

**EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES DE
MATERIAL PARTICULADO GENERADOS EN LA INCINERACION DE
RESIDUOS PELIGROSOS EN UN HORNO ROTATORIO**

CESAR ALEXANDER BENITO MORENO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2.014

**EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES DE
MATERIAL PARTICULADO GENERADOS EN LA INCINERACION DE
RESIDUOS PELIGROSOS EN UN HORNO ROTATORIO**

CESAR ALEXANDER BENITO MORENO

**Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

Director

ING. RICHARD DIAZ GUERRERO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2.014

Ni la Universidad Industrial de Santander, ni los jurados se hacen responsables de los conceptos expuestos en el presente documento.

Doy gracias a Dios por haberme permitido realizar un nuevo avance en mi vida profesional. A mi madre por siempre estar ahí. A Fanny y mis hijos Natalia y Andrés por ser el motivo de vivir.

Cesar

AGRADECIMIENTOS

A la empresa ECOLOGIA Y ENTORNO S.A. por permitirme ser parte de esa gran familia y por su apoyo y conocimientos adquiridos para la ejecución de este proyecto.

Dr. Eugenio Sierra e Ing. Juan Carlos de Jesús Sierra, por su colaboración y apoyo para la elaboración de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pàg.
INTRODUCCIÓN.....	18
1. GENERALIDADES	20
1.1 CONCEPTOS DE COMBUSTION	21
1.1.1 Combustión completa.	22
1.1.2 Combustión incompleta	22
1.1.3 Combustión estequiométrica o teórica.	22
1.1.4 Combustión con exceso de aire	22
1.1.5 Combustión con defecto de aire.....	23
1.2 COMBUSTIBLES.....	23
1.2.1 Clasificación.....	23
1.2.1.1 Combustibles comerciales	23
1.2.1.2 Combustibles especiales	24
1.2.2 Propiedades de los combustibles.....	25
1.2.2.1 Composición	25
1.2.2.2 Poder Calorífico	25
1.2.2.3 Poder calorífico Superior (PCS).....	26
1.2.2.4 Poder calorífico Inferior (PCI).....	26
1.2.2.5 Viscosidad	26
1.2.2.6 Densidad	26
1.2.2.7 Limite de inflamabilidad.....	27
1.2.2.8 Punto de inflamación	27
1.3 COMBURENTES.....	28
1.3.1 Aire	28
1.3.2 Propiedades y definiciones.	28
1.3.2.1 Aire teórico o requerido.....	28
1.3.2.2 Oxígeno teórico.....	28
1.3.2.3 Exceso de aire.	28

1.3.3 Composición del aire	29
1.3.3.1 Composición en base seca o Análisis de Orsat	30
1.3.3.2 Composición en base húmeda:.....	30
1.4 TIPOS DE COMBUSTION	30
1.4.1 Combustión completa.	30
1.5 CONTAMINANTES EN FORMA DE PARTICULAS	35
1.6 CONTAMINANTES GASEOSOS.....	37
1.7 EMISIONES E INMISIONES.....	37
2. DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES Y DE LOS COMPONENTES	39
2.1 SISTEMAS DE CONTROL Y TRATAMIENTO.....	40
2.1.1 Sistema de control por vía húmeda.....	40
2.1.1.1 Cámara horizontal de sedimentación por gravedad	40
2.1.1.2 Cámara de enfriamiento.....	41
2.1.1.3 Enfriador seco: Cámara de sedimentación vertical.	41
2.1.1.4 Base del enfriador.	41
2.1.1.5 Cámara de lavado.- Scrubber.	41
2.1.2 Sistema de control vía seca	42
2.1.2.1 Recuperador de calor.	43
2.1.2.2 Cámara de sedimentación vertical.	43
2.1.2.3 Separador ciclónico (ciclón).	43
2.1.2.4 Venturi.	43
2.1.2.5 Plenum de mezcla.	43
2.1.2.6 Filtro de mangas.	43
2.1.2.7 Lavador de gases (SCRUBBER).	44
3. EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO GENERADOS EN LA INCINERACION DE RESIDUOS PELIGROSOS	46
4. CONCLUSIONES.....	58
5. RECOMENDACIONES.....	60
BIBLIOGRAFIA.....	61

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Punto de inflamación del butano	27
Tabla 2: Composición porcentual del aire	29
Tabla 3: Incineración realizada con Sistema de Control vía Húmeda	46
Tabla 4. Resultados muestreo isocinetico para material particulado vía húmeda	48
Tabla 5. Resultados composición gases emisión en muestreo isocinetico vía húmeda	49
Tabla 6. Características emisión muestreo isocinetico	49
Tabla 7. Parámetros de control según Resolución 909 / 2008 de MADTV	49
Tabla 8: Incineración realizada con Sistema de Control Vía Seca	50
Tabla 9. Material particulado captado	51
Tabla 10. Distribución de tamaño de partícula por sistema de control	57

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema sistema de control vía húmeda	42
Figura 2. Esquema sistema de control vía seca.....	42
Figura 3. Ficha Técnica filtro de mangas	45
Figura 4. Material particulado captado en sedimentador Horizontal vía húmeda ...	52
Figura 5. Material particulado captado en sedimentador vertical vía húmeda	52
Figura 6. Material particulado sedimentado captado en lavador (Scrubber) vía húmeda.....	53
Figura 7. Material particulado captado en sedimentador vertical vía seca	53
Figura 8. Material particulado captado en sedimentador ciclónico vía seca	54
Figura 9. Material particulado captado Plenum de mezcla vía seca	54
Figura 10. Material particulado captado en filtro de mangas vía seca	55
Figura 11. Ficha Técnica tamices	56
Figura 12. Distribución de tamaño de partícula.....	57

RESUMEN

TITULO: EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO GENERADOS EN LA INCINERACION DE RESIDUOS PELIGROSOS EN UN HORNO TIPO ROTATORIO.*

Autor: BENITO MORENO, Cesar**

Palabras claves: incineración, residuo peligroso, emisión, material particulado

La incineración de residuos peligrosos es un procedimiento ambientalmente muy cuestionado por los impactos ambientales que genera, debido a la falta de control de los procesos, a una correcta segregación desde el generador, quien es el que realmente conoce la composición de los residuos y quien finalmente puede optimizar y minimizar la generación de residuos. Sin embargo la incineración también puede ser una herramienta de gestión ambiental de residuos y puede complementar la eficacia de otros métodos existentes como la valorización (reciclaje, reúso), reducción (minimización en la fuente, cambio de materias primas, mejora de tecnologías, tratamientos biológicos, entre otros.

Los sistemas de control de emisiones son solo una herramienta para contener los tóxicos generados durante los procesos de gestión de residuos peligrosos por el método de incineración, y de una correcta selección y del adecuado conocimiento de su funcionamiento, depende el grado de efectividad y control que estos tengan sobre los posibles contaminantes antes de ser emitidos al ambiente.

Pretendiendo optimizar y ajustar los equipos desarrollados y construidos por los ingenieros de la empresa, basados en más de 60 años de experiencia en sistemas de combustión, se realizó evaluación de dos sistemas de control de emisiones enfocado a verificar el comportamiento del material particulado, por ser considerado uno de los contaminantes de mayor problemática para la salud humana y para el ambiente en general, además de ser considerado el medio de formación y transporte de muchos contaminantes peligrosos entre ellos las dioxinas y furanos.

Los sistemas instalados en la Planta de incineración de residuos peligrosos, se compararon en condiciones similares de tiempo y kilogramos de residuos alimentados al horno, evaluando la efectividad de la captación y control de dicho contaminante, teniendo en cuenta la distribución de tamaño de partícula en cada subcomponente que permitió evidenciar su comportamiento dentro del sistema.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Fisicoquímica, Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director Ing. Richard Díaz

SUMMARY

TITLE: EVALUATION OF EMISSION CONTROL SYSTEMS OF PARTICULATE MATERIAL GENERATED FROM INCINERATION OF HAZARDOUS WASTE IN A TYPE ROTARY OVEN*

Author: BENITO MORENO, Cesar **

Keywords: incineration, hazardous waste, emission, particulate material

Incineration of hazardous waste is an environmentally procedure very challenged by environmental impacts generated due to the lack of process control , a proper separation from the generator , who is really familiar with the composition of the waste and who finally you can optimize and minimize waste generation . However incineration can also be a tool for environmental and waste management can complement the effectiveness of other existing methods such as recovery (recycling, reuse), reduction (minimization at source, change of raw materials, improved technologies, and biological treatments, among others.

