

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIE
Facultad de
Ingeniería Eléctrica

TRABAJO DE DIPLOMA

**Título del trabajo: Propuesta para la explotación del Analizador
de Gases GASBOARD 3800P.**

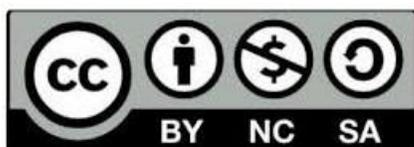
Autores del trabajo: Damiam Bautista García

Tutores del trabajo: Dr. Ing. Luis E. Hernández Santana

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

PENSAMIENTO

“La ciencia es la estética de la inteligencia”.

Gastón Bachelard.

"No se puede pasar un solo día sin tener un impacto en el mundo que nos rodea. Lo que hacemos marca la diferencia, y tenemos que decidir qué tipo de diferencia queremos hacer"

Jane Goodall (1934-)

DEDICATORIA

A mis abuelos Chiqui y Findo.

Por sus enseñanzas y exigencias desde bien chiquito.

A mi Tía Ely.

Por quererme como me quiere, por su ayuda, por su entrega.

A mis padres y hermano.

A toda mi familia de Las Aromas quienes se preocuparon permanentemente por mis años de estudiante universitario. En fin a todos los que me quieren bien.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos los que hicieron posible la realización de este trabajo.

- ✓ *A mi mamá por su preocupación durante tantos años de estudio. Por facilitarme la vida en todos los momentos con su ayuda incondicional.*
- ✓ *A mis compañeros de clase.*
- ✓ *A mis profesores, los que confiaron y los que no. A los que confiaron un agradecimiento especial.*
- ✓ *A mi tutor, por la posibilidad de aprender sobre temas interesantes y distintos a los que sabía hasta hoy. Gracias por ampliar mis horizontes.*

RESUMEN

La contaminación ambiental es uno de los problemas críticos que tiene la humanidad y que requiere seguimiento por parte de todos los factores que inciden sobre ella. Conocer cómo se comporta en cada fuente emisora es tema de interés por lo que usar instrumentos capaces de realizar las mediciones de estas emisiones es importante. El presente trabajo mostró como puede utilizarse el Analizador de gases GASBOARD -3800P en la medición de la concentración de los gases de salida y de la relación $O_2 - CO_2$ de una Caldera de vapor de la Empresa textil UB “Desembarco del Granma”. Para el cumplimiento de este trabajo se realizó una revisión de la bibliografía sobre los principios de funcionamiento de diferentes tipos de instrumentos, las normas que rigen las emisiones de contaminantes al aire y el instrumento disponible (GASBOARD – 3800P). Se realizó la instalación de los puntos de muestras, las mediciones y los análisis de los resultados.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO	5
1.1. Introducción del capítulo.....	5
1.2. Fuentes de contaminación del aire.	6
1.3. Composición elemental de los combustibles.	7
1.4. Efectos adversos de la contaminación del aire.....	7
1.5. Generadores de Vapor.....	9
1.6. Sobre las mediciones de las emisiones.....	11
1.7. Determinación de puntos de muestreo	12
1.8. Tipos de analizadores de gas.....	14
1.9. Analizadores de gases	21
1.10. Conclusiones parciales.	24
CAPÍTULO 2. EL ANALIZADOR DE GASES GASBOARD 3800P.....	25
2.1 Resumen.....	25

2.2	Principio de funcionamiento infrarrojo de Micro-flujo.	25
2.3	Aplicaciones y características.	27
2.4	Especificaciones del equipo.	27
	Otras especificaciones.....	28
2.4.1	Elementos del equipo Analizador de Gases GASBOARD 3800P.	28
2.5	Preparación del Analizador de gases para la medición.	35
2.6	Operación	39
2.7	Configuración del sistema.....	40
2.8	Calibración de gas	43
2.9	Conclusiones parciales.	44
CAPÍTULO 3. UTILIZACIÓN DEL EQUIPO.		45
3.1	Descripción del área de estudio.....	45
3.2	Pasos para la medición con el Analizador de gases GASBOARD 3800P.....	49
3.3	Resultados obtenidos.....	52
3.4	Conclusiones parciales.	58
CONCLUSIONES		59
RECOMENDACIONES.....		60
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		61
ANEXOS		63

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental constituye uno de los problemas más críticos que afectan al planeta, en ello incide el excesivo crecimiento automotriz, el incremento industrial y las emisiones a la atmósfera del dióxido de carbono; la cantidad es tal, que causa efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales, expuestos a dosis que sobrepasan los niveles aceptables en la naturaleza.

Los contaminantes principales son los resultados de procesos de combustión convencional en actividades de transporte, industriales, generación de energía eléctrica y calefacción doméstica, evaporación de disolventes orgánicos y las emisiones de ozono y freones entre otros gases.

A un estado de la materia con una temperatura superior a su punto de ebullición se le denomina gas. En relación con el entorno de las personas (condiciones normales) cualquier sustancia que tiene un punto de ebullición inferior a 20° C a presión normal es un gas. La atmósfera actúa como una trampa térmica y este efecto invernadero aumenta con la concentración de gases como el CO₂. La actividad humana, la deforestación y, sobre todo, el transporte y la quema de combustibles fósiles incrementan la presencia del CO₂ en el aire. La concentración atmosférica de CO y CO₂ se ha incrementado en un 31% desde 1750. La única forma de frenar la modificación del clima es reducir drásticamente las emisiones de gases invernadero, como el CO y CO₂ (Trochez, 2010).

Para disminuir las emisiones a la atmósfera se tienen que lograr procesos de combustión eficientes por lo que los analizadores de gases juegan un papel importante, estos sirven para tratar el monitoreo de la eficiencia de combustión en hornos industriales, incineradores de basura o calderas; y la investigación o certificación de control de emisiones y de la combustión; además de detectar el riesgo tóxico y el peligro de explosión.

Recientemente, el departamento de automática de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas (UCLV) ha adquirido un Analizador de Gases modelo GASBOARD 3800P, equipo de elevadas prestaciones al que no se le ha creado ningún sistema que permita su empleo, tanto como apoyo a la docencia de la disciplina de instrumentación, así como para la prestación de servicios científico técnicos en otras entidades aprovechando las posibilidades que ofrece este.

El equipo se puede utilizar para medir la concentración de SO_2 , NO , CO , CO_2 y O_2 de los gases de emisión de calderas, en los que el SO_2 , NO , CO y CO_2 se miden mediante sensores infrarrojos de micro flujo y el O_2 por sensor electroquímico, con temperatura, presión y velocidad del gas. Opcionalmente, se puede hacer el cálculo de la eficiencia en la combustión. Las principales aplicaciones de este equipo se pueden resumir en: monitoreo de la eficiencia de combustión en hornos industriales, incineradores de basura o calderas; y la investigación o certificación de control de emisiones y de la combustión; todas de gran valor para el sector industrial y de los servicios (Optoelectronics, 2015).

El equipo permite conocer la eficiencia de la combustión y la calidad de los gases que se emiten a la atmosfera del Generador de Vapor. Como prueba del método de trabajo se propone evaluar el Generadores de Vapor No 1 de la Textilera Desembarco del Granma. Esta es una Caldera del tipo Piro tubular con 23 ton de capacidad que presta servicios a la planta de Acabado en su proceso productivo.

No obstante, para hacer dicha evaluación no existe una experiencia previa de uso del Analizador de Gases GASBOARD 3800P lo que no sitúa ante el siguiente problema.

Situación del problema

¿Cómo se puede implementar el uso del Analizador de Gases GASBOARD 3800P para evaluar la eficiencia de la combustión y la calidad de los gases y que permita su empleo por usuarios posteriores en estas labores?

Objetivos:

Objetivo General:

Demostrar la factibilidad de explotación del Analizador de Gases GASBOARD 3800P para evaluar la eficiencia de la combustión y la calidad de los gases.

Objetivos Específicos:

- Sistematizar el conocimiento relacionado con los instrumentos Analizadores de Gases de escape de los equipos de combustión.
- Establecer las bases de operación del analizador de gases GASBOARD 3800P para su utilización.
- Poner en funcionamiento el mismo validando las normas para su utilización.
- Evaluar la capacidad de uso del GASBOARD 3800P en la medición de la eficiencia de la combustión y la calidad de los gases que se emiten a la atmosfera en un equipo de combustión muestra de estudio.

Para cumplir con los objetivos del trabajo se plantea la siguiente tarea investigativa:

- Investigación Bibliográfica acerca de los analizadores de gases.
- Estudio del catálogo del equipo Analizador GASBOARD 3800P.
- Búsqueda de los componentes del sistema, necesarios para este proyecto.
- Realizar demostraciones del sistema en funcionamiento.
- Elaboración del informe.

Posibles resultados:

Con este proyecto se pretende implementar un conjunto de pasos y normas que permita medir evaluar la eficiencia de la combustión y la calidad de los gases ya sea en hornos industriales, incineradores de basura o calderas, todas de gran valor en el sector industrial y que sea posible implementar también en el área docente. Demostrar la importancia del análisis de gases en el sector industrial.

Impacto posible:

La ejecución de este proyecto posibilitará la posible implementación de prácticas reales para los estudiantes de automática en la disciplina Instrumentación como apoyo a la actividad docente; a su vez, su implementación en el sector industrial, puede incrementar la eficiencia de los equipos en los cuales se desprenden gases al poder analizar correctamente la concentración de los gases de emisión.

Aplicabilidad:

Los resultados de investigación poseen una aplicación práctica y teórica de gran trascendencia para la medición de gases a nivel industrial.

Viabilidad:

Para la realización de este trabajo se dispone de información actualizada, además del equipo GASBOARD 3800P el cual es capaz de analizar la concentración de SO₂, NO, CO, CO₂ y O₂ de los gases de emisión de calderas, en los que SO₂, NO, CO y CO₂ se miden mediante sensores infrarrojos de micro flujo y O₂ por sensor electroquímico. No son necesarios recursos adicionales a los que ya disponemos en estos momentos.

Organización del trabajo de diploma:

El trabajo se estructura en Introducción, tres capítulos en el desarrollo, conclusiones y recomendaciones. Los capítulos se encuentran estructurados de la forma siguiente:

Capítulo 1. En este capítulo se presenta el marco teórico referente a los análisis de gases y a las fuentes contaminantes del aire.

Capítulo 2. Se muestra el estudio realizado del analizador de Gases GASBOARD 3800P y su forma de uso.

Capítulo 3. Este capítulo muestra los resultados y análisis de las mediciones realizadas en la Caldera de Vapor No 1 de la Textilera “Desembarco del Granma”.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1. Introducción del capítulo.

La energía se relaciona con el desarrollo humano de tres maneras: como un motor de crecimiento económico, como una fuente de estrés ambiental, y como un requisito previo para satisfacer las necesidades humanas básicas. De esta forma, una política energética bien diseñada es esencial para enfrentar los desafíos de resolver la creciente demanda mundial de energía, de manera sostenible y segura. Citando de Brundtland (Development., 1987), desarrollo sostenible significa desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (MOYA, 2013).

Desafortunadamente, tuvieron que ocurrir grandes señales para que hubiera interés en el medio ambiente, como el calentamiento global y algunos episodios críticos de contaminación del aire vinculados a la mortalidad y la morbilidad. Varios episodios de contaminación del aire, con graves consecuencias para la salud humana, se informó en la década de 1950 en las ciudades industrializadas, como Londres y Nueva York (Joseph A. Salvato, 2003). El uso de energía fósil desde la revolución industrial ha sido reconocida como la principal fuente de emisiones de contaminantes atmosféricos, y la principal causa de muchos problemas ambientales (Eugene K. Cairncross, 2007). Actualmente el mundo de la energía y el medio ambiente muestran que se debe cambiar la política, para considerar tanto como sean posibles los criterios ambientales en la toma de decisiones. Esto aumentaría el potencial de las energías renovables disminuyendo la importancia de las energías fósiles. De esta forma se están llevando a cabo algunas acciones globales, apuntando principalmente a curvar las tendencias en las emisiones de GEI (Gas de Efecto Invernadero).

En tal sentido, conocer el estado de la calidad del aire que se emite a la atmosfera por los equipos de combustión es de suma importancia para garantizar la salud de los asentamientos humanos y la estabilidad de los ecosistemas cercanos a las industrias (Juez, 2005). Por otro lado, el saber la eficiencia con que trabaja el equipo de combustión se puede revertir, a partir de corregir los problemas detectados, en ahorro de portadores energéticos y en reducción de los costos de operación de las mismas. Es por ello que el contar con un analizador de gases en la UCLV puede ser aprovechado por las industrias en trabajos de vinculación Ministerio de Educación Superior (MES) y el Ministerio de Industria (MINDUS).

1.2.Fuentes de contaminación del aire.

Los contaminantes del aire pueden emitirse a la atmósfera (contaminantes del aire primario) o formarse dentro de la propia atmósfera (contaminantes del aire secundario). Los contaminantes atmosféricos primarios incluyen dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y partículas primarias carbonosas y no carbonosas (Guidelines, 2005). Los contaminantes secundarios del aire se originan por reacciones químicas de contaminantes primarios en la atmósfera. Normalmente estas reacciones involucran componentes como el oxígeno y el agua. Entre los contaminantes secundarios prominentes en el aire se incluyen el ozono, los óxidos de nitrógeno y otras partículas de materia (PM) secundarias.

La principal fuente de dióxido de azufre es la combustión de combustibles que contienen azufre. Los combustibles fósiles, especialmente el carbón y el petróleo, contienen cantidades variables de azufre de acuerdo con su fuente, pero típicamente entre 1% y 5%. El azufre en el combustible se convierte casi cuantitativamente en dióxido de azufre. Hoy en día en los países desarrollados, gran parte del azufre se elimina de los combustibles del motor en el proceso de refinación y de los gases de chimenea antes de la emisión. El azufre es más abundante en las fracciones menos volátiles del petróleo crudo. (Guidelines, 2005). Los óxidos de Nitrógeno se forman principalmente por el proceso de combustión, cuando el nitrógeno en los combustibles se oxida a óxidos de nitrógeno. El carbón es el combustible más importante en este contexto; el petróleo y el gas contienen niveles mucho más bajos de nitrógeno. La combustión a alta temperatura aumenta la formación de óxidos de nitrógeno;

en tal condición, el nitrógeno atmosférico y el oxígeno reaccionan para formar óxidos de nitrógeno. Esto explica como los automóviles y la energía son las mayores fuentes de estos gases. La mayoría de los óxidos de nitrógeno formados a través de esta ruta se emiten como óxido nítrico. Una cantidad menor, típicamente 5%, se emite como dióxido de nitrógeno primario, mientras que la fracción principal del dióxido de nitrógeno atmosférico es un producto secundario de la química atmosférica (Guidelines, 2005).

El Monóxido de carbono se produce en la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Mientras que la combustión completa conduce a la formación de dióxido de carbono, la mayoría de los sistemas de combustión implican algunas regiones ricas en combustible en las que una proporción de carbono se oxida solo en monóxido de carbono. El ejemplo más importante es la combustión de gasolina en vehículos de carretera.

1.3.Composición elemental de los combustibles.

Los combustibles orgánicos, como el petróleo y el bagazo, se constituyen por: Sustancias combustibles, impurezas minerales no combustibles y humedad. La humedad, así como las impurezas minerales no combustibles, constituyen elementos indeseables en los combustibles, pues reducen el calor específico de combustión (por unidad de masa) y crean otros trastornos en la operación. Estos elementos suelen llamarse lastres del combustible. Las sustancias combustibles, que constituyen la parte útil de los mismos, se componen de: C – Carbono; H – Hidrógeno; O – Oxígeno; N – Nitrógeno; S – Azufre.

1.4.Efectos adversos de la contaminación del aire.

La contaminación del aire causa daños a una amplia gama de receptores, incluida la población, cultivos, bosques, edificios y otros. Los efectos de la contaminación del aire están influenciados por el tipo y la cantidad de contaminantes y sus posibles interacciones. El impacto en la salud es el daño más importante, en Europa aproximadamente representado por el 90% de los impactos locales estimados (Zvingilaite, 2010).

La quema de combustibles fósiles en industrias es una fuente principal de emisiones contaminantes en muchos países. En Cuba, se quema más del 80% del consumo anual de combustible por lo que constituye una fuente de emisión estacionaria puntual. La

combustión a alta temperatura es una fuente de óxidos de nitrógeno, y también de dióxido de azufre si el azufre está presente en el combustible. La combustión de combustible también emite compuestos de sustancias orgánicas volátiles (VOC), especialmente carbón y petróleo, que son difíciles de quemar por completo, también otras características de las instalaciones tienen un efecto importante en el ambiente. Una acumulación alta tiende a causar un menor aumento de la concentración local, debido a la dispersión generalizada de los efluentes. Las emisiones en chimeneas bajas conducen a concentraciones locales más altas. En consecuencia, por cada kilogramo de contaminantes emitidos puede cambiar el impacto sobre las concentraciones a nivel del suelo en dependencia de la altura de la chimenea.

En el mundo desarrollado se realizan muchos cambios para reducir el estrés ambiental. Por ejemplo, el uso de quemadores que producen bajos niveles de óxidos de nitrógeno y la desulfuración de gases de combustión de las centrales eléctricas de carbón, además de los precipitadores electrostáticos normalmente instalados para limitar las emisiones de PM (MOYA, 2013).

Emisiones Máximas Admisibles (EMA)

Las Emisiones Máximas Admisibles (EMA) se expresan en términos de concentración de los contaminantes en los gases secos que se expulsan a la atmósfera por las fuentes fijas y se representan en unidades de mg/Nm³, lo que corresponde al contenido en peso del contaminante por unidad de volumen del gas seco expulsado a la atmósfera, en condiciones de temperatura y presión normales.

Las magnitudes de las EMA se han establecido en dependencia de las características de las instalaciones que generan los contaminantes, distinguiéndose las siguientes clasificaciones:

- a) Centrales Termoeléctricas, las cuales se subdividen de acuerdo al tipo de combustible fósil que emplean: Crudo, Fuel Oil (FO), Gas acompañante del petróleo, Gas natural, Carbón u otro combustible fósil sólido.
- b) Turbinas, A Ciclo Simple o Ciclo Combinado (CC), subdivididas en correspondencia con el tipo de combustible que utilicen: Gas natural u otro gas limpio, Otro combustible.

c) Calderas de vapor, las cuales se subdividen en correspondencia con el tipo de combustible que utiliza: Biomasa, Crudo, Fuel Oil, Diesel y Gas.

Las magnitudes de las EMAs para cada tipo de fuente se relacionan en el anexo I, donde los óxidos de Nitrógeno se expresan como NO_2

En Cuba, la NC TS 803:2010 “CALIDAD DEL AIRE — EMISIONES MAXIMAS ADMISIBLES DE CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA EN FUENTES FIJAS PUNTUALES DE INSTALACIONES GENERADORAS DE ELECTRICIDAD Y VAPOR”, utiliza los valores de las EMAs (Normalizacion, 2010).

En caso que los gases de la combustión de más de una unidad, sean conducidos a una misma chimenea, se considerará a los efectos de este cálculo, la suma de los combustibles utilizados en cada una de las unidades.

1.5. Generadores de Vapor

Una Caldera es todo aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de calorías, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor. Cuando el medio de transporte que se emplea es el vapor de agua, el equipo se denomina Caldera de Vapor. Existen las Calderas manuales y las automáticas. Hoy la mayoría de las Calderas son automáticas (Alastor, 2011).

Calderas Automáticas: Son aquellas que realizan un ciclo normal de funcionamiento sin precisar de acción manual alguna, salvo en su puesta inicial en servicio o en caso de haber actuado un órgano de seguridad de aportación calorífica. Asimismo, se considera como automáticas las Calderas que realizan su ciclo normal de funcionamiento sin precisar de una acción manual, salvo para cada puesta en marcha de su sistema de aportación calorífica después de que este haya sufrido un paro ocasionado por la acción de alguno de sus órganos de seguridad o regulación.

