



UPT As Pontes

**Comparativa entre dos sistemas de monitorización de
emisión continua de SO_2 y NO_x**
**Comparative between two continuous emission monitoring
systems of SO_2 and NO_x**
**Comparativa entre dous sistemas de monitorización de
emisión continua de SO_2 e NO_x**

Nombre Alumno: Santaefemia Sánchez, Sergio
Tutor: Hernández Fernández, Juan José

Índice

Introducción	Pág. 3
Objetivos	Pág. 7
Materiales y Métodos	Pág. 7
Resultados y Discusión	Pág. 18
Conclusiones	Pág. 24
Referencias bibliográficas	Pág. 25
Glosario	Pág. 26

Introducción

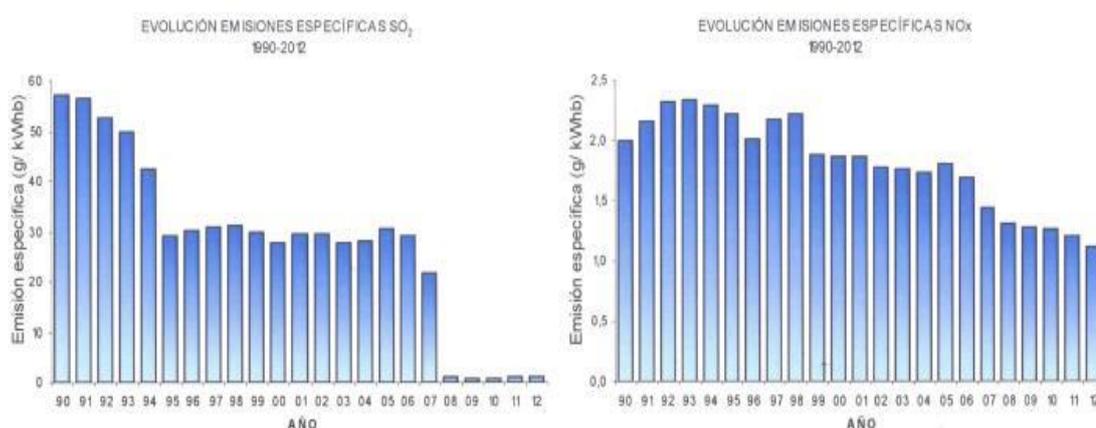
La Unidad de Producción Térmica (UPT) As Pontes constituye uno de los centros productivos propiedad de Endesa Generación S.A.U. en la Península Ibérica. Está situada en el municipio de As Pontes de García Rodríguez, al norte de la provincia de A Coruña (Galicia).



Imagen 1. Localización geográfica Unidad de Producción Térmica (UPT) As Pontes

Fue inicialmente diseñada y construida para hacer uso racional de los lignitos extraídos de la Mina a cielo abierto situada en sus proximidades. La instalación comenzó su puesta en funcionamiento en 1976 con la creación del Grupo I, disponiendo en la actualidad de cuatro grupos de generación de energía eléctrica con una potencia nominal de aproximadamente 350 MWe cada uno, que funcionan de forma independiente. Los grupos de los que consta la UPT As Pontes se encuentran agrupados en dos fases: Fase I, constituida por los Grupos I y II; y la Fase II, constituida por los Grupos III y IV.

En los años 1993-1996 la Unidad cambió y empezó a usar mezclas de carbón de importación y lignito local. Por último, entre los años 2005-2008 se produjo una nueva transformación, para consumir, como combustible principal, exclusivamente carbón subbituminoso de importación. Los objetivos principales de estas transformaciones son varios. Por un parte, cumplir con los requisitos acerca de la limitación de las emisiones a la atmósfera de ciertos agentes contaminantes⁵ procedentes de las instalaciones de combustión. En segundo lugar, prolongar la vida útil de la central térmica más allá del agotamiento y cierre de la explotación del lignito local. Y por último, cumplir con los valores límite para las emisiones atmosféricas establecidos en la Autorización Ambiental Integrada.



Gráfica 1 y 2. Evolución de las emisiones específicas de SO₂ y NO_x desde 1990 hasta 2012.

A la hora de hablar acerca de la disposición general de la UPT As Pontes, podemos destacar varios elementos. Los elementos básicos de cada uno de los grupos generadores son: generador de vapor, turboalternador, equipos de ciclo, sistema de aportación de aire y evacuación de gases, sistema de extracción de cenizas y escorias, circuito de refrigeración y sistema de control. Además, presenta instalaciones comunes para los cuatro grupos: parque de carbones para almacenamiento y homogenización, planta de tratamiento de aguas de aporte y chimenea para evacuación de los gases de combustión, subestación de 400 kV, y estación de captación de agua desde el río Eume.

En cuanto a las emisiones atmosféricas, los gases generados por la combustión del carbón, una vez que han pasado a través de las zonas de recuperación de calor, atraviesan los precipitadores electrostáticos, donde se retienen, con una eficacia superior al 99,0%, las partículas de cenizas. Tras este paso, los gases se impulsan por ventiladores de tiro inducido, a través de un conducto vertical hasta su emisión⁸ a la atmósfera. Los conductos (uno por grupo) van alojados en el interior de una chimenea troncocónica de 356,5 metros de altura. Esta disposición presenta la ventaja de que puede controlar independientemente la calidad de los gases emitidos por cada grupo en operación.

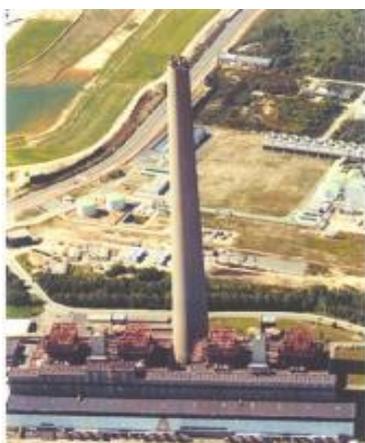


Imagen 2. Chimenea para la evacuación de gases.

Para determinar la calidad de estos gases, se utiliza un sistema de control de emisiones constituido por analizadores automáticos de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas en suspensión, temperaturas y oxígeno en cada uno de los grupos generadores. El sistema se encuentra situado en la planta 6 de la chimenea (215 metros), muy alejado de cualquier perturbación del flujo de gases y, por tanto, en una zona óptima de medida. Los datos se transmiten en tiempo real y dan la información para mantener en todo momento la calidad de los gases dentro de los límites legalmente establecidos.

La central térmica tiene establecidos límites de emisión para dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas según lo indicado en la Autorización Ambiental Integrada:

	Concentración (mg/m ³ N, s/s, O ₂ =6%)					
	Límites legales			2012		
	Valores mensuales	Percentil 97 anual 48 h	Percentil 95 anual 48 h	V. mensual máximo	Percentil 97 anual 48 h	Percentil 95 anual 48 h
Dióxido de azufre	1200	1320		360	376	
Óxidos de nitrógeno	650		715	355		360
Partículas	100	110		28	35	

Tabla 1. Límites legales de emisión de SO₂, NOx y partículas según la AAI y los valores observados en 2012 en la central.

Las restricciones, en lo que se refiere a las emisiones, se han centrado en los productos de combustión, para, de esta forma, reducir los efectos en el medio ambiente. Estos controles han causado cambios en los métodos operacionales de las plantas industriales. Para realizarlos, hay que conocer qué gases o materiales están siendo emitidos y cómo se emiten. Los instrumentos de monitorización facilitan la detección y el control de los materiales monitorizados. Han estado en uso desde la década de los 60's, y han sufrido importantes modificaciones, que se han traducido en un conocimiento de los datos de emisión más preciso y fiable. La operación con monitores de emisión continua sirve para adquirir datos de las emisiones tanto para el control operacional como para la posterior regularización de sus emisiones.

Debido a que los sistemas de monitorización de emisión continua (Continuous Emission Monitoring, CEM)²¹ requeridos por programas de regulación deben conocer los niveles de actuación indicados, los recursos necesarios para mantener y operar dichos sistemas son mayores que para los demás procesos de monitorización. Los requerimientos extra, tales como la calibración³ diaria utilizando gases certificados, los archivos electrónicos de validación de datos, etc. cuestan dinero, pero la calidad de los datos puede ser mayor. El éxito central de estos programas de monitorización es la persona o las personas que operan y mantienen el sistema y los analizadores. La técnica del sistema CEM conduce a un mantenimiento preventivo, reparaciones de emergencia, etc., que han sido la clave para un programa de monitorización satisfactorio.