The emissions control systems are only a tool to contain toxic generated during the processes of the management of hazardous waste incineration method, and proper selection and adequate knowledge of its operation depends the degree of effectiveness and control these have on potential pollutants before being released to the environment.

Pretending to optimize and adjust equipment developed and built by engineers at the company, based on over 60 years of experience in combustion systems, the evaluation of two emission control systems focused on verifying the behavior of the particulate material was conducted by be considered one of the most problematic pollutants for human health and the environment in general, besides being considered dangerous medium formation and transport of many pollutants including dioxins and furans.

Systems installed in the plant hazardous waste incineration were compared in similar conditions of time and kilograms of waste fed to the furnace, evaluating the effectiveness of the recruitment and control of such pollutant, taking into account the particle size distribution in each subcomponent that would demonstrate their behavior within the system.

* Project of Degree

** Faculty of Engineering Physicochemica , Chemical Enginner School. Enviromental Enginner Especialist. Director: Eng. Richard Diaz

GLOSARIO

CONCENTRACION DE UNA SUSTANCIA EN EL AIRE: Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

CONDICIONES DE REFERENCIA: Son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, que respectivamente equivalen a 25 °C y 760 mm de mercurio.

CONTAMINANTES: Son fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas.

CONTAMINACION ATMOSFERICA: Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire

CONTAMINANTES PRIMARIOS: Son aquellos que se producen en la fuente misma de contaminación.

CONTAMINANTES SECUNDARIOS: Son aquellos que se forman en la atmósfera por reacciones químicas entre los contaminantes primarios y los elementos que se encuentran en la atmósfera.

DIOXINAS Y FURANOS: Son compuestos de origen antropogénico y/o producto de la combustión o subproductos no deseados en diferentes reacciones químicas

de procesos industriales. Veintiuno (21) de sus congéneres son clasificados como altamente tóxicos en cantidades pequeñas.

Los policlorodibenzo-p-dioxinas (PCDDs) y los policlorodibenzo furanos (PCDFs) son dos familias de hidrocarburos aromáticos halogenados tricíclicos que engloban un total de 210 compuestos: 75 PCDDs y 135 PCDFs, constituidos por dos anillos bencénicos unidos entre sí, que poseen entre uno y hasta ocho átomos de cloro como sustitutos de sus enlaces. Estos compuestos son comúnmente conocidos como dioxinas y furanos. Las PCDDs se encuentran unidas por dos átomos de oxígeno y en el caso de los PCDFs por un átomo de oxígeno y un enlace carbono-carbono y cuyos átomos de hidrógeno pueden ser sustituidos hasta por ocho átomos de Cloro.

EMISION: Es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, proveniente de una fuente fija o móvil.

FUENTE FIJA: Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

FUENTE FIJA DIFUSA O DISPERSA: Es aquella en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión, como por ejemplo, en el caso de las quemas abiertas controladas en zonas rurales.

FUENTA FIJA PUNTUAL: Es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas.

HIDROCARBUROS TOTALES: Todos los compuestos carbonados generados en las emisiones de hidrocarburos excepto los carbonatos, carburos metálicos, monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO₂), ácido carbónico y aldehído.

INCINERADOR: Equipo destinado a la incineración de residuos, mediante procesos térmicos, constituido principalmente por dos cámaras instaladas de tal manera que los gases generados por la combustión parcial de los residuos en la primera cámara pasan a una segunda cámara o de poscombustión dentro de regímenes de tiempo y temperatura controlados permitiendo una combustión total, para lo cual cada cámara debe contar con sus respectivos dispositivos de control de temperatura y quemadores.

INSTALACION DE INCINERACION O PLANTA DE INCINERACION: Instalación en donde se opere uno o más incineradores, cuya capacidad está determinada por la suma de las capacidades de operación nominal individual de cada incinerador y cuya principal actividad sea la incineración de residuos. Deben contar con instalaciones para recepción y almacenamiento de residuos, sistemas de alimentación de residuos, combustible y aire, horno Incinerador, dispositivos y sistemas de control de las operaciones de incineración, de registro y de seguimiento de las condiciones de incineración (temperaturas en las cámaras y chimenea, emisiones), chimenea, instalaciones de tratamiento de los gases de combustión si la instalación de incineración lo requiere para el cumplimiento de la normatividad, instalaciones de tratamiento y almacenamiento *in situ* de los residuos de la incineración.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO): es un gas incoloro, inodoro y tóxico. Es más ligero que el aire y tiene alta difusividad. Se forma durante combustiones deficientes por lo que existe en concentraciones muy altas en los gases producto de la combustión. Ocasiona asfixia y envenenamiento por la desoxigenación de la sangre (Carboxihemoglobina).

NORMA DE EMISION: Es el valor de descarga permisible de sustancias contaminantes, establecido por la Autoridad ambiental competente, con el objeto de cumplir la norma de calidad del aire.

RESIDUO PELIGROSO: Es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se consideran residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.

SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES: Conjunto ordenado de equipos, elementos o maquinaria que se utilizan para el desarrollo de acciones destinadas al logro de resultados medibles y verificables de reducción o mejoramiento de las emisiones atmosféricas generadas en un proceso productivo.

ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO_x): los óxidos de nitrógeno NO_x son compuestos que se forman con altas temperaturas de funcionamiento en el motor de combustión interna ya que el Oxígeno a altas temperaturas presenta mayor afinidad por el nitrógeno N₂ presente en la atmósfera, estos óxidos son directos responsables del efecto invernadero que consiste en la retención de los rayos ultravioleta en la atmósfera terrestre.

INTRODUCCIÓN

La incineración de combustibles y residuos de origen municipal e industrial, puede proporcionar energía (CDR- combustibles derivados de residuos y CSR-combustible sólido recuperado),¹ situación no presente en Colombia, y un medio para reducir y eliminar los materiales de desecho. Sistemas de combustión eficientes y bien controlados plantean riesgos mínimos para la salud humana y para el medio ambiente. Sin embargo, la incineración como proceso contribuye a la contaminación, incluso en su intento de proporcionar energía y reducir el volumen y la peligrosidad de los residuos. De particular preocupación es la producción de residuos peligrosos o de subproductos tóxicos tales como las emisiones de trazas de sustancias orgánicas y ciertos metales peligrosos.

El interés por los subproductos de la incineración es impulsado por la preocupación acerca del aumento de la degradación del medio ambiente y la protección a largo plazo de la salud humana, inclusive en el caso de los humanos expuestos a largo plazo a niveles bajos de diversos agentes tóxicos, y la percepción pública de que los productos químicos (sub productos) plantean riesgos innecesarios para los seres humanos y el medio ambiente.

La incineración de combustibles o residuos tiene como fin a la destrucción de la materia orgánica del material y la formación de las principales especies de productos (CO₂ y H₂O), así como otros productos importantes, tales como HCl cuando se queman los hidrocarburos clorados.

¹ <http://www.gaialibrary.org/content/la-puerta-de-atras-de-la-incineracion-analisis-economico-y-ambiental-del-uso-de-combustible>

La preocupación se centra en la presencia de subproductos formados en el proceso de combustión, o en etapas de proceso posteriores al escape por la chimenea. No todas las emisiones de combustión son los mismos. Algunos de estos compuestos han sido identificados como posibles carcinógenos humanos o están asociados con otros efectos graves para la salud. Estos compuestos pueden estar presentes en la corriente de escape de cualquier tipo de dispositivo de combustión (motor de combustión interna, la caldera, incinerador de desechos peligrosos, etc) dependiendo de la materia prima, el proceso de combustión y el proceso de control de emisiones. Mientras los subproductos tóxicos pueden ser emitidos en prácticamente cualquier sistema de combustión, gran parte de la preocupación ha surgido en torno a la utilización de la incineración para destruir los residuos industriales y hospitalarios.