En dependencia del lugar donde esté el agua y el fuego en el cuerpo de la Caldera esta se divide en Pirotubulares y Acuotubulares. Las Calderas pirotubulares se caracterizan por: tener el calor por el interior de los tubos; el agua se deposita en el exterior de los tubos; se utilizan, principalmente, para presiones máximas de 20 bar y consumos de hasta 30 T/h; son económicas, de alto rendimiento y de fácil mantenimiento. Las Calderas acuotubulares

se destacan por: el calor va por el exterior de los tubos; el agua circula por el interior de los tubos; son más seguras en su operación; se usan, normalmente, para altas presiones.

Constructivamente una Caldera se compone de: Hogar o Cámaras de Hogar, Tubos, Cajas de Humo y Puertas de Registro. La construcción general de la Caldera de tubos de fuego no es otra cosa que un casco metálico de forma cilíndrica u ovalada en cuyos extremos se han colocado para su cierre placas. Colocadas dentro del cilindro y yendo de placa a placa están los tubos. Dentro de estos tubos circularán los gases calientes. Estas pueden ser de un solo paso o de varios pasos.

Hogares: Es el lugar donde ocurre la combustión. En general los Hogares son de forma circular soportados entre la placa tubular frontal de la Caldera y la placa delantera de la cámara de hogar. Su forma cilíndrica alargada es debida a que normalmente se diseña para que sea envolvente de la llama y por reglamento se obliga a que su longitud sea superior a la longitud la llama, de forma que la combustión se complete en el mismo. El Hogar es la parte más importante y a la vez la más delicada de la Caldera, pues de su diseño depende que pueda realizarse una buena formación de la llama y por tanto, se complete perfectamente en el mismo la combustión de la totalidad del combustible aportado. Por otra parte, por estar sometido a la acción de la llama que posee alta temperatura, es necesario dotarlo de resistencia y dilatabilidad necesarias para que cumpla con las normas de seguridad correspondientes.

Tubos: Siguiendo el recorrido de los gases de combustión, tenemos que estos a la salida de la Cámara de Hogar circulan por el interior de un haz tubular en uno, dos o más recorridos a lo largo de la Caldera mediante las apropiadas cajas de humo para cambiar su sentido de circulación. En principio, todos los tubos tienen la misma misión de pasar los gases de la combustión de una a otra caja, tomando por ello su nombre de Tubos Pasadores. Como normalmente las placas tubulares son de superficie plana y esta en sí es poco resistente a la deformación, esta resistencia se logra atirantando una placa con la placa opuesta y utilizando para ello algunos de los tubos de humos.

Estos tubos que realizan la misión de atirantar entre si las placas tubulares reciben el nombre de Tubos Tirantes, que dado el trabajo que realizan deberán estar unidos a las

placas de una forma más resistente y siempre soldados, además de ser de espesor superior a los tubos pasadores.

Cajas de Humo: Las Cajas de Humo tienen el objetivo de recolectar los gases de la combustión procedentes de un haz tubular y reconducirlos al siguiente o a la chimenea para su expulsión a la atmósfera. Todas las Cajas de Humo disponen de puertas para permitir las limpiezas periódicas de hollín, así como la eventual sustitución de algún tubo dañado.

Estas cajas son metálicas y en función de la temperatura de los gases que circulan por ellas deberán estar convenientemente protegidas por el apropiado aislamiento térmico.

Puertas de Registro: Todas las partes de una Caldera, ya sea por el lado de fuego, como lado del agua deben ser accesibles para su inspección, limpieza o reparación.

La Unidad Básica (UB) Textil “Desembarco del Granma” cuenta con los dos tipos de Caldera. Tiene dos Acuotubulares de 30 ton y una Piro tubular de 23 ton. Esta última es la que está trabajando en el año 2018 con consumos variables de Fuel Oil que dependen de la demanda de producción que tenga el equipo. En función de la eficiencia que tenga la combustión de la misma serán las emisiones que se tienen a la atmosfera.

1.6.Sobre las mediciones de las emisiones

Las mediciones de las concentraciones y parámetros conexos para conocer las cantidades de las emisiones de los contaminantes a la atmósfera, se realizan según los métodos de referencia establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, siglas en inglés) o métodos equivalentes establecidos por Alemania (Normas DIN) y Japón (Normas JIS) hasta que se establezcan las correspondientes Normas Cubanas.

Ecuaciones utilizadas para la conversión de unidades.

Para hacer la conversión de unidades de concentración de partes por millón (ppm) a miligramos por metro cúbico (mg/m^3) se aplicará la ecuación 1.1 ya que las tablas de las normas se expresan en mg/m^3 (Normalizacion, 2010):

$$C(\text{mg}/\text{m}^3) = (C(\text{ppm}) \text{ PM}/22.41) \quad (1.1)$$

Dónde:

$C(\text{mg}/\text{m}^3)$ = Concentración dada en peso de un contaminante en miligramos por unidad de volumen de aire en metro cúbico.

$C(\text{ppm})$ = Concentración por volumen por unidad de volumen de aire en partes por millón.

PM = Peso molecular del agente contaminante conocido en kilogramos por kilomol ((kg/kmol)).

22,41= Volumen molar en m^3/kmol a temperatura de 273,15 K y presión de 101,325 kPa

• Para convertir de mg/Nm^3 a ppm de un contaminante gaseoso se utiliza la fórmula siguiente:

$C(\text{ppm}) = 24.446 C(\text{mg}/\text{m}^3)/\text{PM}$ (NC-TS 803).

Análisis de gases. Determinación de la composición de los productos de la combustión y del coeficiente de exceso de aire.

Los gases producto de la combustión en el horno de un generador de vapor están constituidos por: RO_2 ($\text{CO}_2 + \text{SO}_2$), CO, O_2 , N_2 , H_2 , CH_4 y H_2O . Existen otros productos, pero en cantidades despreciables en comparación con estos para los efectos energéticos, aunque algunos son muy importantes desde el punto de vista de la contaminación como los NO_x .

Para todo el trabajo de generador de vapor, resulta de suma importancia conocer en qué porcentaje se encuentra cada una de esas sustancias en los gases, además, a través de ellas puede calcularse el coeficiente de exceso de aire, lo que resulta muy útil.

El análisis de la composición de los productos de la combustión, se debe efectuar en cada punto del tracto de gases donde se necesite conocer el exceso de aire, puesto que con las infiltraciones de aire a lo largo del tracto, la proporción en que se encuentra cada una de las sustancias varía.

1.7.Determinación de puntos de muestreo

Para determinar los puntos de muestreo existen métodos reconocidos en la EPA que tienen como objetivo proporcionar una guía para la selección de los puertos de muestreo y los puntos de recorrido donde se muestrearán los contaminantes del aire conforme con las

reglamentaciones establecidas. Se presentan dos procedimientos: un procedimiento simplificado y un procedimiento alternativo.

Aplicabilidad. El método 1 es aplicable para corrientes de gas que fluyen en ductos y chimeneas. El método no puede ser usado cuando: (1) El flujo es ciclónico o turbulento, (2) El diámetro de la chimenea es inferior a 0.30 m o tiene un área transversal inferior a 0.071 m².

Las mediciones de muestreo y / o velocidad se realizan en un sitio ubicado al menos con ocho diámetros del conducto aguas abajo y dos diámetros aguas arriba de cualquier perturbación de flujo, como un doblez, expansión o contracción en la chimenea o una llama visible. Si es necesario, se puede seleccionar una ubicación alternativa, en una posición de al menos dos diámetros de chimenea o conducto aguas abajo y medio diámetro aguas arriba de cualquier perturbación del flujo (INSTITUTO DE HIDROLOGIA, 2011).

Para ductos rectangulares se usa el término diámetro equivalente, el cual se define así en la ecuación 1.2:

$$De = \frac{2(L)(W)}{L+W} \quad (1.2)$$

De: Diámetro equivalente

L y W son las dimensiones (largo y ancho) de la sección transversal de la chimenea.

Adecuación del sitio. Una vez elegido el sitio se adecua cumpliendo que la plataforma sea amplia y resistente, que sea de fácil acceso, que cuente con suministro de energía eléctrica (110-220 V C.A.) y que cuente con protección necesaria para evitar los cortos circuitos y choques eléctricos.

Ubicación de la sonda de muestra. La sonda de muestra debe instalarse de modo que la sonda se encuentre en el centro de la pila, tubería o conducto y esté sellada herméticamente en la conexión del puerto de la pila.

Preparación del sistema de medición. Antes de la prueba de emisión, se ensambla el sistema de medición siguiendo las instrucciones escritas del fabricante para preparar la

interfaz de muestra y el analizador orgánico. Se debe hacer el sistema operable conectando todos los aditamentos necesarios para cada prueba.

1.8. Tipos de analizadores de gas.

Los analizadores de gases son instrumentos capaces de analizar la composición de los gases químicos presentes en la muestra que se toma. No solo identifica la composición, sino que también tiene la capacidad de proporcionar un valor de medición de la cantidad que muestra en forma numérica o gráficamente (Mr. Siby Thomas, 2013), son equipos normalmente portátiles utilizados en la medición de gases para determinar la presión diferencial, para encontrar la presencia o fuga de gases o el seguimiento continuo de O₂. Dependiendo del analizador de gas, éste puede estar especializado en uno o varios tipos de gases.

Los analizadores de gases son usados comúnmente para determinar la densidad de los gases en lugares con calderas, quemadoras, motores de combustión interna, hornos, turbinas, secadores o calefactores. Los resultados de las mediciones permiten diagnosticar los problemas y con ello proteger a los trabajadores y garantizar la seguridad de la planta. Los gases y vapores inflamables y tóxicos se pueden producir en muchos sitios, así que también están dedicados a detectar concentraciones de gas peligrosas, para activar alarmas y, hasta donde sea posible, activar contramedidas antes de que se pueda producir una situación peligrosa para empleados, instalaciones y medioambiente donde la presencia de determinados gases o una fuga de los mismos, supongan un riesgo para la seguridad. Un buen uso de los analizadores de gases también ayuda a la optimización de los procesos industriales (Drager, 2009).

Existen varios tipos de analizadores de gases con sus diferentes principios de funcionamiento, estos son capaces de estimar diferentes variedades de gases. Los sensores para la detección de gases y vapores son transductores que usan ciertas propiedades de los mismos para la conversión en una señal eléctrica adecuada. En las últimas décadas, para la detección industrial de gases, se han hecho dominantes tres principios de medición: sensores electroquímicos, sensores de perla catalítica y sensores infrarrojos (Drager, 2009).

Analizador electroquímico: los sensores de gases electroquímicos son detectores de gas que miden la concentración de un gas objetivo al oxidar o reducir el gas objetivo en un electrodo y medir la corriente resultante, son un micro-reactor, que con la presencia de gases reactivos produce electrones exactamente como una batería, el flujo de electrones es una corriente eléctrica muy baja pero medible. Comenzando su investigación en 1962, Naoyoshi Taguchi se convirtió en la primera persona en el mundo en tener éxito en el desarrollo de un dispositivo semiconductor que podía detectar bajas concentraciones de gases combustibles y reductores cuando se usaba con un circuito eléctrico simple. Los dispositivos basados en esta tecnología a menudo se denominan "TGS" (sensores de gas Taguchi). Un ejemplo se muestra en la Figura 1.8.1.

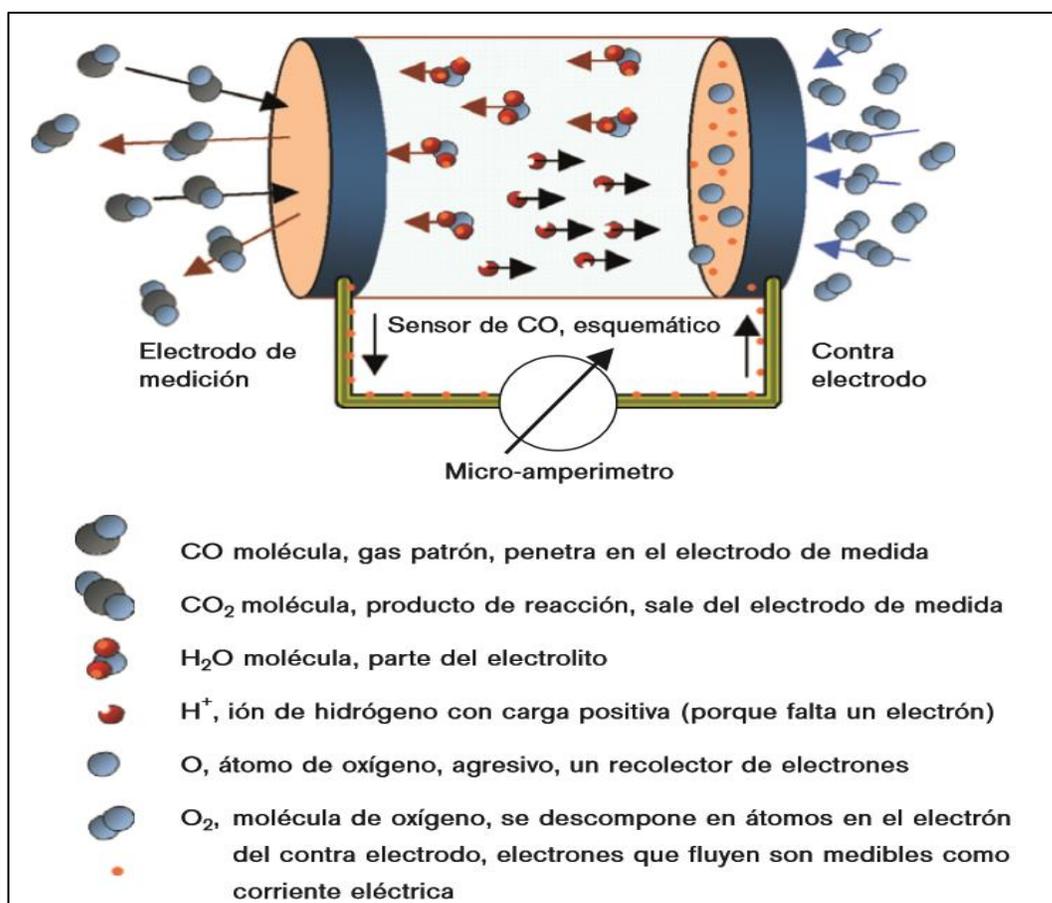


Figura 1.8.1. Esquema del principio de funcionamiento del analizador electroquímico.

Construcción: Los sensores contienen dos o tres electrodos, ocasionalmente cuatro, como mínimo dos electrodos (electrodo de medida y contra electrodo) que tienen contacto eléctrico de dos manera diferentes: por un lado vía un medio eléctricamente conductivo

llamado electrolito (un líquido pastoso para transportar iones), por otro lado vía un circuito de corriente eléctrica externo (un simple cable de cobre para transportar electrones) (Luis Escalona, 2012). Los electrodos se fabrican típicamente fijando un metal precioso de gran superficie sobre la membrana hidrófoba porosa, un material especial que tiene características catalíticas haciendo posible reacciones químicas en la llamada zona de 3 fases, donde hay presencia de gas, catalizador sólido y electrolito líquido. El electrodo de trabajo contacta tanto con el electrolito como con el aire ambiente que se monitorizará habitualmente a través de una membrana porosa. El electrolito más comúnmente usado es un ácido mineral, pero también se usan electrolitos orgánicos para algunos sensores. Los electrodos y la carcasa suelen estar en una carcasa de plástico que contiene un orificio de entrada de gas para los contactos de gas y eléctricos.

Funcionamiento: El gas se difunde en el sensor, a través de la parte posterior de la membrana porosa al electrodo de trabajo donde se oxida o reduce. Esta reacción electroquímica da como resultado una corriente eléctrica que pasa a través del circuito externo. Además de medir, amplificar y realizar otras funciones de procesamiento de señal, el circuito externo mantiene el voltaje a través del sensor entre los electrodos de trabajo y contra electrodo para un sensor de dos electrodos o entre los electrodos de trabajo y de referencia para una celda de tres electrodos. En el contra electrodo ocurre una reacción igual y opuesta, de modo que si el electrodo de trabajo es una oxidación, entonces el contra electrodo es una reducción. Los sensores electroquímicos necesitan muy poca energía, por eso pueden funcionar en seguridad intrínseca.

Los sensores de perla catalítica: Bajo ciertas circunstancias los gases y vapores inflamables se pueden oxidar mediante el oxígeno del aire para liberar calor de la reacción. Normalmente esto se consigue por un material catalizador especial calentado, que aumenta ligeramente su temperatura por el calor de la reacción. Este aumento de temperatura es una medida para la concentración de gas. El principio de funcionamiento se muestra en la Figura 1.8.2.

Los llamados pellistores son perlas cerámicas minúsculas y muy porosas (diámetro aprox. 1 mm) rodeando una pequeña bobina de hilo de platino. Hay una corriente eléctrica fluyendo a través de la bobina de platino de tal manera que el pellistor se calienta a unos cientos de

grados Celsius. La temperatura del pellistor aumentará con la presencia de gas inflamable, y por consiguiente la resistencia de la bobina del hilo de platino aumentará. Este cambio en la resistencia con respecto a la resistencia en aire limpio se es lo que se mide.

Por medio del oxígeno del aire que es absorbido por el material poroso y activado por el catalizador, el metano gaseoso es oxidado en el pellistor caliente. Además de vapor de agua y dióxido de carbono se puede medir el calor de la reacción.

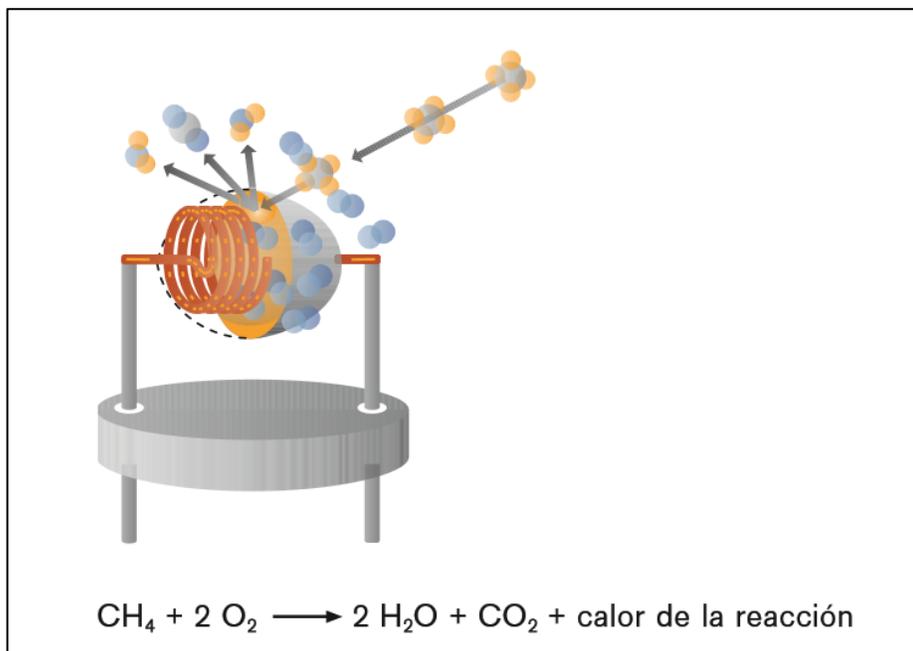


Figura 1.8.2. Esquema del funcionamiento de los sensores de perla catalítica.