Objetivos

Grandes cantidades de gases y materia particulada son emitidas diariamente de plantas industriales. Estos gases incluyen el dióxido de azufre (SO_2^7), los óxidos de nitrógeno (NOx^{14}), y el dióxido de carbono (CO_2). Todos éstos afectan al medio ambiente del alguna forma. Los dos primeros son precursores de la lluvia ácida¹². Altos niveles de dióxido de carbono, por su parte, están implicados en el cambio climático (calentamiento global). Por lo tanto, es de cumplimiento obligado poseer un sistema de monitorización de las emisiones de estos compuestos. En este trabajo nos centraremos principalmente en los dos primeros gases. De esta forma, se llevará a cabo una comparativa entre un equipo de monitorización de emisión continua que mide la muestra húmeda (Continuous Emission Monitoring, CEM) y otro CEM recientemente implantado que mide los contaminantes una vez secada la muestra y con técnicas analíticas distintas, para observar con exactitud⁹ y precisión¹⁸ si existen diferencias significativas en los valores de emisión, que muestran los equipos, de SO_2 y NOx ; y si las hay, conocer el motivo.

Palabras clave: Emisión, SO_2 , NOx , CEM (Continuous Emission Monitoring).

Materiales y Métodos

Llevaremos a cabo una comparación entre los equipos Monitor Labs o ML (9850 B para el SO_2 y 9841 B para el NOx) con los equipos recientemente implantados, llamados Ultramat 23 realizados por la compañía Siemens (para gases absorbentes del infrarrojo (SO_2 , NOx y CO) y oxígeno). Estos sistemas se encuentran en la planta 6 (215 metros) de la chimenea. Dicha planta dispone de tres casetas prefabricadas, en donde se recepciona la información procedente de los distintos dispositivos de medida según la relación siguiente:

- Caseta nº 1 (común para las Fases I y II): Unidades de control de sonda y control de calibraciones, unidades de dilución adicional, analizadores de SO_2 y NOx .
- Caseta nº 2 (Fase I): PLC donde que gestionan las señales de la Fase I.
- Caseta nº 3 (Fase II): PLC donde que gestionan las señales de la Fase II.

Por último, todas las señales, juntamente con la Potencia Eléctrica de cada Grupo obtenida en las Salas de Control, se receptiona en dos PLC conectados a dos Unidades de Adquisición y Digitalización de datos SETIS, situadas en las Salas de Control de las Fases I y II, que se unen al sistema MEDAS¹³ que gestiona toda la información.

Además de las señales de medida, en el caso de los analizadores de SO₂, NO_x, existen canales adicionales que permiten efectuar calibraciones remotas y controlar el estado de funcionamiento de los equipos.

Estas señales son las siguientes:

- Orden de calibración de cero: Permite la comprobación y ajuste por cálculo del cero de los analizadores de SO₂ y NO_x, mediante una operación remota gobernada desde el ordenador central. Inhibe la adquisición de los datos durante estos períodos.

- Orden de calibración de span: Permite la comprobación y ajuste por cálculo del span de los analizadores de SO₂ y NO_x, mediante una operación remota gobernada desde el ordenador central. Inhibe la adquisición de los datos durante estos períodos.

- Indicación de calibración de SO₂ y NO_x: La unidad de control de sonda²⁵ y control de calibraciones genera una señal de estado cuando se calibran los analizadores correspondientes a un grupo. La indicación de calibración permite la inhibición de la adquisición de datos durante estos períodos.

- Indicación de soplado de sonda: La unidad de control de sonda y control de calibraciones genera una señal de estado cuando se realiza la limpieza de sonda mediante soplado con aire de instrumentos. La indicación de soplado permite la inhibición de la adquisición de datos durante estos períodos.

Los equipos de medida y las técnicas analíticas utilizadas actualmente en el Sistema de Control de Emisiones son los siguientes:

1. - Unidades de extracción, dilución y calibración: Permiten la obtención y acondicionamiento de una muestra representativa de gas, que después es enviada a los analizadores específicos de SO_2 y NO_x . Además permiten la utilización de aire cero y gases patrón¹⁷, forma manual o automática, para la calibración de los analizadores. Cada una de ellas está formada por los siguientes elementos:

- a.- Sonda extractiva de dilución ‘in situ’.
- b.- Unidad de control de sonda y control de calibraciones (U.C.S.-C.C.).
- c.- Unidad de Dilución Adicional (U.D.A.)²⁶.

a.- Sonda extractiva de dilución ‘in situ’

Consiste en una sonda que extrae el gas de la chimenea y realiza una primera dilución de la muestra. La sonda de dilución²² extrae continuamente, a través de unos filtros y un orificio crítico, gas de la chimenea gracias a una pequeña bomba de eyección instalada dentro de la sonda de dilución. El efecto Venturi es el fundamento de la bomba de eyección: Una corriente de aire que pasa a través de un estrechamiento crea una depresión que es utilizada para extraer el gas de la chimenea (Fig.1 y 2).

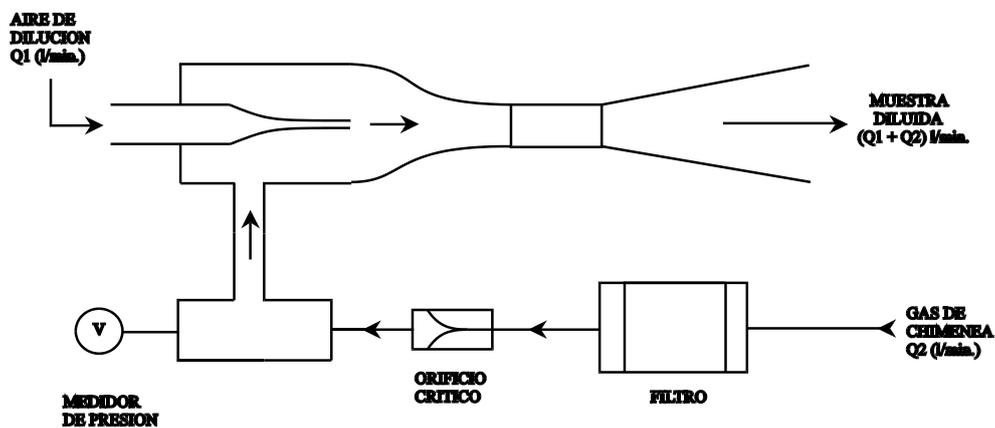


FIG.1 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA SONDA DE DILUCION

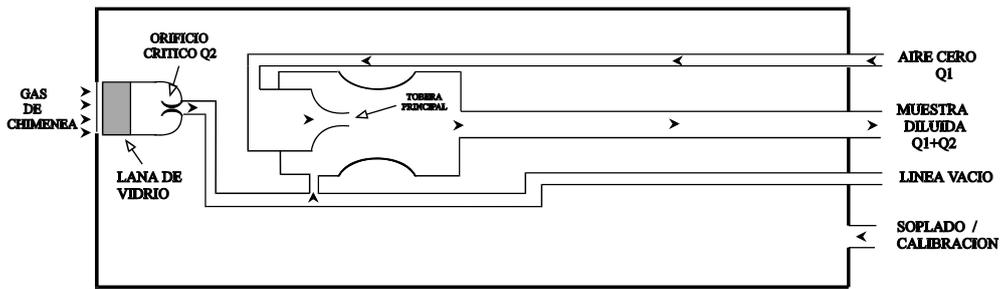


FIG.2 BOMBA DE EYECCION

El gas que es extraído de la chimenea pasa a través de un orificio crítico, que fija su caudal a un determinado valor según el diámetro del orificio crítico elegido (50 ml/min en nuestro caso). El aire principal o de dilución, que tiene un flujo Q1 litros/minuto, crea una depresión al pasar por un estrechamiento (tobera principal) que succiona los gases de chimenea a través de los filtros y del orificio crítico produciéndose la dilución de la muestra.

Exteriormente, la sonda tiene el aspecto que aparece en la figura 3.

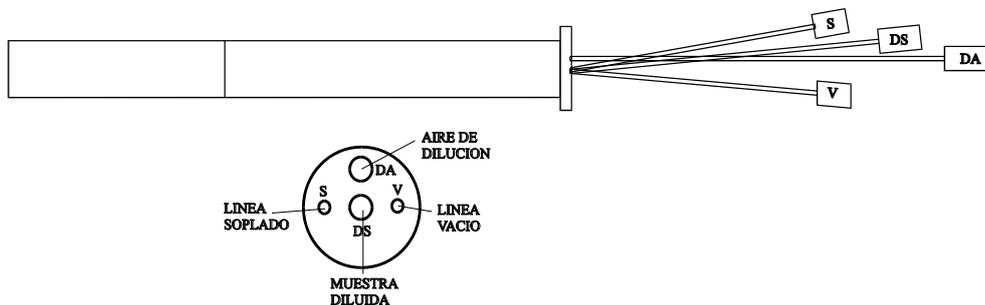


FIG.3 ASPECTO EXTERIOR DE LA SONDA

Se ven cuatro conductos que se introducen en la Sonda y que tienen las siguientes funciones:

- **DA:** Introduce el aire de dilución presurizado. Este aire debe ser seco y libre de cualquier contaminante que pueda interferir con las medidas, o de partículas que puedan originar incrustaciones en el eyector provocando un descenso gradual del vacío generado por la bomba. Para ello se ha colocado en la entrada de esta línea un filtro sinterizado de 60 μm para prevenir que partículas relativamente grandes puedan atorar la boquilla del eyector. El caudal de este aire de dilución se puede controlar desde la unidad de control de la sonda (U.C.S.) (Fig.4).