El material particulado es uno de los contaminantes generados como subproducto en los procesos de incineración y es considerado como uno de los mayores problemas en la salud humana, además de ser considerado el medio para el transporte y formación de otros tóxicos como las dioxinas y furanos, como lo indica “Los mecanismos de formación de las dioxinas en los procesos térmicos están relacionados con la generación de material particulado. Estudios realizados demuestran que las dioxinas se forman en zonas de post-combustión, a temperaturas de 200 y 400 °C, a través de reacciones catalíticas heterogéneas que ocurren entre el gas de salida y las cenizas presentes. La formación de las PCDD/F está controlada por mecanismos cinéticos más que por equilibrios termodinámicos”, lo que justifica como necesario para realizar una evaluación comparativa en búsqueda de identificar el sistema de control de emisiones de material particulado, que retenga mayor cantidad de particulado y verificar las características de tamaño de partícula en la incineración de residuos peligrosos

1. GENERALIDADES

La destrucción o degradación de los residuos, puede distinguirse entre procesos no oxidativos como los microbiológicos, la dehalación reductiva y las microondas, y los procesos oxidativos de *tratamiento térmico*, que tienen por objetivo común la eliminación del carácter peligroso del residuo mediante el empleo de temperaturas suficientemente altas. Entre estos procesos se encuentran:

Incineración: Destrucción de los contaminantes orgánicos de un residuo por combustión en atmósfera oxidante a altas temperaturas. El resultado es la conversión del residuo en otro material de menor volumen y peligrosidad (cenizas y escorias).

Pirólisis: Proceso térmico de ruptura molecular de los contaminantes orgánicos del residuo, en ausencia de aire, y su recombinación en otros más simples.

- **Vitrificación:** Tratamiento térmico de residuos formados mayoritariamente por constituyentes inorgánicos de elevada peligrosidad. La materia orgánica presente en el residuo se destruye vía pirólisis y combustión. El resultado final es un método de inmovilización de residuos (solidificación / inertización).
- **Desorción térmica:** Eliminación de constituyentes orgánicos peligrosos volátiles y semi-volátiles del residuo, vía evaporación por arrastre con aire caliente o vapor de agua. Esta técnica no conduce a la destrucción de los contaminantes orgánicos, sino su transferencia a la fase gaseosa, que será posteriormente tratada antes de su emisión a la atmósfera.
- **Gasificación:** Tratamiento térmico en atmósfera pobre de oxígeno.

- Oxidación catalítica en húmedo u Oxidación húmeda: Detoxificación de sustancias disueltas en agua por oxidación con oxígeno, a altas temperaturas.
- Y otros no térmicos como la: Ozonización, Descomposición fotoquímica, Oxidación química, Oxidación electroquímica.

1.1 CONCEPTOS DE COMBUSTION²

La combustión es un proceso químico de liberación de energía (exotérmico) donde una sustancia o una mezcla de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, llamadas combustibles reaccionan con el oxígeno. Se caracteriza por la formación de una llama incandescente, que es la masa gaseosa incandescente que emite luz y calor, que está en contacto con la sustancia combustible.

La reacción de combustión puede llevarse a cabo directamente con el oxígeno o bien con una mezcla de sustancias que contengan oxígeno, llamada comburente, siendo el aire atmosférico el comburente más habitual.

La reacción del combustible con el oxígeno origina sustancias gaseosas entre las cuales las más comunes son CO₂ y H₂O. Se denominan en forma genérica productos, humos o gases de combustión. Es importante destacar que el combustible solo reacciona con el oxígeno y no con el nitrógeno o con el resto de gases de composición del aire. Por lo tanto el nitrógeno del aire pasará íntegramente a los productos de combustión sin reaccionar.

Entre las sustancias más comunes que se pueden encontrar en los productos o humos de la reacción se encuentran:

² RANDALL SEEKER Wm; KOSHLAND Catherine. comps. Incineration of hazardous waste, Toxic combustion by products, 1992.

- CO_2
- H_2O como vapor de agua
- N_2
- O_2
- CO
- H_2
- Carbono en forma de hollín
- SO_2

De acuerdo a como se produzcan las reacciones de combustión, estas pueden ser de distintos tipos:

1.1.1 Combustión completa. Ocurre cuando las sustancias combustibles reaccionan hasta el máximo grado posible de oxidación. En este caso no habrá presencia de sustancias combustibles en los productos o humos de la reacción.

1.1.2 Combustión incompleta. Se produce cuando no se alcanza el grado máximo de oxidación y hay presencia de sustancias combustibles en los gases o humos de la reacción.

1.1.3 Combustión estequiométrica o teórica. Es la combustión que se lleva a cabo con la cantidad mínima de aire para que no existan sustancias combustibles en los gases de reacción. En este tipo de combustión no hay presencia de oxígeno en los humos, debido a que este se ha empleado íntegramente en la reacción.

1.1.4 Combustión con exceso de aire Es la reacción que se produce con una cantidad de aire superior al mínimo necesario. Cuando se utiliza un exceso de aire, la combustión tiende a no producir sustancias combustibles en los gases de reacción. En este tipo de combustión es típica la presencia de oxígeno en los gases de combustión.

La razón por la cual se utiliza normalmente un exceso de aire es hacer reaccionar completamente el combustible disponible en el proceso.

1.1.5 Combustión con defecto de aire Es la reacción que se produce con una menor cantidad de aire que el mínimo necesario. En este tipo de reacción es característica la presencia de sustancias combustibles en los gases o humos de reacción.

1.2 COMBUSTIBLES

1.2.1 Clasificación. Podemos clasificar a los combustibles según su origen en comerciales y especiales.

1.2.1.1 Combustibles comerciales

Naturales o primarios

- Sólidos
 - Carbón, madera, biomasa
 - Algunos metales (costo muy elevado)
 - Uranio (elemento radiactivo que genera la fisión en un reactor nuclear)

- Líquidos

- Petróleo y sus derivados

- Gases

- Gas natural
 - Gas licuado de petróleo (GLP)

Artificiales o secundarios

- Sólidos
 - Coque (destilado de carbón de hulla)
 - Carbón vegetal (destilado de la madera a 250°C)
 - Aglomerado de hulla
 - Biomasa residual (basura y residuos urbanos, estiércol, etc)
- Líquidos
 - Alcoholes (destilados de la biomasa)
 - Aceites de nafta y benzol (destilados de petróleo)
- Gaseosos
 - Destilados de madera
 - Destilados de la hulla
 - Destilados de naftas de petróleo

1.2.1.2 Combustibles especiales. Este tipo de combustibles generalmente se utilizan para impulsar cohetes o en usos militares.

- Líquidos
 - H₂ líquido + O₂ líquido
 - Kerosene + O₂ líquido
 - Dimetilhidracina [NH₂-N(CH₃)₂] + N₂O₄
- Sólidos
 - Perclorato amónico (NH₄ClO₄)
 - Pólvora (NaNO₃ o KNO₃,+ S + C)

Se denomina combustible fósil al que proviene de restos orgánicos vegetales y animales y se extrae de la naturaleza. Ellos son el carbón, el petróleo y el gas natural. El petróleo es un combustible pero generalmente no se lo utiliza como tal directamente, sino que se lo caracteriza como una excelente materia prima para obtener, mediante su refinación y tratamiento, otras sustancias de mayor importancia industrial como los gases licuados de petróleo (GLP), naftas, gas-oil, fuel-oíl, y otros productos.

1.2.2 Propiedades de los combustibles. Las propiedades más características de un combustible son las siguientes:

1.2.2.1 Composición. Conocer la composición de un combustible es muy importante para poder determinar los parámetros característicos estequiométrico de la reacción de combustión y conocer si en el existen sustancias que puedan tener importancia posterior en cuanto a la contaminación o nocividad de los productos de reacción.

La forma más común de indicar la composición de un combustible gaseoso es como porcentaje en volumen de cada uno de sus componentes en condiciones normales.

1.2.2.2 Poder Calorífico. El poder calorífico (PC) de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad empleada de combustible (Kg , Kmol , m³).

De acuerdo a como se expresa el estado del agua en los productos de reacción se puede dividir en:

1.2.2.3 Poder calorífico Superior (PCS). Expresa la cantidad de calor que se desprende en la reacción completa de la unidad de combustible con el agua de los humos en forma líquida a 0 °C y 1 atm.

1.2.2.4 Poder calorífico Inferior (PCI). Expresa la cantidad de calor que se desprende en la reacción completa de la unidad de combustible con el agua de los humos en estado de vapor.

1.2.2.5 Viscosidad. La viscosidad tiene gran importancia en los combustibles líquidos a efectos de su almacenamiento y transporte. Su determinación es experimental y los valores típicos se encuentran tabulados para los distintos combustibles industriales líquidos.

1.2.2.6 Densidad. Generalmente se determina experimentalmente y para el caso de los combustibles gaseosos se utiliza la densidad relativa al aire. En la práctica es muy importante conocer este parámetro para saber si el gas combustible se acumula en el techo o en el suelo, en caso de una fuga en un local cerrado.

La densidad absoluta del aire en condiciones normales es de 1,293 kg/m³. Para los combustibles líquidos, en forma aproximada se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = 250 + 9,13 mC + mH \text{ expresada en kg / m}^3 \text{ a } 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Donde mC y mH son las masas respectivas de carbono e hidrógeno.

