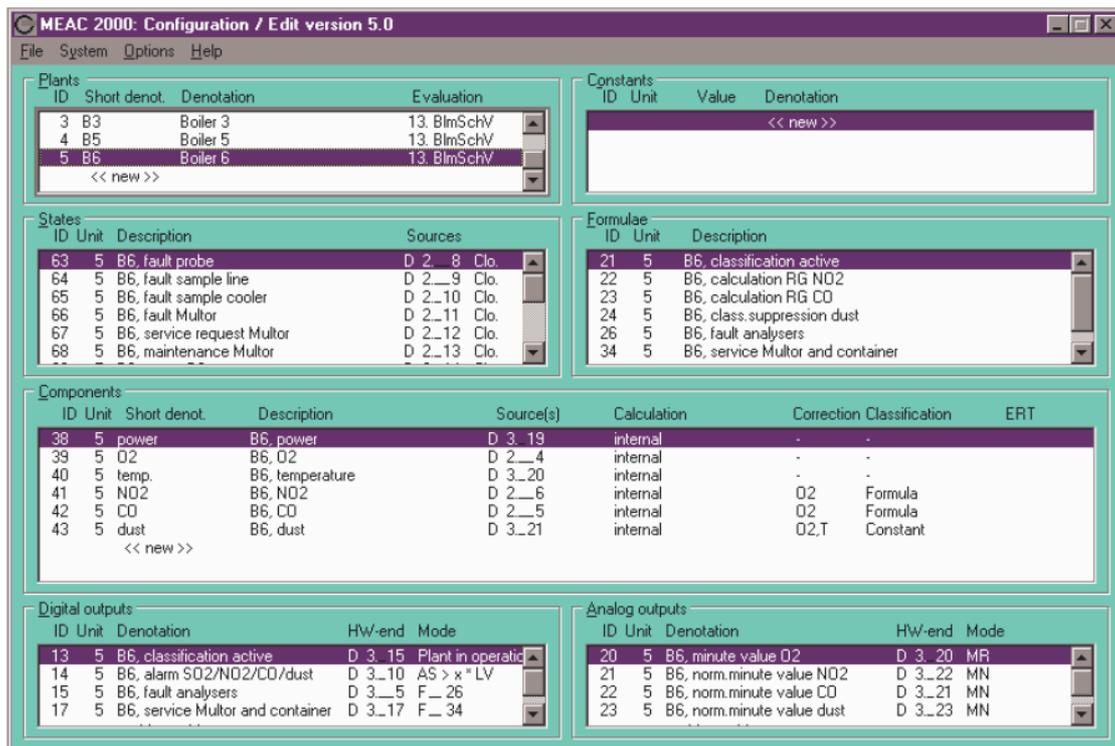
- Description:** Text box containing "Report 1".
- Period of:** Date and time range from "10.05.2001 00:01" up to "10.05.2001 24:00".
- Index 1, 2, 3:** Three dropdown menus containing "Item1", "Item2", and "Item3".
- Fault case:** Large text area with placeholder "Description of the fault case".
- Reason:** Large text area with placeholder "Description of the reason".
- Measure:** Large text area with placeholder "Representation of the taken measures".
- Registration:** Date "10.05.2001" and name "supervisor".
- Change:** Date "31.07.2001" and name "supervisor".
- Buttons:** "Print...", "Ok", and "Cancel".

En primer lugar daremos un nombre al informe y estableceremos el período en el que se produjo la incidencia. A continuación describiremos el problema, las razones que lo provocaron y las medidas tomadas para solucionarlo. También indicaremos la fecha en que se registró (o editó) el informe, así como el nombre de la persona que se encargó de completarlo. Finalmente tenemos la posibilidad de imprimir el informe.

## Simulation

El propósito de la simulación es crear o modificar configuraciones de evaluación (modelos de datos) y probarlas en un entorno virtual. Como ejemplo de las utilidades que nos ofrece esta funcionalidad, podemos ajustar y editar señales de entrada y salida, y realizar una “aceleración” del tiempo para probar la evolución de los eventos con una mayor rapidez.

Seleccionando dicha opción, aparecerá la siguiente ventana, en la que podremos añadir o editar componentes, variables de estado, constantes y fórmulas.



Como podemos observar la ventana es similar a la que aparece en la función “Configuration”, salvo que aquí la configuración es virtual, y podremos hacer las pruebas que queramos, mientras en paralelo el sistema está recogiendo los datos configurados en el modelo de datos que se programó en la función “Configuration”.

Si iniciamos una nueva configuración, tenemos que definir las plantas que formarán nuestro modelo de datos. En el caso que nos ocupa, cada planta se corresponde con un foco de emisiones, y cada foco de emisiones tendrá asociados una serie de dispositivos de medición (analizadores, caudalímetros, opacímetros, etc) y cada dispositivo sus propias señales analógicas (componentes) y digitales (variables de estado).

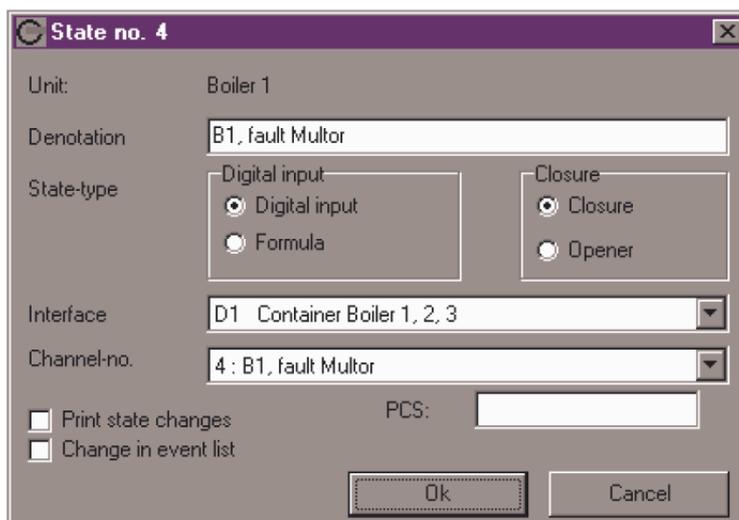
Comenzaremos definiendo todos los focos de emisiones con los que vamos a trabajar, por tanto comenzaremos añadiendo una planta. Vamos a la ventana **PLANTS** y pulsamos en <<new>>, aparecerá la siguiente ventana:

Inicialmente asignaremos un nombre corto a la planta (B1) y a continuación una descripción de la misma (Boiler 1). En el siguiente paso definiremos la variable de estado de entrada que nos indicará el estado de operación de la planta (S\_13). El resto de parámetros a configurar están relacionados con el tipo de instalaciones y la normativa aplicable.

En la ventana **CONSTANTS** se definirán las constantes a utilizar en las fórmulas. Las ventajas de introducir constantes es que las fórmulas que las incluyen son más fáciles de leer e interpretar, y además si fuera necesario cambiar el valor numérico, no será necesario cambiar cada una de las fórmulas, sino únicamente la constante.

Para definir una nueva constante, pulsaremos en <<new>> e introduciremos su nombre y valor numérico. Si queremos modificar una constante determinada, la buscamos en la lista de constantes y pulsaremos sobre ella, introduciendo a continuación el nuevo valor.

Para definir los estados, en primer lugar seleccionaremos la planta donde queremos definir el estado, iremos a la ventana **STATES** y pulsaremos en <<new>>. Nos aparecerá la siguiente ventana de edición:



Vemos que la planta donde se define el estado es B1 (previamente elegimos que sería B1). En el siguiente campo de texto introduciremos el nombre que tendrá la señal, y se recomienda añadir en primer lugar el nombre del foco de emisión al que pertenece.

En el próximo paso seleccionamos el tipo de señal que es, en este caso se trata de una señal digital de entrada normalmente cerrada. La señal llega a través del interfaz 1 (la DAU número 1) y del canal 4 de la tarjeta de entradas digitales.

Si queremos crear una fórmula, tendremos que incluir nuevas expresiones en el listado de la ventana **FORMULAS**. Con el generador de fórmulas podremos generar cálculos matemáticos y operaciones lógicas que posteriormente pueden ser utilizados en cálculos internos para, por ejemplo, mostrar ciertas alarmas compuestas por más de un término, o bien para generar nuevas señales analógicas (podemos realizar un cambio de unidades, normalizar un dato de concentración, etc).

En cuanto a la definición de nuevos componentes, seleccionaremos la ventana **COMPONENTS**. Al igual que hicimos con las señales digitales, seleccionamos en primer lugar el foco al que asignaremos la nueva señal. A continuación pulsaremos en <<new>> para crear la nueva componente, y nos aparecerá la siguiente ventana de edición:

En un primer paso estableceremos el nombre del componente. Se recomienda también indicar el nombre del foco al que pertenece, y seguido de una coma, el nombre que le daremos a esa señal. En el caso que nos ocupa, **“B1, dust”**. Estamos hablando del foco de emisiones B1, y la señal será el dato de la concentración de partículas.

A continuación definiremos el rango de trabajo de esa señal y sus unidades. Es evidente que dicha información debe coincidir con los rangos y unidades definidos en el dispositivo. En el campo del tiempo de integración, se puede introducir un valor de “suavizado” de la señal para evitar visualizar modificaciones bruscas de la misma. Para un tiempo de 30 segundos, el valor que se muestra es el valor medio de los últimos 30 segundos, así cuando existen variaciones bruscas del valor de la señal, la representación de la misma queda, por así decirlo, amortiguada.

En el apartado interfaces definimos por donde obtendremos la señal: seleccionamos el modo, el dispositivo, el canal y los valores válidos de la señal (en este caso entre 3.68 y 21 mA).

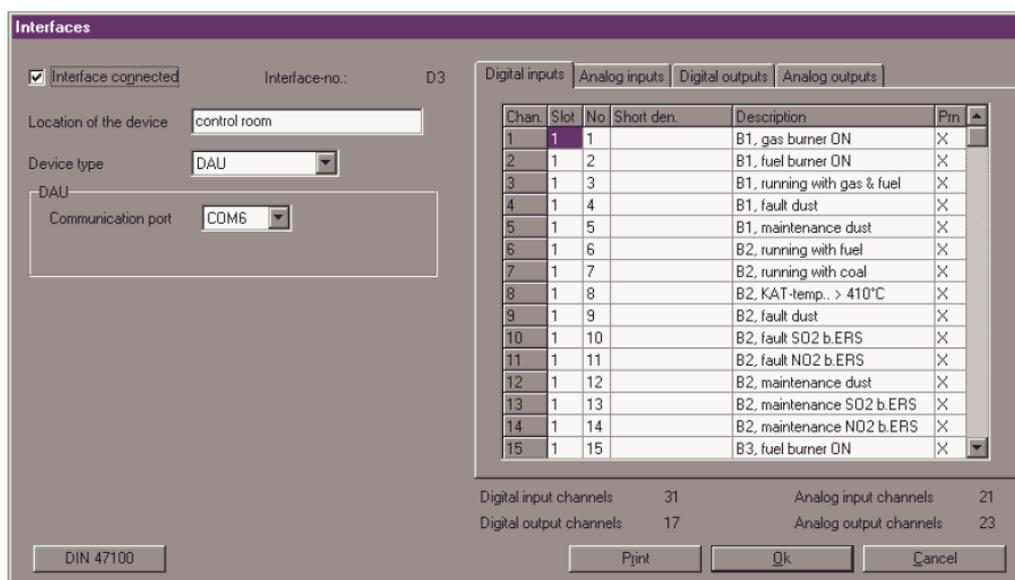
En cuanto a la conversión, tenemos la posibilidad de introducir los coeficientes de corrección que nos facilitó el laboratorio de acreditación, no obstante no se suelen introducir estos datos ya que el mismo dispositivo permite realizar la corrección de manera similar. Si los coeficientes se introducen en el dispositivo, no se introducen en el sistema de adquisición de datos, y viceversa.

El resto de campos se configurarán conforme a la normativa vigente y aplicable al tipo de instalación en la que nos encontremos.

En cuanto a los dos últimos apartados de configuración: **DIGITAL OUTPUTS** y **ANALOG OUTPUTS**. Se configuran de manera similar a los parámetros analógicos y digitales de entrada. Haciendo uso de ellas podremos enviar a través de la DAU señales a diferentes dispositivos, como ejemplo, podremos modificar el estado de operación de un analizador activando una señal digital de salida para que el dispositivo quede en modo mantenimiento, o bien podemos enviar un mensaje de texto a una pantalla para indicar una situación de alarma.

Una vez se hayan definido todas las plantas, componentes y variables de estado tenemos la posibilidad de simular el comportamiento de cada una de ellas, y si es el esperado, cargar dicha configuración para que el modelo de datos con el que trabaje el sistema de adquisición sea el que hemos programado.

Por último queda configurar como se realiza la comunicación entre la unidad de adquisición de datos y el PC de emisiones y como se asignan las señales a las diferentes tarjetas de entrada y salida A/D de la DAU. Para ello tenemos que seleccionar del menú la función **CONFIGURATION -> SYSTEM** y configurar los siguientes parámetros:



Como podemos observar, para este caso se configurará la DAU con nombre D3 ubicada en la sala de control. Se define el tipo de dispositivo y el puerto de comunicaciones con el PC de emisiones. Seguidamente iremos añadiendo los datos para cada uno de los cuatro tipos de señales: entradas digitales, entradas analógicas, salidas digitales y salidas analógicas. Como ejemplo explicaremos lo mostrado en la ventana correspondiente a las entradas digitales:

“**Slot**” hace referencia a la posición que ocupa la tarjeta de entradas digitales en la DAU. “**No**” indica el número de canal, y “**Description**” es la señal que se envía por dicho canal. Se procede de manera similar con el resto de señales.

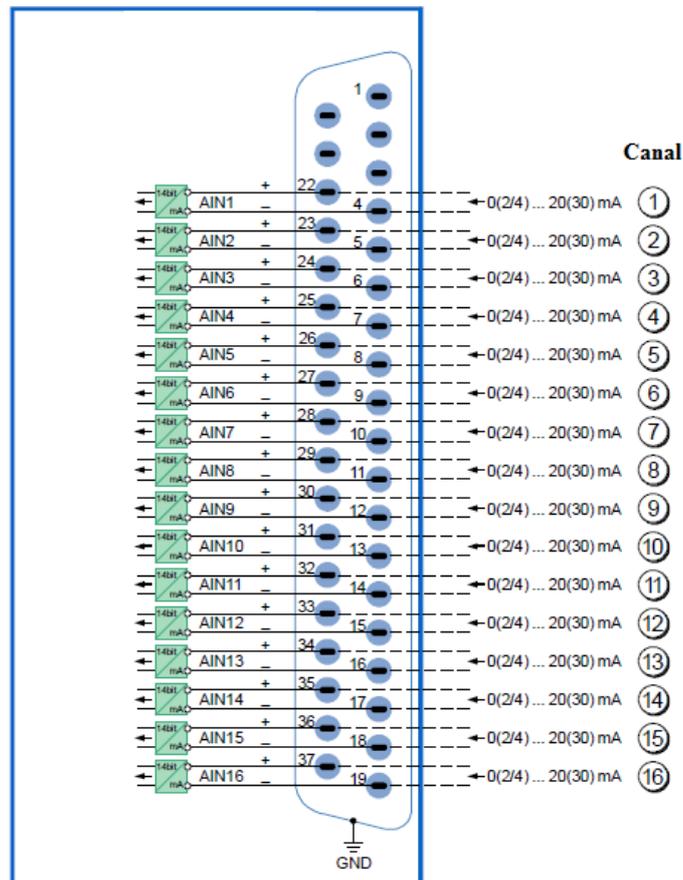
### 7.3.- Descripción del hardware de la unidad de adquisición de datos (DAU)

La DAU está compuesta por cuatro tipos diferentes de tarjetas:

- Tarjeta de señales analógicas de entrada.
- Tarjeta de señales digitales de entrada.
- Tarjeta de señales digitales de salida.
- Tarjeta de señales analógicas de salida.