Un pellistor solo, no es adecuado para la detección de gases y vapores inflamables. Hace falta un segundo para compensar los parámetros ambientales (especialmente temperatura y humedad). Y debe estar protegido contra explosiones. Mediante una carcasa antideflagrante y un disco sinterizado resulta útil este tipo de sensor.

Los sensores de perla catalítica funcionan con un circuito electrónico de puente de Wheatstone, que es adecuado para convertir cambios de resistencia muy pequeños en voltajes medibles. Si la segunda mitad del puente Wheatstone es colocado en la unidad de control, el sensor de perla catalítica puede ser conectado a las unidades de control mediante cables.

El pellistor compensador está fabricado de manera muy similar al pellistor activo, pero no contiene material catalizador para que no pueda oxidar. Si la temperatura ambiente cambia, las resistencias de ambos pellistores cambiarán y no hay señal puente. Sin embargo, si hay presencia de gas, solo la resistencia del pellistor activo cambia y el puente Wheatstone se desequilibra. Mediante un disco sinterizado se evita lo siguiente: Si en el interior del sensor de perla catalítica se produce una ignición, la carcasa del sensor resistirá la presión de la explosión y la llama es enfriada por debajo de la temperatura de ignición del gas, y ninguna llama pasa al exterior. El pellistor activo y el compensador son colocados en una carcasa encapsulada a prueba de llamas. El gas penetra a través del disco sinterizado al interior del sensor donde es oxidado por el pellistor activo (Rios, 2013) como se ve en la Figura 1.8.3

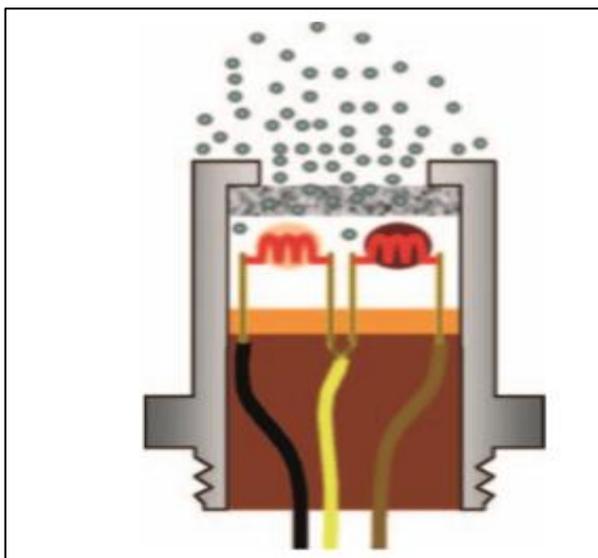


Figura 1.8.3. Esquema del sensor Pellistor.

Analizador de gases Infrarrojos (IR): Considerando el amplio margen de gases y vapores inflamables, uno se da cuenta que la mayoría de estas sustancias son compuestos químicos que principalmente consisten en carbono, hidrógeno, oxígeno, y a veces nitrógeno. Estos compuestos orgánicos se denominan hidrocarburos. Los hidrocarburos tienen propiedades especiales que pueden ser usados para la medición por infrarrojos de su concentración (Sankat, 2018).

Un analizador de gases infrarrojos mide los gases traza al determinar la absorción de una fuente de luz infrarroja emitida a través de una determinada muestra de aire. Los gases traza

que se encuentran en la atmósfera de la Tierra se excitan bajo longitudes de onda específicas que se encuentran en el rango infrarrojo. El concepto detrás de la tecnología se puede entender como la prueba de la cantidad de luz absorbida por el aire. Diferentes moléculas en el aire absorben diferentes frecuencias de luz. El aire con mucho gas determinado absorberá más de una cierta frecuencia, permitiendo que el sensor informe una alta concentración de la molécula correspondiente. Los sensores Infrarrojos pueden medir la concentración de los hidrocarburos pues estos son compuestos químicos que principalmente consisten en carbono, hidrógeno, oxígeno y a veces nitrógeno, todos gases y vapores inflamables.

El analizador IR Gas puede ser de dos tipos: Analizador IR no dispersivo y Analizador IR dispersivo.

Principio de funcionamiento: Todos los gases absorben radiación de una manera específica, algunos incluso en el rango visible (0.4 a 0.8 micrómetros). Esto es por lo que el cloro es verde-amarillo, el dióxido de bromo y el de nitrógeno son marrón-rojo, el yodo es violeta, etc. Sin embargo, estos colores solo se pueden ver en concentraciones muy altas y letales. Los hidrocarburos absorben radiación a un rango determinado de longitud de onda, aprox. de 3.3 a 3.5 micrómetros, y, puesto que el oxígeno, el nitrógeno y el argón no absorben, esto puede ser usado para la medición de concentración de hidrocarburos en aire (Sankat, 2018). El principio de funcionamiento se ejemplifica en la Figura 1.8.4.

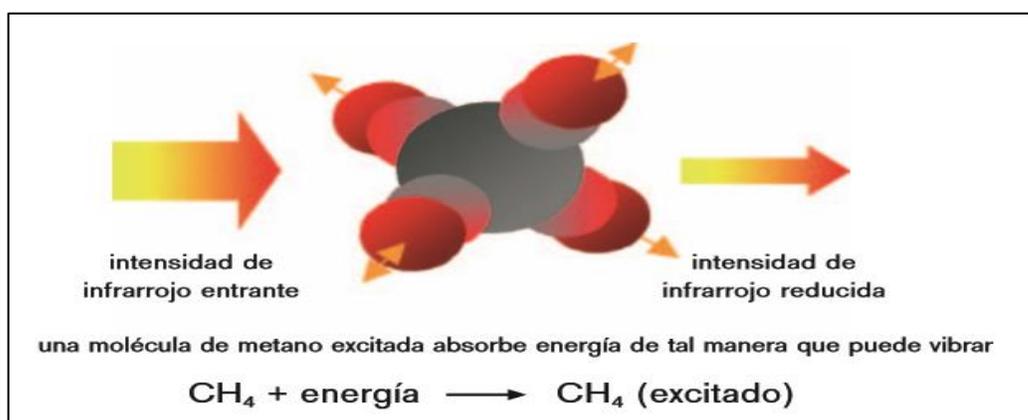


Figura 1.8.4. Principio de funcionamiento del analizador IR.

Un sistema óptico conteniendo una mezcla de por ejemplo metano o propano en aire atenuará una intensidad de infrarrojo entrante de una manera predecible, y para un gas dado esta atenuación depende solamente de su concentración específica.

Aire: los infrarrojos pasan sin ser atenuados, no hay intensidad reducida, no hay señal de medida. Gas: los infrarrojos pasan atenuados, intensidad reducida, la señal de medida corresponde a la concentración de gas actual.

Construcción: Los componentes principales son una fuente infrarroja (lámpara) activados con bajo voltaje, una cámara de muestra o tubo de luz, una cámara de muestra de longitud de onda y la concentración de gas se mide electro-ópticamente por su absorción de una longitud de onda específica en el infrarrojo (IR). La luz IR se dirige a través de la cámara de muestra, la radiación es dividida en dos partes mediante un divisor de rayos, una parte para el detector de medida, otra parte para el detector de referencia, un detector consiste en un cristal piroeléctrico encapsulado que convierte la energía de la radiación recibida en un voltaje medible. En paralelo, hay otra cámara con un gas de referencia cerrado, típicamente nitrógeno. El detector tiene un filtro óptico en frente que elimina toda la luz excepto la longitud de onda que las moléculas de gas seleccionadas pueden absorber. Su esquema se presenta en la Figura 1.8.5.

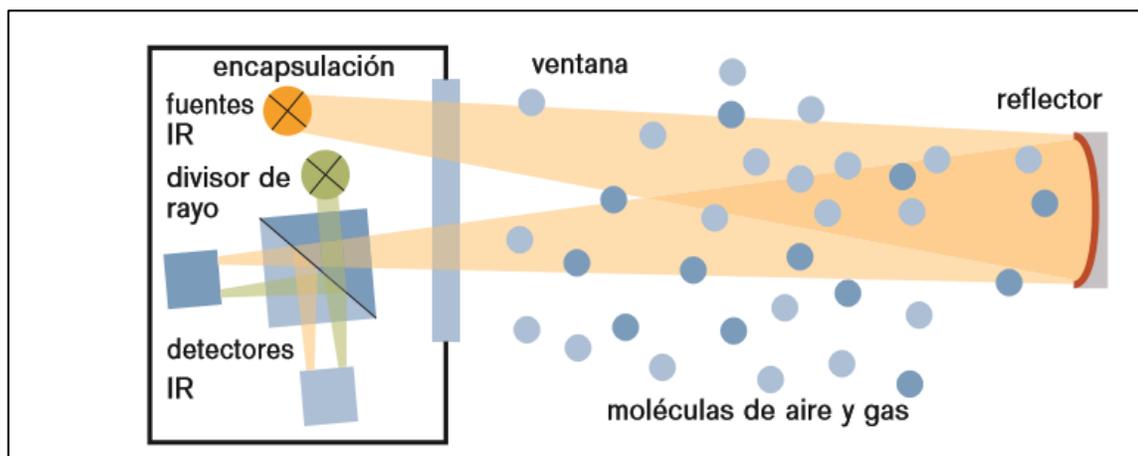


Figura 1.8.5. Esquema del analizador Infrarrojo

La señal IR de la fuente generalmente se modula para que las señales de fondo térmico se puedan compensar con la señal deseada. Un sensor de sensor infrarrojo no dispersivo (o NDIR) es un dispositivo espectroscópico simple que a menudo se utiliza como detector de

gas. Se denomina no dispersivo porque la longitud de onda que pasa a través de la cámara de muestreo no se filtra previamente, sino que se usa un filtro antes del detector (Mr. Sib Thomas, 2013). Los transmisores IR están equipados con sensores IR de este tipo. La señal de medición de ambos detectores está condicionada en consecuencia y finalmente está disponible como una señal de 4 a 20-mA en la salida del transmisor. Debido a su larga vida los transmisores IR son preferidos en la medición industrial. A lo contrario que los sensores electroquímicos y de perla catalítica los detectores de sensores IR no entran contacto con los gases a detectar. Mientras que no haya condensación – y esto se inhibe mediante superficies calentadas – los transmisores IR funcionan tan bien que se les encuentra cada vez más en procesos de aplicaciones industriales (Drager, 2009).

Los analizadores de gases son el instrumento ideal para examinar los gases resultantes de la combustión. Estos pueden ser continuos (permanentes) o portátiles. Un instrumento portátil es posible utilizarlo en casi todos los ámbitos en los que sea necesario. Algunos analizadores de gases incorporan sondas de temperatura para poder medir la temperatura de los gases de combustión.

En este caso, los sensores que utiliza el equipo GASBOARD 3800P son sensores que trabajan según el principio de funcionamiento NDIR y Electroquímico.

1.9. Analizadores de gases

Como resultado del estudio bibliográfico sobre los analizadores estudiados se puede resumir las características más importantes en la tabla 1.9.1.

Se puede apreciar que los tipos de sensores pueden variar para cada instrumento y con ellos se obtiene el análisis para distintos tipos de gases. Según el tamaño y el peso del equipo se deduce que existen equipos más portables que otros. En consecuencia, la elección de los equipos a utilizar debe estar en correspondencia con los más afines a lo que se desea obtener.

Tabla 1.9.1. Características más importantes de los analizadores estudiados.

Analizadores	Alimentación	Dimensiones	Peso	Gases	Sensores	Opciones	Pantalla
VAccompact	Capacidad de la batería, 10 h de funcionamiento continuo, fuente de alimentación 220V.	423x240x176 mm	6,8 kg	O ₂ , CO/H ₂ , NO ₂ , NO _x y SO ₂	Electroquími co	Monitoreo de flujo de gas de muestra, medición de combustión de combustibles sólidos	3,5 pulgadas color-TFT
Lancom 4	95-265 V CA, 50-60 Hz, 30 volts. Batería, plomo-ácido recargable (interno). Operación típica de 8 horas, dependiendo de las opciones instaladas	453 x 120 x 245 mm (17.8'' x 4.7'' x 9.6 pulgadas)	6 kg (13 lb)	O ₂ , CO, SO ₂ , NO, NO ₂ , H ₂ S, CO ₂ , Hydrocarburos	Electroquími co, Pellistor, NDIR	Medición de muestras, medición de humos, medición de flujo	Pantalla LCD en color de función completa con retroiluminación, amplia pantalla QVGA
System Testo 350	Unidad principal 230 V / 8 V / 1 A, para instrumento (enchufe europeo)	56.5 x 45.5 x 26.5 cm	8.5kg	O ₂ , CO, CO ₂ , NO, NO _x , SO ₂ , H ₂ S	NDIR	Medición de la presión diferencial, extensión del rango de medición para el sensor de gas CO	Pantalla táctil con bolígrafo para facilitar la entrada de texto y valores

E5500	110-240VAC/50-60Hz Batería recargable	10x6x9.5” (26x15x24 cm)	11 lb. (5 kg)	O ₂ , CO ₂ , CO, NO, NO ₂ , NO _x , SO ₂	Electroquími co	Las mediciones de temperatura para los gases de combustión y el aire, medir la presión y el tiro de la chimenea y velocidad del gas
Einstrument 4400	Paquete de baterías Li-Ion con circuito de protección interno con una fuente de alimentación de 12VDC, 2A.	30,7 x 10,5 x 9,6 cm	1.1 kg	O ₂ , CO+H ₂ , NO,NO ₂	Electroquími co, NDIR, Pellistor	Mediciones de LCD retro iluminado humo, prueba de gráfico, que mide 42 disminución de la x 60 mm presión, sensor detector de fugas de gas interno,
GASBOARD 3800P	110-240VAC/50-60Hz. Sin batería.	55 x 40 x 33 cm	45 lb	SO ₂ , NO, CO, CO ₂ y O ₂	Electroquími co, NDIR	Mediciones de Pantalla Táctil concentraciones de retroiluminada salida de gases; inspección de la eficiencia de la combustión

1.10. Conclusiones parciales.

Con el estudio realizado se puede concluir que existen distintos tipos de analizadores de gases que pueden ser utilizados según el objetivo a lograr con las mediciones. Son instrumentos muy importantes para monitorear la contaminación ambiental y la eficiencia de los equipos de combustión en cualquier instalación.

Para poder realizar las mediciones de las emisiones en los distintos tipos de Calderas debe seleccionarse correctamente los puntos de muestreo de los gases.

El GASBOARD 3800P cumple con los requerimientos necesarios para su utilización en las mediciones de los gases.

Existen normas mundiales y cubanas que rigen los valores máximos permisibles para emitir a la atmosfera según el tipo de combustible y de equipo de combustión que se utiliza.

CAPÍTULO 2. EL ANALIZADOR DE GASES GASBOARD 3800P.

En este capítulo se explican los pasos realizados para lograr el funcionamiento del analizador GASBOARD 3800P, a partir de los conocimientos adquiridos en la revisión bibliográfica y el estudio de los temas afines a este.

2.1 Resumen.

El Analizador portátil de gases de combustión de la serie GASBOARD-3800P puede medir cinco componentes de gases: SO₂, NO, CO, CO₂ y O₂. Se adopta el Micro-flow NDIR (Sensor infrarrojo de microflujo) para medir SO₂, NO, CO y CO₂, y el electroquímico para medir O₂; usa un termistor de termopar para medir los gases de combustión y la temperatura ambiente; el tubo de pitot sirve para medir diferentes presiones. El analizador de gases puede calcular la emisión total por hora (mg/h), la eficacia de la combustión y el coeficiente de aire excesivo.

2.2 Principio de funcionamiento infrarrojo de Micro-flujo.

El Analizador GASBOARD 3800P sigue el principio de funcionamiento infrarrojo de micro flujo. El esquema de este funcionamiento se muestra a continuación en la figura 2.2.1.

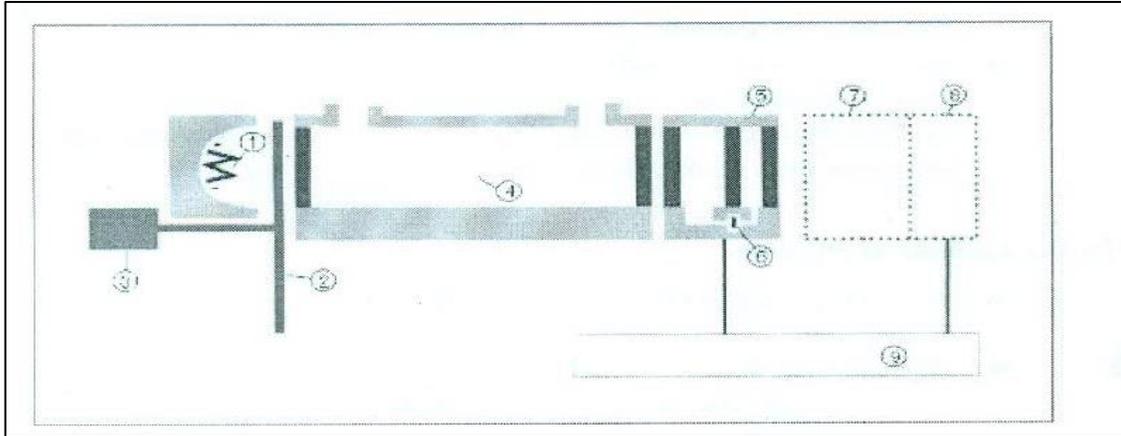


Figura 2.2.1. Esquema de Sensor NDIR del GASBOARD 3800P

- 1- Fuente de luz infrarroja.
- 2- Chopper
- 3- Motor del Chopper
- 4- Celda de medición
- 5- Detector
- 6- Sensor de micro flujo.
- 7- Segunda celda y detector de medición
- 8- Segunda celda y detector de medición
- 9- Señal de salida del sistema.

Primero, la luz infrarroja de la fuente (1) atraviesa el Chopper (2) en la celda de medición; como el SO_2 , NO_2 , CO , CO_2 y otros átomos heterogéneos en las moléculas, tienen características de absorción de luz infrarroja, si la celda de medida (4) tiene tales gases, se absorberá luz infrarroja parcial, la luz infrarroja sin ser absorbida entrará al detector (5); el detector consiste en la cámara frontal de gas, la cámara trasera, el sensor de micro flujo (6), y la cámara de gas frontal y posterior se llenan con los componentes de gas bajo prueba. Bajo la influencia de la luz infrarroja, el gas en la cámara frontal y posterior se está expandiendo; debido a la diferencia de inflación conducirá un flujo pequeño entre la cámara de gas delantera y trasera; después de que los sensores de micro flujo detectan el flujo, producirá una señal de voltaje CA, entonces irá a través del sistema de procesamiento y salida de señal (9) para obtener la concentración de gas.

2.3 Aplicaciones y características.

El instrumento puede usarse en variedad de lugares como chimeneas de centrales eléctricas de carbón o grandes chimeneas industriales de fábricas de hierro y acero, plantas de cemento, fundición de aluminio, fundiciones de metales no ferrosos, fosfato, plantas de ácido nítrico, plantas de ácido sulfúrico, plantas petroquímicas, productos químicos y otras fuentes estacionarias de contaminación. Se puede utilizar en el monitoreo continuo de la concentración de gases de escape, control y regulación de la combustión de la caldera de gas y de fuel oíl.

2.4 Especificaciones del equipo.

El equipo a utilizar tiene características específicas que se muestran a continuación y deben tenerse en cuenta a la hora de realizar las mediciones y elegir el objeto de medición.

Tabla 2.4.1. Especificaciones del Gas a medir.