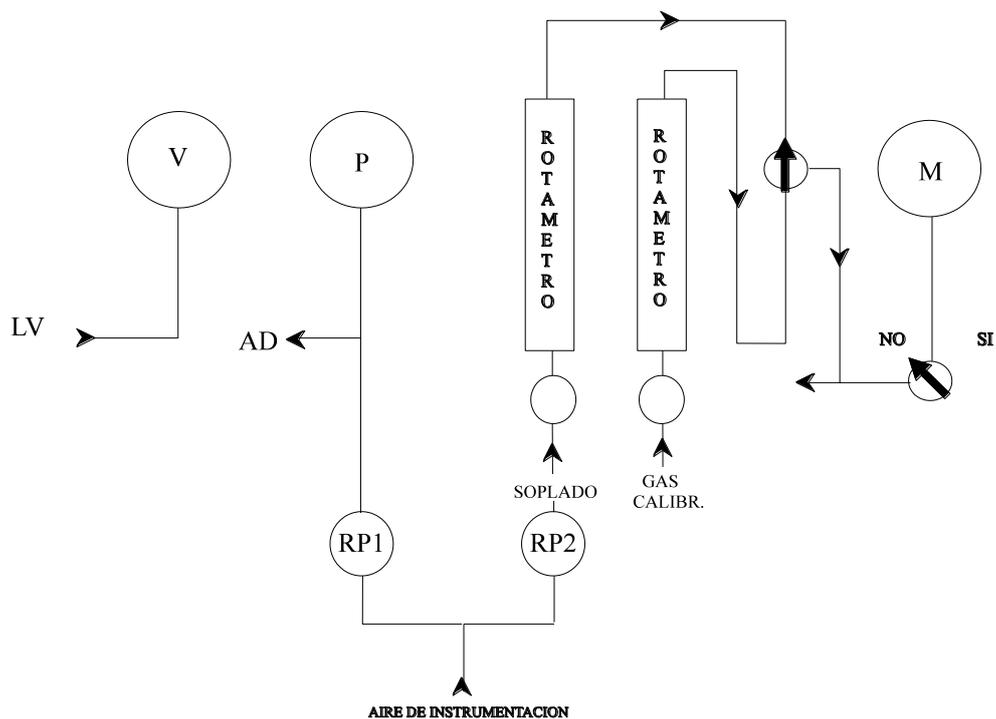


FIG.4 ESQUEMA DE LA U.C.S.

- **V:** Línea que mide la depresión creada por el aire de dilución y que hace posible la extracción del gas de chimenea.
- **S:** Línea de servicio que es utilizada para varias funciones, todas controladas desde la U.C.S.: suministrar Gas Patrón¹¹ a la Sonda (Zero/Margen); suministrar cada cierto tiempo una corriente de soplado para desatascar el filtro que se encuentra en la cabeza de la sonda que está dentro de la chimenea y evitar así el taponamiento; y monitorizar la presión dentro de la chimenea (depresión o sobrepresión).
- **DS:** Línea por la que sale la muestra diluída y se lleva hasta la Unidad de Dilución Adicional antes de pasar por los analizadores.

Todas las conducciones de teflón que salen de la sonda de dilución se dirigen a la unidad de control de la sonda incorporadas dentro de una malla protectora, llamada cordón umbilical⁶.

b.- Unidad de control de la sonda

La unidad de control de la sonda realiza las siguientes funciones (Fig.5):

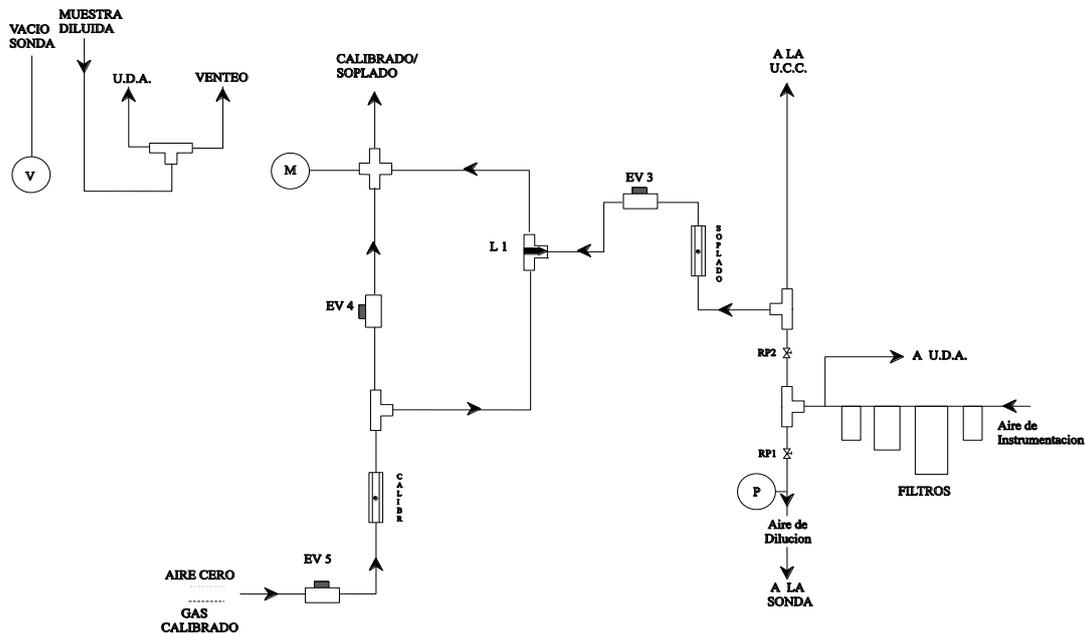


FIG.5 INTERCONEXION NEUMATICA DE LA U.C.S.

Proporciona aire cero a la sonda para efectuar la dilución de la muestra; proporciona periódicamente un chorro de aire a presión para limpiar la rejilla metálica de la sonda; proporciona aire cero a la unidad de control de calibraciones; hace llegar a la sonda el gas patrón así como aire cero para la calibración del sistema (en cambio; el gas cero¹⁰ es el aire de instrumentos que pasa a través de gel de sílice y carbón activo para obtener un aire con menos de 1 ppb de SO₂ y NO_x. Es el utilizado para hacer la dilución de la muestra). Por ello, podemos hablar de la secuencia de calibración¹⁹ como la sucesión de intervalos de tiempo que permiten la introducción de una gas cero y un gas patrón en el sistema de medida²⁰ para la calibración del mismo.

c.- Unidad de dilución adicional

La muestra que viene de la Sonda no está lo suficientemente diluida como para poder ser utilizados los analizadores de inmisión por lo que es preciso tener una unidad de dilución adicional. Esta unidad de dilución adicional dispone de un orificio crítico (en este caso de 500ml/min) y de una bomba de eyección del mismo tipo que los utilizados en la sonda (Fig.6).

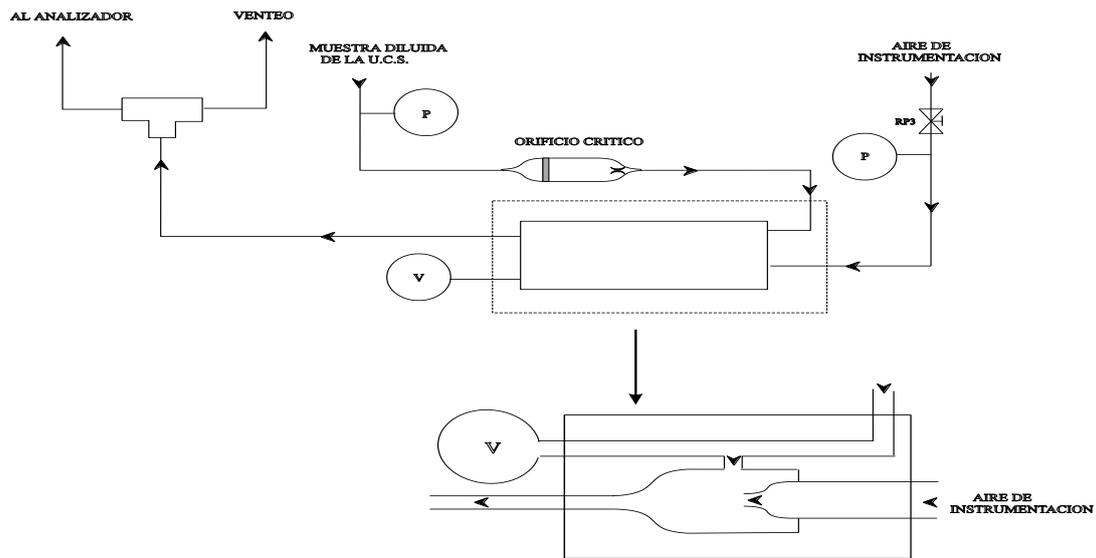


FIG.6 INTERCONEXION NEUMATICA DE LA U.D.A.