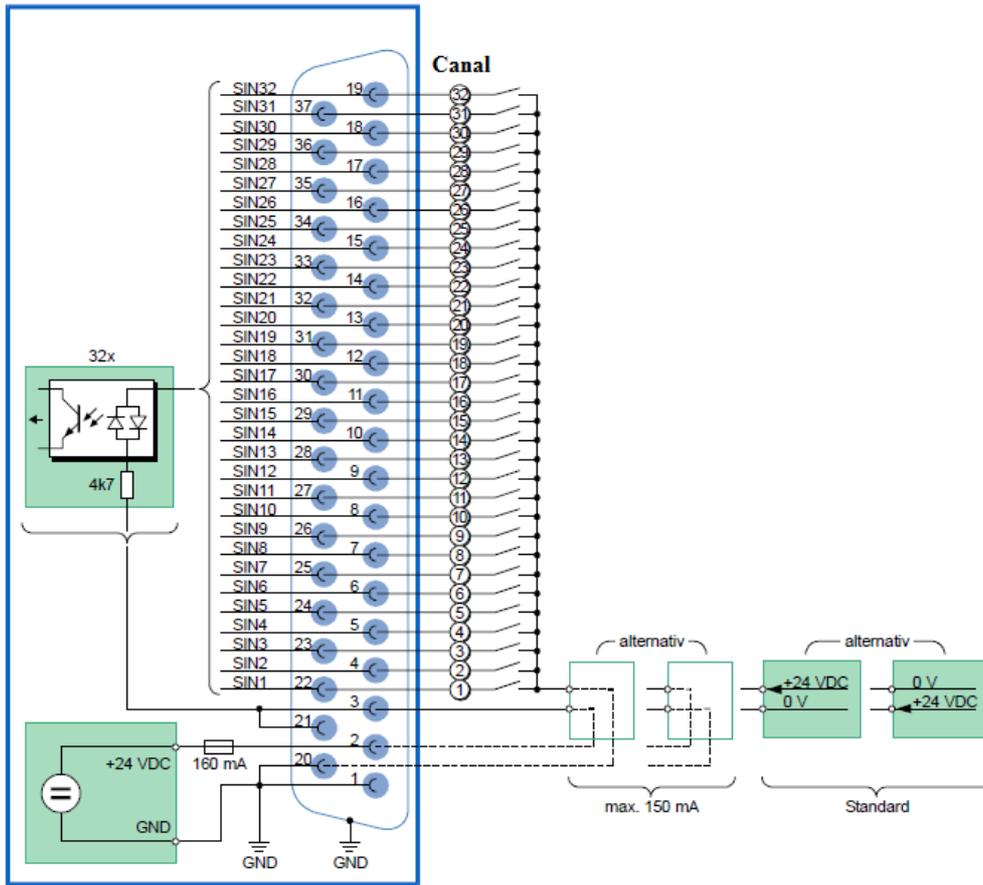
#### Señales analógicas de entrada

<b>Número de señales de entrada</b>	16
<b>Intensidad de señal</b>	+5...-30 mA
<b>Resolución</b>	3,66 uA (14 bits)
<b>Error máximo</b>	0,10%
<b>Resistencia</b>	100 ohmios
<b>Conexión</b>	Enchufe D Sub (37 polos) conector macho
<b>Número máximo por DAU</b>	5
<b>Máximo número de señales</b>	80



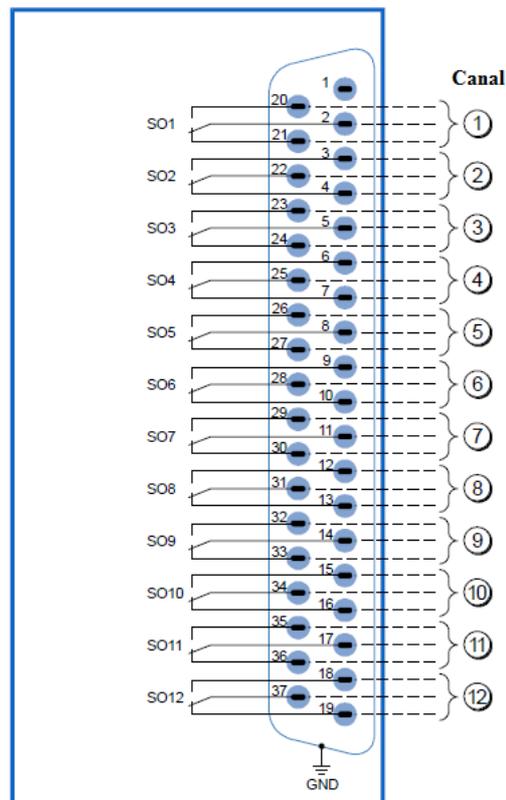
*Señales digitales de entrada*

<b>Número de señales de entrada</b>	32
<b>Tipo de entrada de señales</b>	Acoplador óptico bipolar
<b>Tensión de la señal</b>	+5 a 48 Vcc
<b>Consumo de energía</b>	3,8 W
<b>Conexión</b>	Enchufe D Sub (37 polos) conector hembra
<b>Número máximo por DAU</b>	8
<b>Máximo número de señales</b>	256



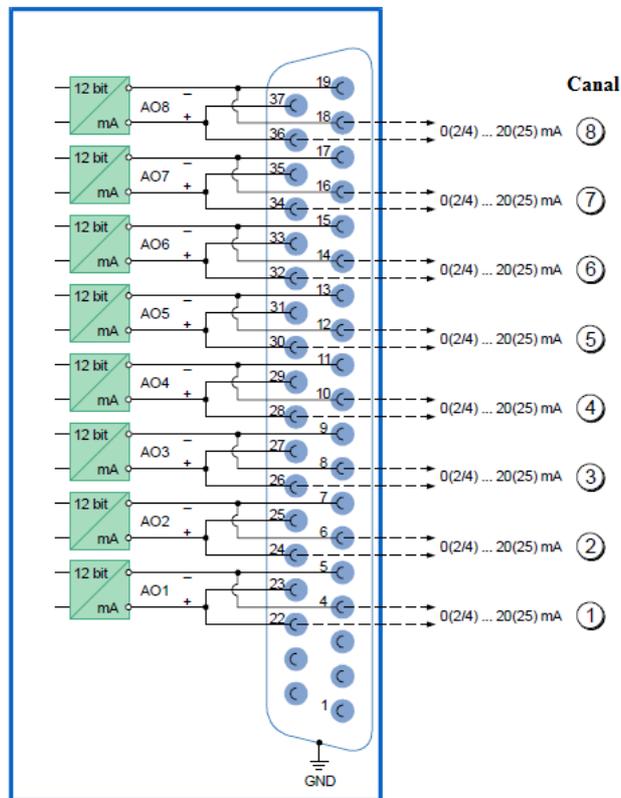
*Señales digitales de salida*

<b>Número de señales de salida</b>	12
<b>Tipo de señales</b>	Contactos de relé sin potencial
<b>Carga de contacto permitida</b>	máx. 48V / 0.5A
<b>Consumo de energía</b>	3,6 W
<b>Conexión</b>	Enchufe D Sub (37 polos) conector macho
<b>Número máximo por DAU</b>	8
<b>Máximo número de señales</b>	96



*Señales analógicas de salida*

<b>Número de señales de salida</b>	8
<b>Tipo de señales</b>	Fuentes de intensidad controlada
<b>Intensidad de señal</b>	0...25 mA
<b>Resolución</b>	5 uA (12 bits)
<b>Error máximo</b>	0,10%
<b>Resistencia</b>	0 a 500 ohmios
<b>Consumo de energía</b>	3,8 W
<b>Conexión</b>	Enchufe D Sub (37 polos) conector hembra
<b>Número máximo por DAU</b>	4
<b>Máximo número de señales</b>	32



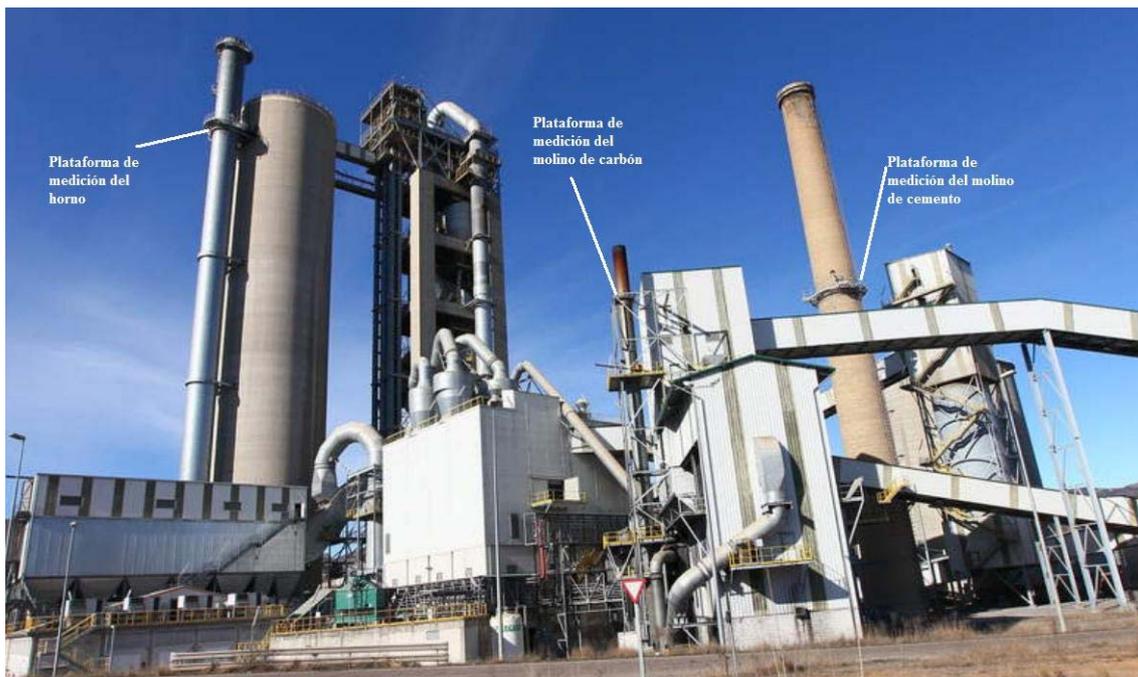
## Capítulo 8: Aplicación práctica de los CEMS

En este apartado daremos una aplicación práctica a lo visto anteriormente y lo enfocaremos a una planta cementera genérica. Veremos cómo es el aspecto de una planta, dónde se ubican los focos de emisión y los puntos de toma de muestra, dónde se encuentran instalados los equipos y qué parámetros se necesita introducir para configurarlos.

Para tener una idea cuantitativa de los niveles de emisión en este tipo de industria, mostraremos en varios gráficos los diferentes parámetros que se registran, la evolución de sus valores con el transcurso del tiempo, y los valores que se obtendrían en condiciones de parada y funcionamiento de la planta.

### 8.1.- Focos de emisión y ubicación de los dispositivos de medición

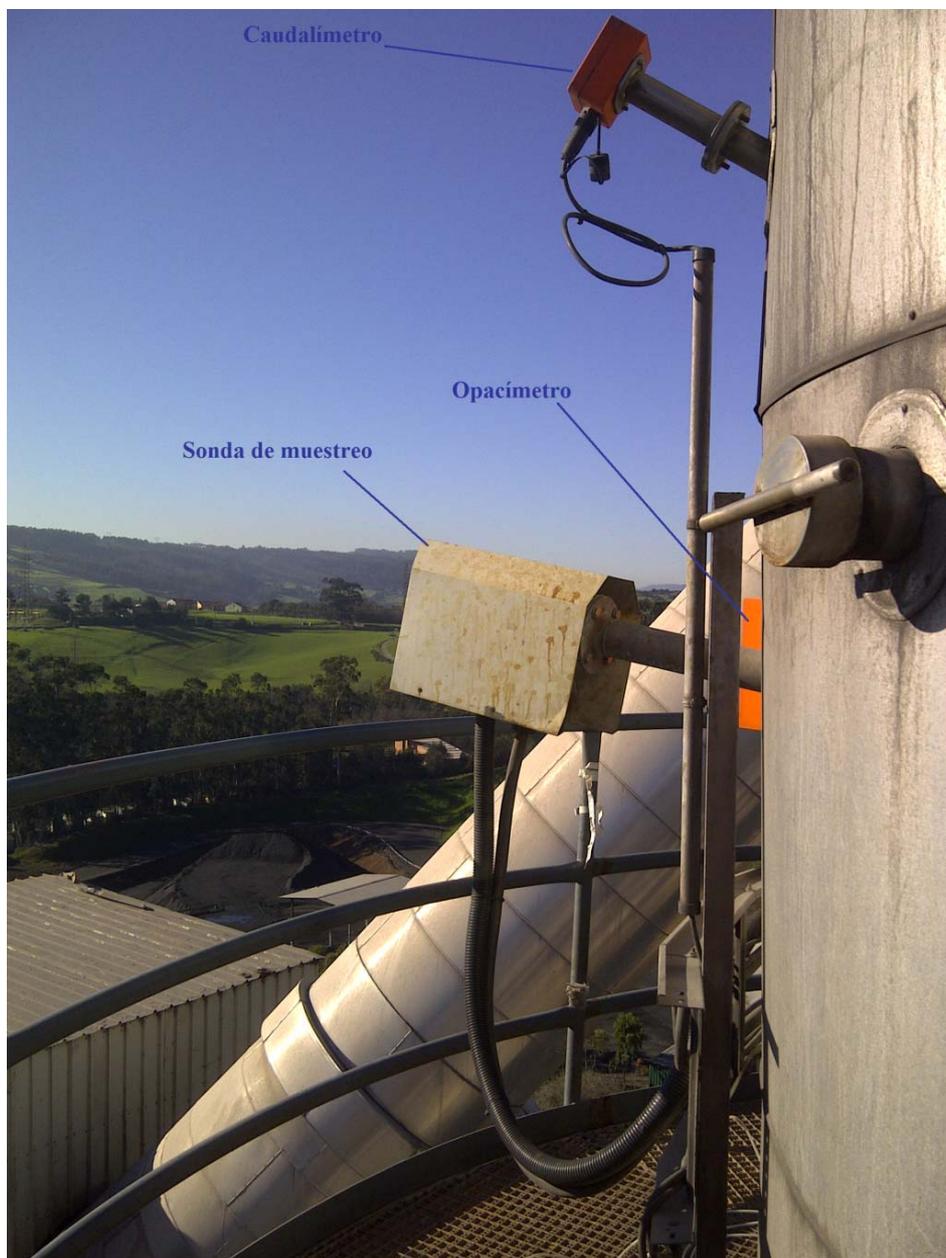
Comenzaremos dando una visión general del aspecto de una planta cementera común:



Podemos distinguir claramente los focos de emisión correspondientes al horno, al molino de carbón y al molino de cemento. En la figura se indica la ubicación de las plataformas de medida en las cuales se instalarán los opacímetros, caudalímetros y sonda de muestra. En el caso del horno, la altura de la plataforma de medida dependerá básicamente de las dimensiones y estructura de la chimenea, aunque normalmente se encuentra en cotas superiores a 50 metros sobre el nivel del suelo. En el caso de los molinos, las chimeneas son más cortas y las plataformas se encuentran a unos 25 metros del suelo.

Tras definir la ubicación de los puntos de muestreo de cada chimenea, la siguiente tarea será trasladar los equipos hasta las plataformas correspondientes, siguiendo las instrucciones marcadas en el plan de seguridad y prevención de la planta. En uno de los tres focos tendremos un opacímetro para la medición de partículas, y un caudalímetro para la obtención de datos de caudal y temperatura de la chimenea. En el caso del foco del horno, tendremos un analizador de gases que se encontrará ubicado en una caseta acondicionada a pie de la chimenea del horno.

A continuación realizaremos la instalación de los equipos en los emplazamientos indicados y los lugares adecuadamente acondicionados. Podemos ver en la siguiente figura la ubicación de la sonda de muestreo, el caudalímetro y opacímetro en la plataforma acondicionada del foco de emisión correspondiente al horno.



### *Sonda y línea de muestreo*

Uno de los componentes de la sonda es un tubo de unos 4 metros de longitud, aunque su tamaño dependerá del diámetro de la chimenea donde irá instalada, y del punto concreto de muestreo que haya determinado la entidad certificadora. En la siguiente fotografía podemos observar las dimensiones del mismo, y algunas de las medidas de precaución que son necesarias tomar, teniendo en cuenta que se está realizando una manipulación en unas alturas superiores a 50 metros, a la intemperie, con alto nivel de polución, unas altas temperaturas y en unos espacios ciertamente reducidos.



El extremo del tubo que se encuentra fuera de la chimenea va conectado a un filtro de partículas para evitar que la muestra de gases contenga polvo, lo cual podría dañar la parte óptica del analizador. Seguidamente nos encontramos con una cámara de acondicionamiento de muestra que se encarga de calentar la muestra a una temperatura de unos 180° para conseguir que ésta llegue completamente seca al analizador.

Como el analizador se encuentra emplazado en una caseta a los pies del foco de emisión, tenemos que llevar la muestra desde el cabezal de sonda hasta el analizador. ¿Cómo se consigue?, a través de una línea de muestreo que mantiene los gases a una temperatura de unos 180°, con el fin de garantizar que la muestra tomada de chimenea llegue seca al analizador. Como la distancia total de la línea será superior a 60 metros, habrá que dimensionar correctamente la línea de muestreo que vayamos a utilizar. El aspecto de dicha línea es el siguiente:

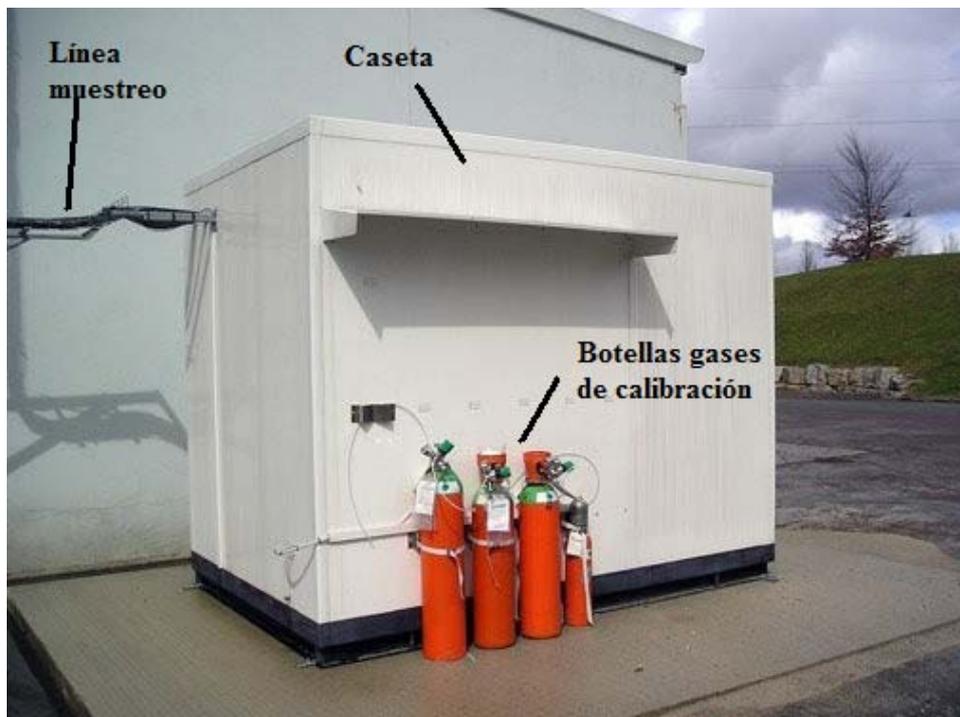
La figura muestra una línea compacta, compuesta por un tubo de Teflón para la conducción de los gases, una resistencia calefactora conectada a un controlador de temperatura ubicado en la caseta del analizador, y unos cables de alimentación que irán conectados a la sonda para que ésta pueda calentar la cámara de



acondicionamiento de muestra que comentamos anteriormente. La longitud de esta línea es variable, y depende de la longitud que deseemos cubrir. Debido a su alta densidad, el peso de la misma es bastante importante, por tanto a la hora de realizar la instalación es conveniente trasladar la línea a la plataforma de muestreo, y de allí llevarla hasta el analizador a través de una rejilla metálica que irá fijada a las paredes de la chimenea. Deberán evitarse giros de pequeño radio, ya que podría bloquearse el tubo de Teflón interno. Una vez llegamos al nivel del suelo, tenemos que introducir la línea en la caseta y conectarla al analizador.