Componente	Método	Rango	Resolución	Precisión	Error de repetición
SO ₂	Micro flujo NDIR	2000 PPM	1PPM	<=1% FS	<=1%
NO	Micro flujo NDIR	2000 PPM	1PPM	<=1% FS	<=1%
CO	Micro flujo NDIR	500 PPM	1PPM	<=1% FS	<=1%
CO ₂	Micro flujo NDIR	25%	0.01%	<=1% FS	<=1%
O ₂	Electroquímico	25%	0.01%	<=2FS	<=1%

En la tabla 2.4.1 se puede apreciar los rangos de trabajo, la resolución, la precisión y el error de repetición de la medición para los distintos componentes. Se considera que los

valores de precisión y de error de repetición son aceptables para la medición del instrumento y la calidad del resultado esperado.

Otras especificaciones

Existen otras especificaciones que deben conocerse y se muestran en la tabla 2.4.2.

Tabla 2.4.2. Otras especificaciones a tener en cuenta.

Especificaciones	Valor
Tiempo de respuesta (T90)	<90 segundos (NDIR)
Flujo del gas	0.7-1.2 L/min
Presión del gas	<1 Bar
Tiempo de calentamiento	El analizador de Gas 600 segundos
Interfaz de comunicación	RS232
Temperatura de trabajo	0-50 °C
Humedad relativa	5-85 %
Presión ambiental	86-108 kPa
Alimentación eléctrica	220-110 VAC/60Hz
Requisitos del gas a muestrear	Sin humedad; Libre de polvo (Filtrado <1 μm)
Interfaz de comunicación	RS232/ RS485

Es importante prestar atención al tiempo de calentamiento del equipo pues si este no se cumple las mediciones pueden ser falseadas.

2.4.1 Elementos del equipo Analizador de Gases GASBOARD 3800P.

Puertos principales del analizador.

La parte frontal del equipo se puede descomponer en 14 elementos según se muestra en la Figura 2.4.3.

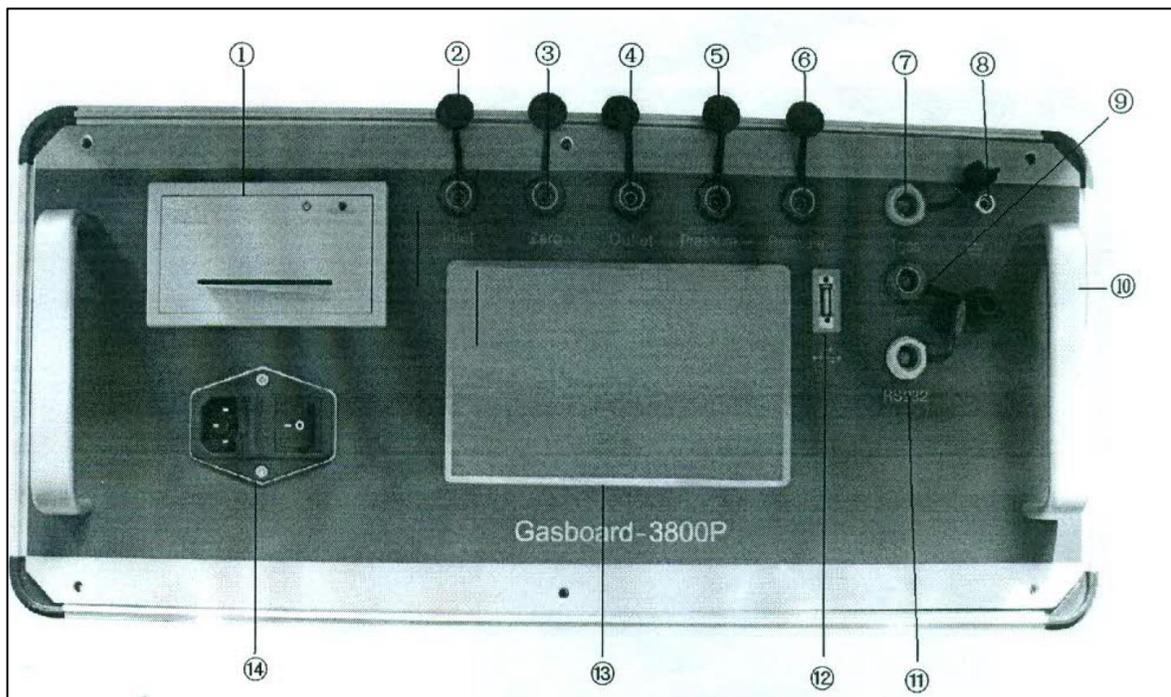


Figura 2.4.3. Panel frontal del equipo GASBOARD-3800P.

El panel frontal del equipo está compuesto por:

- 1- Impresora interna
- 2- Entrada
- 3- Entrada cero.
- 4- Salida.
- 5- Presión positiva: Puerto de medición de la presión positiva del flujo de gas. (Para conectar el instrumento de presión y temperatura en línea)
- 6- Presión negativa: Puerto de medición de la presión negativa del flujo de gas. (Para conectar el instrumento de presión y temperatura en línea)
- 7- Puerto de medición de la temperatura del gas (T gas)
- 8- Tierra.
- 9- Temperatura ambiente.
- 10- Manilla.

11- Puerto RS-232.

12- Puerto USB.

13- Pantalla táctil.

14- Socket de conexión e interruptor de encendido y apagado (ON/OFF)

Acondicionador de gases del equipo de medición.

El equipo acondicionador de gases se muestra en la figura 2.4.4.

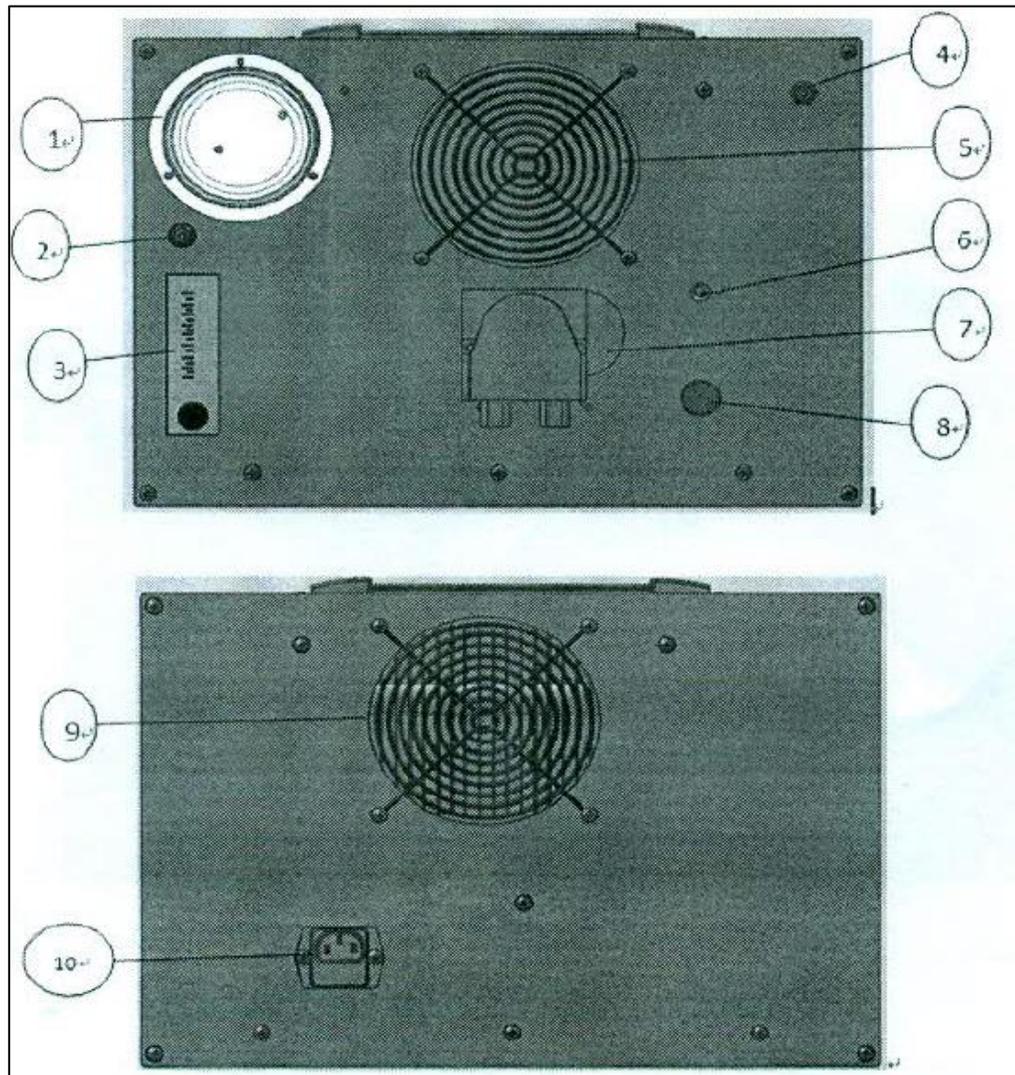


Figura 2.4.4. Equipo acondicionador de gases.

Sus componentes son:

1- Filtro.

- 2- Entrada
- 3- Indicador de flujo.
- 4- Salida
- 5- Ventilador
- 6- Indicador Led.
- 7- Bomba peristáltica
- 8- Interruptor para la bomba de muestreo.
- 9- Salida de aire
- 10- Socket de alimentación eléctrica.

Manguera de muestreo con calentamiento

La manguera de muestreo es un elemento muy importante y su buen estado técnico es vital para el resultado de la medición. Es la que se conecta del equipo al lugar por donde circulan o permanecen los gases. Esta se muestra en la figura 2.4.5.

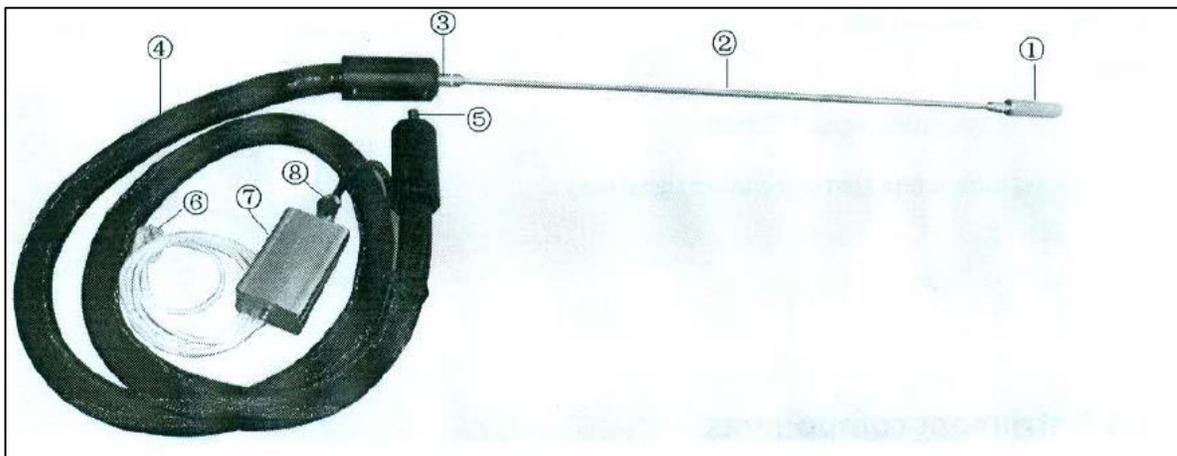


Figura 2.4.5. Manguera de muestreo.

Está compuesta por:

- 1- Filtro sinterizado de acero inoxidable
- 2- Tubo de muestreo
- 3- Interfaz de entrada
- 4- Línea de alimentación de la manguera de calentamiento
- 5- Interfaz de salida

- 6- Enchufe de corriente
- 7- Caja de control de temperatura
- 8- Enchufe que conecta la caja de control de temperatura y la manguera de calentamiento

Tubos de muestreo.

El tubo de muestreo es de acero inoxidable y se muestra en la figura 2.4.6.

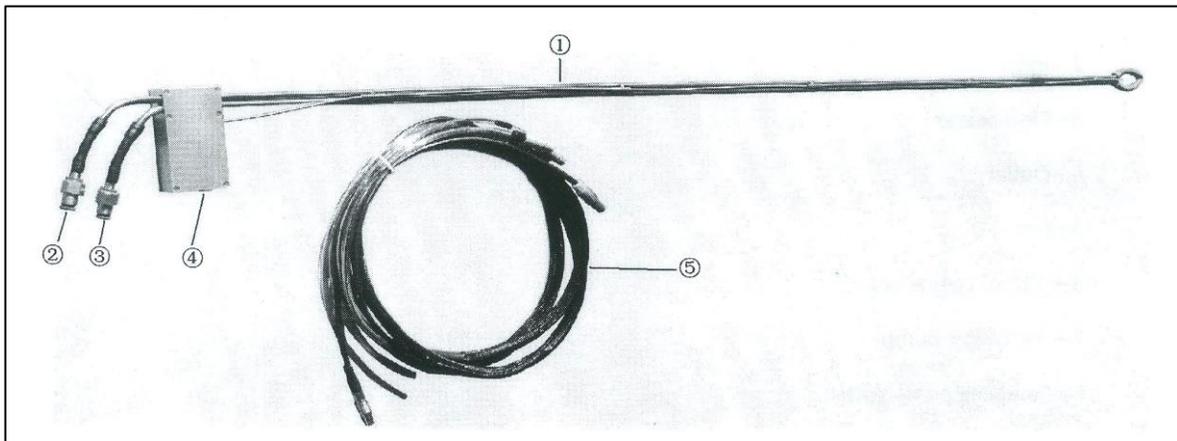


Figura 2.4.6. Tubos de muestreo.

El tubo de muestreo está compuesto por:

1. Tubo pitot
2. Presión +: Puerto de medición de la presión positiva del flujo de Gas. (Conexión para medir temperatura y presión en línea del Gas)
3. Presión -: Puerto de medición de la presión negativa del flujo de Gas. (Conexión para medir temperatura y presión en línea del Gas)
4. Interface de la señal de temperatura del Gas.
5. Tubos de pitot del gas y línea de señal de la temperatura del flujo gas.

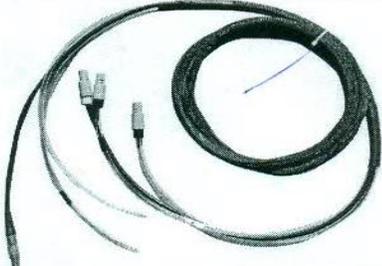
Tabla de componentes.

La tabla 2.4.3 muestra todos los elementos del analizador de gases, así como sus aplicaciones en el equipo.

Antes de comenzar las mediciones debe verificarse que todos los componentes están en el sitio y en condiciones de ser instalados. Este resumen incluye los sellos de conexión, el disco USB y los filtros de recambio.

Tabla 2.4.3. Resumen de componentes del equipo GASBOARD 3800P.

Nombre	Foto	Función
Analizador de gases de combustión portátil		Control y medición del gas
Dispositivo de acondicionamiento de gas		Eliminar la humedad y el polvo en el gas de muestra
Manguera de muestreo con calentamiento		Muestreo y calentamiento
Tubo de muestreo		Tomar muestras.
Tubo de gas de entrada y salida		Conectar la entrada del analizador de gas y la salida del dispositivo de acondicionamiento de gas; conectar la salida del analizador de gas y la salida de ventilación

Tubo Pitot		Medición de la temperatura, presión, velocidad y flujo de los gases de combustión
Líneas de temperatura del gas de combustión y del tubo de gas de Pitot		Se utiliza cuando existe diferencia de presión + o -. Para medir la temperatura, la presión, la velocidad y el flujo del gas
Sonda de temperatura Pt1000		Conectarla para medir la temperatura ambiente del analizador
Cable de suministro de energía		Suministrar la corriente de 220-110 VCA.
Disco USB		Exportar los datos de medición del analizador de gas
Anillo de sellado de PTFE		Sellar el tubo de muestreo, tubo de extensión de muestreo y la entrada del tubo de calentamiento.
Filtro sinterizado de acero		Filtrar el polvo del gas de muestreo del analizador

inoxidable		
Papel de filtro		Para remplazar las piezas de repuesto

2.5 Preparación del Analizador de gases para la medición.

Instalación del equipo.

Para realizar la instalación del equipo deben cumplirse los siguientes pasos:

1. Conecte el puerto de salida del tubo de calentamiento con el puerto de entrada del dispositivo de pre tratamiento. (El tapón de la tubería de calentamiento está conectado a la caja de control de temperatura).
2. Conecte el enchufe de la caja de control de temperatura al enchufe 220-110 VAC de la fuente de alimentación.
3. El anillo de sellado de PTFE se ubica en la rosca externa del tubo de muestra. Puede optar por instalar el tubo de extensión de muestra o no, según la profundidad del punto de muestreo.
4. Coloque el anillo de sellado de PTFE en la rosca externa del filtro sinterizado de acero inoxidable, la placa de acero inoxidable con el filtro sinterizado de horquilla se enrosca en el puerto roscado del tubo de muestreo.
5. Conecte la salida del dispositivo de acondicionamiento de gas a la entrada del analizador mediante un tubo de muestreo; coloque el tubo de muestreo desde la salida del analizador de gases al exterior.
6. Coloque la sonda de muestreo en el equipo de acondicionamiento del gas.
7. Conecte a tierra el analizador de gas a través del puerto GND.
8. Acople el sensor de temperatura PT1000 al puerto T_{amb} del analizador de gases.
9. Conecte el cable de señal de Pitot al puerto T_{gas} del analizador de Gas.

Mientras mide la presión ambiental o el calentamiento, no conecte el tubo Pitot a P + / P-; al medir la presión dinámica, conecte el tubo Pitot a P + / P- del analizador de gases; si no hay lectura de presión dinámica, intercambie los cables P + / P- del analizador de gases.

Encendido y calentamiento del instrumento.

El encendido y calentamiento del equipo requiere la secuencia que a continuación se expone:

1. Conectar el analizador y el acondicionador de gas a la fuente de alimentación de 220 V.
2. Encienda el analizador de gas y caliéntelo durante 600 segundos. Durante el calentamiento, puede encender el dispositivo de acondicionamiento de gas y cerrar la bomba de muestreo del analizador de gases, para introducir el aire fresco en el analizador sin conectar la manguera de muestreo y calentamiento (controlar el gas flujo entre 0.7L / m-1L / m).
3. Hasta los últimos 100 segundos de calentamiento, el analizador de gases realizará automáticamente la puesta a cero. Después de que el ajuste a cero haya terminado, la pantalla táctil se convertirá en la interfaz de medición, en caso de que no efectúe la puesta a cero automáticamente, debe realizarla deliberadamente en la interfaz de entrada.
4. Caliente de nuevo durante 30 minutos el instrumento, asegurándose de que la temperatura de la sonda de muestreo es estable a 180 °C y la temperatura de acondicionamiento del gas controlando como temperatura de ajuste 4 °C, generalmente.
5. La temperatura predeterminada de la sonda de muestreo es 180 °C, esta no puede cambiar.

Se requiere un calentamiento de al menos 30 minutos para el analizador de gases. El flujo de gas debe controlarse entre 0.7 - 1.2 L / min.

Antes de realizar el ajuste a cero, conecte la sonda de muestra al analizador de gases y abra la bomba de la sonda de muestreo para introducir aire fresco en el mismo; mientras se pone a cero, el aire fresco pasará automáticamente al analizador de gases por el puerto de entrada.

Configuración de parámetros.

Antes de comenzar la medición, presione "Settings" en el menú principal, ingrese la contraseña y luego vaya a la siguiente configuración de parámetros.

1. Configuración -> selección de unidad -> ppm o mg/m^3
2. Configuración de Medición-> seleccionar combustibles (está relacionado con la eficiencia de la combustión); NO o NOx, área de flujo, humedad, ciclo de medida, etc.

Medición.

El GASBOARD 3800P puede medir la concentración de gas, la presión dinámica del gas, la temperatura del gas y la temperatura ambiente. Después del calentamiento y la puesta a cero, pasa al menú principal.