La única diferencia es que el montaje y materiales empleados en la Unidad de Dilución Adicional no permiten su utilización a temperaturas elevadas, por lo que está instalado fuera de la chimenea y junto a los analizadores de gas. Se controla de la misma forma que la dilución en la sonda: Hay dos manómetros; uno que es el que indica la presión a la que es inyectado el aire de dilución (P), y otro que es el que indica la depresión creada por este flujo (V) y que hace que el orificio crítico opere en perfectas condiciones.

2.-Unidad de control de calibraciones: La Unidad de Control de Calibraciones es la encargada de proporcionar a la U.C.S. Gas Patrón para la calibración del margen y aire cero para la calibración cero (Fig.7).

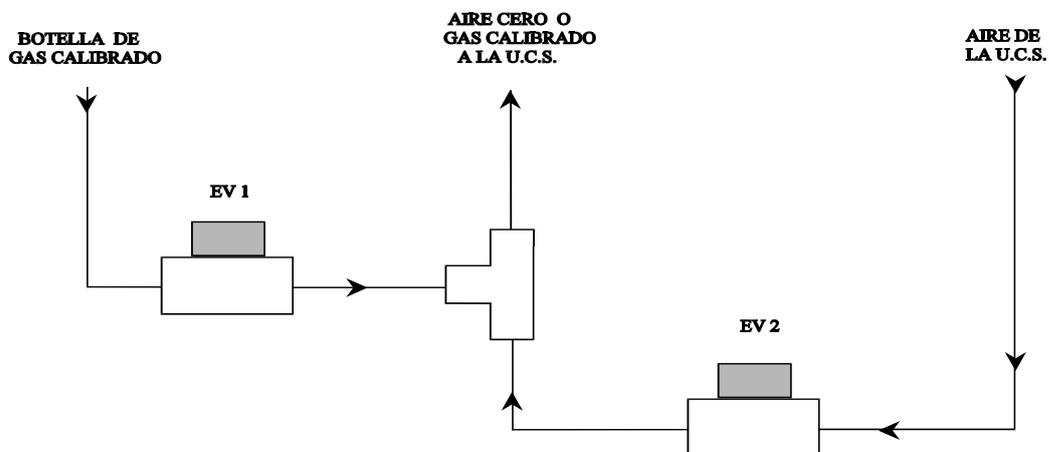


FIG.7 INTERCONEXION NEUMATICA DE LA U.C.C.

3.-Analizadores de SO₂² (Monitor Labs o ML (9850 B)): El análisis de SO₂ en los gases de combustión está basado en la fluorescencia ultravioleta. (Designado como método equivalente por la Environmental Protection Agency) (Fig. 8).

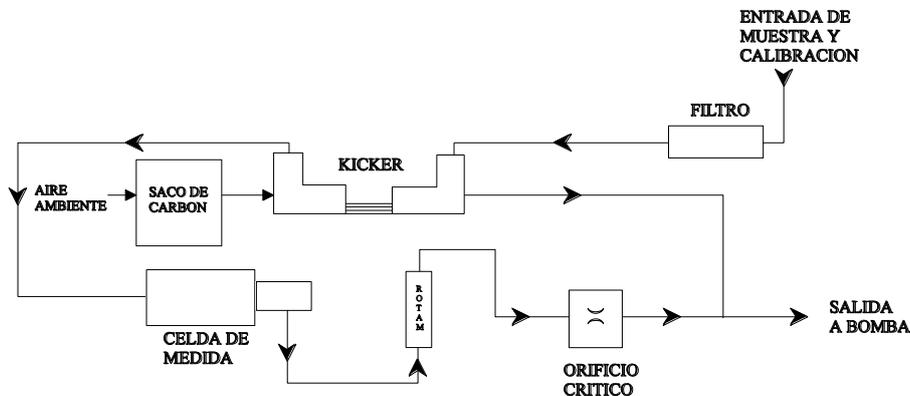
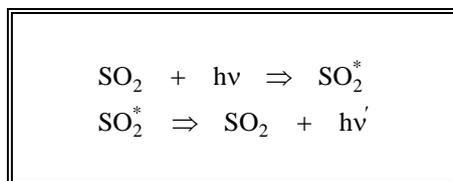


FIG.8 DIAGRAMA NEUMATICO DE ANALIZADORES DE SO2

Las moléculas de SO₂ se irradian con la luz de la región del ultravioleta lejano ($\lambda=214$ nm.) y producen una emisión secundaria que es proporcional a la concentración de moléculas de dióxido de azufre presente.



La muestra de gas se introduce en una cámara de reacción, que se mantiene a una temperatura de 50 °C para evitar la condensación de agua, y se irradia con luz UV que ha sido previamente modulada mecánicamente y filtrada a 214 nm.

La emisión secundaria de fluorescencia de las moléculas de SO₂ presentes en el gas se detecta con un tubo fotomultiplicador que la convierte en una señal de tensión proporcional a la concentración de SO₂. El fotomultiplicador está adaptado espectralmente para medir la emisión de fluorescencia. El tubo fotomultiplicador está situado a 90° de la lámpara de luz ultravioleta filtrada y sobre el eje de la cámara de reacción. La luz ultravioleta filtrada pasa por una lente colimadora que focaliza la luz en el centro de la cámara de reacción. Simultáneamente se mide la estabilidad de la fuente de luz ultravioleta mediante un tubo fotodetector situado al otro lado de la cámara respecto a la lámpara de luz ultravioleta. Los hidrocarburos aromáticos son eliminados de manera selectiva en la

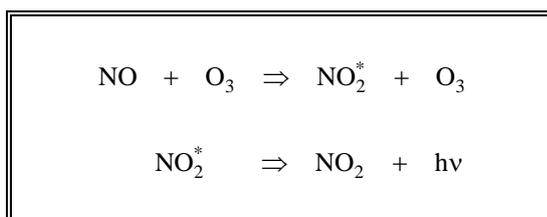
membrana permeable a través de un dispositivo ('kicker') que utiliza la técnica de presión parcial diferencial, sin alterar la muestra de SO₂. La concentración final de SO₂ se corrige por los cambios de temperatura y presión y se presenta en ppm o mg/m³.

Las salidas de las señales en los monitores son de dos tipos:

- Analógicas con escalas lineales para la lectura en ppm.
- Tensiones continuas proporcionales a la concentración para sistemas de adquisición de datos y registradores, accesibles en la regleta de terminales del panel posterior. El valor estándar es de 0-10V c.c.

4.-Analizadores de NOx¹ (Monitor Labs o ML (9841 B)): La determinación de óxidos de nitrógeno en los gases de combustión se realiza por el método de quimioluminiscencia en fase gaseosa (Designado por Environmental Protection Agency como método de referencia).

La luminiscencia es una característica de algunos compuestos de emitir luz cuando son excitadas sus moléculas. En el caso de los NOx esta emisión es consecuencia de una reacción química y recibe el nombre de quimioluminiscencia. Una molécula de NO en el gas a analizar se introduce en la cámara de reacción donde reacciona con una molécula de O₃ (generado por el propio equipo) produciendo una molécula de NO₂^{*} según la siguiente reacción:



Esta molécula emite una radiación alrededor del infrarrojo cercano ($\lambda=1200$ nm.) para pasar a NO₂. La temperatura de la cámara de reacción está fijada a 50°C para mantener estable la velocidad de reacción en todo el margen de temperaturas de funcionamiento del analizador. Puesto que se requiere una molécula de NO para formar una molécula de NO₂^{*}, la intensidad de la emisión quimioluminiscente es linealmente proporcional a la concentración de NO en la muestra. La reacción de quimioluminiscencia se produce sólo entre el O₃ y el NO. El ozono¹⁵ necesario para producir la reacción de quimioluminiscencia lo produce el mismo equipo. El método de generación de ozono

empleado es la descarga de un electrodo de alta tensión para ionizar aire seco que se consigue gracias al desecador Perma Pure que seca el aire que fluye hacia el generador de ozono y que forma parte del equipo. La reacción de formación del ozono a partir del oxígeno atmosférico es la siguiente:



Las salidas de las señales en los monitores son de dos tipos:

- Analógicas, mediante un medidor de aguja en el panel frontal con escalas lineales para la lectura en ppm.
- Tensiones continuas proporcionales a la concentración para sistemas de adquisición de datos y registradores, accesibles en la regleta de terminales del panel posterior. El valor estándar es de 0-10V c.c.