También es muy frecuente emplear una unidad convencional llamada “G” que se mide en °API y se calcula como

$$G = \frac{141,5}{\text{Densidad}} - 131,5 \text{ con la densidad en kg/ m}^3$$

1.2.2.7 Limite de inflamabilidad. Esta propiedad es característica a los combustibles gaseosos y establece la proporción de gas y aire necesaria para que se produzca la combustión, indicando un límite superior y uno inferior.

Ejemplo:

PROPANO Límite inferior: 2,4 % Límite superior: 9,5 %

1.2.2.8 Punto de inflamación. Para que una reacción de combustión se produzca, la mezcla de combustible y comburente debe alcanzar una temperatura mínima necesaria, que recibe el nombre de punto de inflamación.

El punto de inflamación depende del comburente, por lo que su valor no es el mismo si se utiliza oxígeno o aire.

Una vez iniciada la reacción, el calor mantendrá la temperatura por encima de la inflamación y la reacción continuara hasta agotarse el combustible.

Otra temperatura importante es la temperatura de combustión o de llama máxima, que se alcanza en la combustión. En la bibliografía específica estos valores se encuentran tabulados:

Tabla 1. Punto de inflamación del butano

		Temperatura de inflamacion	Temperatura de combustion
BUTANO	en aire	420°C	1960°C
	en oxigeno	280°C	2790°C

1.3 COMBURENTES

1.3.1 Aire: El comburente es el agente que aporta el oxígeno a una reacción de combustión y la fuente más usual y económica de oxígeno disponible es el aire.

Si dos reactivos participan en una reacción y uno de ellos es considerablemente más costoso que el otro, es muy común que el reactivo más económico se utilice en exceso con respecto al reactivo más caro. Esto se justifica a efecto de aumentar la conversión del reactivo más caro a expensas del costo del reactivo en exceso. En consecuencia, como el reactivo más económico es el aire, que además es gratis, las reacciones de combustión se realizan invariablemente con más aire del que se necesita, para asegurarse en proporcionar oxígeno en cantidad estequiométrica al combustible.

1.3.2 Propiedades y definiciones. En el manejo de las ecuaciones de reacciones de combustión generalmente se emplean algunos conceptos importantes a saber:

1.3.2.1 Aire teórico o requerido. Es la cantidad de aire que contiene el oxígeno teórico

1.3.2.2 Oxígeno teórico. Son las moles (para un proceso intermitente) o la velocidad de flujo molar (para un proceso continuo) de oxígeno que se necesitan para efectuar la combustión completa del combustible en el reactor, suponiendo que todo el carbono del combustible se oxida para formar CO_2 y todo el H_2 se oxida para formar H_2O .

1.3.2.3 Exceso de aire. Es la cantidad de aire en exceso con respecto al teórico o requerido para una combustión completa.

Para su cálculo pueden emplearse las siguientes expresiones equivalentes:

$$\% \text{ de exceso de aire} = \frac{\text{O}_2 \text{ que entra al proceso} - \text{O}_2 \text{ requerido}}{\text{O}_2 \text{ requerido}} \times 100$$

$$\% \text{ de exceso de aire} = \frac{\text{O}_2 \text{ de exceso}}{\text{O}_2 \text{ de entrada} - \text{O}_2 \text{ de exceso}} \times 100$$

Para los cálculos de aire teórico y aire en exceso deben tenerse en claro los siguientes conceptos:

a) El aire teórico requerido para quemar una cierta cantidad de combustible no depende de la cantidad que realmente se quema. El combustible puede reaccionar parcialmente y puede quemarse parcialmente para formar CO y CO₂ pero el aire teórico es aquel que se requeriría para reaccionar con todo el combustible para formar solo CO₂.

b) El valor del porcentaje de aire en exceso depende solo del aire teórico y de la velocidad de alimentación de aire y no de cuanto O₂ se consume en el reactor o bien de que la combustión sea completa o parcial.

1.3.3 Composición del aire

Tabla 2: Composición porcentual del aire

Componente	%en volumen	Usual	% en peso	Usual
Nitrógeno	78.03	79	75.45	76
Oxígeno	20.99	21	23.20	23.2
Argón	0.94		1.30	
CO ₂	0.03		0.05	
Gases varios	0.01			
Peso molecular	Kg / Kgmol		28,967	29

En la mayoría de los cálculos de combustión es aceptable utilizar esta composición simplificada a 79 % de N_2 y 21 % de O_2 en base molar.

Así un Kmol de aire contiene 0,21 Kmol de oxígeno y 0,79 Kmol de nitrógeno, siendo la relación de $79/21 = 3,76$ Kmol de N_2 / Kmol de O_2 o también puede expresarse como la cantidad de 4,76 Kmol de aire / Kmol de oxígeno que equivale a la cantidad de aire necesaria para contener 1 Kmol de oxígeno.

En términos de composiciones de masa o kilogramos, estas cantidades son diferentes: 1 kg de aire contiene 0,233 kg. de oxígeno y 0,766 kg. de nitrógeno y la cantidad de aire necesaria para contener 1 kg. de oxígeno es de 4,292 kg. de aire.

1.3.3.1 Composición en base seca o Análisis de Orsat: Es la composición de todos los gases que resultan del proceso de combustión sin incluir el vapor de agua.

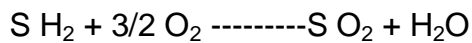
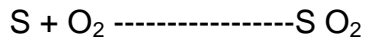
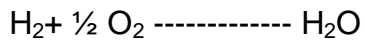
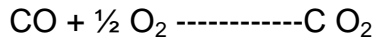
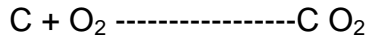
1.3.3.2 Composición en base húmeda: Es la composición de todos los gases que resultan del proceso de combustión incluyendo el vapor de agua.

La composición expresada mediante el Análisis de Orsat hace referencia a un tipo de aparato de análisis de gases denominado Orsat en el que los volúmenes de los gases respectivos se miden sobre y en equilibrio con agua.

1.4 TIPOS DE COMBUSTION

1.4.1 Combustión completa. En la combustión completa se queman las sustancias combustibles del combustible hasta el máximo grado posible de oxidación. En este tipo de reacción no se encontraran sustancias combustibles en los humos o gases de combustión.

Las reacciones químicas que se utilizan en el estudio de las combustiones técnicas tanto si se emplea aire u oxígeno, son muy sencillas y las principales son:



Estas reacciones corresponden a reacciones completas de sustancias que pueden pertenecer a un combustible gaseoso, líquido o sólido y se expresan para 1 mol o 1 Kmol de sustancia combustible.

También es muy común realizar otros cálculos estequiométrico definiendo distintas relaciones a saber:

Composición de humos secos

Composición de humos húmedos

Kg de aire / Kg de combustible

Kmol de aire / Kmol de combustible

Kg de humos secos / Kg de combustible

Kg de humos húmedos / Kg de combustible

Todas estas relaciones se utilizan para efectuar un balance másico completo de una reacción de combustión.

1.5 GASES DE COMBUSTION³

³ CASTELLS ELIAS, Xavier; CREMADES V, Lazaro. Tratamiento y acondicionamiento de gases: Tratamiento y valorización, 2012, ISBN 978-84-7978-694-6 Cap. 13, pag. 882-890

Dentro de los procesos de combustión se generan una serie de productos secundarios.

En las instalaciones industriales, las estrategias de control que permiten reducir o eliminar las emisiones de contaminantes atmosféricos pueden clasificarse en tres categorías, las cuales, de menor a mayor eficacia desde el punto de vista de la prevención de la contaminación atmosférica son los siguientes:

1. Dispersión de contaminantes emitidos
2. Uso de dispositivos de control
3. Evitar las emisiones de los contaminantes.

La primera estrategia, que es la más antigua históricamente, tiene como objetivo transportar los contaminantes tan lejos como sea posible de la fuente generadora, diluyéndolos a lo máximo posible. La legislación colombiana prohíbe este tipo de actividad.

El uso de dispositivos de control, persigue eliminar, aunque sea parcialmente, los contaminantes una vez formados de los gases de salida de los procesos antes de ser emitidos a la atmósfera. Los contaminantes una vez separados de la corriente de los gases, se llevan a otro medio, normalmente sólido o líquido, donde son tratados más fácilmente que en estado gaseoso. Este tratamiento es el actualmente propuesto por la legislación y es el usado por la empresa de incineración en cuestión.