### *Caseta y analizador de gases*

En la siguiente figura podemos observar el aspecto de una caseta estándar:



Podemos observar como entra la línea de muestreo a la caseta por su parte superior izquierda. En el exterior se encontrarán las botellas de gases patrón que se utilizarán para realizar las comprobaciones o calibraciones requeridas. A través de unos “pasamuros” se introducirán los tubos de salida de las botellas (todas llevan un regulador de presión) hasta una serie de electroválvulas (normalmente cerradas) que irán conectadas al analizador. Cuando se ejecute un ciclo de calibración, se irán abriendo y cerrando de manera secuencial con el fin de que los gases de cada una de las botellas sean medidos por el analizador. De manera resumida, mostramos el modo de funcionamiento en la siguiente tabla:

Gases	Electroválvula	Estado normal	Activación	Tiempo de Activación (min)
SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , NO	EV1	OFF	ON	0 - 4
O <sub>2</sub>	EV2	OFF	ON	4 - 6
CO, NO <sub>2</sub>	EV3	OFF	ON	6 - 11
HCl	EV4	OFF	ON	11 - 20

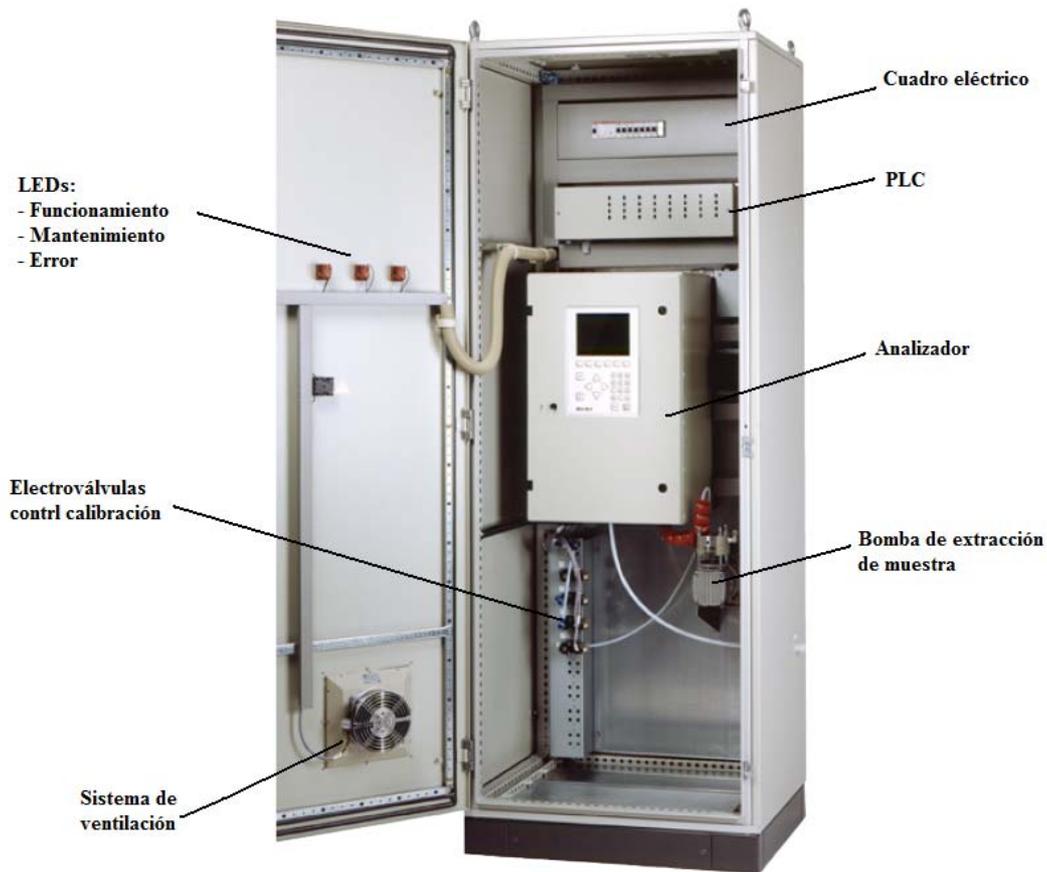
Cuando el ciclo de calibración automática se activa, la electroválvula EV1 que se encuentra cerrada en estado normal, se activa. En ese momento los gases de la correspondiente botella (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y NO) fluyen hasta el analizador durante 4 minutos, tiempo suficiente para que éstos alcancen la temperatura y presión adecuada en el interior de la cámara, para de este modo obtener una medida correcta de su concentración.

Transcurrido este tiempo la válvula EV1 se desactiva y corta el paso de los gases de la botella al analizador. A continuación se activará la EV2 dejando pasar el O<sub>2</sub> al analizador durante los siguientes 2 minutos, y así sucesivamente hasta completar el ciclo con las cuatro válvulas.

Los tiempos de activación mostrados son orientativos, y dependen del tipo de gas que se desee medir. El HCl es un gas que necesita más tiempo de estabilización en la cámara de medida del analizador, y por tanto el tiempo configurado es mayor que en el resto.

En la siguiente figura observamos el aspecto del armario del analizador con todos sus componentes:

- En la puerta: Sistema de ventilación y luces de información de estado.
- En el interior: Cuadro eléctrico, PLC, analizador, electroválvulas y bomba para la aspiración de la muestra.



Una vez instalado el analizador en la caseta, tenemos que conectar:

- Las señales del PLC
- La alimentación eléctrica
- Las botellas de gases patrón

Transcurrido el período inicial de calentamiento (unas 4 horas), podremos conectar la línea de muestreo y el equipo quedaría completamente operativo, ya que llega a la instalación configurado de fábrica, y por tanto no es necesario definir las señales que se van a transmitir y recibir. Únicamente tendremos la posibilidad de ajustar los tiempos del ciclo de calibración y la asignación de los valores de concentración de las botellas patrón.

### *Opacímetro SP100*

Tendremos un medidor de partículas instalado en cada uno de los tres focos de emisión. En la fotografía de la izquierda podemos observar el equipo que está instalado en el molino de carbón, pero éste no se encuentra operativo, ya que se estaban realizando labores de mantenimiento. En la fotografía de la derecha observamos el opacímetro instalado en el molino de cemento, y como se puede apreciar, las condiciones ambientales no son las más idóneas, por tanto los equipos deben ser extraordinariamente robustos para soportar dichas adversidades y funcionar de manera adecuada con un mínimo mantenimiento.



En este caso el equipo no llega con una configuración previa de fábrica, tenemos que adecuar varios parámetros a las características de la planta:

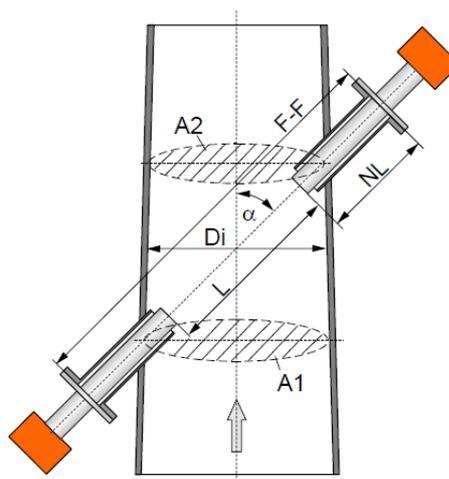
- En primer lugar introduciremos los coeficientes (cc2, cc1 y cc0) proporcionados por el laboratorio acreditado, obtenidos tras la realización de la prueba gravimétrica.
- A continuación configuramos la salida analógica: Concentración de partículas (unidades en  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) y rango de trabajo (depende de los valores que puedan registrarse en cada foco, por ejemplo, de 0 a  $120 \text{ mg}/\text{m}^3$ ).

- Indicaremos que el cero de la señal se propaga con un valor de intensidad de 4 mA y el valor máximo de la señal serían los 20 mA (los 120 mg/m<sup>3</sup> del ejemplo anterior).
- En el caso de que el equipo se encuentre en modo de mantenimiento, existe la posibilidad de configurar la salida analógica para que muestre un valor de 0,5 mA. Si también se produjera un fallo, la configuramos para que muestre un valor de 21 mA (fuera de rango).
- Activaremos la ejecución del ciclo de verificación automática cada 8 horas, y estableceremos la hora en que se iniciará la prueba.
- Si estamos interesados en que algún parámetro externo, como puede ser la humedad, temperatura o la presión en la chimenea, aparezcan en la pantalla de la unidad de control, tenemos la posibilidad de configurar las entradas analógicas y definir los rangos de trabajo.
- En cuanto a los relés, no es necesaria una configuración, ya que viene definido por defecto.
- Del mismo modo, están configuradas por defecto las entradas digitales, para tener la posibilidad de poner el equipo en mantenimiento en modo remoto o manual a través de un interruptor, o para ejecutar una rutina de verificación desde un acceso remoto, como puede ser la propia sala de control.

### Caudalímetro FLOWSIC 100

Al igual que en el caso del opacímetro tendremos un caudalímetro instalado en cada uno de los tres focos de emisión. La configuración del mismo se realiza también en la propia planta, ya que hay una serie de parámetros que nos tiene que proporcionar el cliente, como son la sección de la chimenea en el punto de instalación del equipo y el rango de medición.

Las chimeneas de los tres focos tendrán unas dimensiones diferentes, y por tanto los ángulos de instalación de los equipos variarán y por tanto la distancia entre los sensores.



La configuración se realizará de la siguiente manera:

- Introducir los parámetros de:
  - Ángulo de instalación.
  - Distancia entre los transductores.
  - Sección transversal del foco de emisión.
- A continuación definiremos que la salida analógica: Caudal del foco (unidades en m<sup>3</sup>/h) y su rango de trabajo (por ejemplo, de 0 a 300.000 m<sup>3</sup>/h).
- Definiremos que el cero de la señal se propaga con un valor de intensidad de 4 mA y el valor máximo de la señal serían los 20 mA (los 300.000 m<sup>3</sup>/h del ejemplo anterior).
- En el caso de que el equipo se encuentre en modo de mantenimiento, existe la posibilidad de configurar la salida analógica para que muestre un valor de 0,5 mA. Si también se produjera un fallo, la configuramos para que muestre un valor de 21 mA (fuera de rango).
- Activaremos la ejecución del ciclo de verificación automática cada 8 horas, y estableceremos la hora en que se iniciará la prueba.
- Si estamos interesados en que algún parámetro externo, como puede ser la humedad, temperatura o la presión en la chimenea, aparezcan en la pantalla de la unidad de control, tenemos la posibilidad de configurar las entradas analógicas y definir los rangos de trabajo.
- En cuanto a los relés, no es necesaria una configuración, ya que viene definido por defecto. Únicamente habrá que realizar el cableado correspondiente hasta el sistema de adquisición de datos de planta.
- Del mismo modo, están configuradas por defecto las entradas digitales, para tener la posibilidad de poner el equipo en mantenimiento en modo remoto o manual a través de un interruptor, o para ejecutar una rutina de verificación desde un acceso remoto, como puede ser la propia sala de control.

*Los planos generales donde se muestran la disposición y conexionado de los dispositivos se encuentran en el anexo con las siguientes referencias: MPC0G0, MPC0G1 y MPC0G2.*

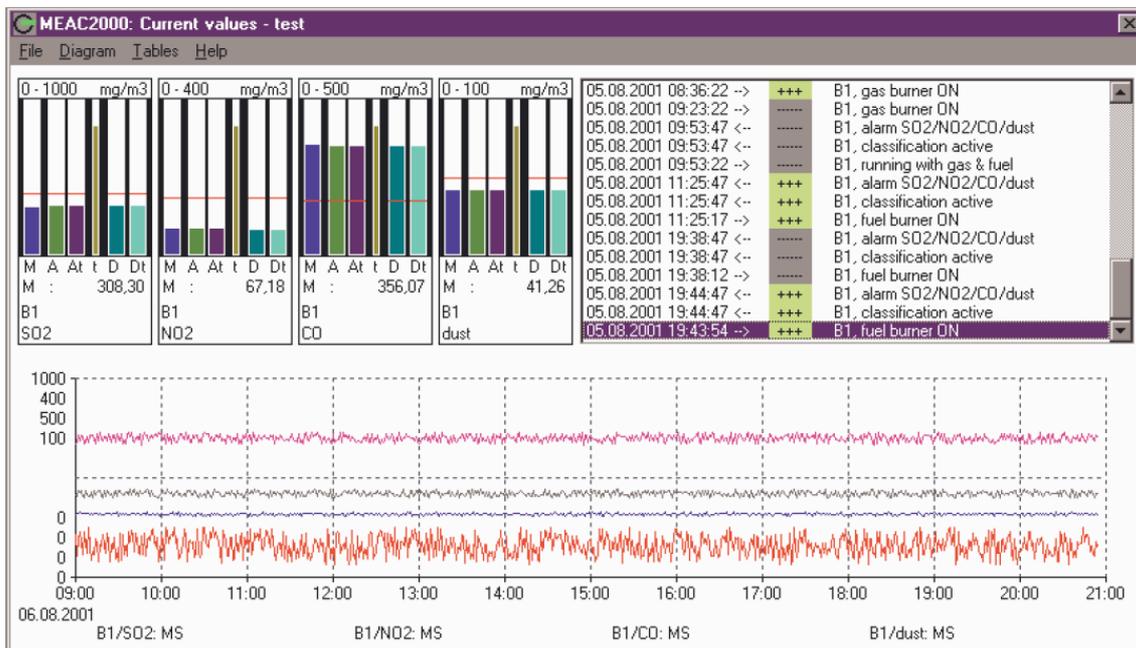
## 8.2.- Ejemplo de información recogida por el Sistema de Adquisición

Tal y como se comentó en capítulos anteriores, un sistema de adquisición de datos nos dará la posibilidad de visualizar, almacenar y gestionar los valores medidos por los diferentes dispositivos.

En una planta cementera resulta de vital importancia disponer de este tipo de sistemas por dos motivos:

- Analizar el comportamiento de los diferentes procesos de producción en base a los datos medidos.
- Reportar al Departamento de Medio Ambiente la información de contaminantes requerida.

Este software está instalado en un PC, normalmente ubicado en la sala de control de la planta. A través de la pantalla podremos visualizar los datos que necesitemos conocer, ya sean concentraciones de gases o partículas, o el estado de funcionamiento de los diferentes dispositivos conectados al sistema de adquisición. Como ejemplo mostraremos la siguiente pantalla:



La información detallada acerca de la misma se encuentra en el capítulo 7 de este estudio. La apariencia de la pantalla es configurable por el propio usuario, y por tanto puede decidir el número de componentes que desea visualizar, la franja horaria para la visualización de datos, gestión de alarmas, etc. Todas las utilidades que nos ofrece el programa de adquisición de datos se recogen en el capítulo correspondiente.