Imagen 3. Analizadores de gases en continuo para SO₂ y NO_x.

5.- Ultramat 23 (para gases absorbentes del infrarrojo (SO₂, NO_x y CO) y oxígeno): Con el Ultramat 23 se pueden medir hasta cuatro componentes de gases simultáneamente: máximo tres gases activos infrarrojos (en este caso CO, NO, y SO₂) más una célula electroquímica para la medición de O₂. Presenta un manejo controlado por menús con texto explícito, sin manual, alta seguridad; gran selectividad debido a los detectores de varias capas, poca interferencia del vapor de agua; autocalibración con aire ambiente, lo que proporciona alta rentabilidad al no necesitar gases de prueba ni accesorios; cámaras de detección lavables, costos bajos ya que se pueden usar aún si se ensucian.

De esta forma, se puede aplicar para optimizar la combustión en calderas pequeñas; controlar la concentración del gas de escape en instalaciones de combustión de todo tipo de combustibles⁴ (aceite, gas y carbón) y medición de procesos térmicos de basuras; controlar el aire ambiente, el aire en depósitos de frutas, invernaderos, bodegas de fermentación y naves de almacén; controlar los procesos industriales; controlar también la atmósfera durante el tratamiento térmico de aceros; y presenta además aplicación en áreas no potencialmente explosivas.

En el Ultramat 23 se utilizan dos principios de medición que trabajan selectivamente e independientes uno del otro: medición del infrarrojo y medición de oxígeno.

En el primero de los casos, un radiador que trabaja a 600 °C transmite rayos infrarrojos modulados por un chopper con una frecuencia de 8 1/3 Hz. Al entrar el rayo en la cámara de análisis, el detector mide la intensidad del rayo. El detector presenta capas rellenas del componente a medir. En la primera capa del detector se realiza principalmente la absorción de la energía de los centros de las bandas infrarrojas de los gases de medición. En la segunda capa del detector se absorbe la energía de los flancos para después ser ajustada a alta selectividad, a través de un acoplador en la tercera capa del detector. Al pasar por cada una de las capas, la absorción de los rayos aumenta la presión en diferentes valores para así crear un flujo a través del agujero capilar. Con esto, en el sensor de microflujo se crea una señal casi sin influencia alguna de los flancos de banda. Los gases de medición deben introducirse al analizador, libres de polvo. Debe evitarse el condensado en la cámara de detección. Para ello, en la mayoría de los casos se tiene que utilizar una de las preparaciones de gas adaptada a la tarea de medición. El aire ambiente de la sección del análisis debe estar lo más libre posible de una alta concentración del componente del gas a medir.

En el segundo de los casos, la medición de oxígeno funciona según el principio de una célula de combustible. El oxígeno se convierte en la capa límite cátodo/electrolito; la corriente que resulta es directamente proporcional a la concentración de oxígeno.



Imagen 4. Ultramat 23 para gases absorbentes del infrarrojo (SO₂, NO_x y CO) y oxígeno.

Resultados y Discusión

En primer lugar, para llevar a cabo la comparación entre ambos equipos de medición continua, se recogen los datos pentaminutales (cada 5 minutos) de los valores de emisión de SO₂ y NO_x observados en los dos equipos. La comparación se realiza en los cuatros grupos generadores de energía. Para obtener los valores de emisión del Ultramat 23 se descargan a través de una aplicación informática del Excel llamada PI. Sin embargo, para obtener los valores de emisión de ambos compuestos en los equipos Monitor Labs. se descargan del Medas; se parte de: % O₂ s/h diario, % humedad diaria, % O₂ s/h a tiempo real; y se realizan las siguientes operaciones:

- Cálculo de los parámetros de calibración¹⁶: Se corrigen los datos observados en los equipos mediante los valores de calibración de los sistemas (diferentes para cada grupo y compuesto; normalmente son 1, 0 por lo que quedaría: **X (valor de emisión) x A + B = Medida corregida**).
- Cálculo de la humedad a tiempo real:

$$\% \text{ humedad a tiempo real} = \% \text{ humedad diaria} \times (20,9 - \text{O}_2 \text{ s/h a tiempo real}) / (20,9 - \% \text{ O}_2 \text{ s/h diario}).$$
- A continuación, se calculan las emisiones sobre seco y sin normalizar (al O₂ de chimenea) utilizando la humedad obtenida anteriormente:

$$\text{Valor de emisión s/s} = \text{Medida corregida} / (1 - (\text{Humedad tiempo real} / 100)).$$
- Con la serie de humedad obtenida por cálculo, expresamos el O₂ s/h tiempo real en base seca (s/s):

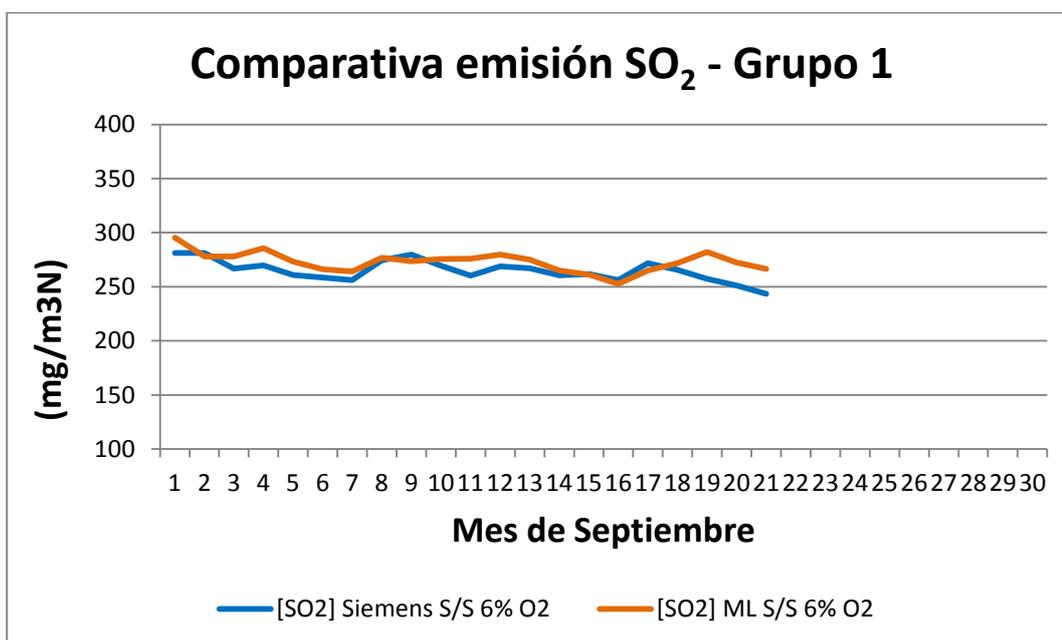
$$\% \text{ O}_2 \text{ s/s (ML)} = \% \text{ O}_2 \text{ húmedo} / (1 - (\text{humedad tiempo real} / 100)).$$

Por último, se normalizan los valores obtenidos, al 6% de O₂, de los dos sistemas:

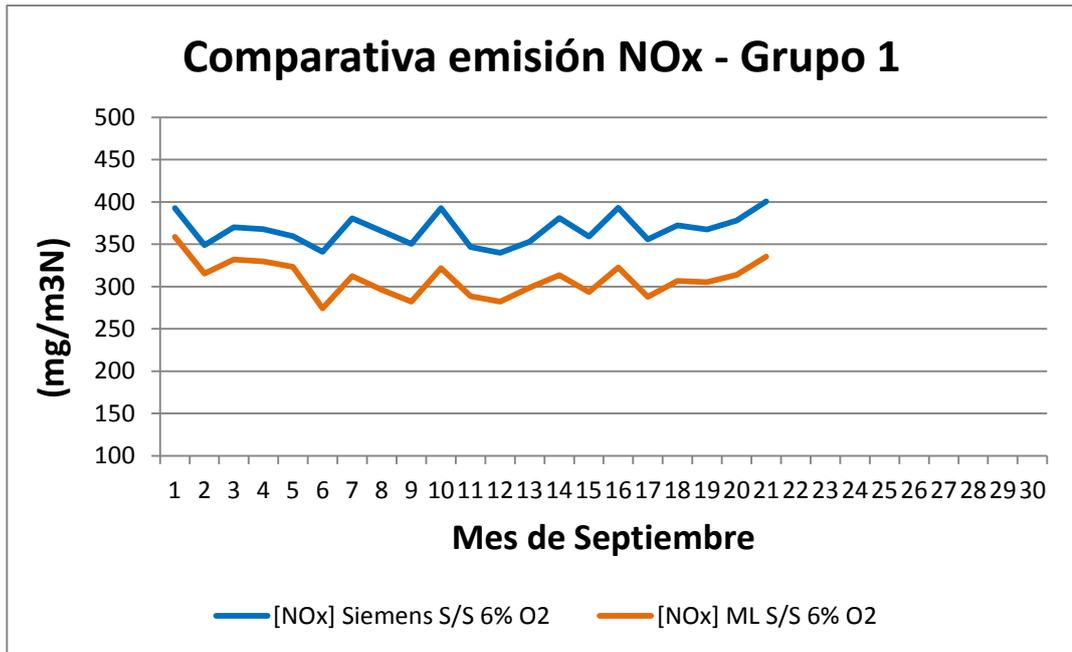
- Ultramat 23: ((‘Medida s/s y sin normalizar de SO₂ o NO_x’ x 14,9) / (20,9 - O₂ chimenea)).
- Monitor Labs.: ((‘Medida s/s y sin normalizar de SO₂ o NO_x’ x 14,9) / (20,9 - O₂ s/s en tiempo real)).