En la figura 2.5.1 se presenta la pantalla del instrumento donde se ajusta los parámetros y donde se muestran los resultados de medición del cada momento.

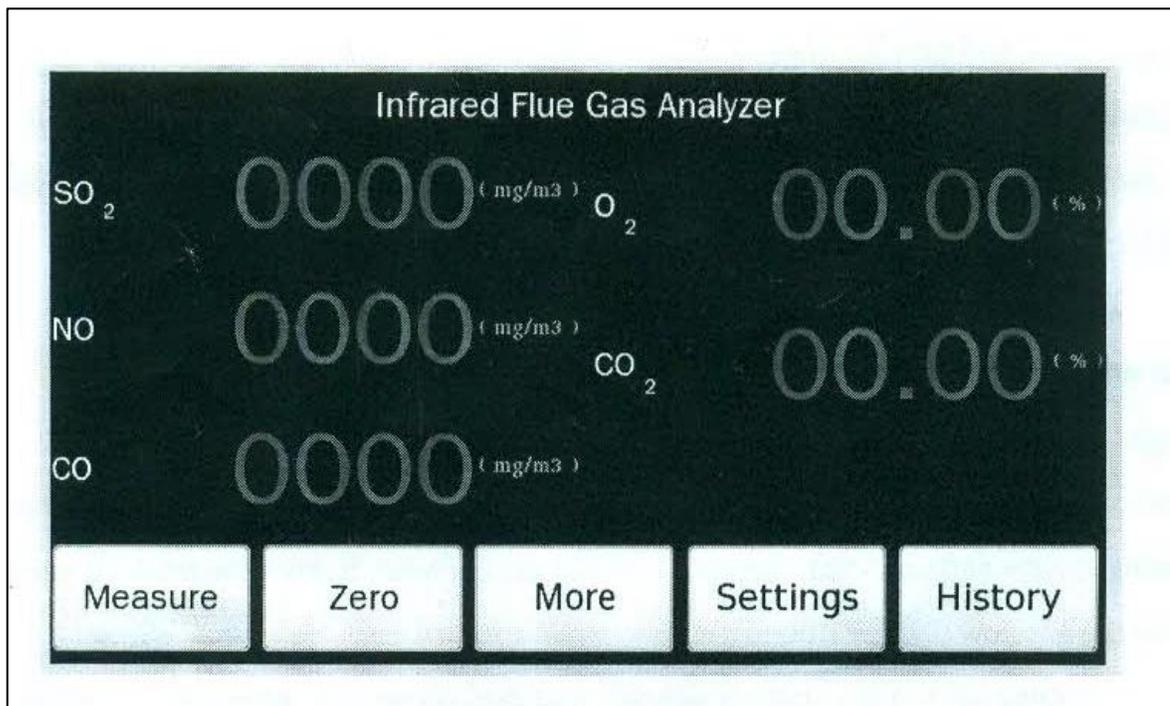


Figura 2.5.1. Pantalla del instrumento en la medición.

Medida de concentración de gas.

Después del ajuste a cero, puede insertar la sonda de muestreo en la pila y luego presionar "Measure" en el menú principal. El analizador de gases comienza a medir y registrar datos periódicamente según se halla configurado previamente.

En la figura 2.5.2 y 2.5.3 se muestran las condiciones de instalación que deben tener los sensores en el punto de medición.

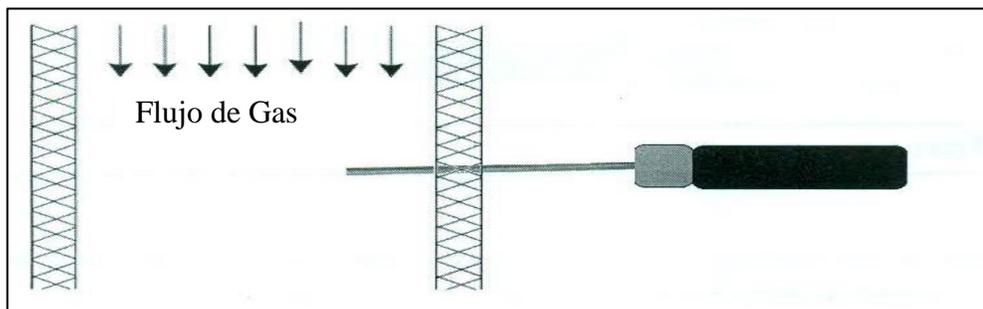


Figura 2.5.2. Muestra de instalación del sensor en el conducto de gases.

Otras Mediciones.

En el menú principal al presionar el botón "More", se encontrarán lecturas de presión, temperatura y flujo de gas.

1. Presión ambiental: se puede medir una vez que P + y P- desconecten el pitot.
2. Temperatura del gas: conecte el cable de señal pitot al puerto Tgas del analizador de gas, y coloque el pitot en la pila, luego se puede medir la temperatura del gas.
3. Temperatura ambiente: conecte el sensor Pt1000 al puerto Tamb del analizador de gases, luego se puede medir la temperatura ambiente.
4. Presión dinámica, velocidad de flujo, flujo de gas y eficiencia de combustión: conecte pitot a P + y P- puerto del analizador de gas. El pitot debe colocarse en una dirección vertical al flujo de gas. Se puede medir la presión dinámica y al mismo tiempo, la velocidad, el flujo de gas y la eficiencia de la combustión.

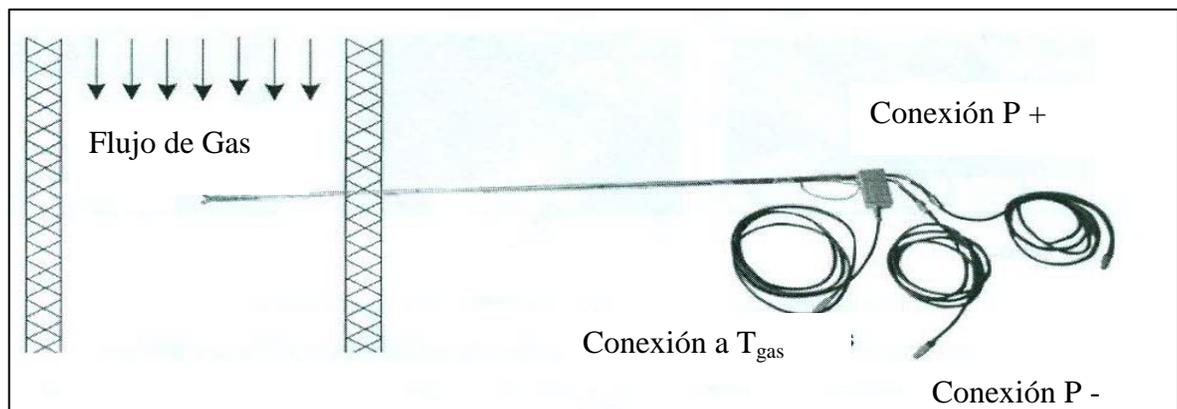


Figura 2.5.3. Muestra de instalación de sensor termopar.

2.6 Operación

La operación del instrumento se realiza siguiendo las instrucciones del fabricante y tiene la siguiente secuencia.

Menú principal:

Encienda el analizador de gas, verá la interfaz de bienvenida, iniciando el calentamiento. Encienda el dispositivo de acondicionamiento de gas, conectar los cables, desconectar los tubos Pitot. Después de 600 segundos, el sistema cambia automáticamente al menú de medición.

No inserte la sonda de muestreo en la tubería durante el calentamiento.

En la figura 2.5.4 se muestra el proceso de calentamiento y el menú principal del equipo.

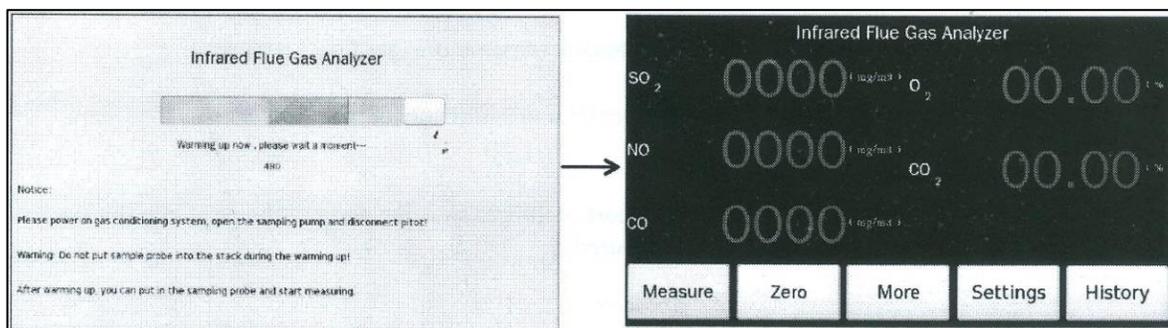


Figura 2.5.4. Calentamiento y menú principal.

Puesta a cero.

Presione el botón "Zero" en el menú principal, y siga las instrucciones en el menú (mientras que la puesta a cero conecta la sonda de muestreo al puerto de entrada del analizador de gases).

La puesta a cero debe realizarse en aire limpio y fresco, es de aproximadamente 100 segundos. Después del ajuste a cero, la concentración de SO₂, NO, CO, CO₂ se mantendrá en cero y O₂ en 20,90% aproximadamente.

Medición

Presione el botón "Measure" en el menú principal (Figura 2.5.5) y luego haga clic en Sí en el siguiente diálogo. El analizador de gases comenzará a mostrar las lecturas. La operación es la siguiente:

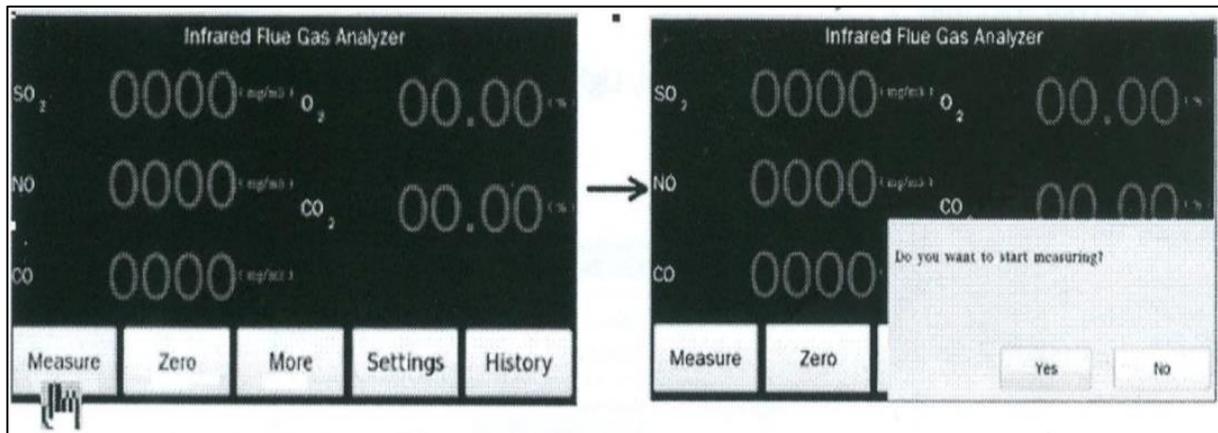


Figura 2.5.5. Pantalla de inicio de medición.

En la medición, la pantalla mostrará el tiempo de grabación restringido y la cantidad de datos grabados. Antes de que finalice la cuenta regresiva, presione "Detener medición" para regresar a la interfaz principal y regresar a los resultados de medición anteriores.

Historia.

En el menú Historia se puede revisar los resultados históricos promedio registrado, eliminar elementos, imprimir, cargar el disco flash USB, etc.

Apagado.

Al finalizar las mediciones, abra la bomba para que entre aire fresco y eliminar los gases residuales del analizador de gases. Si tiene SO₂ y NO en el gas de muestreo, se sugiere que entre aire fresco durante 5 a 10 minutos para proteger el analizador de gases del daño corrosivo; apague el analizador de gas y los accesorios; desconecte todos los cables.

2.7 Configuración del sistema

Los ajustes permiten establecer los parámetros de como trabajará el sistema, la modificación de los mismos debe ser teniendo en cuenta el lugar, así como el objeto de medición.

Configuraciones de medición

El ajuste de la medida tiene opciones de tipo de combustible, área de flujo, condición, ciclo de medida y selección NO / NOx.

A continuación se explica cada una de estas opciones.

1- Selección del tipo de combustible

Entre los combustibles a seleccionar está lignito, gas natural, gas de coque, biodiesel, combustible ligero, combustible pesado, carbón, biogás, antracita; esto se muestra en la Figura 2.5.6.

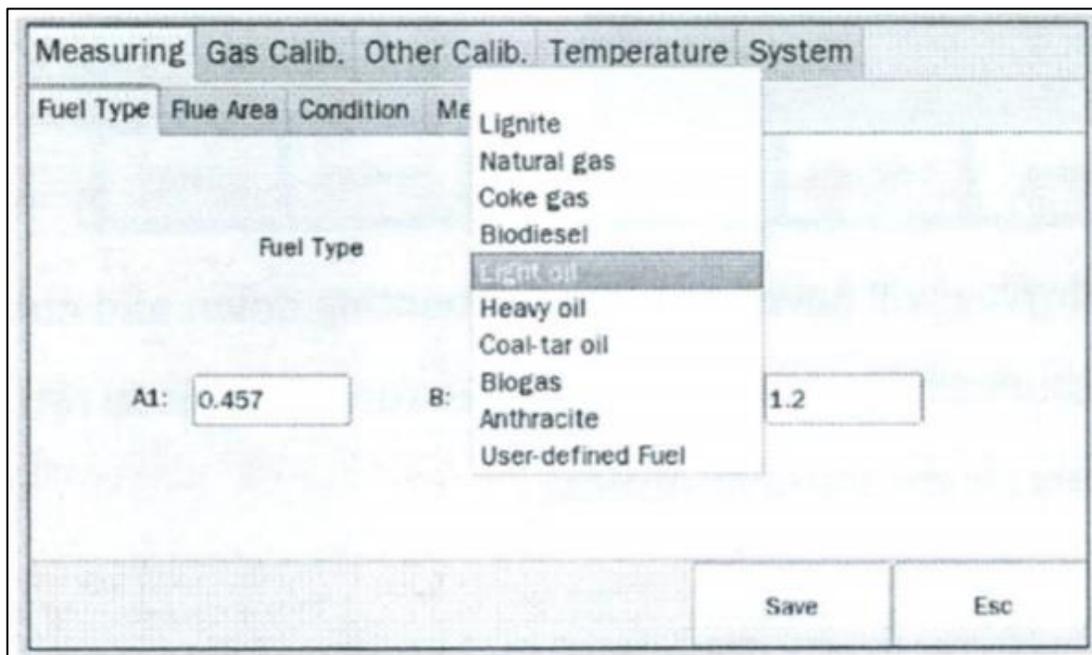


Figura 2.5.6. Pantalla de selección de combustible.

2- Área de flujo

El Área de la sección transversal de la chimenea puede ser configurada de dos maneras como se ve en la Figura 2.5.7:

1. Seleccione "entrada de área de flujo", valor del área de entrada que el usuario requirió directamente.
2. Seleccione "parámetro de entrada para calcular el área de flujo" y luego elija la forma del conducto (rectangular, circular). Para rectangular, necesita ingresar la longitud y el ancho de la pila, para circular, necesita establecer el diámetro de la pila. Con esos datos se calculará automáticamente el área de medición.

The screenshot shows a software interface with a menu bar at the top containing 'Measuring', 'Gas Calib.', 'Other Calib.', 'Temperature', and 'System'. Below the menu bar is a sub-menu with 'Fuel Type', 'Flue Area', 'Condition', 'Measure Cycle', and 'NO/NOX'. The 'Flue Area' sub-menu is active. The main area contains the following options and input fields:

- Input Flue Area
- Flue Area: m²
- Input parameter to calculate flue area
- Select Flue Shape
- Rectangle
- L= m
- W= m
- Circle
- D=

At the bottom right, there are two buttons: 'Save' and 'Esc'.

Figura 2.5.7. Pantalla de selección de área.

3- Condición

Tiene la opción de configuración manual o configuración automática de "presión ambiental", "temperatura del gas" y "temperatura ambiente". También puede establecer el contenido de humedad.

Si selecciona manual, el cálculo involucrado con estos parámetros se basará en el valor que ingrese, en lugar de las lecturas medidas por el analizador de gases. Si selecciona "Auto", el cálculo se basa en los resultados en tiempo real medidos por el analizador de gases.

4- Ciclo de medidas

Ciclo de medición automática: por ejemplo, si configura el ciclo de medición automática como una hora; el analizador de gases dejará de medir automáticamente después de una hora.

Ciclo de almacenamiento de registros: si lo configura como un minuto, cuando el analizador de gases comience a medir, las lecturas se memorizarán automáticamente cada segundo y luego calcularán el valor promedio después de un minuto entre las lecturas de 60 piezas. Entonces la base de datos mantendrá el resultado.

Ciclo de impresión: durante la medición, el analizador de gases imprimirá los resultados en función del ciclo de impresión. Necesita estar ENCENDIDO.

5 -Selección "NO / NOx"

Puede elegir medir NO o NOx, cuando mide NOx, solicita usar el convertidor NOx. Entonces use principalmente NO.

2.8 Calibración de gas

Se utiliza para tener un ajuste exacto de calibración de determinados gases. Se necesita tener los compuestos puros de esos gases para poder realizar esta operación. La opción de selección se muestra en la figura 2.5.8.

The screenshot shows the 'Gas Calib.' menu with 'NO' selected. The 'AD Value' is 0 and the 'Real Value' is 0.00. There are two radio buttons: 'Zero Point' and 'Span Point'. Below each radio button is an input field and an 'Enter' button. An 'Esc' button is located at the bottom right.

Figura 2.5.8. Pantalla de calibración de Gases.

- Calibración cero: ingrese N₂ puro en el analizador de gases de forma continua; ingrese 0000 en el área en blanco y haga clic en "Zero Point" hasta que AD se estabilice. Haga clic en "Enter", la pantalla mostrará "Zero calibration succesfully done" si se realizó con éxito.
- Calibración de span: ingrese gas de cilindro estándar en el analizador de gases de forma continua (por lo general, es aproximadamente del 80 al 100% del rango total); ingrese el valor del gas estándar en el área en blanco y haga clic en "span point" hasta que AD se

estabilice. Haga clic en "Enter". La pantalla mostrará "Zero calibration succesfull" si se realiza con éxito. (Por ejemplo, si el rango de medición de SO₂ es de 0-5000 ppm, se requiere un cilindro de gas estándar de aproximadamente 4000 ppm a 5000 ppm para realizar la calibración de span).

La calibración incluye calibración cero y calibración de span. Debe completar estas dos calibraciones al mismo tiempo; de lo contrario, no será válido.

2.9 Conclusiones parciales.

El analizador de gases GASBOARD 3800P es fácil de operar pues su interfaz de comunicación es de fácil entendimiento para usuarios con cierto nivel de conocimiento y habilidades con los equipos de pantalla táctil.

Es capaz de medir variados compuestos en los gases que circulan por un conducto y valorar la calidad de los mismos pues tiene todos los accesorios necesarios para hacerlo.

CAPÍTULO 3. UTILIZACIÓN DEL EQUIPO.

En este capítulo se comentan el método empleado y los resultados obtenidos con la utilización del analizador de gases GASBOARD 3800P en la Caldera No. 1 de la Unidad Básica (UB) Textil Desembarco del Granma de Santa Clara, Villa Clara.