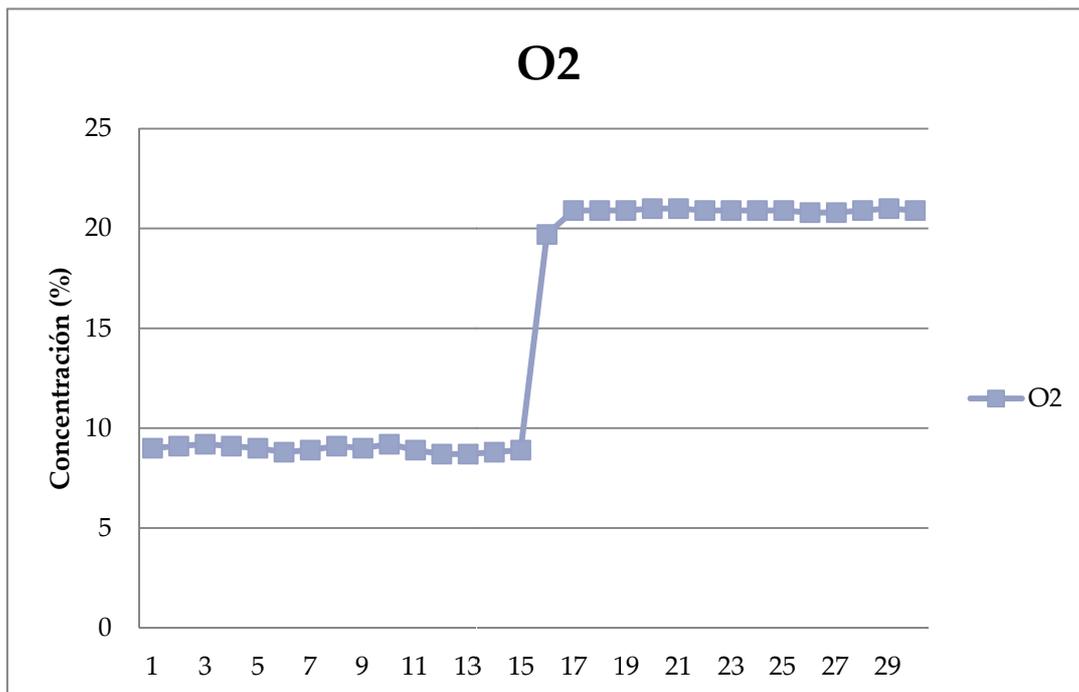
### 8.3.- Datos de concentraciones en condiciones de funcionamiento y parada

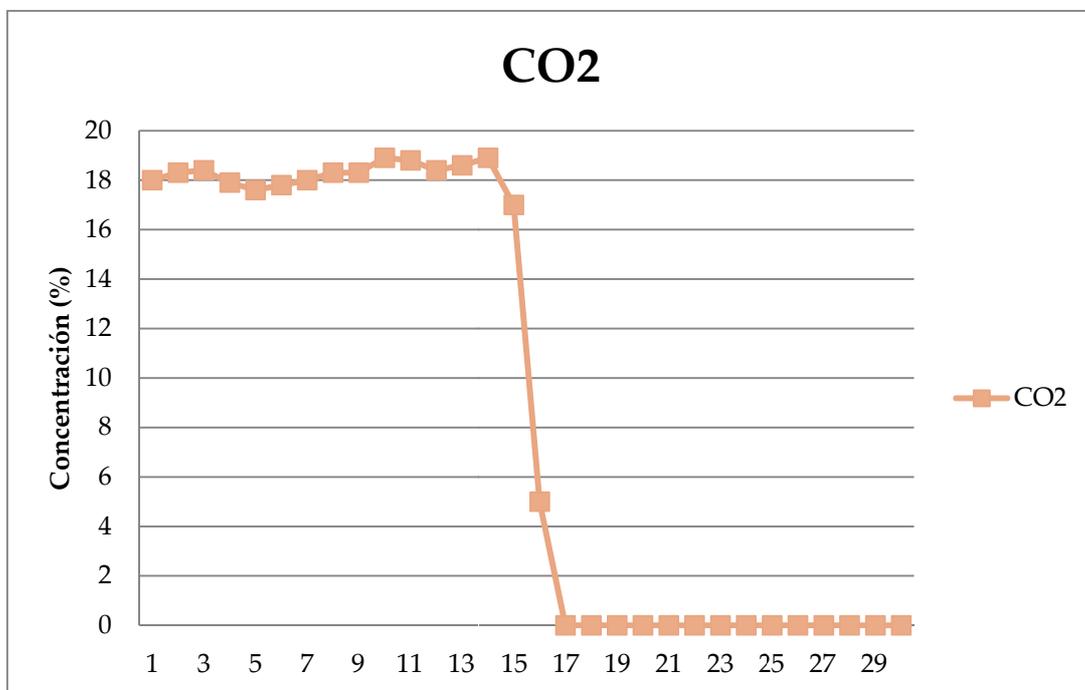
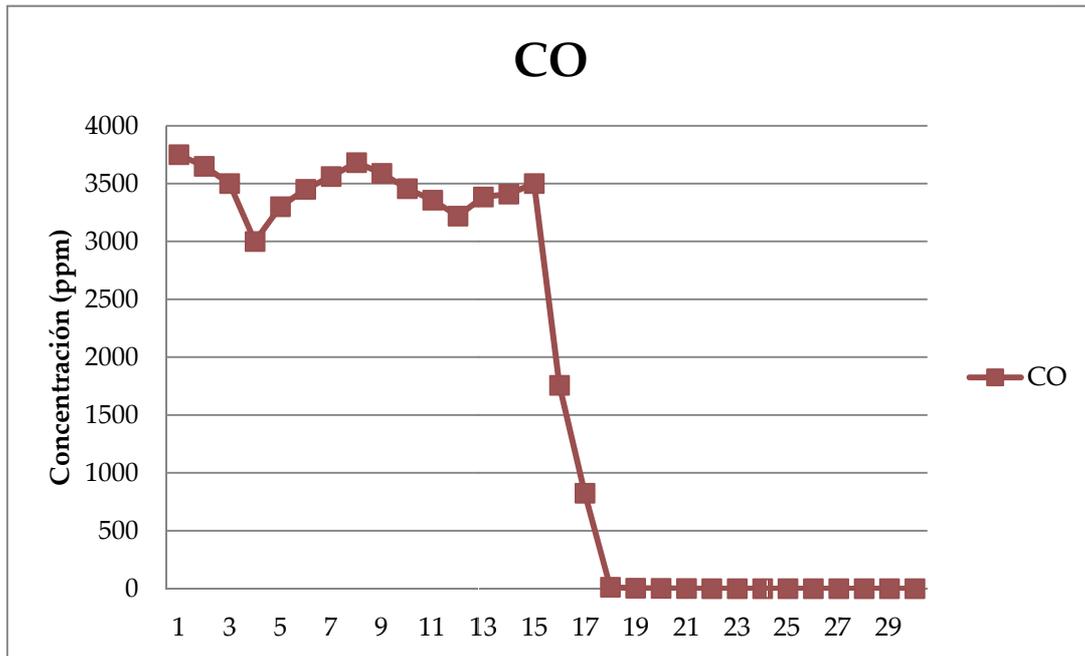
Los datos son variables en función de la instalación, del tipo de combustible utilizado (fuel o residuos), de la presión y temperatura ambiental, y de las condiciones en que esté funcionando el horno. En cortos períodos de tiempo, los valores incluso pueden llegar a triplicarse, por tanto mostraremos una tabla indicando cuales son los rangos de concentración más habituales estando la planta operativa:

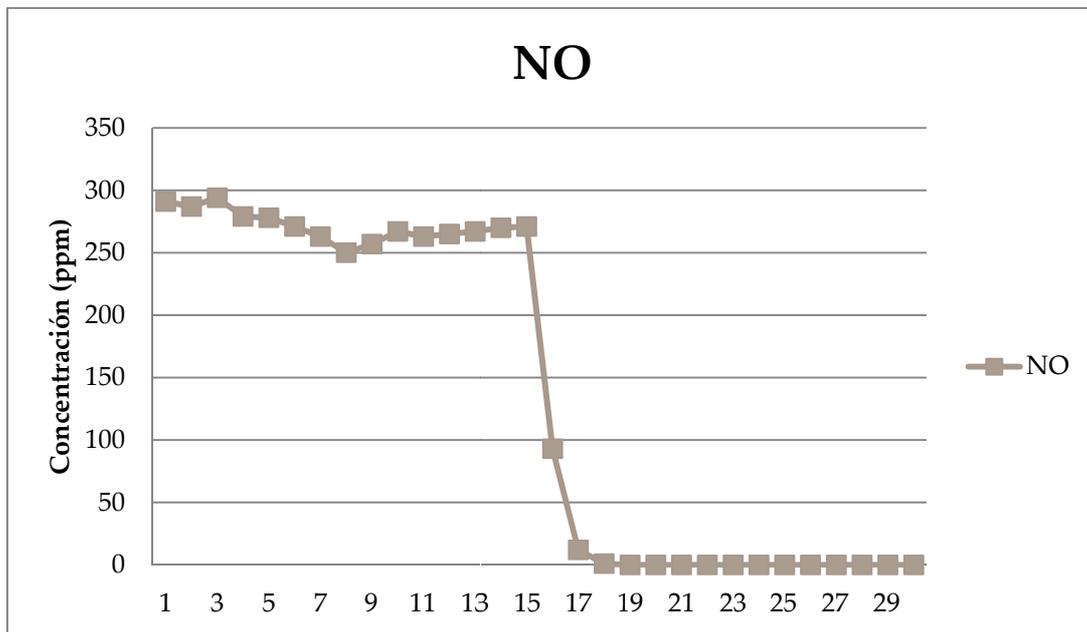
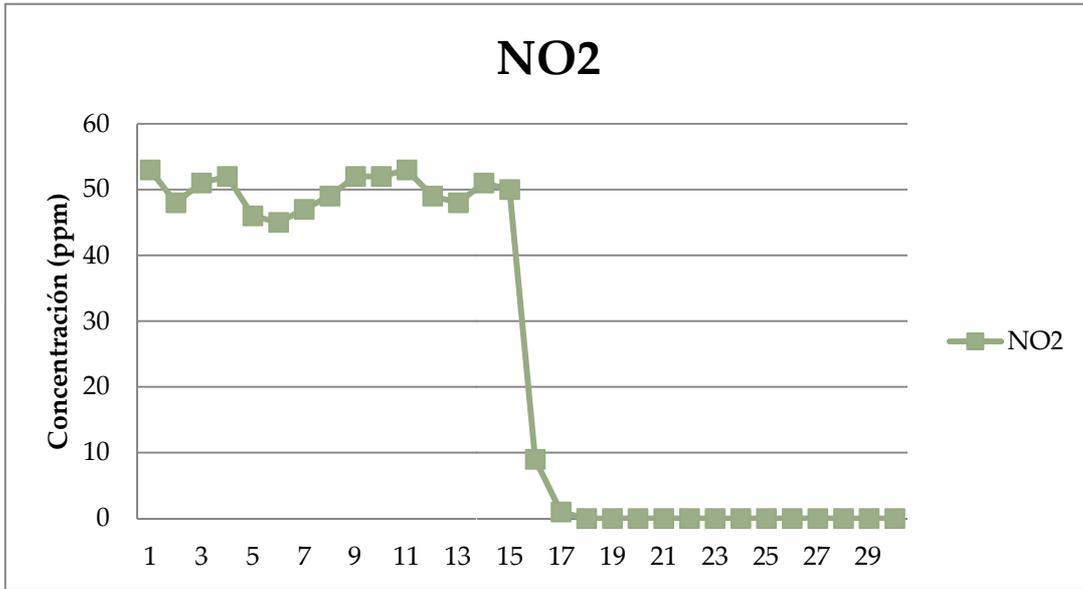
Componente	Mín	Máx
<b>O2</b>	9%	13%
<b>CO</b>	500 ppm	4000 ppm
<b>CO2</b>	16%	22%
<b>NO2</b>	10 ppm	60 ppm
<b>NO</b>	50 ppm	300 ppm
<b>SO2</b>	20 mg/m3	250 mg/m3
<b>HCl</b>	0,5 mg/m3	5 mg/m3

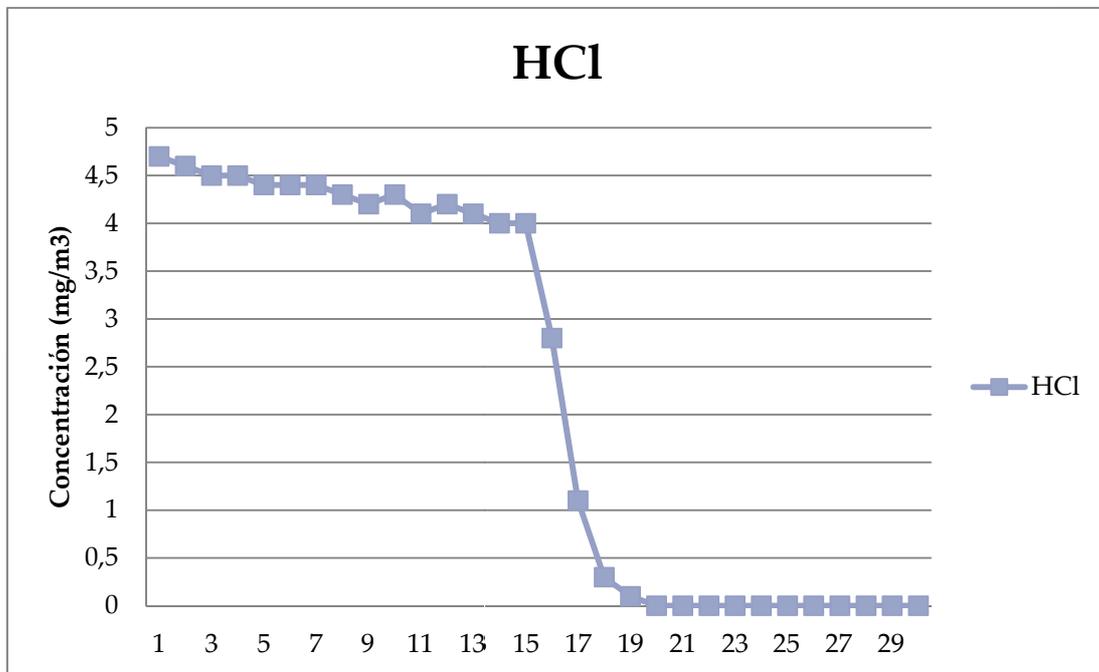
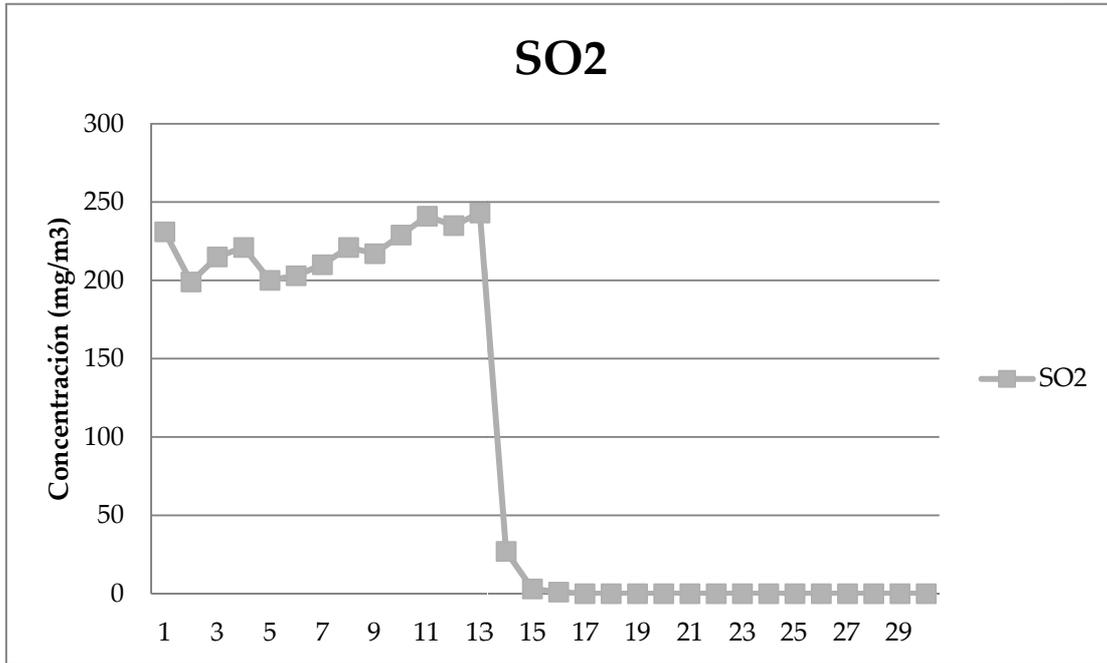
Vamos a mostrar cómo sería la evolución de los datos de concentración de cada componente con el tiempo tomando como base de tiempos los minutos. En cada minuto se recoge el valor medio de cada componente, y representaremos los valores en un intervalo de 30 minutos.