La presentación de los resultados de los dos equipos se puede realizar tanto en ‘ppm’ como en ‘mg/m³N’, multiplicando por 2,86 en el caso del SO₂ o por 2,05 en el caso del NO_x.

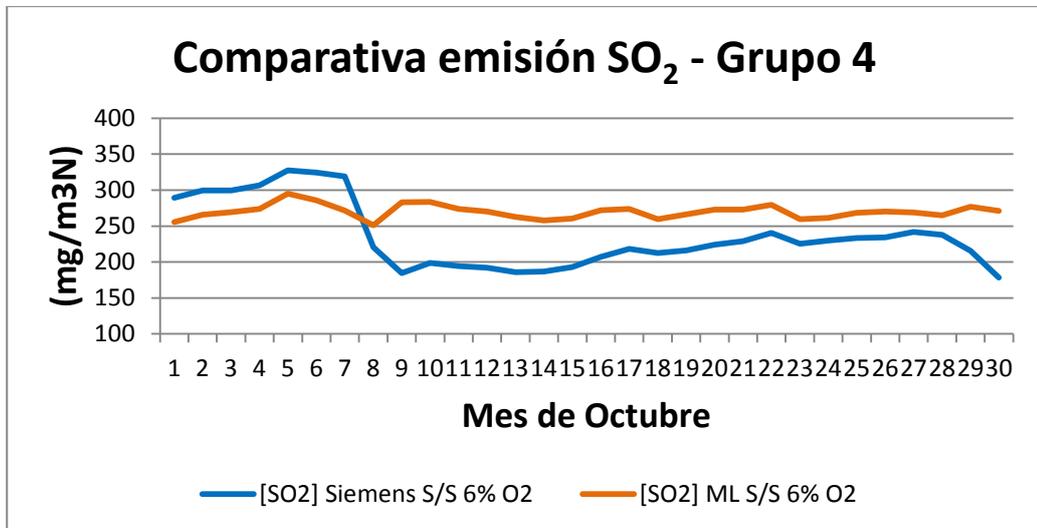
El día 11 de Noviembre los equipos Ultramat 23 fueron revisados por expertos de Siemens y certificados por ellos mismos. Antes de ese día los datos observados en esos equipos reflejan unos valores anormalmente anómalos debido a que se habían implantado recientemente y no se había realizado la certificación de los mismos (Nota: los días en los que no se observan emisiones en los equipos significa que el grupo estaba parado y no se obtuvieron datos fiables).



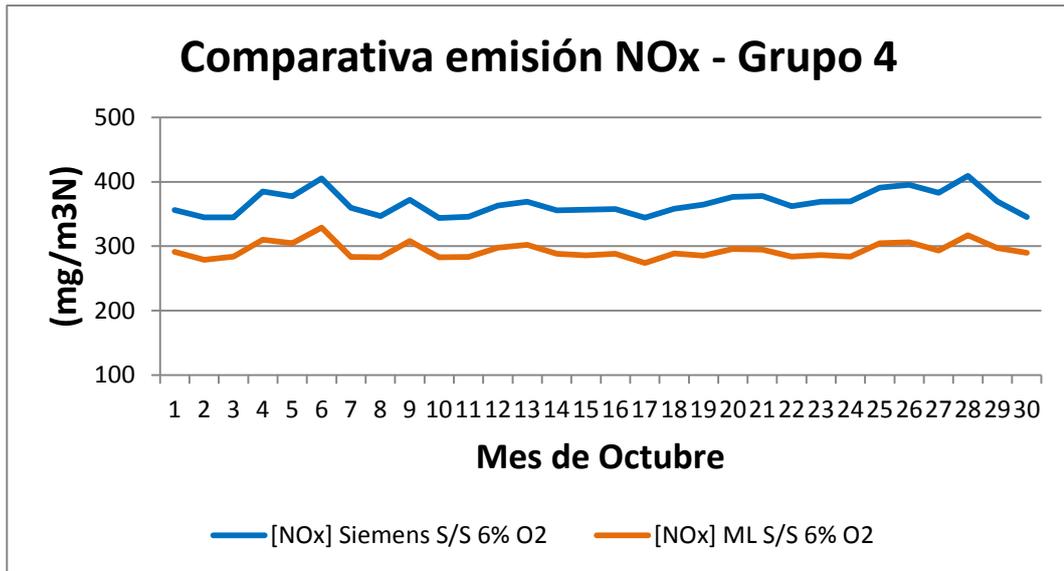
Gráfica 3. Comparativa valores de emisión SO₂ entre los dos equipos en el Grupo I durante el mes de Septiembre.



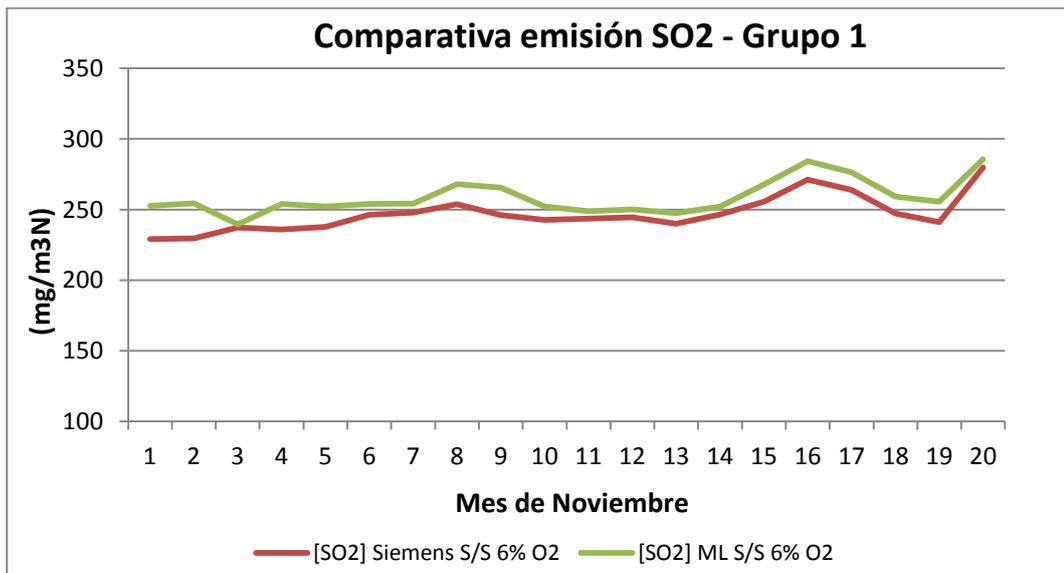
Gráfica 4. Comparativa valores de emisión NOx entre los dos equipos en el Grupo I durante el mes de Septiembre.