La tercera estrategia consiste en encontrar procesos alternativos al empleado a fin de obtener los productos deseados sin que se genere ningún contaminante atmosférico. En principio, desde el punto de vista ambiental, esta es la mejor

estrategia posible, pero los procesos alternativos deben ser competitivos económicamente.

La forma ambientalmente más adecuada de proceder es modificar el proceso de origen. Esto puede implicar un replanteamiento del proceso de producción que puede llevar a la sustitución de las materias primas y a una mejora de los métodos de control de proceso sin embargo cuando no es posible, se han de aplicar las técnicas de depuración adecuadas para el control de la emisiones, pese a su elevado coste.

La legislación nacional ha generado una normatividad basada en la segunda estrategia, es decir, las técnicas de control de los contaminantes una vez producidos en los procesos industriales y antes de ser emitidos por la chimenea. Para ser cumplida implica realizar el montaje de una serie de equipos además de control de variables que garanticen una correcta gestión de los residuos y la minimización de sus impactos al ambiente.

Son varias las técnicas utilizadas en la depuración de los contaminantes atmosféricos. La mayoría son técnicas desarrolladas en procesos de la industria química, sedimentadores, filtros, lavadoras, etc., y otros han sido desarrollados como tecnología específicamente para un proceso para lograr cumplir con las exigencias ambientales.

Existe un gran número de factores a considerar antes de elegir el equipo de depuración más adecuado para resolver un problema particular de contaminación atmosférica.

Factores ambientales

Localización del equipo

Disponibilidad de espacio

Condiciones ambientales
Máximo nivel de emisión permitido
Consideraciones estéticas
Generación de residuos sólidos o líquidos por los sistemas de control
Nivel de ruido generado
Factores Técnicos
Características físico químicas del contaminante
Características de la corriente gaseosa
Características de diseño
Factores económicos
Costos de la inversión
Costos de funcionamiento
Vida útil de equipo y valor residual.

Es importante considerar si la tecnología a usar es por vía seca por vía húmeda, si se han de tratar simultáneamente o por separado.

Todo problema de contaminación atmosférica debe comenzar por conocer perfectamente la naturaleza y la cantidad de los contaminantes presentes en los gases de salida, lo cual se realiza mediante muestreos y posterior análisis de las muestras. Los arranques, paradas y posibles fluctuaciones del caudal de los gases y de la carga contaminante también se pueden tener en cuenta. Los materiales de construcción de los equipos de control deben seleccionarse de acuerdo a los valores de temperatura, corrosión y abrasión esperados. Los aspectos de seguridad también representan otro punto muy importante a considerar.

De forma general se pueden clasificar los contaminantes emitidos al atmosfera en dos grandes grupos.

Material particulado

Materia gaseosa

1.5 CONTAMINANTES EN FORMA DE PARTICULAS

Son sustancias, a excepción de agua pura, presente en la atmosfera en estado sólido o liquido en condiciones normales y cuyo tamaño es superior a las dimensiones moleculares.

El tamaño es una de las principales características que definen una partícula. Ya que generalmente las partículas no son esféricas, para medir su tamaño se emplea un diámetro equivalente, el cual puede ser:

Diámetro de Stokes: es el diámetro de una esfera de la misma densidad que la de la partícula y que tiene la misma velocidad terminal de sedimentación.

Diámetro aerodinámico: diámetro de una esfera con densidad unitaria(densidad del agua) que se sedimenta en aire quieto a la misma velocidad que la partícula en cuestión

Diámetro de superficie: diámetro de una esfera que tiene la misma área superficial externa que la partícula.

Diámetro de volumen: diámetro de una esfera que tiene el mismo volumen que la partícula.

Diámetro de área: diámetro de un círculo que tiene la misma área que el proyectado por la partícula.

Diámetro de arrastre: diámetro de una esfera que presenta la misma resistencia al movimiento que la partícula en un fluido con la misma viscosidad y a la misma velocidad.

Suele utilizarse como diámetro de partícula, por facilidad el diámetro aerodinámico.

Según su tamaño se puede hacer una primera clasificación, dependiendo de su facilidad en permanecer en el aire (partículas en suspensión) o su tendencia a depositarse en la superficie (partículas sedimentables):

Partículas sedimentables: diámetro superior a 100 μm

Partículas en suspensión: diámetro inferior a 100 μm

Desde el punto de vista físico, se pueden distinguir dos clases de partículas:

Las partículas de origen mecánico (polvos): se obtienen por la desintegración de la materia sólida (molienda, trituración). Normalmente tienen un tamaño de partícula superior a 5 μm , lo cual las hace más fácil de captar en los sistemas de control convencionales.

Partículas de origen químico o térmico (humos). Se denominan submicrónicas porque tienen un tamaño inferior a 1 μm

Tras haberse formado, estas partículas pueden aglomerarse entre ellas mediante diversos fenómenos como:

La agitación debido al movimiento Browniano: por efecto de la temperatura, las moléculas gaseosas chocan con las partículas y confieren a los más finos, movimientos aleatorios que favorecen su encuentro. Entre más concentración de partículas y mayor temperatura del gas que las rodea se aumenta este efecto.

Las cargas eléctricas que aparecen en forma natural o que son inducidas generan fenómenos de atracción.

La turbulencia del caudal del gas.

1.6 CONTAMINANTES GASEOSOS

Pueden ser más impactantes para el medio ambiente que las partículas, ya que son completamente miscibles en el aire y pueden ser transportados a grandes distancias por los fenómenos meteorológicos.

Los contaminantes más estudiados son:

Los compuestos inorgánicos de azufre(SO_2 y H_2S)

Los compuestos inorgánicos de nitrógeno(NO y NH_3)

El monóxido de carbono (CO) que es un gas toxico, producido en la combustión incompleta.

Los halógenos y haluros (Cl_2 , F_2 , HCl y HF) normalmente emitidos en su forma acida HF y HCl .

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) que incluyen normalmente todos los compuestos orgánicos de menos de 5 carbonos y que se oxidan acetonas, aldehídos y ácidos.

1.7 EMISIONES E INMISIONES

Emisión es la cantidad de contaminante vertido a la atmósfera en un período determinado desde un foco, mientras que la inmisión es la concentración de contaminantes a nivel del suelo. Hoy se emplea más el término calidad de aire.

Los niveles de inmisión o de calidad del aire determinan el efecto de un contaminante sobre la salud o el medio ambiente. Además, la cantidad de contaminantes en la atmósfera vendrá determinada por la diferencia entre los emitidos y producidos en la misma y los que se eliminan a través de los procesos de autodepuración por deposición, precipitación y absorción por el suelo, el agua y la vegetación. Por lo tanto, para minimizar la contaminación atmosférica es necesario controlar tanto las emisiones atmosféricas (niveles de emisión) como la presencia de los contaminantes en el aire en distintos puntos receptores (niveles de inmisión).

2. DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES Y DE LOS COMPONENTES

En la planta de incineración se optó por un conjunto de dispositivos de control diferentes, ubicados en serie.

Es de aclarar que el desarrollo, montaje y aplicación de estos han sido propios de la compañía aprovechando la experiencia del personal de ingenieros y técnico que hace parte de esta, por lo cual no se generan datos técnicos ni marcas comerciales de referencia, ya que han sido calculados y adaptados para las necesidades propias del proceso

En la actualidad la empresa de incineración de residuos peligrosos donde se desarrolló el proyecto, cuenta con dos sistemas de control de emisiones que buscan dar cumplimiento a la norma sobre emisiones de contaminantes de fuentes fijas.

El horno está calculado y construido para obtener un rendimiento de 300 Kg/h con un sistema de rotación variable desde 0 a 4 rpm.

Capacidad: 4.000.000 BTU/h

El Horno incinerador posee una cámara de combustión y consecutivo una cámara de post combustión de capacidad de 9m³, calculada para retener los gases a mínimo dos segundos a temperaturas mayores a 1000°C. En la primera cámara se alojan los desechos sólidos, los cuales se pirolizan o combustionan en deficiencia de oxígeno, y en la segunda cámara se queman los humos y gases volátiles en presencia de un exceso de oxígeno. La cámara primaria opera con bajas velocidades de gas y a controladas condiciones de temperatura.

Los humos de combustión generados pasan a la segunda cámara a través de una zona de mezclado turbulento donde la ignición tiene lugar. En esta cámara se suministra el aire adicional, el cual asegura la total combustión de los inquemados.

2.1 SISTEMAS DE CONTROL Y TRATAMIENTO

Los gases una vez se han generado en el horno deben ser tratados para producir el menor efecto negativo a la atmosfera. Existen varios sistemas de tratamiento.