Durante los minutos del 0 al 14 la planta estará operativa, y de los minutos 15 al 30 el horno estará parado. A través de las siguientes gráficas observaremos los cambios que se producen en los diferentes componentes:



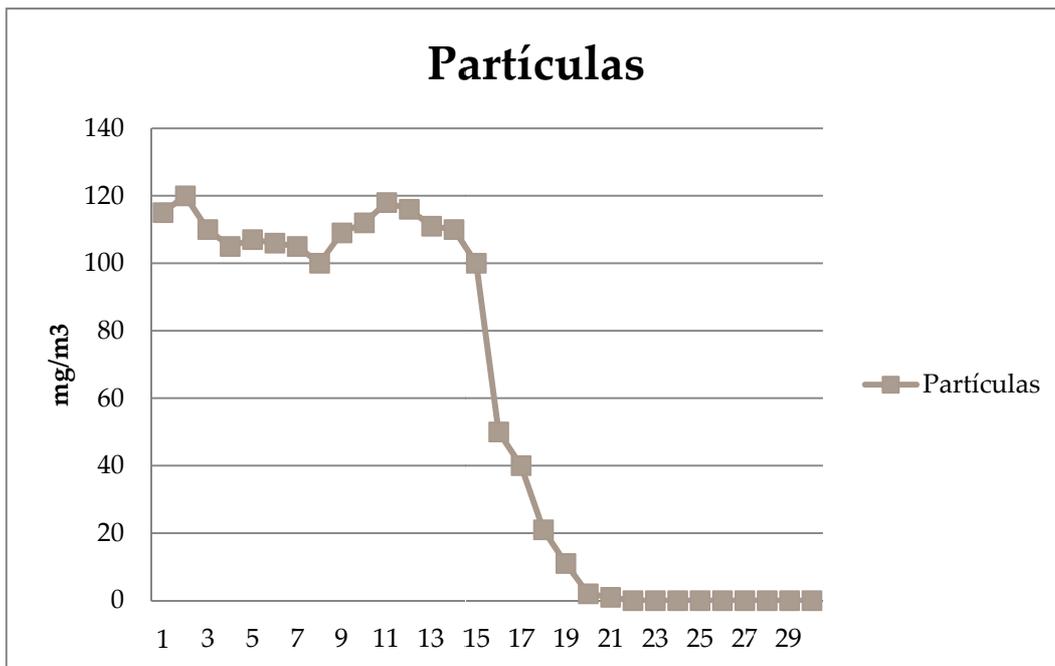
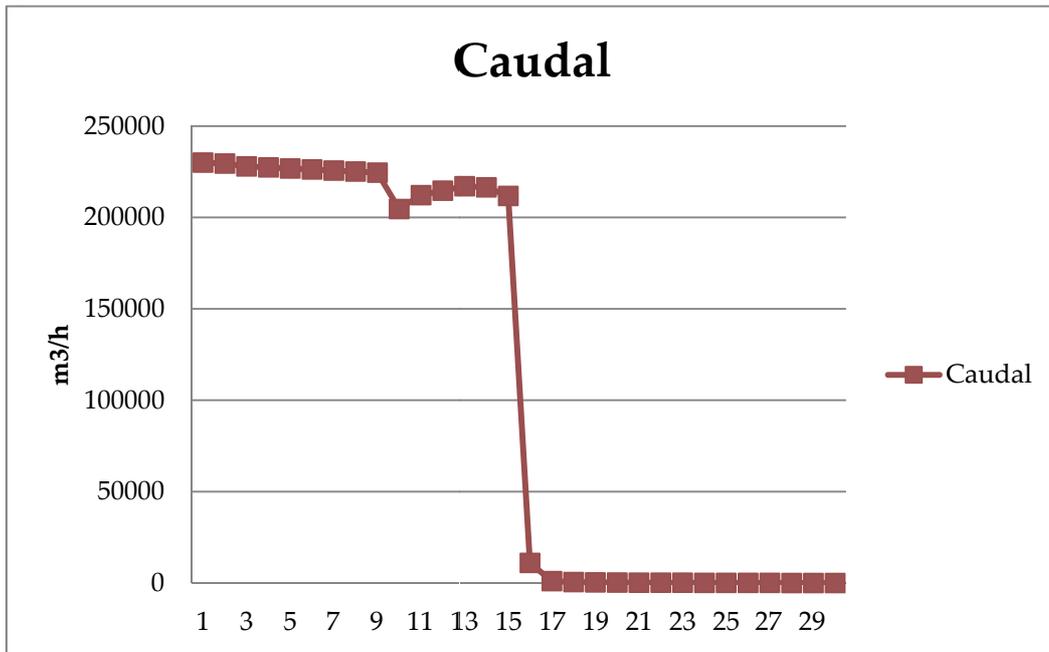






Como se puede observar en las gráficas, a partir del minuto 15 (cuando la planta entra en parada) la concentración en todos los componentes comienza a disminuir de manera rápida, excepto la concentración de oxígeno que se normaliza a la concentración normal de 20,94% en condiciones normales.

Lo mismo sucede con los valores de caudal y partículas en los distintos focos de emisión:



## Conclusiones

---

La principal motivación que nos ha conducido a plantear este proyecto es la preocupación existente acerca del cambio climático provocado por la contaminación atmosférica. Existen multitud de agentes contaminantes externos provocados por el hombre, pero hemos enfocado nuestro estudio hacia el caso particular de la industria cementera, quizá por la experiencia propia de haber trabajado en el sector, y también por ser uno de los agentes externos más agresivos contra el medioambiente.

En cuanto a las conclusiones más importantes del proyecto, podemos citar los siguientes:

- Se ha mostrado que existe una legislación en materia de Medio Ambiente, que regula, controla y sanciona a todos aquellos focos de emisión que superen los límites establecidos para cada parámetro contaminante, y también mencionar qué tipo de industrias se ven afectadas por dicha normativa y están obligadas a disponer de un sistema de adquisición de datos en modo continuo para la captación de valores de los parámetros contaminantes.
- Se ha dado a conocer la existencia de los Sistemas de Control de Emisiones Continuas enfocados a los sectores industriales, y formados por dispositivos de captación de muestras de gases, medición de partículas, control de caudales en chimeneas y sistemas de adquisición de datos. Hemos detallado cómo y dónde se instalan, cómo se configuran, cuáles son sus principales funciones y cómo se realizan sus mantenimientos, y también hemos dado a conocer cuáles son las principales funcionalidades que nos aportan los sistemas de adquisición de datos en este tipo de aplicaciones.
- Se ha expuesto una visión general acerca de la producción del cemento, y cuáles son los focos de emisión que deben controlarse en una planta estándar. Se han definido los parámetros a medir, cuáles son los dispositivos más adecuados, cómo se transmiten y gestionan las señales de comunicaciones (datos, alarmas y control) y como se interconectan los diferentes dispositivos entre sí para conformar el sistema.
- Se ha definido cómo sería una aplicación real instalada en una planta cementera, mostrando fotografías descriptivas para conocer la ubicación de los equipos (plataformas en chimeneas) con el fin de tener una idea de la complejidad de su instalación y puesta en marcha.

Para concluir, esperamos que el desarrollo de este trabajo también haya servido al lector para exponer que no todo el desarrollo producido en los sectores industriales implica necesariamente una “destrucción del planeta”, ya que sería imposible implementar este tipo de controles sin los avances conseguidos en el campo de la industria electrónica.

## Bibliografía

---

*Instrucción Técnica para la instalación, operación, mantenimiento y calibración de sistemas de medición de emisiones en continuo. Ref.: IT-DPECA-EA-IPPC-09, rev.01.* Autor: Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco.

*Instrucción Técnica relativa a los Sistemas de Medición de Emisiones en Continuo (SMEC). Ref.: IT-DPECA-EA-IPPC-08, rev.01.* Autor: Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco.

*MCS100 E IR-Analyzer. Installation, Start-up, Maintenance and Operating instructions.* Autor: SICK UPA GmbH.

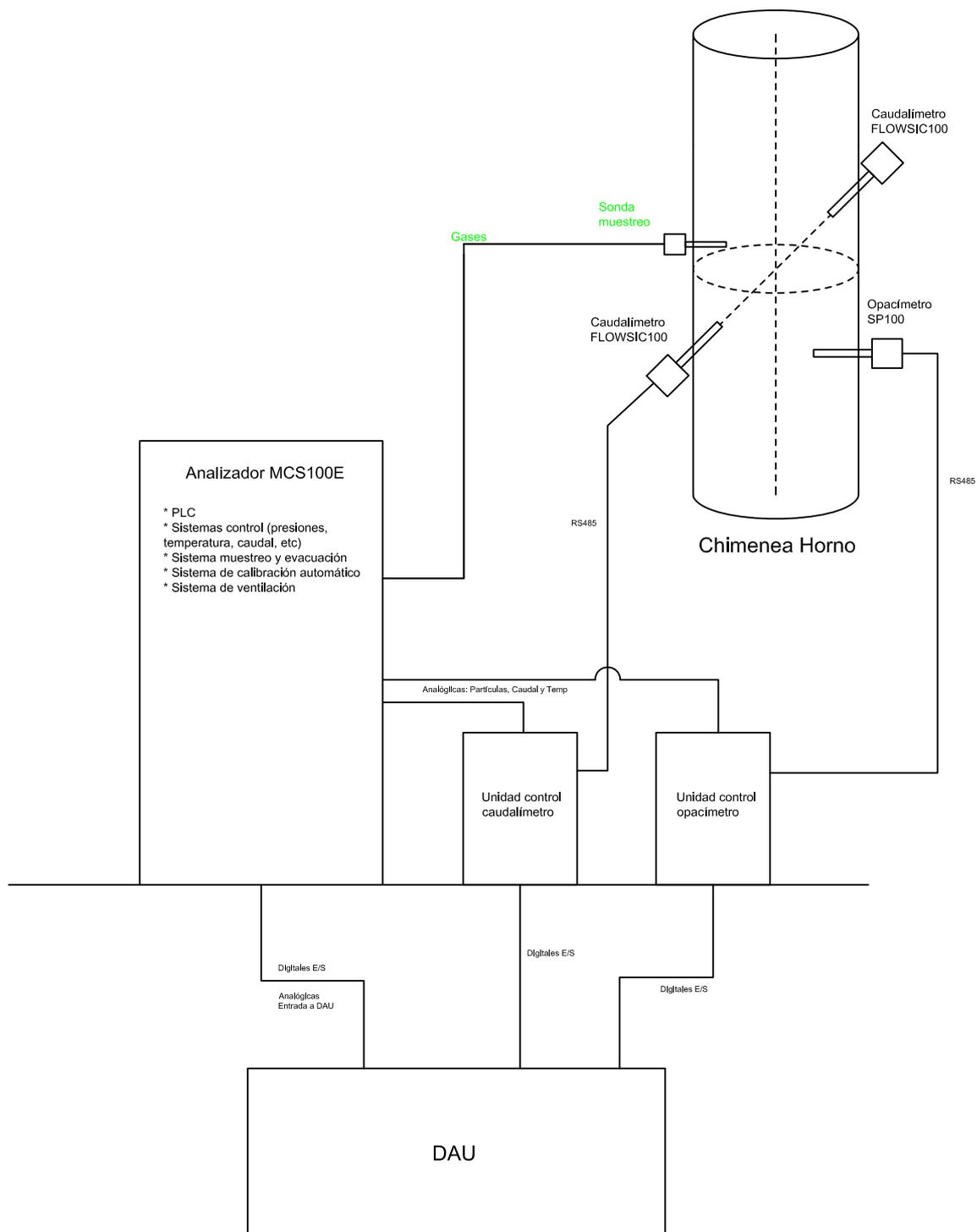
*FLAWSIC 100 Flowmeter. Installation, Start-up, Maintenance and Operating instructions.* Autor: SICK UPA GmbH.

*Dusthunter SP100. Installation, Start-up, Maintenance and Operating instructions.* Autor: SICK UPA GmbH.

*MEAC2000. PC Software for the graphic display and statistical processing.* Autor: MAIHAK Aktiengesellschaft.