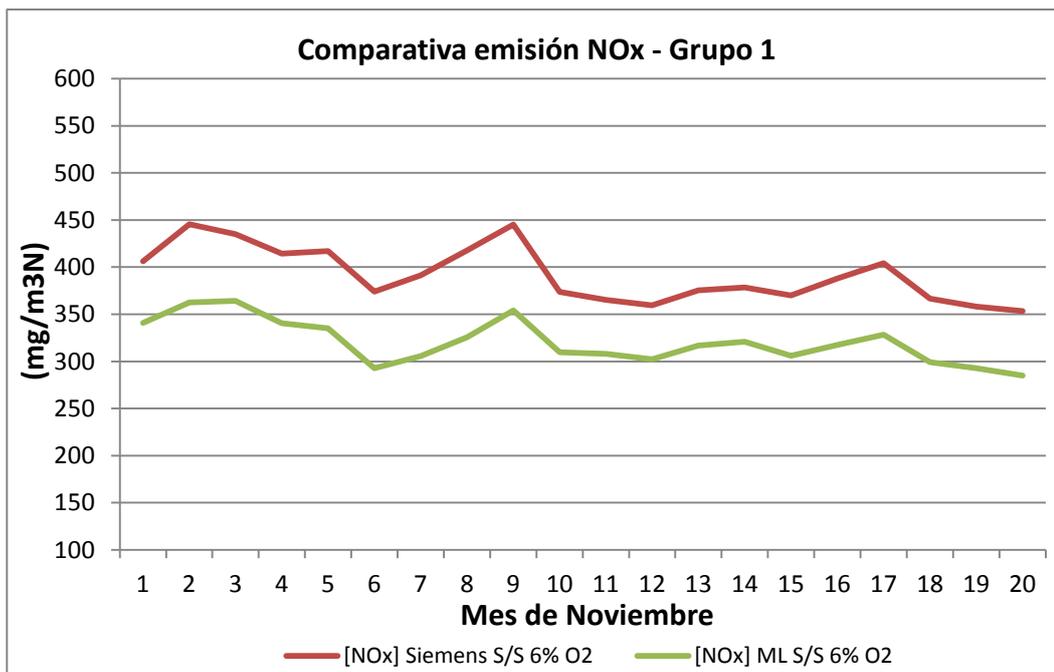
Gráfica 5. Comparativa valores de emisión SO₂ entre los dos equipos en el Grupo IV durante el mes de Octubre.



Gráfica 6. Comparativa valores de emisión NOx entre los dos equipos en el Grupo IV durante el mes de Octubre.



Gráfica 7. Comparativa valores de emisión SO₂ entre los dos equipos en el Grupo I durante el mes de Noviembre.



Gráfica 8. Comparativa valores de emisión NOx entre los dos equipos en el Grupo I durante el mes de Noviembre.

Como se puede observar en ambos grupos y durante todos los meses, los valores de emisión de NOx observados en los equipos Ultramat 23 (Siemens) son mayores que los observados en los equipos Monitor Labs. Sin embargo, en lo que se refiere a los valores de emisión de SO₂, éstos son mayores en los Monitor Labs. Esta diferencia es constante en los cuatro grupos. Además, existe mayor diferencia entre los valores de emisión de NOx que entre los valores de emisión de SO₂.

La razón por la que son diferentes los valores de emisión de SO₂ y NOx observados en los dos equipos durante los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre es desconocida. Una de las posibles razones es el contenido en humedad. Como se explicó anteriormente, los equipos Monitor Labs miden la muestra húmeda, manteniendo la temperatura a 50°C en la cámara de reacción para evitar la condensación; en cambio, los Ultramat 23 miden los contaminantes una vez secada la muestra, debido al radiador que trabaja a 600 °C. El estudio del contenido en humedad, y el % de diferencia de humedad entre los dos equipos se realizan a partir del análisis del carbón y de la combustión del mismo. En primer lugar, se analiza la composición del carbón durante todos los días (en este caso, como ejemplo, nos centraremos en el día 14 de Noviembre y en el Grupo I). Esta información se consigue poniéndose en contacto con el Departamento de Resultados. En segundo lugar, se obtiene el contenido de O₂ de los equipos como se realizó anteriormente y se calcula el contenido en humedad a través de la siguiente hoja Excel, para luego poder compararlos:

CALCULO DE COMBUSTIÓN			
1.-DATOS GENERALES			
Instalación: C. T. Ar Pantar	Combustible:		
2.-ANÁLISIS DE CARBÓN			
	COMBUSTIBLE		
	<i>r/hueta</i>	<i>r/seca</i>	
HUMEDAD (%)	26,60		
CENIZAS (%)	2,28	3,11	
CARBONO (%)	52,19	71,10	
HIDROGENO (%)	3,80	5,18	
NITROGENO (%)	0,77	1,05	
AZUFRE (%)	0,10	0,14	
OXIGENO (%)	14,26	19,43	
PCS (kcal/kg)	5021	6841	
PCI(kcal/kg)	4671		
3.-COMPOSICION DEL AIRE			
HUMEDAD (m ³ NH ₂ O/m ³ N _{a,seca})	0,012		
4.-RESIDUOS			
CARBONO EN CENIZAS (%)	4,09	CARBONO EFECTIVO (%)	52,09
AZUFRE EN CENIZAS (%)	0,20	AZUFRE EFECTIVO (%)	0,10
CARBONO EN CENIZAS VOLANTES (%)	3,37	OXIGENO EFECTIVO (%)	14,25
AZUFRE EN CENIZAS VOLANTES (%)	0,20		
CARBONO EN ESCORIAS (%)	27,47		
AZUFRE EN ESCORIAS (%)	0,10		
5.-AIRE DE COMBUSTION			
EXCESO DE AIRE (%)	58,996	A-REAL (seca, m ³ N/kg)	8,2202
FACTOR DE EXCESO	1,5900	A-REAL (húmeda, m ³ N/kg)	8,3189
AIRE TEORICO (seca, m ³ N/kg)	5,1701		
AIRE TEORICO (húmeda, m ³ N/kg)	5,2321		
6.-GASES DE COMBUSTION			
	m ³ N/kg	kg/kg	% (húmeda) % (seca)
CO ₂	0,9679	1,9136	10,838 12,033
H ₂ O	0,8211	0,6883	9,927 10,036
N ₂	6,5018	8,1300	72,805 80,829
SO ₂	0,0007	0,0019	0,007 0,008
O ₂	0,6290	0,9121	7,155 7,944
TOTAL	8,9304	11,6469	100,733 110,850

Tabla 2. Análisis del cálculo de combustión, del carbón, poder calorífico e inquemados del día 14 de Noviembre en el Grupo I. Los valores en amarillo indican valores que cambian cada día, no son fijos. Los valores en rojo, por su parte, indican el % de O₂ seco (Ultramat 23) y húmedo (Monitor Labs.) y el % de humedad seco (Ultramat 23) y húmedo (Monitor Labs.).

Por último, se realiza lo mismo con los demás días y se obtiene el % de diferencia de humedad entre ambos equipos:

DIAS DE NOVIEMBRE (A PARTIR DE LAS PRUEBAS de CERTIFICACIÓN)	% HUMEDAD (U23) GI	% HUMEDAD (ML) GI	% DIFERENCIA HUMEDAD
11	9,92	9,912	-0,08071025
12	9,818	9,973	1,55419633
13	9,887	10,044	1,563122262
14	9,927	10,036	1,086090076
15	9,887474579	10	1,125254209
16	9,976287696	10,09793229	1,204648585
17	9,76641118	9,884481651	1,194503417
18	9,767065958	9,966	1,996127257
19	9,714578946	9,85810157	1,455885016
20	9,941965646	10,03796495	0,956362209
21	9,782132496	9,847390262	0,662690977
22	9,811902058	9,885094073	0,740428109
23	9,834834827	9,900528114	0,66353316
24	9,786530632	9,862237295	0,767641871
25	9,702452953	9,805763913	1,053573804
26	9,548749752	9,66514912	1,204320452
27	9,696089342	9,802201078	1,082529687
28	9,869971365	9,97454337	1,048388888
29	9,85772933	9,975266457	1,17828558
30	9,790830473	9,93788541	1,479740724

Tabla 3. Datos de Humedad y % de diferencia de humedad entre ambos equipos en el Grupo I durante el mes de Noviembre.

Para que las diferencias entre ambos equipos, con respecto al contenido de humedad, sean significativas, el % debe ser mayor que 5. En cambio, como se puede observar en la Tabla 3, el % de diferencia de humedad entre ambos equipos no supera el 2% en ninguno de los días del mes de Noviembre, en el Grupo I. A la vista de los resultados, podemos descartar al contenido de humedad, como posible razón para provocar diferencias significativas en las emisiones de SO₂ y NO_x observadas en los equipos Monitor Labs. y Ultramat 23.

Conclusiones

Si examinamos con detenimiento todo lo anteriormente descrito, podemos destacar diversas conclusiones. En primer lugar, se observan diferencias en las emisiones de SO₂ y NO_x que constatan los equipos Monitor Labs. y Ultramat 23. Se manifiestan en los cuatro grupos generadores de energía eléctrica. Estas diferencias son constantes durante todos los días (un rango de 30-50 mg/m³N aprox. de media para el NO_x y de 15-30 mg/m³N aprox. de media para el SO₂).

A partir del día once de Noviembre se llevó a cabo una certificación por parte del equipo de Siemens, para revisar los equipos Ultramat 23 y dilucidar las razones por las cuales estas diferencias ocurrían. Además, desde ese día, el control de dichos equipos por parte del departamento de Medio Ambiente fue superior y se llevaron a cabo calibraciones con mayor frecuencia para tener así un control total sobre ellos. Sin embargo, las emisiones observadas en los Ultramat 23 seguían siendo diferentes a las observadas en los equipos previamente implantados. Una de las posibles razones que se barajaban para dar solución a esas diferencias en las emisiones observadas en los equipos era el contenido en humedad. Se llevó a cabo el estudio de la humedad y se comparó, mediante el análisis del carbón, su combustión, y el análisis del contenido en oxígeno, los porcentajes en humedad de ambos equipos.