- 1- Por vía húmeda.
- 2- Por vía Seca.

La planta de incineración posee los sistemas de tratamiento por vía húmeda y vía seca con los siguientes equipos:

Para el tratamiento por vía húmeda se tiene un cámara de sedimentación por gravedad, enfriador de flujo cruzado directo de agua contra gases, un enfriador seco o decantador, una torre de lavado y una chimenea con estación de monitoreo continuo.

Para el tratamiento por vía seca se tiene un enfriador con recuperador de calor, un ciclón o sedimentador ciclónico, venturi para la inyección de carbón activo y agente neutralizante, filtro de mangas, ventilador de tiro inducido, chimenea con estación de monitoreo continuo.

2.1.1 Sistema de control por vía húmeda

2.1.1.1 Cámara horizontal de sedimentación por gravedad. Los gases totalmente quemados después de su paso por la cámara de postcombustión,

ingresan y al reducir su velocidad y encontrar barreros se inicia un proceso de sedimentación por gravedad donde se retiene parte del material particulado arrastrado por la corriente de gases de combustión.

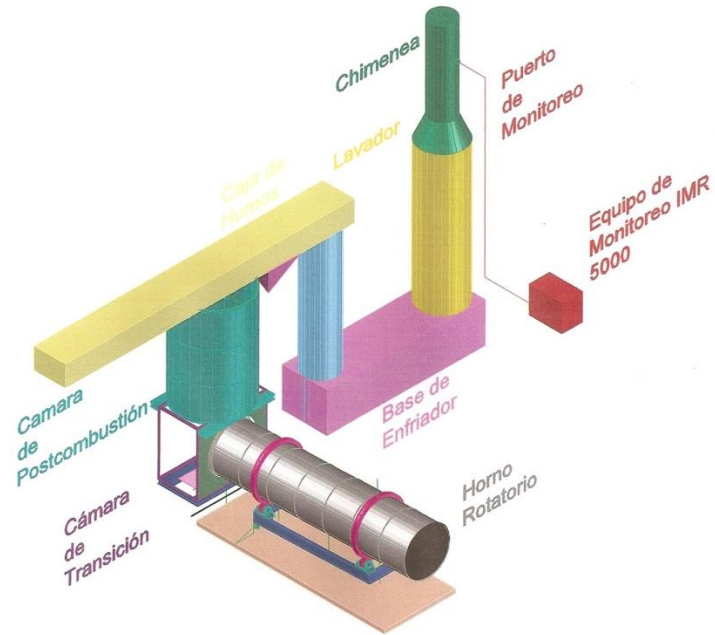
2.1.1.2 Cámara de enfriamiento. Los gases de producto de la combustión pasan a un enfriador húmedo para lograr la eliminación de Dioxinas y Furanos. Este proceso de enfriamiento debe hacerse de manera rápida para que NO se dé tiempo de la regeneración de las Dioxinas y Furanos. El enfriamiento se hace en una cámara ubicada sobre la cámara de sedimentación por gravedad con inyección de agua con agente neutralizante.

2.1.1.3 Enfriador seco: Cámara de sedimentación vertical. La parte final de la cámara vertical de sedimentación por gravedad se conecta con una torre vertical de enfriamiento denominado enfriador seco, en esta torre no se inyecta agua pero nuevamente funciona como una segunda cámara de sedimentación, en este caso vertical, en donde se continua reteniendo material particulado y además los gases pierden energía por el cambio de volumen.

2.1.1.4 Base del enfriador. El enfriador seco se apoya sobre una cámara horizontal que conecta el enfriador con la torre de lavado. Esta cámara tiene la puerta de inspección y por esta se logra el acceso al lavador y al enfriador seco, es una puerta para hacer el mantenimiento periódico a estas torres.

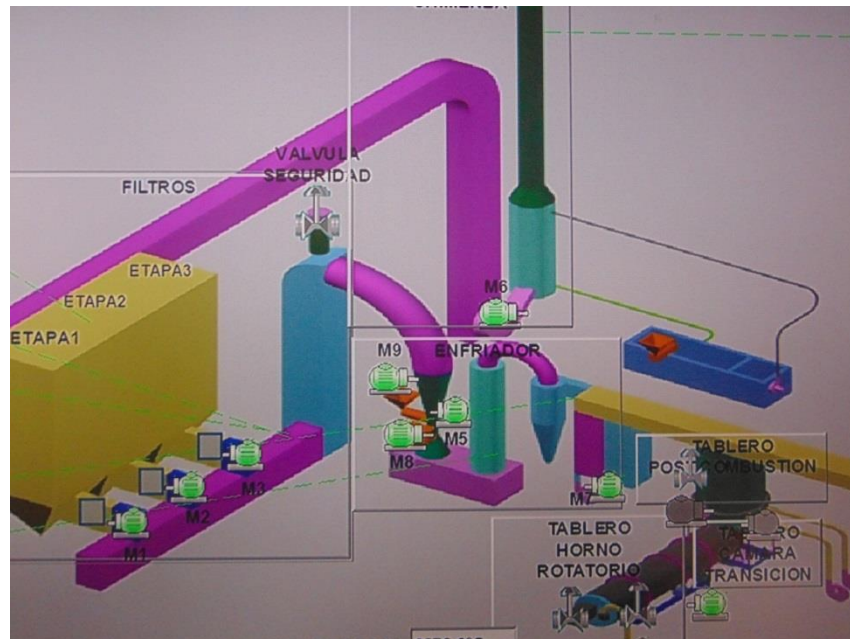
2.1.1.5 Cámara de lavado.- Scrubber. A través de la base del enfriador los gases pasan a la torre de lavado donde los vapores ácidos se neutralizan por medio de la inyección a contracorriente de una lechada de agente neutralizante, con pH básico (entre 8-10) que neutraliza los gases ácidos provenientes del proceso de incineración.

Figura 1. Esquema sistema de control vía húmeda



2.1.2 Sistema de control vía seca

Figura 2. Esquema sistema de control vía seca



2.1.2.1 Recuperador de calor. El sistema pretende robar la mayor cantidad de energía calorífica para después ser aprovechada en otros procesos, haciendo fluir un aceite térmico por un enrollamiento. Además, el objetivo es iniciar un enfriamiento rápido alrededor de un 60%.de la temperatura de salida de la cámara de postcombustión.

2.1.2.2 Cámara de sedimentación vertical. Inmediatamente después del recuperador de calor, los gases pasan a una cámara donde aumenta el volumen creando una baja en la velocidad y haciendo que precipiten por gravedad material particulado de gran tamaño.

2.1.2.3 Separador ciclónico (ciclón). Los gases de combustión cargados de polvos atraviesan tangencialmente en una cámara cónica y salen por el centro, después de un proceso de aceleración centrífuga, donde se deposita y evacua en la parte inferior el material particulado.

2.1.2.4 Venturi. Este sistema se utiliza para dosificar el agente neutralizante que pretende reaccionar con los gases ácidos generados en la combustión.

2.1.2.5 Plenum de mezcla. Es un ducto calculado para que los gases se desaceleren y tengan el tiempo suficiente de contacto con los agentes neutralizantes y se cumpla la reacción química deseada.

2.1.2.6 Filtro de mangas. Este sistema de separación de polvos y nieblas, termina de retirar todo aquel material particulado que no fue posible remover en todos los sistemas anteriores, normalmente por el tamaño de partícula tan pequeño.

Consta de tres módulos independientes con sistemas de control y limpieza automáticos que permiten un funcionamiento continuo del equipo.

2.1.2.7 Lavador de gases (SCRUBBER). Los gases purificados después de pasar por las mangas, continúan su paso hacia la chimenea, donde son lavados por una corriente de agua neutralizada, que pretende terminar de controlar el material particulado que hubiera podido ser capaz de atravesar el filtro y adicionalmente genera una reacción con los gases ácidos que no fueron controlados en los sistemas de neutralización anteriores.

El sistema de lavado consta de un tanque de neutralización de agua ubicado bajo nivel del piso de la torre de lavado, a este tanque llega el agua por gravedad desde la torre de lavado, arrastrando material sedimentado. En unas de las cámaras del tanque de neutralización se conecta la bomba que sube el agua hasta los aspersores ubicados en la parte superior de la torre de lavado, la lechada del neutralizante se recircula y continuamente se repone el agua de evaporación y se controla automáticamente el pH.