## Anexos

---

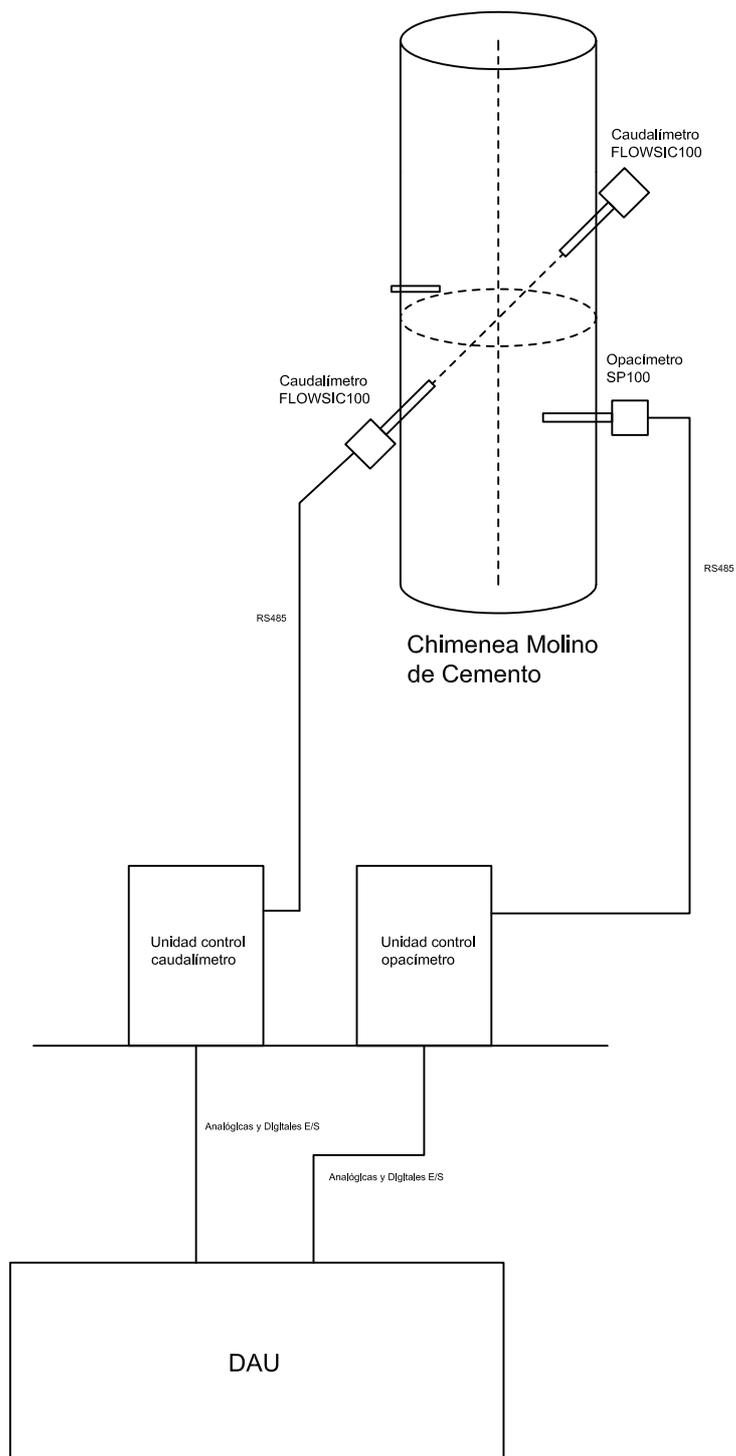


Descripción: Esquema de equipos instalados en el foco del horno

Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 09/08/2013

Nº Plano: MPC0G0

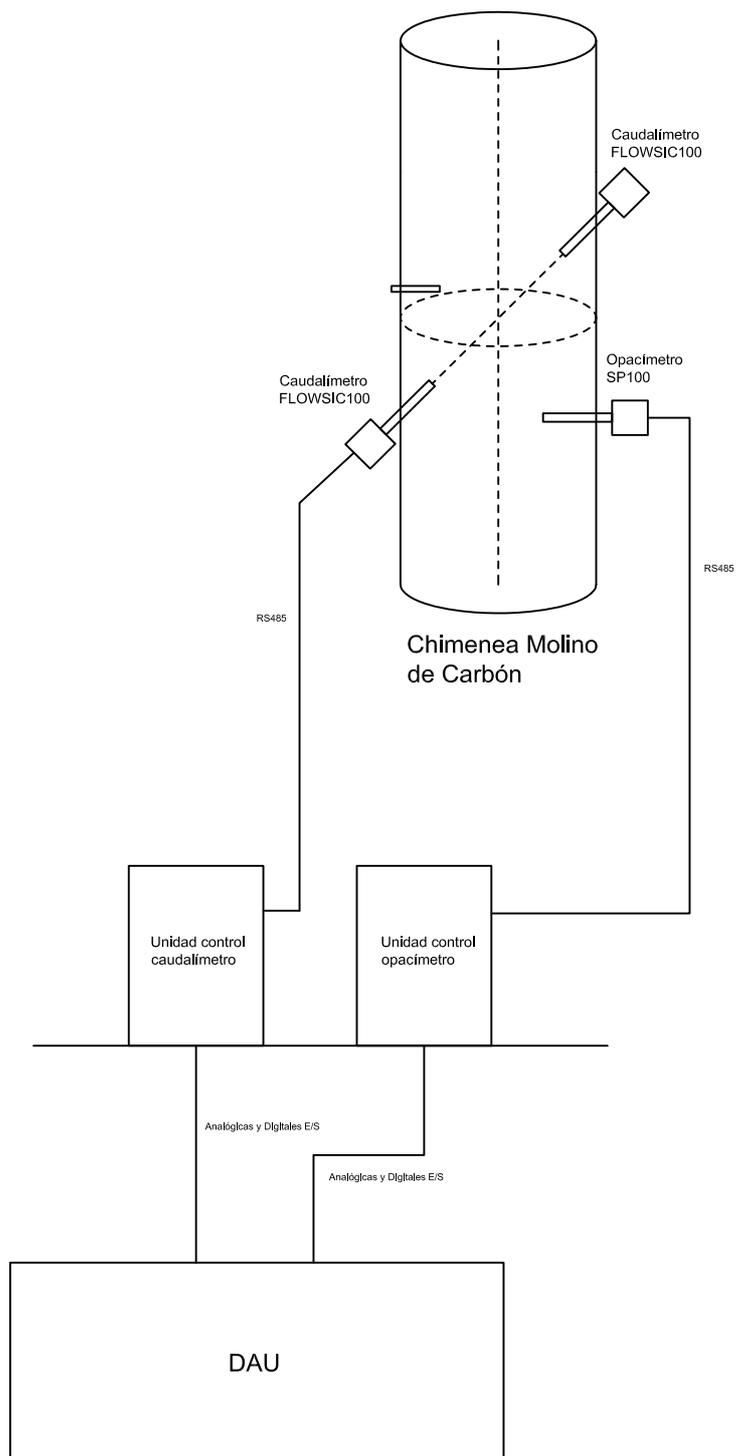


Descripción: Esquema de equipos instalados en el foco del Molino de Cemento

Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 09/08/2013

Nº Plano: MPC0G1

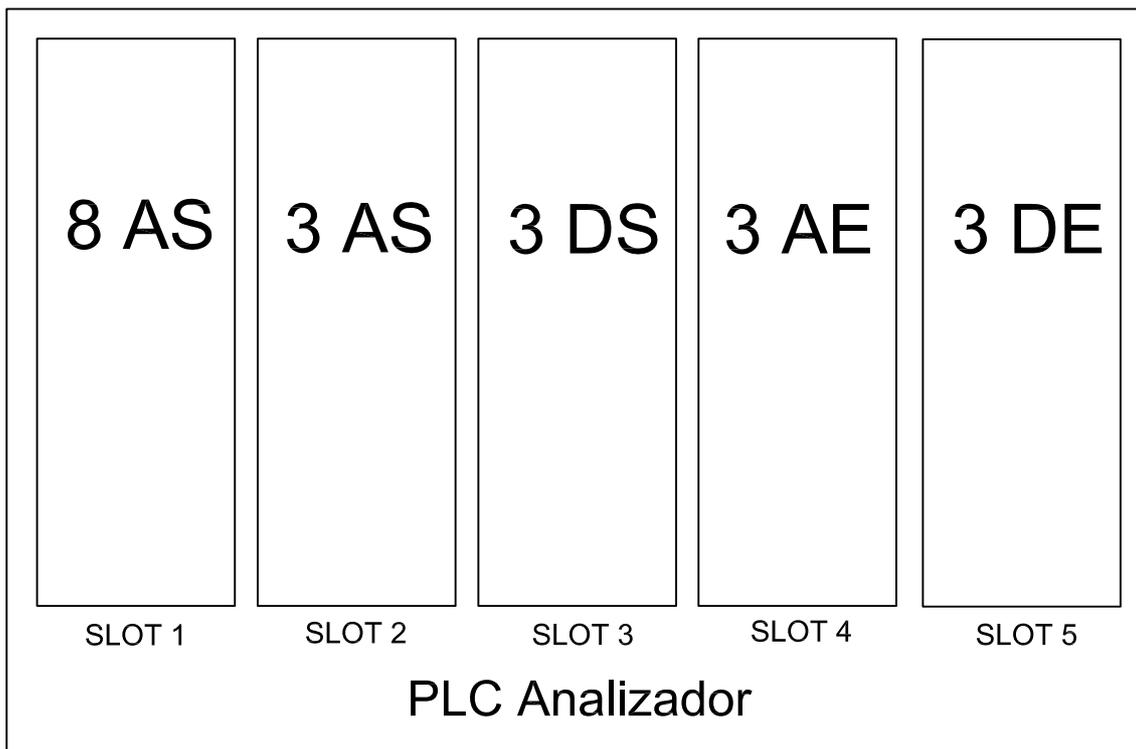


Descripción: Esquema de equipos instalados en el foco del Molino de Carbón

Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 09/08/2013

Nº Plano: MPC0G2



Slot 1: Tarjeta de salidas analógicas de 8 canales (8 canales utilizados).

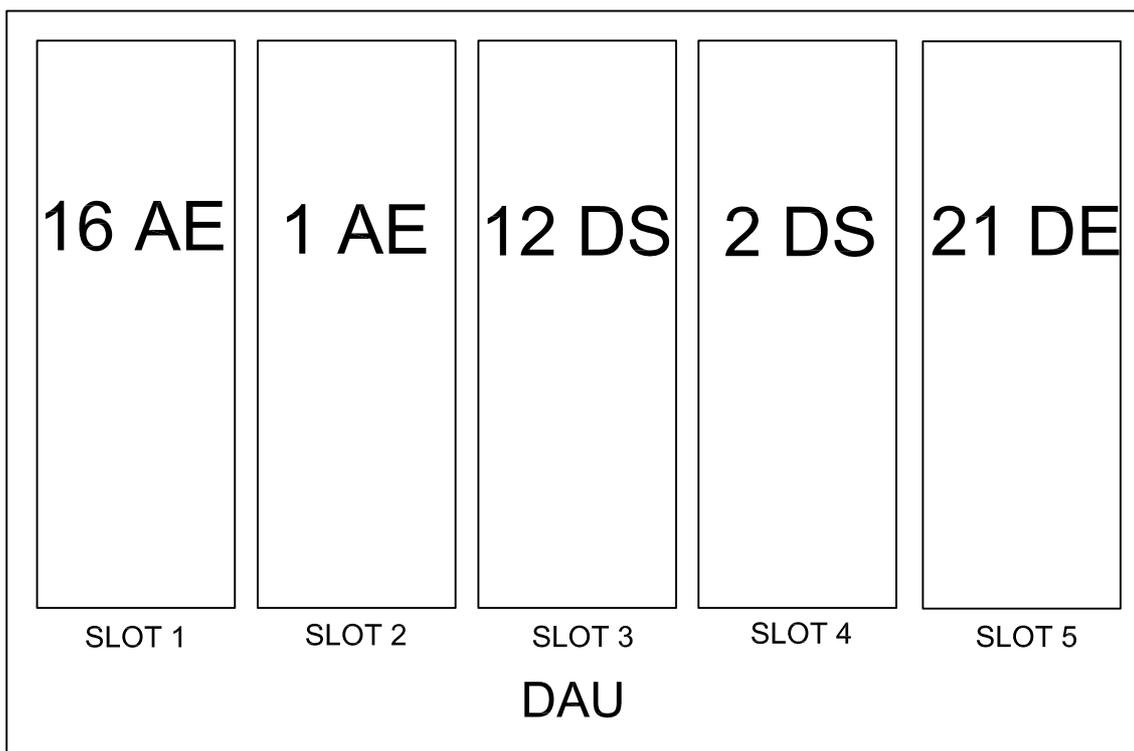
Slot 2: Tarjeta de salidas analógicas de 8 canales (3 canales utilizados).

Slot 3: Tarjeta de salidas digitales de 8 canales (3 canales utilizados).

Slot 4: Tarjeta de entradas analógicas de 8 canales (3 canales utilizados).

Slot 5: Tarjeta de entradas digitales de 8 canales (3 canales utilizados).

Descripción: Asignación de tarjetas en el PLC analizador
Autor: Bernardo San Segundo
Fecha: 07/08/2013
Nº Plano: MPC000



Slot 1: Tarjeta de entradas analógicas de 16 canales (16 canales utilizados).

Slot 2: Tarjeta de entradas analógicas de 16 canales (1 canal utilizado).

Slot 3: Tarjeta de salidas digitales de 12 canales (12 canales utilizados).

Slot 4: Tarjeta de salidas digitales de 12 canales (2 canales utilizados).

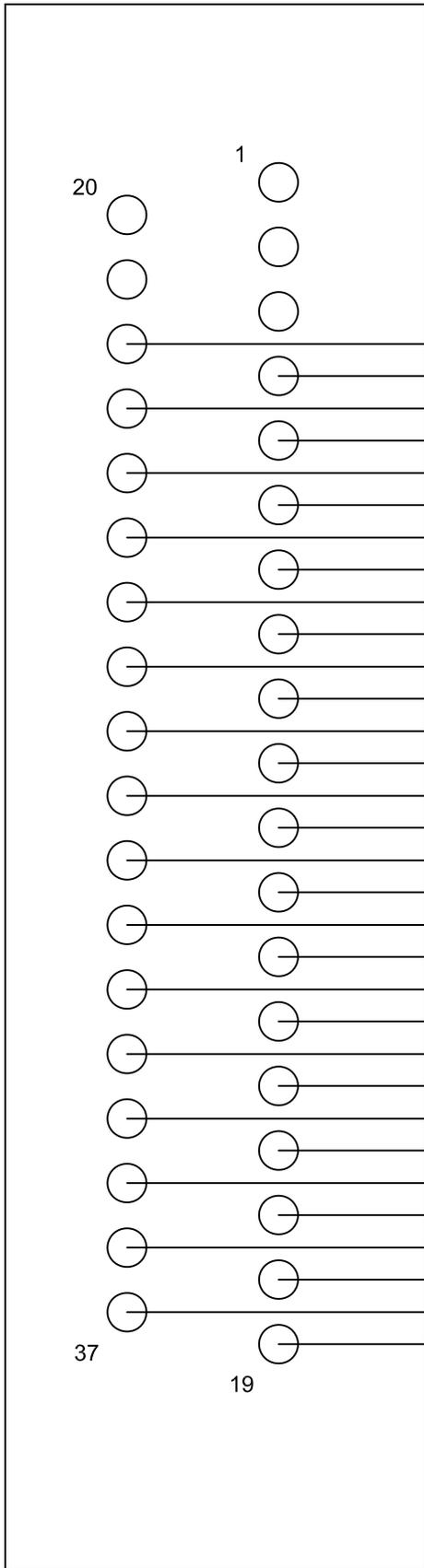
Slot 5: Tarjeta de entradas digitales de 32 canales (21 canales utilizados).

Descripción: Asignación de tarjetas en la unidad de adquisición de datos DAU

Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 07/08/2013

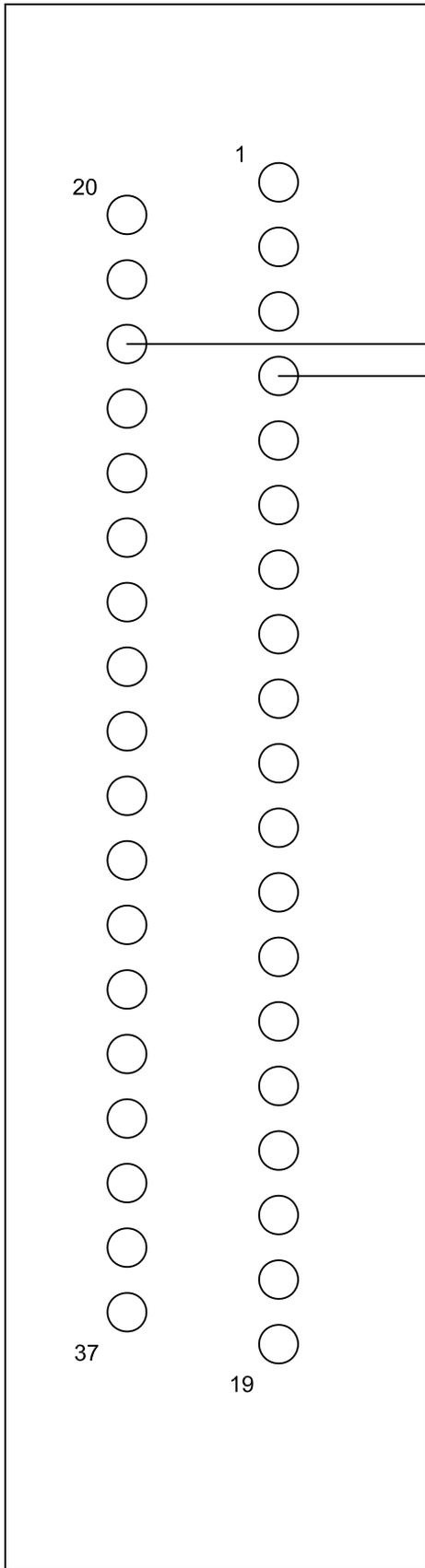
Nº Plano: MPC001



Código de señal

CANAL 1	AS001
CANAL 2	AS002
CANAL 3	AS003
CANAL 4	AS004
CANAL 5	AS005
CANAL 6	AS006
CANAL 7	AS007
CANAL 8	AS008
CANAL 9	AS009
CANAL 10	AS010
CANAL 11	AS011
CANAL 12	AS012
CANAL 13	AS013
CANAL 14	AS014
CANAL 15	AS015
CANAL 16	AS016

Descripción: Asignación de canales analógicos de entrada SLOT 1 de la DAU	
Autor: Bernardo San Segundo	
Fecha: 07/08/2013	Nº Plano: MPC002

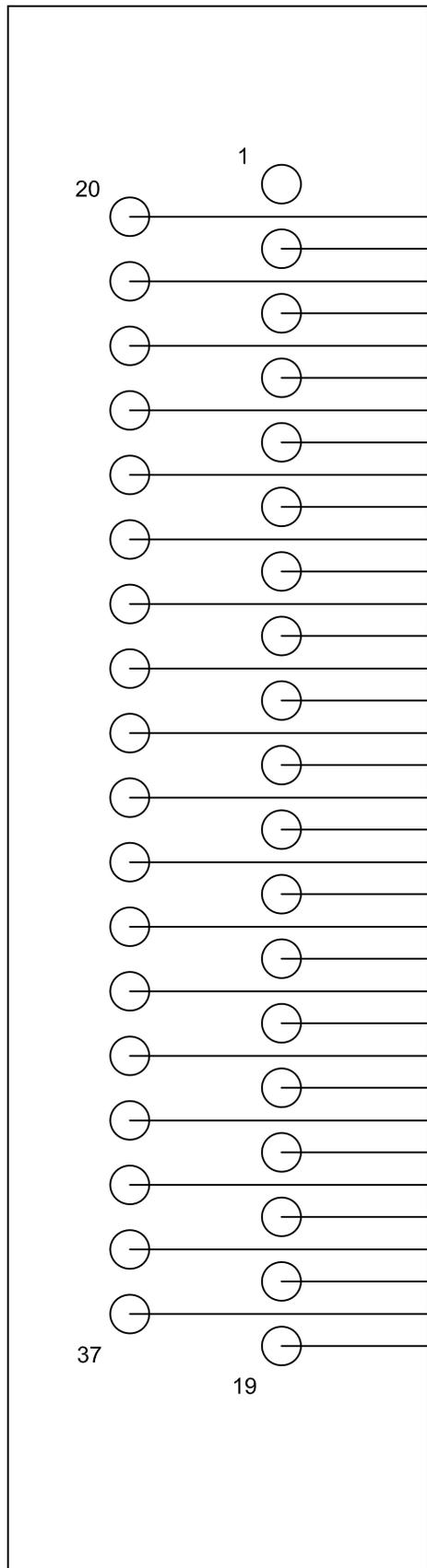


Código de señal

CANAL 1

AS017

Descripción: Asignación de canales analógicos de entrada SLOT 2 de la DAU	
Autor: Bernardo San Segundo	
Fecha: 07/08/2013	Nº Plano: MPC003



Código de señal

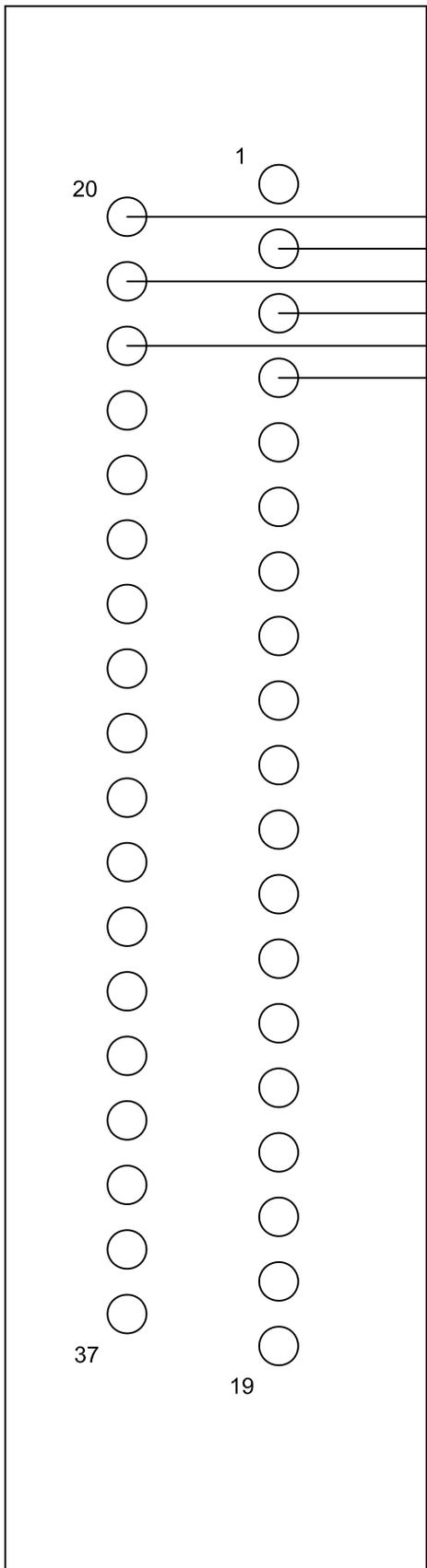
CANAL 1	DE001
CANAL 2	DE002
CANAL 3	DE004
CANAL 4	DE005
CANAL 5	DE007
CANAL 6	DE008
CANAL 7	DE010
CANAL 8	DE011
CANAL 9	DE013
CANAL 10	DE014
CANAL 11	DE016
CANAL 12	DE017