3.1 Descripción del área de estudio.

La UB Textil Desembarco del Granma se encuentra ubicada en la Carretera a Camajuaní km 2 ½ de Santa Clara. Su misión de trabajo es producir y comercializar hilos de coser, tejidos para Gasa quirúrgica y tejidos planos para múltiples usos. Para ello cuenta con 3 plantas productivas (Hilo de Coser, Tejeduría y Acabado), una planta de Servicio (PSI) y el área administrativa con los Departamentos de ATM, Técnico, Economía, Capital humano y Producción y Ventas. Además, están las unidades de transporte y aseguramiento. Es subordinada a la Empresa Textil DUCAL del Grupo Empresarial de la Industria Ligera (GEMPIL).

Las plantas productivas para poder trabajar requieren de electricidad, vapor, aire comprimido, agua suave y filtrada, aceite caliente, climatización y tratamiento de sus residuales líquidos. La encargada de suministrar todos esos elementos es la planta de Servicios de ingeniería, para ello cuenta con Compresores de aire, equipos de refrigeración, una planta de tratamiento de agua, de tratamiento de residuales, subestaciones eléctricas, calderas de Aceite y Calderas de Vapor.

Esta planta es de mucha importancia dentro de la matriz energética de la UB pues representa el 37 % de los consumos de los portadores de la misma, además de que es vital para poder garantizar la producción del resto de las plantas.

En el taller centro energético existen 3 calderas de vapor, 2 de 30 ton acuotubulares y una de 25 ton piro tubular. Hoy se trabaja con una de las 3 calderas instaladas y se consumen alrededor de 18 ton de Fuel Oil diariamente en la generación de vapor por lo que el control de la combustión y la eficiencia de trabajo de los equipos es de suma importancia para el ahorro del portador. Estas calderas generan vapor para la demanda que se tiene desde la planta de Acabado y el taller de hilo teñido. En el momento de las mediciones solo estaban trabajando los equipos de Acabado por lo que la demanda de vapor no era la máxima.

Las mediciones se realizaron en la Caldera No. 1.

Descripción de la Caldera de Vapor No. 1.

Esta caldera es del tipo piro tubular, de posición horizontal, provista de un hogar cilíndrico ondulado, cámara de fuego, doble haz tubular (tubos de humos) y dos cajas de humos (una delantera y otra posterior).

La caja de humos delantera permite un fácil acceso al haz tubular, la trasera está provista de una boca con brida para la conexión de la salida de los gases o chimenea.

Los gases productos de la combustión recorren el hogar hasta alcanzar la cámara de fuego (primer paso) donde a través de un haz tubular los gases son conducidos a la caja de humos delantera (segundo paso). De esta caja parte un segundo haz tubular que conecta con la caja de humos posterior (tercer paso de humos). Desde este punto los humos son conducidos al exterior a través del economizador.

A continuación de la caja de salida de humos a la chimenea del generador de vapor está instalado un economizador de agua, que precalienta el agua de alimentación de caldera a una temperatura superior a 105°C.

Sobre el cuerpo de la caldera se hallan instaladas las tubuladuras de toma de vapor, válvulas de seguridad, alimentación, vaciado, aireación, termómetro, manómetro y presostato, así como las tuberías para los reguladores de nivel.

Sobre el cuerpo de la caldera se halla alojada una entrada de hombre de 300x400 mm que permite la inspección del interior de la caldera, así como el acceso para cualquier reparación. En los laterales de la caldera existen dos bocas de hombre de 300x400 mm, que permiten extraer los lodos depositados en el fondo.

Los datos técnicos de la Caldera se exponen en el Anexo II.

El generador de vapor ha sido diseñado para dar una producción de vapor de 23.000 kg/h para una presión de servicio de 12 bar.

El comportamiento del generador de vapor se muestra en la tabla 3.1.1.

Tabla 3.1.1. **Características de funcionamiento.**

Características	Unidad	Valor
Presión de trabajo	bar	12
Producción de vapor	kg/h	23.000
Consumo de fuel-oíl	kg./h	1.559
Temperatura Aire ambiente	°C	25
Temperatura de vapor	°C	191.5
Temperatura Entrada agua	°C	80
Temperatura de los gases ante del economizador	°C	185
Temperatura de los gases después del economizador	°C	170
Rendimiento	%	90

El Sistema de petróleo y el Sistema de recepción de petróleo es común para todas las calderas. Cuenta con una Estación de bombeo y calentamiento de petróleo que funciona de la siguiente manera: Las bombas succionan del tanque de servicio y envían el petróleo a través del calentador, hasta el quemador. Los calentadores son dos: uno eléctrico y otro a vapor, aunque para la Caldera 1 sólo se usa el eléctrico. La función de los Calentadores de petróleo es elevar la temperatura del combustible que se va a quemar en la caldera, para facilitar su atomización y aproximarlos al punto de ignición para hacer más estable la

combustión. La temperatura debe ser alrededor de 90 °C. La válvula reguladora de presión de petróleo debe estar ajustada de modo que mantenga de 3 a 5 atmósferas a todas las cargas. El valor exacto se dará por el especialista de acuerdo a las condiciones particulares.

La caldera de análisis tiene un quemador modelo RAY BGE-1500 tipo *duobloc*. Está preparado para quemar fuel-oíl. El quemador tiene un campo de modulación suficientemente amplio, para responder a todas las demandas de carga del generador.

El funcionamiento del quemador es el siguiente: La parte mecánica del quemador que utiliza fuel-oíl, consta de una copa de pulverizador de combustible, una boquilla de aportación de aire primario y un eje hueco rotativo por el interior del cual y en forma estática se produce la alimentación del combustible mediante un tubo de alimentación. Lleva incorporado el quemador un motor eléctrico con las correspondientes poleas y correas de transmisión para el movimiento del eje, la copa y el ventilador de aire primario o pulverizador.

El encendido del quemador se realizará mediante piloto para gas. La línea piloto se conecta después del regulador para disponer del gas a baja presión. Un transformador y un electrodo para producir la chispa. Al dispositivo de encendido se incorpora el detector de llama UV para control de las llamas piloto y principal. Sus características principales son: Funcionamiento automático; Pre aireación de la cámara de combustión; Línea de características de la soplante estable; Regulación del aire; Marcha silenciosa; Carcasa del quemador giratoria; Montaje sencillo, fácil regulación y entretenimiento debido al fácil acceso a todos los componentes; Desconexión automática del aire cuando está parado el quemador.

Con el fin de aprovechar al máximo el calor sensible de los gases de salida por la chimenea, en la salida de gases de caldera al exterior, se incorpora un intercambiador de calor formado principalmente por tubos aleteados para aumentar al máximo la superficie de intercambio. Por estos tubos pasarán, por la parte interior el agua de aporte a caldera y por la parte exterior estarán bañados por los gases de combustión que abandonan la caldera. De ésta forma se conseguirá bajar la temperatura de los gases de salida en la chimenea y utilizaremos éste calor absorbido para aumentar la temperatura del agua de entrada a

caldera con el consiguiente aumento del rendimiento del conjunto formado por los diferentes equipos a presión que forman parte de la instalación.

El economizador ha sido diseñado para trabajar con los gases procedentes de la combustión del quemador de fuel Oil con aire ambiente.

Si bien la entidad está fuera de la ciudad de Santa Clara, ha crecido la población de sus alrededores por lo que es importante garantizar la calidad del aire que se emite a la atmosfera por las chimeneas de las Calderas, disminuyendo la carga contaminante que se emite a la misma como resultado de la combustión. Esto también contribuye a mantener el estado de los techos de las mismas instalaciones pues si lo que se expulsa por la chimenea es corrosivo daña los techos que son de planchas de acero galvanizadas.

Las chimeneas de las Calderas de Vapor tienen 25 metros de altura, están formadas por ladrillos refractarios recubiertos con láminas de acero. Tiene una base con un diámetro de 1.6 metro y el extremo superior de 1.0 m. Debe ser interés de la UB controlar la eficiencia de la Caldera y valorar la calidad del aire en la salida de la chimenea. En ese sentido se realizan las mediciones con el analizador de gases.

3.2 Pasos para la medición con el Analizador de gases GASBOARD 3800P.

Para realizar el trabajo se cumplieron determinados pasos que posibilitaron la ejecución del mismo y que puede ser aplicado por toda persona que necesite utilizar el analizador.

- Visitar el área de ubicación de la Caldera de Vapor u equipo que se desee analizar.

La Caldera de vapor muestreada se encuentra trabajando está ubicada en el taller Centro energético de la textilera. Tiene espacio a sus alrededores para poder trabajar e instalar cualquier equipo.

- Verificar la existencia de los voltajes necesarios para alimentar los componentes del Analizador de gases.

En este caso se necesitaban 2 puntos de 110 VAC y un punto de 220 VAC. Hubo que buscar extensiones eléctricas que permitieran llevar la electricidad a los equipos en el sitio de muestreo.

- Analizar el tipo de conducto de salida de los gases que posee el equipo a analizar.

El conducto de salida es rectangular con codos de 90° redondeados antes de pasar por el economizador y de perfil cuadrado después del economizador. De la salida del economizador se conecta a un conducto cuadrado que finalmente se conecta al conducto rectangular con entrada a la chimenea.

- Investigar o medir el diámetro del conducto y si es de corte cuadrado o rectangular calcular el diámetro equivalente.

En este caso se requiere calcular el diámetro equivalente pues el conducto es rectangular.

Para la toma antes del economizador no había opción de selección, no hay otro espacio donde se pueda colocar el sensor.

Para la toma después del economizador se calcula el diámetro equivalente considerando la ecuación 1.2. Para este caso L es igual a 1.8 m y W es igual a 0.8 m. El resultado es un diámetro equivalente de 1.108 m.

- Conociendo el diámetro equivalente, seleccionar el o los puntos de toma de muestra.

Para el diámetro equivalente de 1.108 m se utiliza el método 1 de la EPA “Determinación del punto y velocidad de muestreo para fuentes estacionarias” que dice que cuando el punto de muestreo no se pueda colocar al menos a 8 veces el diámetro del conducto debe ser utilizado un sitio cuando menos mayor o igual a dos diámetros equivalentes corriente abajo o mayor o igual a medio diámetro equivalente corriente arriba de cualquier perturbación del flujo.

Para el caso del conducto antes del economizador no se cumple ninguna de las dos variantes. Por lo que se coloca en una posición donde se asume no hay turbulencias notables.

Para el caso después del economizador se calcula la distancia a que debe colocarse la toma de muestra: $1.108 \times 2 = 2.22$ m corriente abajo (antes del punto de muestra) y $1.108 \times 0.5 = 0.55$ m corriente arriba (después del punto de muestra).

La Caldera en cuestión no viene con su toma de muestra por lo que se requiere de un trabajo mecánico previo para poder instalar las mismas y poder así emplear los sensores.

Se utilizaron dos tubos de 1 ½ pulgada que se insertaron y soldaron en los conductos por donde circulan los gases de salida.

- Conocer el tipo de combustible que utiliza el generador de vapor o equipo que se va a muestrear.

La caldera a analizar utiliza Fuel Oil Bunker C.

- Preparar las condiciones físicas de la instalación (Mesas, Escaleras, Andamios, etc.). Dado que el equipo es grande y pesado se necesitaron 2 mesas de trabajo, un andamio y una escalera. Instalar los sensores es la parte más complicada del trabajo físico pues estos son pesados y las condiciones de instalación son difíciles.

- Instalar el equipo y hacer las mediciones. Conocer el funcionamiento del analizador.

Para ello se cumplieron los detalles de puesta en marcha explicados en el capítulo 2 de este trabajo. Se conectaron todos los aditamentos y sensores, y el analizador al acondicionador a través de los tubos y mangueras, se conectó el analizador y el acondicionador de gases a sus respectivos suministros de corriente de 110 y 220 V, teniendo en cuenta que no era necesario medir la presión diferencial no se conectaron P+ y P-.

Se calentó el analizador alrededor de 30 minutos para asegurar el correcto funcionamiento del mismo y mantener la temperatura necesaria de 180 grados, así como también se realizó la puesta a cero que permite resetear los valores de los gases y limpiar algún gas remanente.

Previamente a la medición se deben ajustar los parámetros que se solicitan por el equipo:

- Unidad de medida: Se utilizaron ppm y mg/h.
- Tipo de combustible: Se selecciona “Heavy oil” pues el fuel oil Bunker C se clasifica en esa categoría.
- Área de flujo: Se selecciona la opción de introducir las medidas del conducto (1.8 de altura x 0.8 de ancho) y el equipo lo calcula automáticamente.
- Configuración del ciclo de medidas: En este caso se configuró para 1 hora de medición y que cada 3 minutos almacenara datos e imprimiera los mismos.

Para comenzar la medición se colocaron los sensores dentro de la toma de muestra en la posición horizontal; con todo puesto en su lugar se procede a medir, para ello se

presiona el botón “*Measure*” y el analizador comienza a tomar muestras; en este caso, se realizaron 3 mediciones en 3 días diferentes, 2 a la salida del economizador para analizar la contaminación y una antes del mismo para 1 mejor análisis de la eficiencia.

- Salvar los datos.

Luego de concluido el tiempo de medición se salvan los datos obtenidos a través de un dispositivo USB para copiarlo a una computadora, esto se realiza en el botón “*History*”.

- Apagar el equipo.

Para apagar el equipo se vuelve a pasar aire limpio durante al menos 15 minutos lo que permitirá limpiar el analizador ya que en la muestra hay gases como NO₂ y SO₂ que pueden corroer el mismo, luego simplemente se apaga el equipo y se desconectan todos los cables y sensores.

3.3 Resultados obtenidos.

Los resultados de los tres días de mediciones se muestran en los anexos III, IV y V. Se consideran dos puntos de muestras, la toma 1 es a la salida directa de la caldera y la toma 2 es la ubicada en el conducto de salida de los gases a la chimenea. Se necesita dos tomas de muestra pues según lo que se quiera medir es el punto donde deben tomarse las muestras. En el caso que se quiera medir la eficiencia de la Caldera la toma de muestra debe conectarse lo más próximo posible al punto de la combustión y en el caso de que se quiera medir la salida de las gases al exterior debe colocarse la toma de muestra en el conducto de salida de los mismos.

El primer día se toman muestras en el punto 2, el segundo día en el punto 1 y el tercer día en el punto 2. Las mediciones se realizaron en dos variantes, el primer día en ppm y los otros dos días en mg/m³. Es conveniente realizar la medición directa en mg/m³ pues los valores establecidos en la NC TS 803:2010 “CALIDAD DEL AIRE — EMISIONES MAXIMAS ADMISIBLES DE CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA EN FUENTES FIJAS PUNTUALES DE INSTALACIONES GENERADORAS DE ELECTRICIDAD Y VAPOR”, están en mg/m³ y se facilita la comparación, de lo contrario deberá convertirse de ppm a mg/m³ para cada componente según la ecuación 1.1.

La salida impresa de los resultados muestra los siguientes datos: SO₂, NO, CO, CO₂, O₂, Tgas, Tamb, Pamb, Eficiencia y Lambda. Las tablas de txt emite las siguientes salidas con información: No de la medición, Fecha y hora, unidad de medida, SO₂ contenido, SO₂ convertido, NO/NO_x, NO/NO_x contenido, NO/NO_x convertido, CO₂ contenido, CO₂ convertido, CO contenido, CO convertido, O₂ contenido, T ambiente, T gases, Humedad, Eficiencia, Tipo de Fuel Oil y λ (Exceso de aire).

Cuando los valores de emisión estén referidos a los contenidos de oxígeno en los gases de salida, las emisiones medidas en el gas de salida deben convertirse de acuerdo con la ecuación 3.1:

$$Cs[O_2ref] = Cs[O_2act] \frac{20.9 - \%[O_2ref]}{20.9 - \%[O_2act]} \quad (3.1)$$

Donde:

Cs[O₂ref] = Concentración de contaminante a condiciones normales, mg/Nm³, corregido por el oxígeno de referencia.

Cs[O₂act] = Concentración de contaminante a condiciones normales, mg/Nm³.

%O₂ref = Porcentaje de oxígeno "valor de referencia", %.

%O₂act = Porcentaje de oxígeno actual, obtenido en la medición, %.

El factor de corrección de emisión se corresponde al valor de corrección obtenido

Estos resultados deben ser analizados por especialistas de la materia, pero algunos de ellos son de fácil comparación pues se establecen los valores máximos permisibles en la NC TS 803:2010 La norma cubana solo especifica los valores de SO₂ y NO_x.

Para el análisis de la eficiencia el equipo da un valor de la misma que puede ser comparado con la eficiencia para la que está diseñada trabajar la Caldera de vapor que se analiza. El % de O₂ y CO₂ permite conocer cómo está la combustión de la caldera y el funcionamiento de su quemador.

El equipo utilizado tiene un convertidor interno de los resultados en base a un 3.5 % de oxígeno lo que está muy cercano a los valores establecido de la norma. Estos resultados son emitidos cuando se obtiene el fichero txt del menú *History*. En cualquier caso, si se desea validar los resultados para un 3 % de O₂, se debe emplear la ecuación 3.1.

Toma de muestra 1.

Esta toma de muestra tiene como objetivo valorar la eficiencia de la combustión en la caldera No. 1. Se coloca el tubo para el sensor próximo a la Caldera y antes del economizador pues al medir la eficiencia luego del economizador los resultados no son correctos, esto sucede ya que, al pasar por el economizador, se le inyecta agua a los conductos lo que hace que cambie la temperatura de los gases y con ello la concentración de los mismos.

Punto de muestra 1. Salida inmediata de la caldera antes del economizador

En la figura 3.3.1 se muestra este punto de muestra.



Figura 3.3.1. Toma de muestra 1

La medición se realizó de forma continua durante una hora y los resultados se guardaban cada 3 minutos. La salida de las lecturas del equipo se muestra en el anexo II. Como para este punto solo interesa la eficiencia de la Caldera, aunque el equipo da todas las salidas, solo se analizan los valores de interés que en este caso son el % de eficiencia, el % de O_2 , de CO_2 , el exceso de aire (λ) y los niveles de CO.

Eficiencia de la Caldera, % de O_2 , de CO_2 , λ y CO.

El % de oxígeno, de CO_2 y el nivel de CO existente en los gases de salida definen la calidad de la combustión. La eficiencia de la Caldera indica cuan bien se utiliza la misma.

Para este caso donde el equipo que se analiza es una Caldera de Vapor se considera que para una buena combustión la eficiencia de la misma debe ser superior al 89 %, el % de oxígeno debe ser más/menos 3.5 %, los niveles de CO₂ no pueden exceder el 14% y la presencia de CO debe ser mínima.

El resumen de los resultados obtenidos para la toma **de muestra 1** se muestra en la Tabla 3.3.1.

Tabla 3.3.1. Resumen de los resultados Toma 1.

Análisis	CO ₂ Convertido (%)	CO Convertido (mg/m ³)	O ₂ (%)	Eficiencia (%)	λ
Media acotada	13,596	395,975	11,183	85,16	2,15
Mediana	13,695	385,300	11,210	85,25	2,16
Máximo	14,09	638,5	12,85	85,83	2,60
Mínimo	13,13	254,4	10,54	82,78	2,02

De estos valores se puede concluir que:

- El % de oxígeno es elevado y está por encima del parámetro (3.5 %). El promedio de las mediciones mostró un 11.21 % de oxígeno en los gases, un valor máximo de 12.85 % y un valor mínimo de 10.54 %, todos muy por encima de los parámetros recomendados.
- Los niveles de CO₂ están dentro del margen recomendado pero muy cercano al 14 %. El promedio de las mediciones es de 13.69 % y tuvo un valor máximo (14.09) por encima de lo deseado.
- Se detecta presencia de CO cuando lo recomendado es tener valor mínimo. Los valores se consideran elevado pues el promedio es de 385 mg/m³.
- La eficiencia de la caldera es baja, debería tener valores mayores al 89 % y el valor medio fue de 85.25 % de eficiencia.
- El valor de λ es elevado pues debería estar alrededor de 1.18. Existe exceso de aire en la combustión lo que eleva los niveles de O₂ y disminuye la eficiencia provocando así mayor nivel de CO contaminante.