Figura 3. Ficha Técnica filtro de mangas

Fuente: GORE® FILTRATION

<p>Tejido de fibra de vidrio con ácido-resistente Acabado 6220 Expanded PTFE Membrana de tejido de fibra de vidrio con acabado resistente a los ácidos</p>	
Fibra	Fibra de vidrio
Tipo de hilo de urdimbre	75 1/0
Tipo del hilado de relleno	150 1/0 filamento y 50 1/0 Tex / Ply
Finish (Base Tela)	Resistente a los ácidos
Peso (Nominal)	10,0 oz / yd ² 339 g / m ²
Modelo de la armadura	1 x 3 RH Sarga
Número de hilos	54 x 30 (Warp x Fill)
Permeabilidad al aire (Promedio)	6,5 cfm / ft ² @ 0.5 "WG 3,1 (m ³ / min / m ² a 20 mm ca)
Continuo Temperatura de Servicio	500 ° F 260 ° C
Fuerza Mullen Burst	600 psi 4.137 kilopascales
Rotura Urdimbre	350 Lbf / 1 "tira cortada modificado 1557 N/2.54 cm tira cortada modificado
Resistencia a la rotura de relleno	250 Lbf / 1 "tira cortada modificado 1112 N/2.54 cm tira cortada modificado

3. EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO GENERADOS EN LA INCINERACION DE RESIDUOS PELIGROSOS

De acuerdo a la alimentación de dietas de incineración estandarizadas, las cuales han sido desarrollos propios de la compañía y que solo aplican para las condiciones del sistema de incineración montado en la Planta en cuestión, se evalúa durante dos periodos, uno para el sistema de control vía húmeda y otro para el sistema de control vía seca. Al final de cada periodo se realizó revisión de captación de material particulado generado durante la incineración en cada uno de los dos sistemas de control descritos, revisando comparativamente la cantidad captada con respecto a las cantidades alimentadas, y posteriormente se hace una caracterización de distribución de tamaño de partícula por medio de tamizaje con una serie de tamices de malla 30 hasta malla 500 con el fin de determinar las características del material captado en cada componente de los sistemas.

Tabla 3: Incineración realizada con Sistema de Control vía Húmeda

CAMPAÑA TREINTAICINCOAVA				
	TURNO			
	6:00 - 14:00	14:00 - 22:00	22:00 - 06:00	Promedio Turno dia (Kg)
Fecha	Kg cargados			
22/07/2013			1.129,00	1.129,00
23/07/2013	532,70	1.533,40	1.190,60	1.085,57
24/07/2013	1.156,50	1.534,60	671,20	1.120,77
25/07/2013	659,90	1.126,60	1.369,60	1.052,03
26/07/2013	604,50	40,00	0,00	214,83
27/07/2013	1.734,50	2.450,40	2.234,40	2.139,77
28/07/2013	1.478,80	2.016,40	1.863,60	1.786,27
29/07/2013	1.752,40	2.070,90	1.889,40	1.904,23

Tabla 3 Continuación

CAMPAÑA TREINTAICINCOAVA				
	TURNO			
	6:00 - 14:00	14:00 - 22:00	22:00 - 06:00	Promedio Turno dia (Kg)
Fecha	Kg cargados			
30/07/2013	2.281,40	2.302,30	1.899,60	2.161,10
31/07/2013	1.807,40	1.884,80	1.653,20	1.781,80
01/08/2013	4.186,60	2.235,50	2.238,40	2.886,83
02/08/2013	2.138,00	2.340,60	2.935,20	2.471,27
03/08/2013	1.999,50	2.048,90	2.568,20	3.308,30
04/08/2013	1.867,00	1.903,60	1.975,20	2.872,90
05/08/2013	1.483,80	1.657,90	1.840,20	1.660,63
06/08/2013	2.374,60	2.380,00	1.958,80	2.237,80
07/08/2013	2.085,00	2.758,90	2.061,30	2.301,73
08/08/2013	2.404,90	2.644,60	2.609,60	2.553,03
09/08/2013	1.657,60	2.248,60	2.388,10	2.098,10
10/08/2013	1.866,00	1.792,80	488,70	1.382,50
11/08/2013	1.783,40	1.548,80	1.876,70	1.736,30
12/08/2013	1.023,80	2.059,40	1.984,10	1.689,10
13/08/2013	1.120,60	2.510,40	1.759,60	1.796,87
14/08/2013	1.896,20	2.008,70	1.393,20	1.766,03
15/08/2013	2.012,00	1.903,40	1.941,10	1.952,17
16/08/2013	3.252,40	1.697,80	1.784,00	2.244,73
17/08/2013	1.866,80	1.049,20	0,00	1.458,00
Total turno	47.026,30	49.748,50	45.703,00	142.477,80
Promedio Turno	1.808,70	1.913,40	1.692,70	
Promedio hora	226,09	239,18	211,59	

Tabla 3: (Continua)

Total Kg Incinerados	142.477,80	UNIDAD
Total Hora laboradas	960	Horas
Horas Laboradas diurnas	640	
Horas laboradas Nocturnas	320	
Consumo Agua total Campaña (m ³)	45	m ³
Consumo total gas (Gal)	1207,5	Gal
Consumo total agente neutralizante(Kg)	1958	kg
% inquemados	6.5	%
CENIZA TANQUES	3380	Kg
CENIZA SEDIMENTADOR HORIZONTAL	1759	Kg
ESCORIAS HORNO	6205	Kg
CENIZA SEDIMENTADOR VERTICAL	890	Kg

Durante la incineración de residuos peligrosos en el periodo de julio y agosto se realizó alimentación tratando de mantener los kilogramos de acuerdo a la capacidad calculada del horno. Sin embargo por la variedad de condiciones operativas se observa en la Tabla 3, que los promedios por turno fueron bastante inestables en algunos casos sobrepasándolos.

Tabla 4. Resultados en muestreo isocinetico para material particulado vía húmeda

Material particulado – EPA 5 de 2013.07.28			
Parámetro	Resultado / valor		
	R-1	R-2	R-3
Concentración, mg / m ³ estándar	17.7	27.6	30.7
Concentración referencia, mg / R m ³	20.2	33.1	35.1
Rata emisión del muestreo, Kg / h	0,052	0,086	0,094

Fuente: Estudios isocinetico contratados

Tabla 5. Resultados composición gases emisión en muestreo isocinetico vía húmeda

Composición gases emisión - EPA 5 y 8 de 2013.07.28				
Parámetro	Resultado / valor			
	Preliminar	R-1	R-2	R-3
CO ₂ , %	7,2	6,8	6,4	6,0
O ₂ , %	10,8	12,4	12,8	12,4
CO, ppm		6	0	6
Contenido humedad Bws, %	26,7	16,4	17,0	17,9

Fuente: Estudios isocinetico contratados

Tabla 6. Características emisión muestreo isocinetico

Características emisión - EPA 5 y 8 de 2013.07.28				
Parámetro	Resultado / valor			
	Preliminar	R-1	R-2	R-3
Temperatura gases, °C	197	248	259	272
Velocidad gases, m / seg.	4.8	5,6	6,1	6,2
Caudal estándar, m ³ / min.	41	49	52	51
Volumen DGM estándar, m ³	0.919	1,048	0,926	0,918
Tiempo medición, minutos	60	60	60	60

Fuente: Estudios isocinetico contratados

Tabla 7. Parámetros de control según Resolución 909 / 2008 de MADTV

capacidad	Salida (°C)	Combustión	Poscombustión.		MP mg/m ³
> 500 kg/h ()	< 250 °C	>= 850 °C	>= 1200 °C	Prom. Diario	10
< 500 kg/h ()	< 250 °C	>= 800 °C	>= 1100 °C		15
< 600 kg/mes ()	< 250 °C	>= 750 °C	>= 1000 °C		NA
> 500 kg/h	Monitoreo Continuo			Prom. Horario	20
< 500 kg/h	Monitoreo Continuo				30
< 600 kg/mes	Monitoreo Isocinetico				80

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Resolución 909 (5 de junio de 2008) Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Diario