Descripción: Asignación de canales digitales de salida SLOT 3 de la DAU

Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 08/08/2013

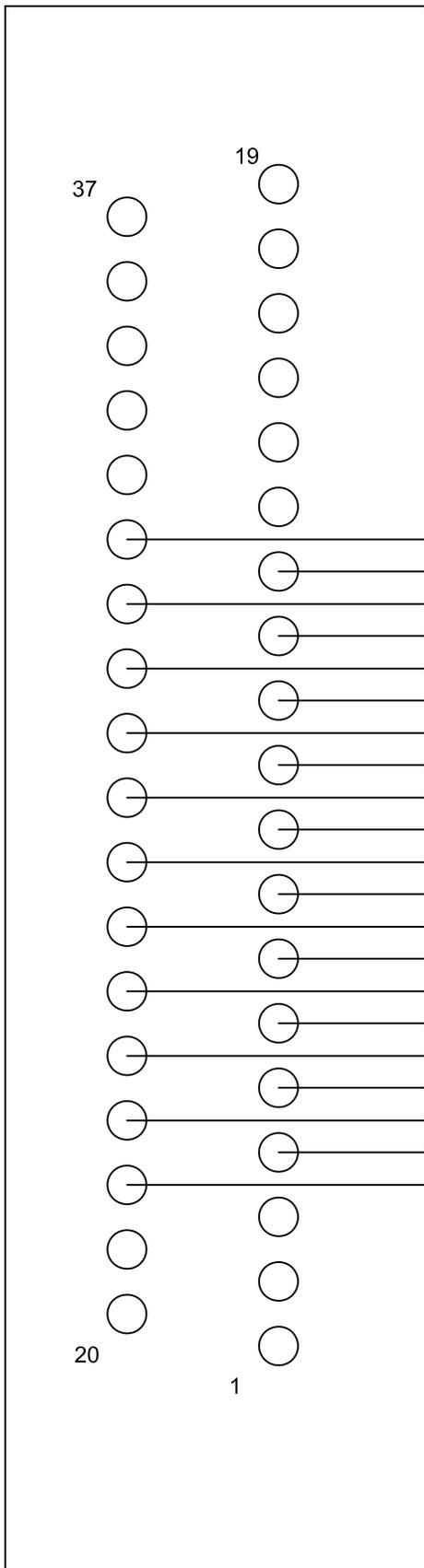
Nº Plano: MPC004



Código de señal

CANAL 1	DE019
CANAL 2	DE020

Descripción: Asignación de canales digitales de salida SLOT 4 de la DAU	
Autor: Bernardo San Segundo	
Fecha: 08/08/2013	Nº Plano: MPC005



Código de señal

CANAL 21	DS021
CANAL 20	DS020
CANAL 19	DS019
CANAL 18	DS018
CANAL 17	DS017
CANAL 16	DS016
CANAL 15	DS015
CANAL 14	DS014
CANAL 13	DS013
CANAL 12	DS012
CANAL 11	DS011
CANAL 10	DS010
CANAL 9	DS009
CANAL 8	DS008
CANAL 7	DS007
CANAL 6	DS006
CANAL 5	DS005
CANAL 4	DS004
CANAL 3	DS003
CANAL 2	DS002
CANAL 1	DS001

Descripción: Asignación de canales digitales de entrada SLOT 5 de la DAU

Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 08/08/2013

Nº Plano: MPC006

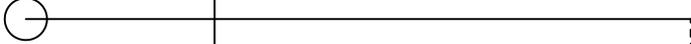
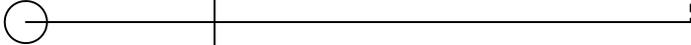
Código de señal

16



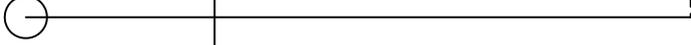
CANAL 8

AS008



CANAL 7

AS007



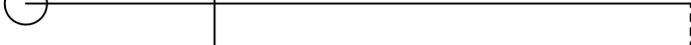
CANAL 6

AS006



CANAL 5

AS005



CANAL 4

AS004



CANAL 3

AS003



CANAL 2

AS002



CANAL 1

AS001

1



Descripción: Asignación de canales analógicos de salida SLOT 1 del PLC analizador

Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 08/08/2013

Nº Plano: MPC007

16



1

Código de señal

CANAL 3

AS011

CANAL 2

AS010

CANAL 1

AS009

Descripción: Asignación de canales analógicos de salida SLOT 2 del PLC analizador

Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 08/08/2013

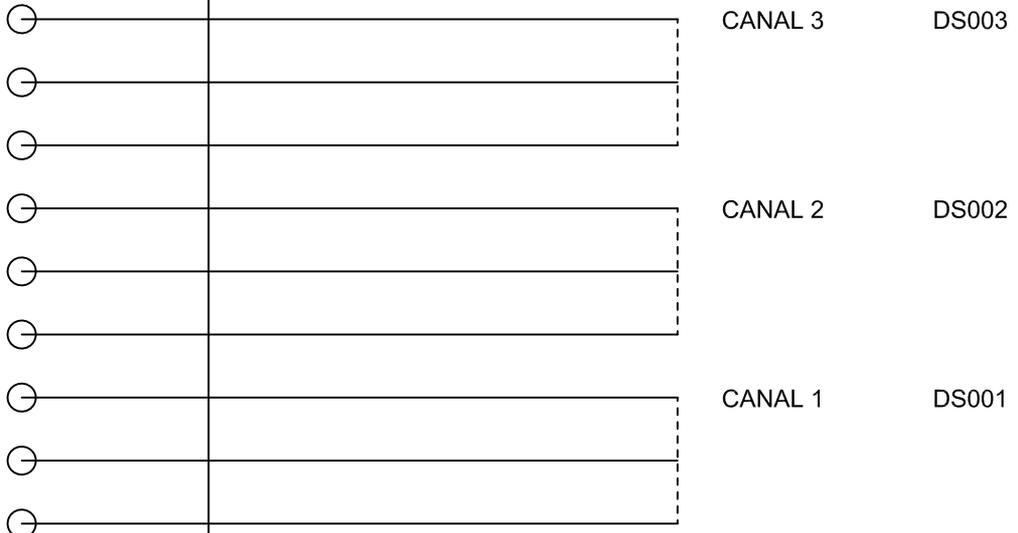
Nº Plano: MPC008

24



1

Código de señal



Descripción: Asignación de canales digitales de salida SLOT 3 del PLC analizador

Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 08/08/2013

Nº Plano: MPC009

16



1

Código de señal

CANAL 3 AE003

CANAL 2 AE002

CANAL 1 AE001

Descripción: Asignación de canales analógicos de entrada  
SLOT 4 del PLC analizador

Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 08/08/2013

Nº Plano: MPC010

8



1

Código de señal

CANAL 3 DE003

CANAL 2 DE002

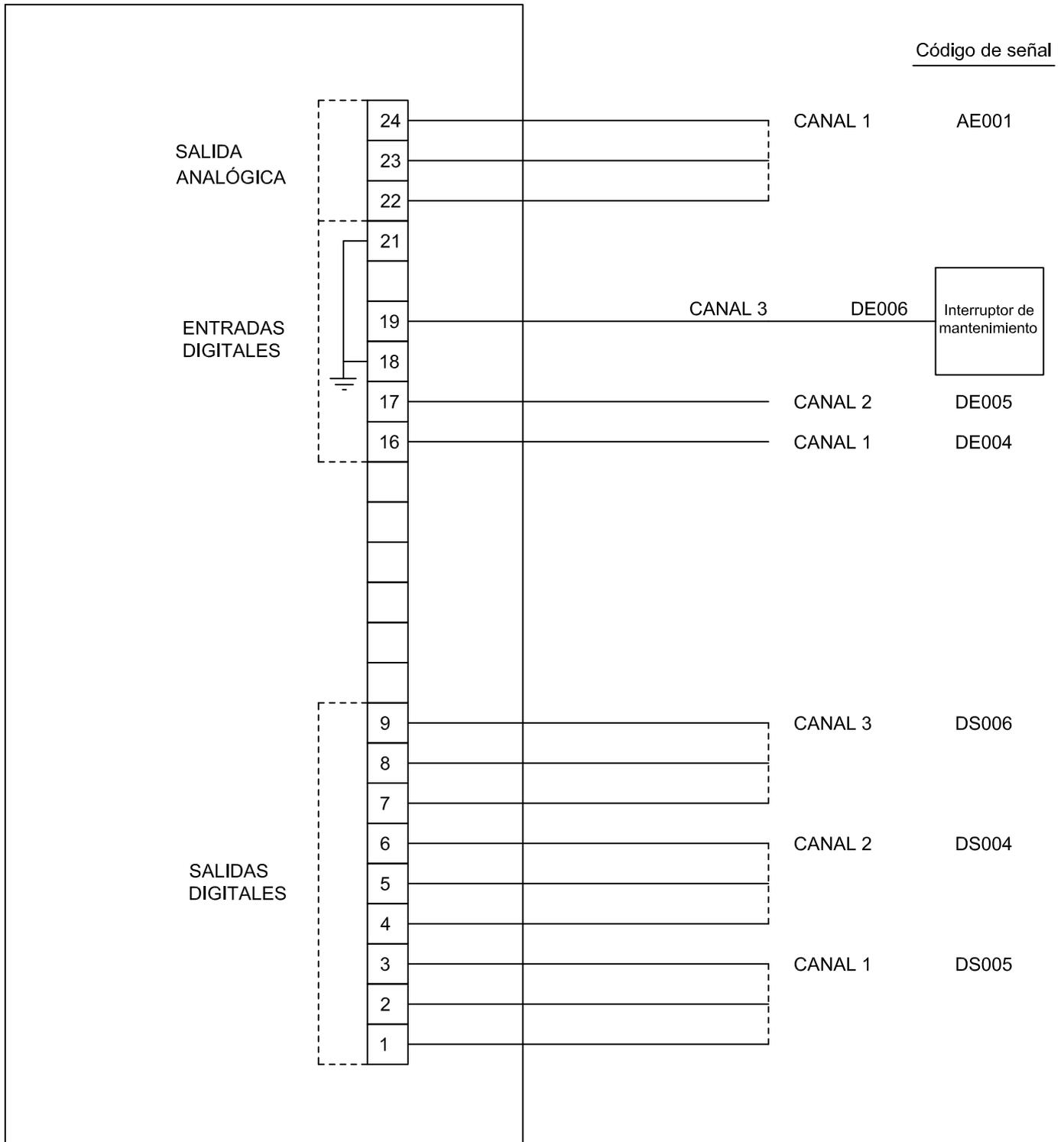
CANAL 1 DE001

Descripción: Asignación de canales digitales de entrada SLOT 5 del PLC analizador

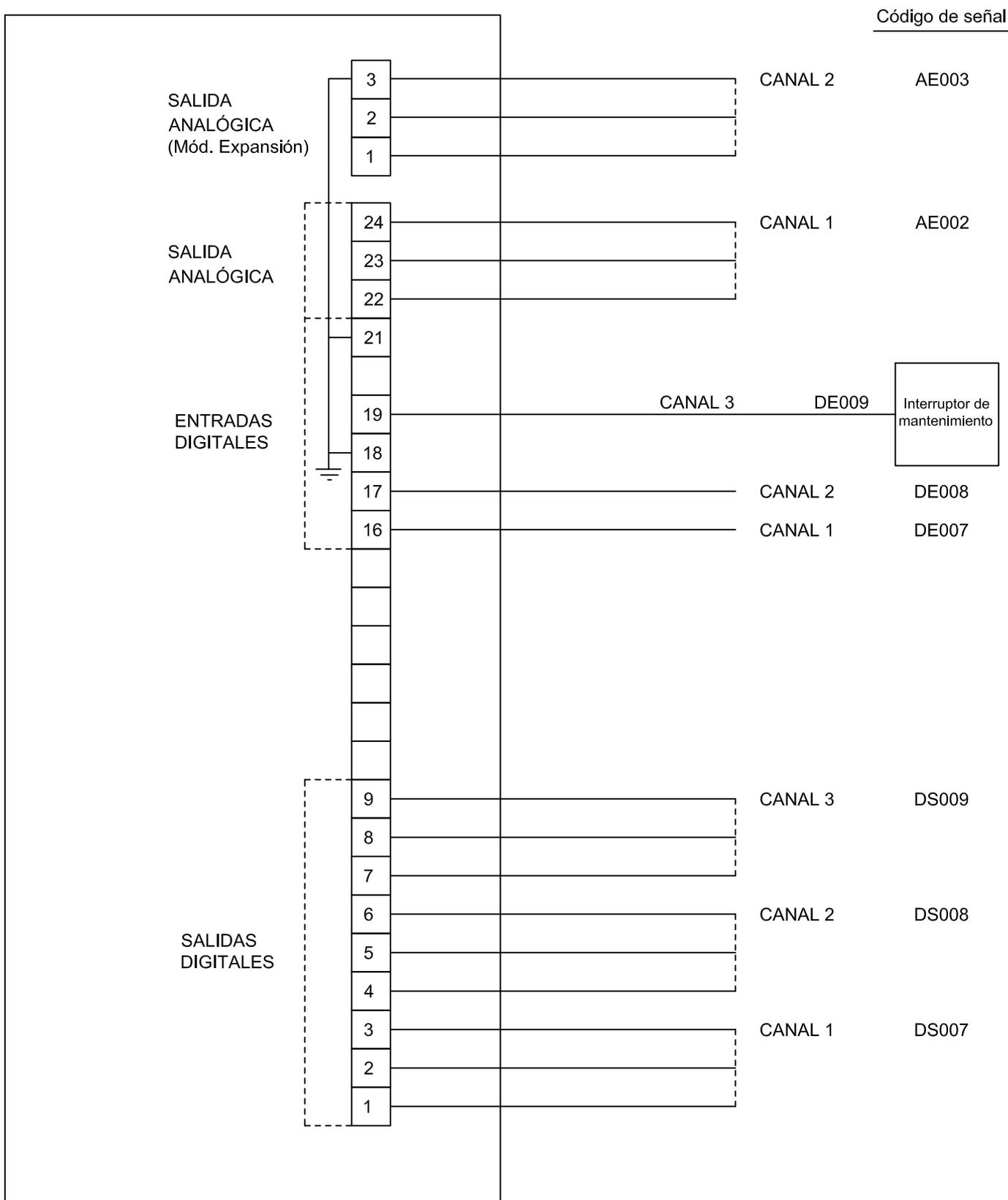
Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 08/08/2013

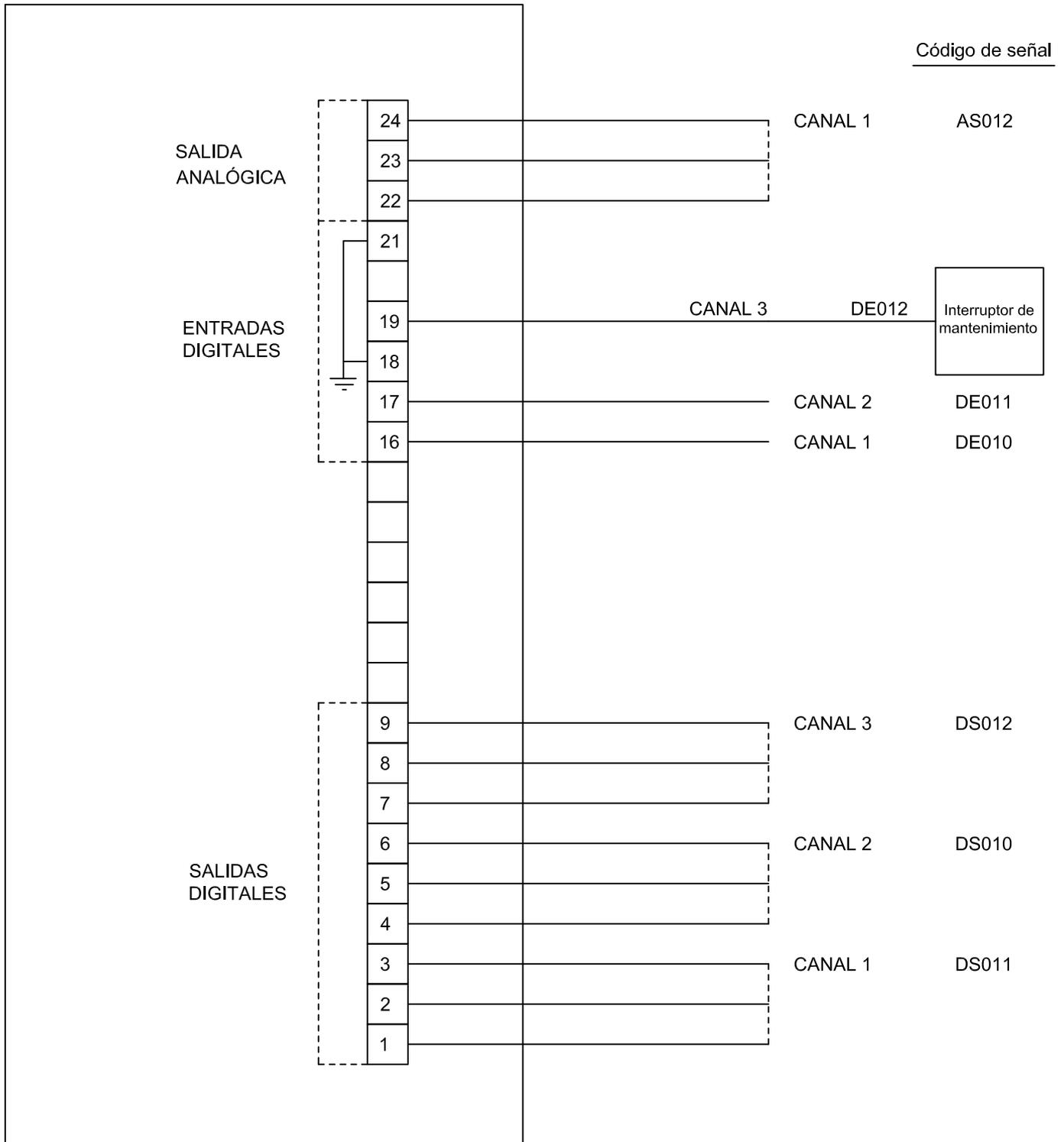
Nº Plano: MPC011



Descripción: Conexionado de señales en el opacímetro del horno	
Autor: Bernardo San Segundo	
Fecha: 08/08/2013	Nº Plano: MPC012