Toma de muestra 2.

La toma de muestra 2 se instala para poder medir la concentración de los gases contaminantes que se envían al exterior por la chimenea. Se utiliza el conducto de salida de la caldera a la chimenea para colocar el tubo donde se instala el sensor de medición porque es en ese punto donde los datos de la concentración de los gases contaminantes son más precisos, esto no se podría realizar en la toma de muestra 1 puesto que antes del economizador los gases tienen una concentración diferente.

Punto de muestra 2. En el conducto de salida a la chimenea (Figura 3.3.2)

Figura 3.3.2 Toma de muestra 2

El objetivo de la medición en este punto es conocer la calidad de los gases que salen por la Chimenea para poder compararlo por lo establecido en Cuba para este tipo de caldera.

Análisis de los gases de salida. Mediciones del SO₂ y NO.

El SO₂ y el NO son fuentes contaminantes del aire resultado de los procesos de combustión. La NC establece los niveles de emisión para cada tipo de fuente de generación y los distintos tipos de combustible. En este caso el análisis es para la fuente Calderas de

generación de Vapor que utilizan Fuel Oil y por lo tanto el valor máximo permisible para instalaciones viejas es de 7000 mg/m³ y de 2000 mg/m³ para las instalaciones nuevas de SO₂; para el NO los valores máximos permisibles son de 500 y 460 mg/m³ para instalaciones viejas y nuevas respectivamente. Estos valores están referidos al 3 % de O₂ en gas seco.

Los resultados integro de la medición se exponen en el anexo III y IV. En este caso solo se analizan los valores relacionados con el tema de interés, los gases contaminantes.

El resumen de los resultados obtenidos para el **punto 2** (salida a la chimenea) es el siguiente. (Tabla 3.3.2).

Tabla 3.3.2. Resumen de los resultados Toma 2.

Análisis	UM	SO ₂	SO ₂ Convertido	NO	NO Convertido
Media acotada	mg/m ³	1175	3147	80,08	205,22
Mediana	mg/m ³	1214	3093	83,80	213,00
Máximo	mg/m ³	1961	3602	178,8	311,1
Mínimo	mg/m ³	535,7	2952	6,5	42,7

De estos resultados se difiere que la caldera en estos momentos no cumple con los valores máximos permisibles de SO₂ para calderas de nueva instalación pues los valores están por encima de 2000 mg/m³. Esta Caldera solo lleva 3 años de explotación. El promedio del SO₂ para el nivel de O₂ real de la muestra es de 3093 mg/m³, es decir, al 154 % de lo que debe ser. El NO, si cumple con los parámetros permisibles. El valor máximo registrado es de 311 mg/m³ que está por debajo del 460 mg/m³ normado.

Análisis económico.

El análisis económico del trabajo se puede analizar en estas variantes:

1. Por el resultado de la mejora de la combustión del equipo después de conocer las mediciones.
2. Por los ingresos que pueda tener la entidad que utilice el equipo en la prestación de servicios.
3. Se puso en marcha un equipo muy costoso que no estaba siendo utilizado

Por los ingresos que pueda tener la entidad que presta el servicio.

Se conoce que por la prestación de un servicio de análisis de salida de gases de una chimenea se puede cobrar 4500 pesos a la entidad que se realice el servicio. Como el equipo del que se dispone fue resultado de una donación el efecto económico considerando la ecuación 3.2 sería: Utilidad = Ingresos – Gasto.

$$U = (I - G) \quad (3.2)$$

El gasto estimado es el salario de dos personas por 3 días más el combustible utilizado para mover el instrumento hasta el sitio donde se realizaría la medición. Este gasto varía en función de la distancia donde se ejecute el trabajo. El precio del Diesel (combustible que utiliza el carro del Departamento) es de 0.8 \$/L, considerando un gasto de 15 litros el costo del combustible es de 12 pesos. El salario de dos personas por 3 días se considera de 90 pesos, por lo que: $4500 - (12 + 90) = 4398$ pesos.

Por los resultados de mejora de la combustión.

Cuando la eficiencia de la caldera está por debajo de la eficiencia planificada se usa más combustible para generar el mismo vapor, es decir, se afecta la relación vapor petróleo del equipo. Considerando que se afecta un 3 % la relación vapor petróleo se gasta un 3 % más de Fuel Oil que para un mes normal de trabajo de la textilera representan 7.8 ton de FO, que a un precio de 392 cuc/ton representa 3057 pesos por 12 meses 36.68 miles de pesos.

3.4 Conclusiones parciales.

Se necesita un trabajo mecánico en la instalación de las tomas de muestra en el equipo donde se realicen las mediciones

El equipo de medición pudo utilizarse correctamente en las mediciones planificadas para la Caldera de vapor No 1 de la UB Textil “Desembarco del Granma”

El proceso de instalación de los sensores es complicado y requiere de más de una persona para poder ejecutarlo.

La baja eficiencia de la caldera y el alto contenido de gases contaminantes de la misma se deben en parte a la baja carga que se encuentra sometida la misma, la cual está siendo subutilizada de momento por lo que los datos obtenidos tienen sentido.

CONCLUSIONES

1. Los analizadores de gases son instrumentos muy importantes para monitorear la contaminación ambiental y la eficiencia de los equipos de combustión en cualquier instalación.
2. El analizador de gases GASBOARD 3800P puede ser utilizado en la medición de gases de emisión en equipos de combustión como Generadores de vapor.
3. El analizador de gases GASBOARD 3800P es fácil de operar pues su interfaz de visualización es de cómodo entendimiento.
4. Se requiere una instalación mecánica previa para la colocación de las tomas de muestras que se necesiten.
5. El equipo de medición pudo utilizarse correctamente en las mediciones planificadas para la Caldera de vapor No 1 de la UB Textil “Desembarco del Granma”.
6. Los resultados obtenidos concuerdan con la operación de la caldera en el momento de la medición.

RECOMENDACIONES

1. Para poder realizar la medición de los gases es necesario que las Calderas de vapor cuenten con las tomas de muestra necesarias para poder colocar los sensores de los instrumentos.
2. El uso del analizador de gases que se realice por la UCLV debe ser de conjunto con otras facultades para un mejor análisis de los resultados que se obtienen.
3. Se recomienda utilizar el analizador de gases en las Prácticas de laboratorio de la especialidad de Automática de la UCLV.
4. Alertar a la Empresa Textilera que los valores obtenidos en las mediciones realizadas muestran que se incumplen los parámetros establecidos en la NC por lo que se sugiere realizar un seguimiento de las mediciones con cargas de explotación de la Caldera superiores a las que se tienen hoy.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALASTOR 2011. CURSO PARA OPERADORES DE CALDERAS.
- DEVELOPMENT., W. C. O. E. A. 1987. Our common future. *Oxford University Press*.
- DRAGER 2009. Introducción a los Sistemas de Detección de Gases. *Drager Safety Hispania*, 36.
- EUGENE K. CAIRNCROSS, J. J. 2007. A novel air pollution index based on the relative risk of daily mortality associated with short-term exposure to common air pollutants. *Atmospheric Environment*, 8442-8454.
- GUIDELINES, A. Q. 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. *World Health Organization*.
- INSTITUTO DE HIDROLOGIA, M. Y. E. A. 2011. MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES EN FUENTES FIJAS. *IDEAM*, 14.
- JOSEPH A. SALVATO, N. L. N., FRANKLIN J. AGARDEY 2003. Environmental Engineering Fifth Ed. *Hoboken*.
- JUEZ, J. M. 2005. Analisis y Evaluacion de las emisiones de gases de efecto invernadero en la industria del petroleo y el gas. *Escuela Tecnica Superior de Ingenieros Industriales*, 153.
- LUIS ESCALONA, L. M. 2012. Los sensores quimicos y su utilidad en el control de gases contaminantes. *Revista Ingenieria UC*, 74-80.
- MOYA, I. H. 2013. Energy scenario analysis at local scale integrating technology, air pollution and human health risk assessments. *Vrije University Brussel*, 205.
- MR. SIBU THOMAS, M. N. S. H. 2013. A Study on Basics of a Gas Analyzer. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 10.
- NORMALIZACION, O. N. D. 2010. Calidad del Aire - Emisiones Maximas Admisibles de contaminantes a la atmosfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor. 18.
- OPTOELECTRONICS, W. C. 2015. Users Manual Portable Infrared Flue Gas Anlyzer GASBOARD 3800P. *Wuhan Cubic Optoelectronics*, 24.

-
- RIOS, E. F. 2013. Sensores Cataliticos. *Universidad especializada de las Americas*.
- SANKAT 2018. Infrared. *UPDOC.TIPS*, 55-72.
- TROCHEZ, K. 2010. Fecyt Anteproyecto. *studylib.es*, 106.
- ZVINGILAITE, E. 2010. Human health-related externalities in energy system modelling the case of the Danish heat and power sector. *Applied Energy*, 534-544.

ANEXOS

Anexo I. Valores establecidos por la NC TS 803:2010

FUENTES	CONTAMI- NANTES	CATEGORIAS DE LAS FUENTES		OBSERVACIONES
		EXISTENTES mg/Nm ³	NUEVAS mg/m ³	
	PM10	250	100	
Calderas de generación de vapor. Diesel	SO ₂	3000	1000	Referido a 3 % O ₂ en gas seco.
	NO _x	500	460	
	PM	350	75	
	PM10	250	50	
Calderas de generación de vapor. Fuel Oil	SO ₂	5	5	Referido a 3 % O ₂ en gas seco.
	NO _x	700	320	
	PM	50	50	
	PM10	40	40	
Grupos	SO ₂	2500	2000	Referido a 15 % O ₂ en

ANEXOS

electrógenos. Fuel Oil	NOx	2000	1850	gas seco.
	PM	200	100	
	PM10	160	80	
Grupos electrógenos. Diesel	SO ₂	1000	700	Referido a 15 % O ₂ en gas seco.
	NOx	2000	1500	
	PM	100	50	
Grupos electrógenos. Gas	SO ₂	5	5	Referido a 15 % O ₂ en gas seco.
	NOx	1600	1500	
	PM	50	20	
Centrales termoelectricas. Crudo	SO ₂	10000	3000	Referido a 3 % O ₂ en gas seco.
	NOx	500	400	
	PM	550	100	
Centrales termoelectricas. Fuel Oil	SO ₂	7000	1500	Referido a 3 % O ₂ en gas seco.
	NOx	500	400	
	PM	350	50	
	PM10	250	40	

ANEXOS

Centrales termoelectricas. Gas acompañante del petroleo. (Agrio)	SO ₂	8000	800	Referido a 3 % O ₂ en gas seco.
	NO _x	500	240	
	PM	250	100	
	PM10	200	75	
Centrales termoelectricas. Gas	SO ₂	5	5	Referido a 3 % O ₂ en gas seco.
	NO _x	500	240	
	PM	50	50	
	PM10	40	40	
Centrales termoelectricas. (Carbón u otro combustible fósil sólido)	SO ₂	NE	1500	Referido a 6 % O ₂ en gas seco.
	NO _x	NE	750	
	PM	NE	50	
	PM10	NE	40	
Turbina. Gas natural u otro gas limpio.	SO ₂	5	5	Referido a 15 % O ₂ en gas seco.
	NO _x	200	200	
	PM	20	20	
	PM10	20	20	
Turbina. Otros combustibles.	SO ₂	570	400	Referido a 15 % O ₂ en gas seco.
	NO _x	400	300	
	PM	100	50	

ANEXOS

		PM10	70	40	
Calderas de vapor. Biomasa	de	SO ₂	1000	500	Referido a 6 % O ₂ en gas seco.
		NO _x	100	100	
		PM	400	150	
		PM10	300	100	
Calderas de vapor. Crudo	de	SO ₂	10000	400	Referido a 3 % O ₂ en gas seco.
		NO _x	500	460	
		PM	550	150	
		PM10	400	100	
Calderas de generación de vapor. Gas	de	SO ₂	7000	2000	Referido a 3 % O ₂ en gas seco.
		NO _x	500	460	
		PM	350	150	

Anexo II. Datos técnicos de la Caldera de Vapor caso de estudio.

Características	Detalle
Constructor	VALTEC-UMISA, SA
Marca / Modelo	UMISA / SMS-60 (15)
Producción de vapor	23.000 Kg./h
Potencia introducida	17.454 KW.
Potencia térmica	15.711 KW.
Presión de diseño	15 bar
Volumen vapor saturado	14.07 m ³
Volumen agua a nivel normal	49.80 m ³
Volumen total	63.87 m ³
Superficie de calefacción	544.6 m ²
Fluidos contenidos	Agua y vapor saturado
No de fabricación	NT-1973
Año de fabricación	2013
P x V medio	958.041 bar-1
Clasificación del equipo	Categoría IV
Marca CE	CE-1767
Fecha prueba de presión	21 de febrero de 2013
Organismo notificado	SGS inspecciones reglamentarias S.A

Anexo III. Resultados 2do día de medición. Punto de muestra 1.

Group	Time	Unit	SO ₂ Content	SO ₂ Converted	SO ₂ Emission	NO/NO _x	NO(x) Content	NO(x) Converted	NO(x) Emission
4	24/04/2018 10:04	mg/m ³	1628	3522	0	NO	370	801	0
4	24/04/2018 10:07	mg/m ³	1874	3313	0	NO	445	787	0
4	24/04/2018 10:11	mg/m ³	1927	3307	0	NO	467	801	0
4	24/04/2018 10:14	mg/m ³	1968	3350	0	NO	455	775	0
4	24/04/2018 10:17	mg/m ³	1961	3296	0	NO	441	741	0
4	24/04/2018 10:21	mg/m ³	1922	3288	0	NO	419	717	0
4	24/04/2018 10:24	mg/m ³	1933	3268	0	NO	414	699	0
4	24/04/2018 10:27	mg/m ³	1821	3275	0	NO	393	707	0
4	24/04/2018 10:31	mg/m ³	1840	3249	0	NO	398	702	0
4	24/04/2018 10:34	mg/m ³	1756	3272	0	NO	384	717	0
4	24/04/2018 10:37	mg/m ³	1824	3276	0	NO	397	713	0
4	24/04/2018 10:41	mg/m ³	1728	3282	0	NO	386	734	0
4	24/04/2018 10:44	mg/m ³	1824	3287	0	NO	404	729	0
4	24/04/2018 10:47	mg/m ³	1738	3289	0	NO	398	754	0
4	24/04/2018 10:51	mg/m ³	1837	3313	0	NO	416	751	0
4	24/04/2018 10:54	mg/m ³	1747	3302	0	NO	413	781	0
4	24/04/2018 10:57	mg/m ³	1873	3339	0	NO	435	775	0
4	24/04/2018 11:01	mg/m ³	1824	3343	0	NO	435	798	0

Anexo III. Resultados 2do día de medición. Punto de muestra 1. Continuación.

Group	Time	Unit	CO2 Content (%)	CO2 Converted (%)	CO2 Emission (kg/h)	CO Content	CO Converted	CO Emission	O2 Content (%)	T amb (°C)	T gas (°C)	P amb (kPa)	Static P(kPa)
4	24/04/2018 10:04	mg/m ³	6,51	14,09	0	295,1	638,5	0	12,85	35,7	220	99	-0,032
4	24/04/2018 10:07	mg/m ³	7,46	13,19	0	343,6	607,7	0	11,05	36,6	221	99,1	0,008
4	24/04/2018 10:11	mg/m ³	7,66	13,14	0	325,5	558,5	0	10,75	36,9	221	99	-0,032
4	24/04/2018 10:14	mg/m ³	7,74	13,19	0	254,3	433	0	10,67	37,6	221	99	-0,032
4	24/04/2018 10:17	mg/m ³	7,81	13,13	0	207	347,9	0	10,54	37,6	221	99	-0,032
4	24/04/2018 10:21	mg/m ³	7,76	13,28	0	190,8	326,5	0	10,72	37,8	221	99	-0,032
4	24/04/2018 10:24	mg/m ³	7,86	13,29	0	157,8	266,8	0	10,6	38,5	221	99	-0,032
4	24/04/2018 10:27	mg/m ³	7,49	13,48	0	208,2	374,6	0	11,22	38,4	222	99	-0,032
4	24/04/2018 10:31	mg/m ³	7,62	13,46	0	144,5	255,1	0	11,04	37,8	223	99	-0,032
4	24/04/2018 10:34	mg/m ³	7,34	13,69	0	212,5	396	0	11,55	38,5	223	99	-0,032
4	24/04/2018 10:37	mg/m ³	7,63	13,7	0	141,6	254,4	0	11,2	39,2	224	99	-0,032
4	24/04/2018 10:41	mg/m ³	7,32	13,9	0	255,3	484,9	0	11,73	39,6	224	99	-0,057
4	24/04/2018 10:44	mg/m ³	7,63	13,75	0	148,1	266,9	0	11,24	39,9	224	99	-0,065
4	24/04/2018 10:47	mg/m ³	7,32	13,86	0	254	480,6	0	11,7	40,1	225	99	-0,065
4	24/04/2018 10:51	mg/m ³	7,65	13,79	0	168,9	304,6	0	11,24	39,9	225	99	-0,065
4	24/04/2018 10:54	mg/m ³	7,38	13,94	0	266	502,7	0	11,69	39,4	224	99	-0,065
4	24/04/2018 10:57	mg/m ³	7,79	13,89	0	177,4	316,2	0	11,13	39,5	224	99	-0,065
4	24/04/2018 11:01	mg/m ³	7,63	13,98	0	225,7	413,6	0	11,4	40	223	99	-0,065

Anexo III. Resultados 2do día de medición. Punto de muestra 1. Continuación.