Finalmente, se obtuvo una tabla comparativa entre los porcentajes en humedad durante el mes de Noviembre (a partir del día once de Noviembre, para trabajar con valores más fiables). Para que las diferencias sean significativas, el porcentaje de diferencia de humedad entre ambos equipos debía superar el 5%; sin embargo, no superó el 2% en ningún caso. Por tanto, podemos desechar la idea de que el contenido en humedad sea factor clave a la hora de producir diferencias significativas en las emisiones de SO₂ y NO_x observados en los equipos comparados.

A día de hoy, la razón por la que las emisiones que expresan ambos equipos son diferentes es desconocida. Sin embargo, el departamento de Medio Ambiente sigue realizando pruebas en los equipos Ultramat 23 para esclarecer dicha cuestión. En un futuro, los equipos Ultramat 23 sustituirán por completo a los equipos Monitor Labs. en la tarea de monitorizar las emisiones en continuo de SO₂ y NO_x. No obstante, mientras no se conozcan las causas exactas de dichas diferencias, los equipos Monitor Labs seguirán en activo para proporcionar una medida extra en la monitorización de las emisiones de SO₂ y NO_x.

Referencias bibliográficas

- 1.- Johnson, W. E. *Continuous Emission Monitoring (CEM) System Application and Maintenance Guide*. EPRI. California (USA) (December 2003).
- 2.- Manual de instalación. Principio de funcionamiento de los equipos de medida. Endesa generación U.P.T. As Pontes.
- 3.- Manuel de instrucciones del analizador de gases para gases absorbentes del infrarrojo y oxígeno 7MB2335, 7MB2337, 7MB2338, Nº de pedido: C79000-G5278-C216, Versión 10/2009.
- 4.- UNE-EN 14181²³: Emisiones de fuentes estacionarias. Aseguramiento de la calidad de los sistemas automáticos de medida.
- 5.- UNE-EN ISO 14956²⁴: Calidad del aire. Evaluación de la aptitud de un procedimiento de medida de comparación con una incertidumbre de medida requerida.
- 6.- <http://www.ca01.ru/info.php?node=10021593>.

Glosario

1.- Analizador de NO_x: Analizador para la medida en continuo de NO_x similar al utilizado para medidas de calidad de aire que utiliza como principio de medida la técnica de quimioluminiscencia.

2.- Analizador de SO₂: Analizador para la medida en continuo de SO₂ similar al utilizado para medidas de calidad de aire que utiliza como principio de medida la técnica de fluorescencia ultravioleta.

3.- Calibración: Conjunto de operaciones que permiten establecer, en unas condiciones especificadas, la relación entre los valores indicados por un equipo de medida y los valores conocidos (patrones) para un determinado parámetro. La calibración puede conducir a un ajuste del equipo.

4.- Combustible fósil: Cualquier combustible derivado de productos tales como el petróleo, carbón, o gas natural que son quemados para producir energía.

5.- Contaminantes (contaminación): Compuestos químicos u otros materiales no deseados encontrados en el aire. Los contaminantes pueden dañar la salud, el medio ambiente, etc. Muchos contaminantes atmosféricos se encuentran en forma gas o vapor, pero algunos son partículas diminutas: humo, polvo, etc.

6.- Cordón umbilical: Unión entre la sonda de dilución-extracción de muestra y la unidad de control de sonda y control de calibraciones. Está formado por cuatro conductos: Línea de muestra; línea de aire de dilución, línea de soplado y calibración; línea de vacío.

7.- Dióxido de sulfuro: Gas producido por la quema de carbón. Algunos procesos industriales, tales como la producción de papel y el derretimiento de metales, producen dióxido de sulfuro. Está relacionado con el ácido sulfúrico, un ácido fuerte. Por otra parte, juega un importante papel en la producción de la lluvia ácida.

8.- Emisión: Liberación de contaminantes en el aire desde una determinada fuente.

9.- Exactitud: Es una medida del grado de concordancia entre un determinado valor medio y una referencia aceptada o valor real conocido. Se suele expresar como la diferencia porcentual entre la medida y el valor de referencia.

10.- Gas cero: Aire de instrumentos que pasa a través de gel de sílice y carbón activo para obtener un aire con menos de 1 ppb de SO₂ y NO_x. Es el utilizado para hacer la dilución de la muestra.

11.- Gas patrón: Mezcla de SO₂ y NO en N₂ con concentraciones de SO₂ y NO entre el 60 y el 80% del intervalo de medida de los analizadores.

12.- Lluvia ácida: Bioproducto de la contaminación del aire producido cuando compuestos químicos ácidos son incorporados en la lluvia, nieve, o niebla. Los ácidos en la lluvia ácida vienen de los óxidos de sulfuro y óxidos de nitrógeno, productos de quema de carbón y otros combustibles de carácter industrial.

13.- MEDAS: Sistema de adquisición, supervisión y gestión de datos ambientales en tiempo real, que dispone de periféricos en las Salas de Control y Medio Ambiente e integra información sobre emisiones atmosféricas, calidad del aire, meteorología y calidad del medio acuático.

14.- Óxidos de nitrógeno: Los óxidos de nitrógeno son producidos a partir de la quema de combustibles, incluyendo gasolina y carbón. Reaccionan con compuestos orgánicos volátiles para formar Smog. Los óxidos de nitrógeno son también los componentes principales de la lluvia ácida.

15.- Ozono: Variante del oxígeno. Consiste en tres átomos de oxígeno unidos en una molécula. Se forma en la naturaleza. Altas concentraciones de ozono se encuentran en una capa de la atmósfera (la estratosfera). Este ozono estratosférico actúa de escudo a la Tierra contra los rayos del sol, particularmente ultravioleta B. El componente principal del Smog es el ozono. El ozono a nivel del suelo es un producto de las reacciones entre compuestos químicos producidos por la quema de carbón, gasolina, y otros

combustibles, y compuestos químicos que se encuentran en productos como los solventes, las pinturas, sprays para el pelo, etc.

16.- Parámetros de calibración A y B: Parámetros resultantes de la comprobación y ajuste por control remoto de los analizadores de SO₂ y NO_x obtenidos de la resolución del siguiente sistema de ecuaciones:

$$\text{Valor botella} = S \times A + B$$

$$0 = C \times A + B$$

donde:

Valor botella = Concentración (ppm) de los gases que forman la mezcla de calibración.

0 = Concentración (ppm) en el gas cero de SO₂ y NO_x:

S = Valor medido de concentración (ppm) por el sistema de medida de emisiones de SO₂ y NO_x en el tiempo de medida de margen.

C = Valor medido de concentración (ppm) por el sistema de medida de emisiones de SO₂ y NO_x en el tiempo de medida de cero.

17.- Patrón: Material o instrumento de medida destinado a definir, realizar, conservar o reproducir valores conocidos de la magnitud de un determinado parámetro, para transmitirlos por comparación con otros instrumentos de medida.

18.- Precisión: Es una medida de repetitividad de los valores observados. Se suele calcular a partir de las desviaciones típicas de las diferencias existentes entre las medidas y el valor de referencia.

19.- Secuencia de calibración: Sucesión de intervalos de tiempo que permiten la introducción de un gas cero y un gas patrón en el sistema de medida para la calibración del mismo.

20.- Sistema de medida de SO₂ y NO_x: Conjunto de elementos que combinados permiten la medida de SO₂ y NO_x en los gases de combustión además de la calibración del sistema. Está formado por: Sonda de extracción-dilución; USC-CC; UAC; UDA; Analizador de SO₂; Analizador de NO_x.

21.- Sistemas de monitorización de emisión continua (CEM's por sus siglas en inglés): Máquinas que miden, en base continua, contaminantes liberados por una determinada fuente.

22.- Sonda de dilución-extracción de muestra: Parte del sistema de medida donde se realiza la extracción de gas de chimenea para sus posteriores análisis mediante un dispositivo de dilución.

23.- UNE-EN 14181: Emisiones de fuentes estacionarias. Aseguramiento de la calidad de los sistemas automáticos de medida.

24.- UNE-EN ISO 14956: Calidad del aire. Evaluación de la aptitud de un procedimiento de medida de comparación con una incertidumbre de medida requerida.

25.- Unidad de control de sonda y control de calibraciones (U.C.S.-C.C.): Parte del sistema de medida que controla el funcionamiento de la sonda de extracción y el acceso de gas cero y gas patrón para la realización de calibraciones.

26.- Unidad de dilución adicional (U.D.A.): Parte del sistema de medida donde se realiza una segunda etapa de dilución antes de que la muestra pase a analizadores.