Descripción: Conexionado de señales en el caudalímetro del horno	
Autor: Bernardo San Segundo	
Fecha: 09/08/2013	Nº Plano: MPC013

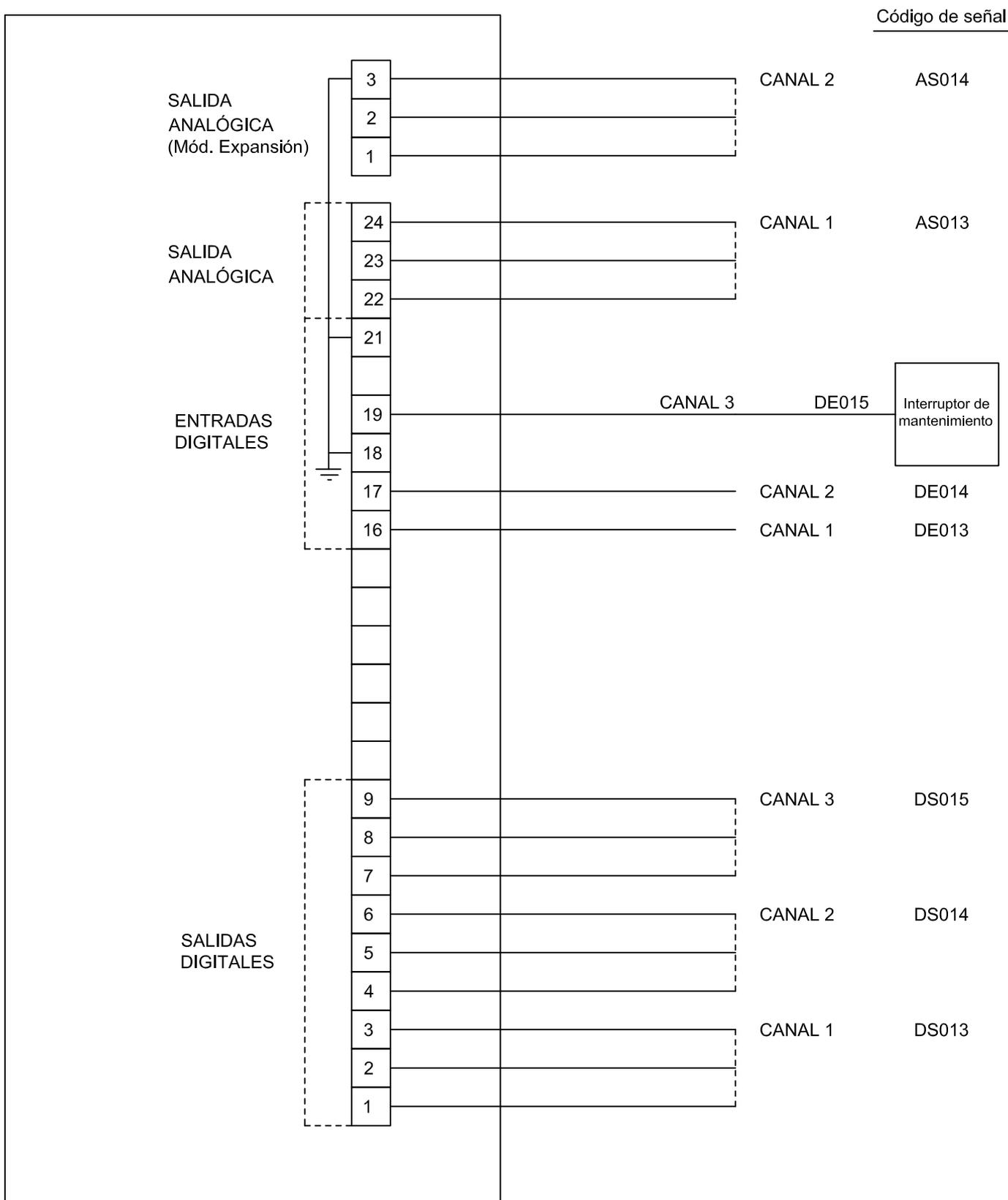


Descripción: Conexionado de señales en el opacímetro del Molino de Cemento

Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 08/08/2013

Nº Plano: MPC014



Código de señal

SALIDA ANALÓGICA (Mód. Expansión)

CANAL 2 AS014

SALIDA ANALÓGICA

CANAL 1 AS013

ENTRADAS DIGITALES

CANAL 3 DE015 Interruptor de mantenimiento

CANAL 2 DE014

CANAL 1 DE013

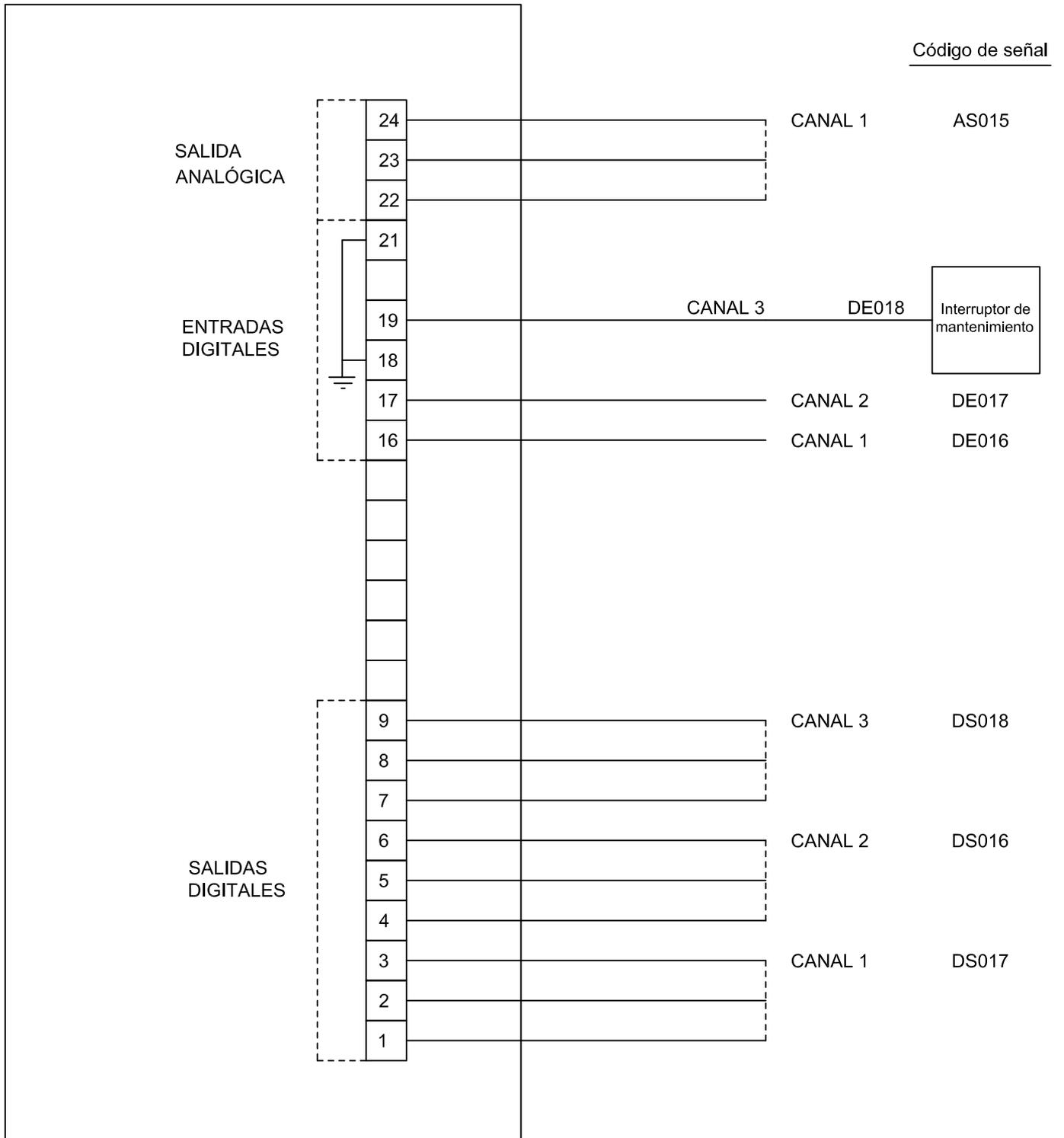
SALIDAS DIGITALES

CANAL 3 DS015

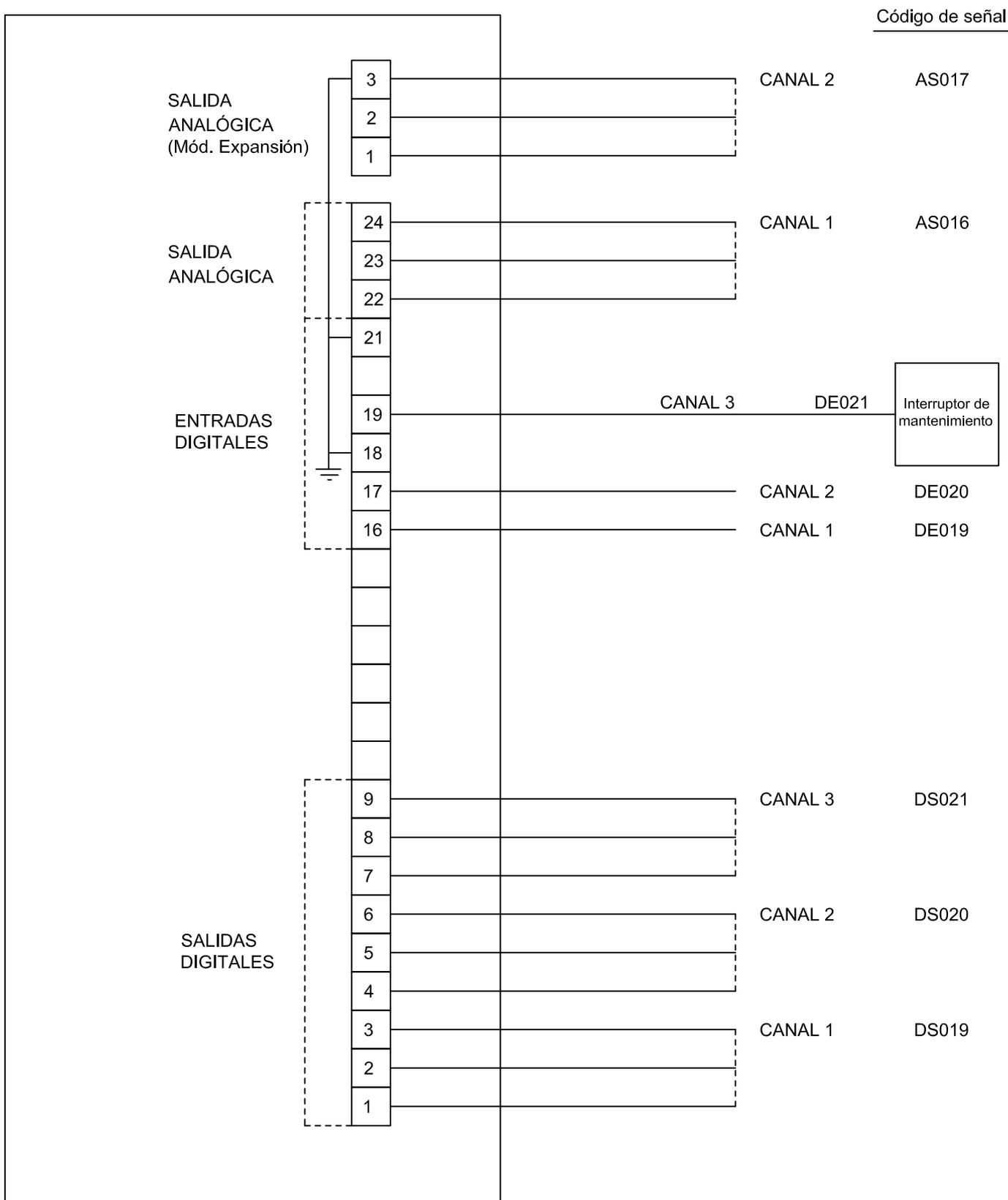
CANAL 2 DS014

CANAL 1 DS013

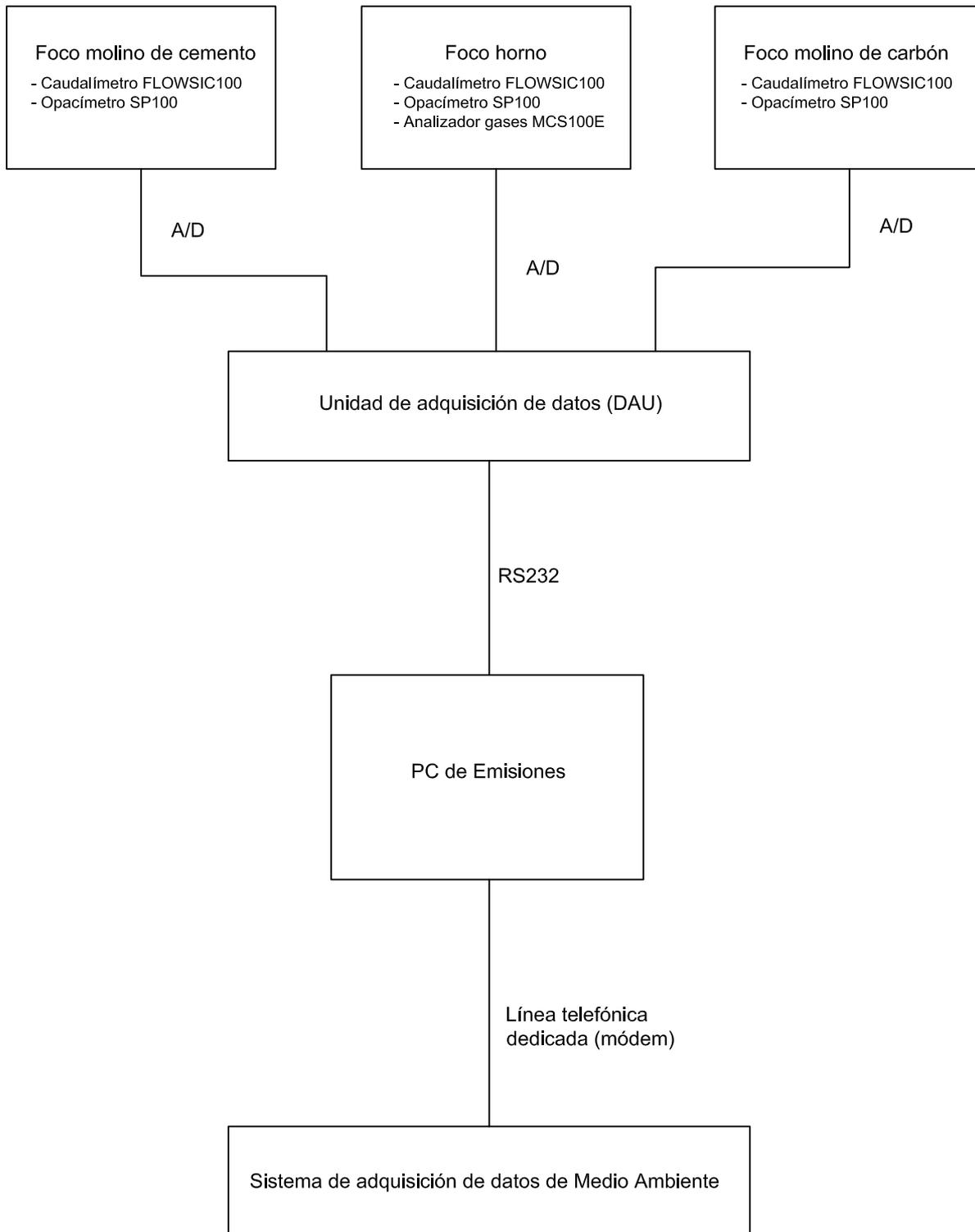
Descripción: Conexionado de señales en el caudalímetro del Molino de Cemento	
Autor: Bernardo San Segundo	
Fecha: 09/08/2013	Nº Plano: MPC015



Descripción: Conexionado de señales en el opacímetro del Molino de Carbón	
Autor: Bernardo San Segundo	
Fecha: 08/08/2013	Nº Plano: MPC016



Descripción: Conexionado de señales en el caudalímetro del Molino de Carbón	
Autor: Bernardo San Segundo	
Fecha: 09/08/2013	Nº Plano: MPC017



\* A/D: Señales analógicas y digitales de entrada y salida.

Descripción: Interconexión de dispositivos del sistema de control y monitorización de emisiones

Autor: Bernardo San Segundo

Fecha: 19/08/2013

Nº Plano: MPC018