Group NO	Time	Unit	Dynamic P(Pa)	Vs(m/s)	Moisture	Amb Flow(m3/h)	STD Flow(m3/h)	Eff(%)	Fuel	λ
4	24/04/2018 10:04	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	82,78	1,2	2,6
4	24/04/2018 10:07	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	84,94	1,2	2,12
4	24/04/2018 10:11	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	85,37	1,2	2,06
4	24/04/2018 10:14	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	85,55	1,2	2,04
4	24/04/2018 10:17	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	85,68	1,2	2,02
4	24/04/2018 10:21	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	85,59	1,2	2,05
4	24/04/2018 10:24	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	85,83	1,2	2,03
4	24/04/2018 10:27	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	85,05	1,2	2,16
4	24/04/2018 10:31	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	85,15	1,2	2,12
4	24/04/2018 10:34	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	84,69	1,2	2,24
4	24/04/2018 10:37	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	85,23	1,2	2,16
4	24/04/2018 10:41	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	84,65	1,2	2,28
4	24/04/2018 10:44	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	85,28	1,2	2,16
4	24/04/2018 10:47	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	84,63	1,2	2,27
4	24/04/2018 10:51	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	85,27	1,2	2,16
4	24/04/2018 10:54	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	84,69	1,2	2,27
4	24/04/2018 10:57	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	85,53	1,2	2,14
4	24/04/2018 11:01	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	85,33	1,2	2,2

Anexo IV. Resultados 1er día de medición. Punto de muestra 2

Group	Time	Unit	SO ₂ Content	SO ₂ Converted	SO ₂ Emission	NO/NO _x	NO(x) Content	NO(x) Converted	NO(x) Emission
1	01/04/2018 7:27	ppm	323	1012	0	NO	100,1	313,6	0
1	01/04/2018 7:28	ppm	429	1096	0	NO	123	314,1	0
1	01/04/2018 7:29	ppm	425	1092	0	NO	125,2	321,5	0
1	01/04/2018 7:30	ppm	435	1069	0	NO	134,4	330,5	0
1	01/04/2018 7:31	ppm	457	1069	0	NO	143,4	335,2	0
1	01/04/2018 7:32	ppm	481	1085	0	NO	151,8	342,4	0
1	01/04/2018 7:33	ppm	471	1092	0	NO	149,5	346,1	0
1	01/04/2018 7:34	ppm	447	1110	0	NO	143,7	356,5	0
1	01/04/2018 7:35	ppm	437	1084	0	NO	147,7	366,3	0
1	01/04/2018 7:36	ppm	742	1391	0	NO	179,7	337	0
1	01/04/2018 7:37	ppm	613	1123	0	NO	190,4	348,7	0
1	01/04/2018 7:38	ppm	619	1081	0	NO	197	344,3	0
1	01/04/2018 7:39	ppm	628	1086	0	NO	199,4	345	0
1	01/04/2018 7:40	ppm	598	1088	0	NO	192,5	350	0
1	01/04/2018 7:41	ppm	561	1091	0	NO	184	358,1	0
1	01/04/2018 7:42	ppm	545	1090	0	NO	182,4	365	0
1	01/04/2018 7:43	ppm	543	1082	0	NO	184,6	367,6	0
1	01/04/2018 7:44	ppm	562	1082	0	NO	190,7	367,2	0
1	01/04/2018 7:45	ppm	580	1083	0	NO	196,3	366,6	0

ANEXOS

1	01/04/2018 7:46	ppm	593	1088	0	NO	199,4	366,1	0
1	01/04/2018 7:47	ppm	572	1101	0	NO	192,5	370,4	0
1	01/04/2018 7:48	ppm	551	1100	0	NO	187,6	374,4	0
1	01/04/2018 7:49	ppm	542	1096	0	NO	186,7	377,6	0
1	01/04/2018 7:50	ppm	554	1091	0	NO	190,9	376,1	0
1	01/04/2018 7:51	ppm	570	1089	0	NO	196	374,6	0
1	01/04/2018 7:52	ppm	593	1107	0	NO	201,8	377	0
1	01/04/2018 7:53	ppm	590	1112	0	NO	198,1	373,2	0
2	01/04/2018 8:07	ppm	551	1081	0	NO	140,2	275,3	0
3	24/04/2018 14:59	ppm	566	1081	0	NO	145,1	277,2	0
3	24/04/2018 15:03	ppm	562	1095	0	NO	145	282,7	0
3	24/04/2018 15:06	ppm	570	1090	0	NO	153,6	293,6	0
3	24/04/2018 15:09	ppm	570	1105	0	NO	156	302,5	0
3	24/04/2018 15:13	ppm	571	1097	0	NO	163,2	313,6	0

Anexo IV. Resultados 1er día de medición. Punto de muestra 2. Continuación.

Group	Time	Unit	CO ₂ Content (%)	CO ₂ Converted (%)	CO ₂ Emission (kg/h)	CO Content	CO Converted	CO Emission	O ₂ Content (%)	T amb (°C)	T gas (°C)	P amb (kPa)	Static P(kPa)
1	01/04/2018 7:27	ppm	4,47	13,99	0	421,8	1321,6	0	15,34	40,2	183	98,9	-0,15
1	01/04/2018 7:28	ppm	5,03	12,84	0	1156,4	2954,2	0	14,08	38,2	179	98,9	-0,155
1	01/04/2018 7:29	ppm	4,95	12,72	0	1340,8	3443,5	0	14,12	37,9	177	98,9	-0,16
1	01/04/2018 7:30	ppm	5,17	12,71	0	826,8	2033,2	0	13,82	39,7	179	98,9	-0,159
1	01/04/2018 7:31	ppm	5,43	12,68	0	418,5	978,4	0	13,45	39,2	182	98,9	-0,161
1	01/04/2018 7:32	ppm	5,62	12,67	0	218	491,6	0	13,18	39,1	184	98,9	-0,162
1	01/04/2018 7:33	ppm	5,5	12,74	0	345,1	799,1	0	13,38	38,9	186	98,9	-0,162
1	01/04/2018 7:34	ppm	5,16	12,81	0	891,1	2210,6	0	13,88	39,2	188	98,9	-0,162
1	01/04/2018 7:35	ppm	5,14	12,74	0	927,4	2300,3	0	13,88	39,6	188	98,9	-0,184
1	01/04/2018 7:36	ppm	6,35	11,9	0	975,8	1829,7	0	11,61	40,1	187	98,9	-0,194
1	01/04/2018 7:37	ppm	6,86	12,55	0	116,5	213,3	0	11,39	39,8	181	98,9	-0,199
1	01/04/2018 7:38	ppm	7,07	12,37	0	74,2	129,7	0	10,94	38,4	171	98,9	-0,202
1	01/04/2018 7:39	ppm	7,13	12,33	0	72	124,6	0	10,83	37	165	98,9	-0,202
1	01/04/2018 7:40	ppm	6,86	12,47	0	77,2	140,4	0	11,32	37,1	164	98,9	-0,201
1	01/04/2018 7:41	ppm	6,44	12,55	0	91,7	178,4	0	11,95	37,1	165	98,9	-0,198
1	01/04/2018 7:42	ppm	6,29	12,6	0	104,6	209,3	0	12,2	37,2	166	98,9	-0,212
1	01/04/2018 7:43	ppm	6,32	12,58	0	100,4	199,8	0	12,15	36,8	168	98,9	-0,206

ANEXOS

1	01/04/2018 7:44	ppm	6,5	12,52	0	86,4	166,4	0	11,86	38,2	169	98,9	-0,209
1	01/04/2018 7:45	ppm	6,69	12,48	0	82,9	154,8	0	11,57	37,2	165	98,9	-0,208
1	01/04/2018 7:46	ppm	6,79	12,47	0	80,9	148,6	0	11,41	35,6	159	98,9	-0,197
1	01/04/2018 7:47	ppm	6,55	12,6	0	89	171,4	0	11,85	35,7	157	98,9	-0,194
1	01/04/2018 7:48	ppm	6,34	12,65	0	104,4	208,4	0	12,18	37,7	158	98,9	-0,205
1	01/04/2018 7:49	ppm	6,26	12,66	0	109	220,5	0	12,29	35,9	160	98,9	-0,199
1	01/04/2018 7:50	ppm	6,4	12,6	0	96,9	190,9	0	12,06	36	162	98,9	-0,2
1	01/04/2018 7:51	ppm	6,56	12,54	0	83,2	159,1	0	11,79	34,2	164	98,9	-0,208
1	01/04/2018 7:52	ppm	6,79	12,68	0	77,1	144	0	11,58	35	166	98,8	-0,22
1	01/04/2018 7:53	ppm	6,71	12,65	0	76,4	143,8	0	11,65	36,2	167	98,8	-0,222
2	01/04/2018 8:07	ppm	6,31	12,39	0	27,4	53,9	0	12,03	33,8	156	98,8	-0,246
3	24/04/2018 14:59	ppm	6,39	12,21	0	23,3	44,5	0	11,78	38,4	260	98,8	-0,291
3	24/04/2018 15:03	ppm	6,32	12,31	0	35,1	68,5	0	11,96	39,7	153	98,8	-0,292
3	24/04/2018 15:06	ppm	6,44	12,3	0	37,8	72,3	0	11,79	39	157	98,8	-0,303
3	24/04/2018 15:09	ppm	6,36	12,34	0	48,3	93,6	0	11,92	37,3	159	98,7	-0,321
3	24/04/2018 15:13	ppm	6,4	12,3	0	50,1	96,3	0	11,84	36,9	151	98,8	-0,305

Anexo IV. Resultados 1er día de medición. Punto de muestra 2. Continuación.

Group	Time	Unit	Dynamic P(Pa)	Vs (m/s)	Moisture	Amb Flow (m3/h)	STD Flow (m3/h)	Eff (%)	Fuel	λ
1	01/04/2018 7:27	ppm	0	0	0,04	0	0	80,45	1,2	3,76
1	01/04/2018 7:28	ppm	0	0	0,04	0	0	82,95	1,2	3,07
1	01/04/2018 7:29	ppm	0	0	0,04	0	0	82,88	1,2	3,08
1	01/04/2018 7:30	ppm	0	0	0,04	0	0	83,57	1,2	2,95
1	01/04/2018 7:31	ppm	0	0	0,04	0	0	83,97	1,2	2,81
1	01/04/2018 7:32	ppm	0	0	0,04	0	0	84,25	1,2	2,71
1	01/04/2018 7:33	ppm	0	0	0,04	0	0	83,67	1,2	2,78
1	01/04/2018 7:34	ppm	0	0	0,04	0	0	82,47	1,2	2,98
1	01/04/2018 7:35	ppm	0	0	0,04	0	0	82,36	1,2	2,98
1	01/04/2018 7:36	ppm	0	0	0,04	0	0	85,92	1,2	2,25
1	01/04/2018 7:37	ppm	0	0	0,04	0	0	87,46	1,2	2,2
1	01/04/2018 7:38	ppm	0	0	0,04	0	0	88,59	1,2	2,1
1	01/04/2018 7:39	ppm	0	0	0,04	0	0	89,06	1,2	2,08
1	01/04/2018 7:40	ppm	0	0	0,04	0	0	88,73	1,2	2,18
1	01/04/2018 7:41	ppm	0	0	0,04	0	0	87,91	1,2	2,34
1	01/04/2018 7:42	ppm	0	0	0,04	0	0	87,51	1,2	2,4
1	01/04/2018 7:43	ppm	0	0	0,04	0	0	87,38	1,2	2,39

ANEXOS

1	01/04/2018 7:44	ppm	0	0	0,04	0	0	87,72	1,2	2,31
1	01/04/2018 7:45	ppm	0	0	0,04	0	0	88,31	1,2	2,24
1	01/04/2018 7:46	ppm	0	0	0,04	0	0	88,93	1,2	2,2
1	01/04/2018 7:47	ppm	0	0	0,04	0	0	88,73	1,2	2,31
1	01/04/2018 7:48	ppm	0	0	0,04	0	0	88,44	1,2	2,4
1	01/04/2018 7:49	ppm	0	0	0,04	0	0	87,93	1,2	2,43
1	01/04/2018 7:50	ppm	0	0	0,04	0	0	87,99	1,2	2,36
1	01/04/2018 7:51	ppm	0	0	0,04	0	0	87,96	1,2	2,29
1	01/04/2018 7:52	ppm	0	0	0,04	0	0	88,26	1,2	2,24
1	01/04/2018 7:53	ppm	0	0	0,04	0	0	88,11	1,2	2,26
2	01/04/2018 8:07	ppm	0	0	0,04	0	0	88,19	1,2	2,36
3	24/04/2018 14:59	ppm	0	0	0,04	0	0	78,89	1,2	2,29
3	24/04/2018 15:03	ppm	0	0	0,04	0	0	89,05	1,2	2,34
3	24/04/2018 15:06	ppm	0	0	0,04	0	0	88,81	1,2	2,29
3	24/04/2018 15:09	ppm	0	0	0,04	0	0	88,37	1,2	2,33
3	24/04/2018 15:13	ppm	0	0	0,04	0	0	89,08	1,2	2,31

Anexo V. Resultados 3er día de medición. Punto de muestra 2.

Group NO	Time	Unit	SO2 Content	SO2 Converted	SO2 Emission	NO/NOx	NO(x) Content	NO(x) Converted	NO(x) Emission
5	25/04/2018 8:44	mg/m ³	737	2948	0	NO	183	731,7	0
5	25/04/2018 8:47	mg/m ³	1269	3313	0	NO	352	918	0
6	25/04/2018 9:06	mg/m ³	1714	3726	0	NO	167,2	363,5	0
6	25/04/2018 9:09	mg/m ³	58,6	0	0	NO	0	0	0
6	25/04/2018 9:12	mg/m ³	7,4	0	0	NO	0	0	0
6	25/04/2018 9:15	mg/m ³	1061	2989	0	NO	100,3	282,6	0
6	25/04/2018 9:18	mg/m ³	1701	2960	0	NO	178,8	311,1	0
6	25/04/2018 9:21	mg/m ³	1624	2955	0	NO	161	293	0
6	25/04/2018 9:24	mg/m ³	1011	3080	0	NO	51	155,2	0
6	25/04/2018 9:27	mg/m ³	939	3093	0	NO	42,3	139,5	0
7	25/04/2018 9:35	mg/m ³	1217	2952	0	NO	90,4	219,4	0
7	25/04/2018 9:38	mg/m ³	1139	3001	0	NO	72,1	189,8	0

ANEXOS

7	25/04/2018 9:41	mg/m ³	1233	2961	0	NO	98,5	236,6	0
7	25/04/2018 9:44	mg/m ³	1168	3049	0	NO	72,7	189,7	0
7	25/04/2018 9:47	mg/m ³	1227	3001	0	NO	93,9	229,7	0
7	25/04/2018 9:50	mg/m ³	1208	3123	0	NO	82	212,1	0
7	25/04/2018 9:53	mg/m ³	1214	3044	0	NO	87,2	218,7	0
7	25/04/2018 9:56	mg/m ³	1243	3152	0	NO	83,8	212,6	0
7	25/04/2018 9:59	mg/m ³	1217	3108	0	NO	83,4	213	0
7	25/04/2018 10:02	mg/m ³	1294	3155	0	NO	93,3	227,6	0
7	25/04/2018 10:05	mg/m ³	1608	3602	0	NO	105	235,2	0
7	25/04/2018 10:08	mg/m ³	1961	3515	0	NO	142,2	255	0
7	25/04/2018 10:11	mg/m ³	841	3480	0	NO	33,7	139,5	0
7	25/04/2018 10:14	mg/m ³	724	3472	0	NO	22,1	106,1	0
7	25/04/2018 10:17	mg/m ³	535,7	3527	0	NO	6,5	42,7	0
7	25/04/2018 10:20	mg/m ³	739	3315	0	NO	29,5	132,5	0

Anexo V. Resultados 3er día de medición. Punto de muestra 2. Continuación.

Group NO	Time	Unit	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO	CO	CO	O ₂	T	T	P amb (kPa)	Static P (kPa)
			Content (%)	Converted (%)	Emission (kg/h)	Content	Converted	Emission	Content (%)	amb (°C)	gas (°C)		
5	25/04/2018 8:44	mg/m ³	4,18	16,71	0	1108,6	4432,6	0	16,54	27,3	173	99	-0,016
5	25/04/2018 8:47	mg/m ³	5,79	15,12	0	3864	10086	0	14,23	26,8	180	99	0,029
6	25/04/2018 9:06	mg/m ³	5,88	12,79	0	122,6	266,5	0	12,89	26,9	161	98,9	-0,065
6	25/04/2018 9:09	mg/m ³	0,17	0	0	149,4	0	0	21	27,2	116	98,9	-0,065
6	25/04/2018 9:12	mg/m ³	0,11	0	0	49,1	0	0	21,16	28,5	122	98,9	-0,035
6	25/04/2018 9:15	mg/m ³	5,02	14,14	0	1509,8	4253	0	14,72	28,2	162	99	-0,005
6	25/04/2018 9:18	mg/m ³	7,41	12,9	0	0	0	0	10,89	27,5	180	99	0
6	25/04/2018 9:21	mg/m ³	7,14	12,99	0	652,4	1187	0	11,33	27,6	183	99	0
6	25/04/2018 9:24	mg/m ³	4,53	13,8	0	4464	13591	0	15,18	27,2	172	99	0
6	25/04/2018 9:27	mg/m ³	4,24	13,98	0	4697	15480	0	15,61	26,5	177	99	0
7	25/04/2018 9:35	mg/m ³	5,76	13,98	0	852,1	2067,2	0	13,72	28,3	344	99	0,018
7	25/04/2018 9:38	mg/m ³	5,36	14,11	0	2170,1	5715,8	0	14,29	29,5	185	99	0
7	25/04/2018 9:41	mg/m ³	5,8	13,93	0	681,2	1635,3	0	13,65	29	181	99	0
7	25/04/2018 9:44	mg/m ³	5,4	14,08	0	1965,2	5129,1	0	14,23	29,2	176	99	0
7	25/04/2018 9:47	mg/m ³	5,76	14,09	0	929,4	2273,9	0	13,78	28,8	183	99	0
7	25/04/2018 9:50	mg/m ³	5,51	14,24	0	1576,2	4076,3	0	14,17	30	182	99	0
7	25/04/2018 9:53	mg/m ³	5,65	14,16	0	1084,7	2719,3	0	13,95	30,8	177	99	0

ANEXOS

7	25/04/2018 9:56	mg/m ³	5,64	14,31	0	1265,4	3208,1	0	14,03	29,9	183	99	0
7	25/04/2018 9:59	mg/m ³	5,59	14,27	0	1386,7	3540,5	0	14,08	29,5	181	99	0
7	25/04/2018 10:02	mg/m ³	5,87	14,32	0	632,8	1543	0	13,76	30,4	177	99	0
7	25/04/2018 10:05	mg/m ³	6,08	13,63	0	1247,6	2794,9	0	13,13	30,4	183	99	0
7	25/04/2018 10:08	mg/m ³	7,53	13,49	0	746,3	1338,2	0	11,19	29,2	176	99	0
7	25/04/2018 10:11	mg/m ³	3,88	16,04	0	2035,9	8421,9	0	16,69	29,8	157	99	0
7	25/04/2018 10:14	mg/m ³	3,51	16,85	0	1624,3	7792,3	0	17,27	30,7	163	99	0
7	25/04/2018 10:17	mg/m ³	2,9	19,11	0	866,8	5705,9	0	18,25	31,9	170	99	0
7	25/04/2018 10:20	mg/m ³	3,63	16,27	0	2329,7	10451,3	0	17,02	32,1	166	99	0

Anexo V. Resultados 3er día de medición. Punto de muestra 2. Continuación.

Group NO	Time	Unit	Dynamic P(Pa)	Vs(m/s)	Moisture	Amb Flow (m3/h)	STD Flow (m3/h)	Eff (%)	Fuel	λ
5	25/04/2018 8:44	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	78,79	1,2	4,8
5	25/04/2018 8:47	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	83,85	1,2	3,13
6	25/04/2018 9:06	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	86,15	1,2	2,61
6	25/04/2018 9:09	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	0	1,2	0
6	25/04/2018 9:12	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	0	1,2	0
6	25/04/2018 9:15	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	83,78	1,2	3,38
6	25/04/2018 9:18	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	87,48	1,2	2,09
6	25/04/2018 9:21	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	86,72	1,2	2,18
6	25/04/2018 9:24	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	80,53	1,2	3,65
6	25/04/2018 9:27	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	78,34	1,2	3,95
7	25/04/2018 9:35	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	66,53	1,2	2,91
7	25/04/2018 9:38	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	82,3	1,2	3,16
7	25/04/2018 9:41	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	83,98	1,2	2,88
7	25/04/2018 9:44	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	83,41	1,2	3,13
7	25/04/2018 9:47	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	83,62	1,2	2,94
7	25/04/2018 9:50	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	83,2	1,2	3,1
7	25/04/2018 9:53	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	84,21	1,2	3,01

ANEXOS

7	25/04/2018 9:56	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	83,4	1,2	3,04
7	25/04/2018 9:59	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	83,42	1,2	3,06
7	25/04/2018 10:02	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	84,79	1,2	2,93
7	25/04/2018 10:05	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	84,66	1,2	2,69
7	25/04/2018 10:08	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	88,07	1,2	2,15
7	25/04/2018 10:11	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	79,97	1,2	4,96
7	25/04/2018 10:14	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	77,1	1,2	5,76
7	25/04/2018 10:17	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	70,95	1,2	7,9
7	25/04/2018 10:20	mg/m ³	0	0	0,04	0	0	77,54	1,2	5,38