Oficial. Bogotá D.C., 2008: El Ministerio. 2008. Pag.21

Tabla 8: Incineración realizada con Sistema de Control Vía Seca

CAMPAÑA CUARENTENA				
	TURNO			
	6:00 - 14:00	14:00 - 22:00	22:00 - 06:00	Promedio Turno día (Kg)
Fecha	Kg cargados			
27/01/2014	0,00	770,20	1.876,20	1.323,20
28/01/2014	1.008,40	1.578,70	2.115,80	2.351,45
29/01/2014	1.281,00	1.901,20	1.908,00	1.696,73
30/01/2014	1.436,00	1.852,20	1.735,80	1.674,67
31/01/2014	1.313,60	1.881,80	1.958,00	1.717,80
01/02/2014	1.625,40	1.870,20	1.974,60	1.823,40
02/02/2014	1.862,40	1.575,40	1.583,80	1.673,87
03/02/2014	1.414,20	1.461,00	1.478,00	1.451,07
04/02/2014	1.874,40	1.981,40	2.117,80	1.991,20
05/02/2014	1.750,00	582,00	1.511,20	1.281,07
06/02/2014	1.016,20	336,00	2.199,40	1.183,87
07/02/2014	1.991,40	2.380,20	2.253,80	2.208,47
08/02/2014	1.716,60	2.291,40	2.150,20	2.052,73
09/02/2014	2.105,00	2.504,40	2.071,00	2.226,80
10/02/2014	2.367,00	1.784,80	1.759,20	1.970,33
11/02/2014	2.299,60	1.894,40	2.012,60	2.068,87
12/02/2014	2.393,20	1.705,80	1.853,00	1.984,00
13/02/2014	2.491,20	1.146,20	2.191,80	1.943,07
14/02/2014	2.368,20	1.793,40	2.208,20	2.123,27
15/02/2014	2.611,80	2.028,00	1.994,60	2.211,47
16/02/2014	3.076,60	1.915,00	1.954,80	2.315,47
17/02/2014	3.906,80	1.489,20	2.081,80	2.492,60
18/02/2014	2.047,80	2.310,20	1.989,00	2.115,67
19/02/2014	1.946,80	1.827,00	1.918,80	1.897,53
20/02/2014	70,00	2.030,20	2.100,70	1.400,30
21/02/2014	1.996,60	2.273,20	2.722,20	2.330,67
22/02/2014	2.584,00	0,00	0,00	2.584,00
Total turno	50.554,20	45.163,50	51.720,30	147.438,00
Promedio Turno	1.406,89	1.573,98	1.912,51	

Tabla 8 (Continua)

Total Kg Incinerados	147.438,00	UNIDAD
Total Horas laboradas	232	Horas
Horas Laboradas diurnas	160	
Horas lab Nocturnas	72	
Consumo Agua total Campaña (m ³)	10	m ³
Consumo total gas (Gal)	682,5	Gal
Consumo total Bicarbonato (Kg)	350	kg
% inquemados	4.5	%

CAJA SEDIMENTADORA VERTICAL	855	Kg
SEPARADOR CICLONICO	733	Kg
PLENUM DE MEZCLA	176	Kg
FILTRO DE MANGAS	5600	Kg

Fuente: Consolidado registros de proceso Planta de Incineración

Tabla 9. Material particulado captado

Material particulado captado Kg	Sistema de control via humeda Kg	Sistema de control via seca Kg
Caja sedimentadora horizontal	1759	
Camara sedimentadora vertical	890	
SCRUBBER/ TANQUES NEUTRALIZACION	3380	
Total	6029	
Caja sedimentadora vertical		855
Separador ciclonico		733
Plenum de mezcla		176
Filtro de mangas		5600
Total		7364

Fuente: Registros de control proceso Planta incineración

Figura 4.Material particulado captado en sedimentador Horizontal vía húmeda

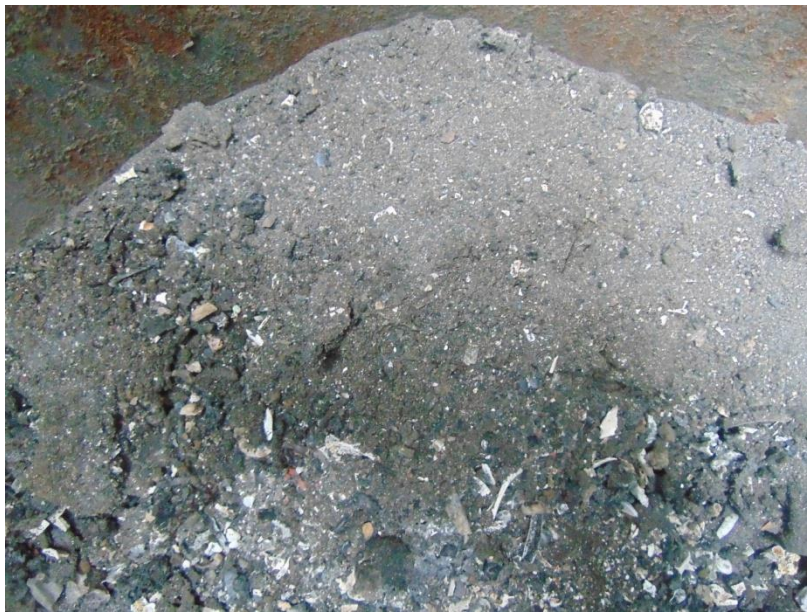


Figura 5. Material particulado captado en sedimentador vertical vía húmeda



Figura 6.Material particulado sedimentado captado en lavador (Scrubber) vía húmeda



Figura 7.Material particulado captado en sedimentador vertical vía seca



Figura 8.Material particulado captado en sedimentador ciclónico vía seca



Figura 9. Material particulado captado Plenum de mezcla vía seca



Figura 10. Material particulado captado en filtro de mangas vía seca



Después de verificar los kilogramos retenidos en cada sistema se procedieron a realizar por el METODO DE RETENCION POR TAMIZ, el cual es uno de los métodos más sencillos para medir el tamaño y distribución de partículas, el comportamiento del material particulado en cada sistema.

El procedimiento consistió en hacer pasar 100g del material a través de una serie de tamices Equivalentes Tyler circulares de cerca de 20 cm. de diámetro y 7 cm de altura; cada uno de diferente tamaño de poro organizado desde el más grande hasta el más pequeño de manera que uno encajara en el otro herméticamente para minimizar la pérdida de polvo. Se tuvo en cuenta que los tamices quedaran alineados en el mismo plano vertical. Los tamices se sometieron a vibración constante durante 10 minutos de manera que el material paso por todos los tamices y que al final de la prueba el material quedo disperso en diversas fracciones entre los tamices, en general los rangos de tamaños de los tamices utilizados se pueden observar en la Figura 11. Sin embargo para la prueba se

pueden utilizar tamices de menor abertura, pero por las características del material particulado presentaría dificultades para el método descrito (seco-ro-tap®), por lo cual sería necesario utilizar otra técnica húmeda, lavado directo, el cual no se realizó por disponibilidad tamices de menor tamaño.

Figura 11. Ficha Técnica tamices

AGITADOR DE TAMICES
VER PÁGINA ... 34

TAMIZ DE LATÓN (CRIBA) FORMA ALTA

Díámetro	200 mm
Altura Total	67 mm
Altura hasta la malla	51 mm

MARCA W.S. TYLER FABRICACIÓN E.U.A.

Clave	Modelo	Malla	U.S. STD	Abertura (mm)	Abertura (Pulgadas)
TYLER*4528	4528	7	7	2.8	0.111
TYLER*4529	4529	8	8	2.36	0.0937
TYLER*4530	4530	9	10	2.00	0.0787
TYLER*4531	4531	10	12	1.70	0.0661
TYLER*4532	4532	12	14	1.40	0.0555
TYLER*4533	4533	14	16	1.18	0.0469
TYLER*4534	4534	16	18	1.00	0.0394
TYLER*4535	4535	20	20	0.850	0.331
TYLER*4536	4536	24	25	0.710	0.0278
TYLER*4537	4537	28	30	0.600	0.0234
TYLER*4538	4538	32	35	0.500	0.0917
TYLER*4539	4539	36	40	0.425	0.0165
TYLER*4540	4540	42	45	0.355	0.0139
TYLER*4541	4541	48	50	0.300	0.0117
TYLER*4542	4542	60	60	0.250	0.0098
TYLER*4543	4543	65	70	0.212	0.0083
TYLER*4544	4544	80	80	0.180	0.0070
TYLER*4545	4545	100	100	0.150	0.0059
TYLER*4546	4546	115	120	0.125	0.0049
TYLER*4547	4547	150	140	0.106	0.0041
TYLER*4548	4548	170	170	0.090	0.0035
TYLER*4549	4549	200	200	0.075	0.0029
TYLER*4550	4550	250	230	0.063	0.0025

TAMIZ DE ACERO INOXIDABLE (CRIBA) FORMA ALTA

Díámetro	200 mm
Altura Total	67 mm
Altura hasta la malla	51 mm

MARCA W.S. TYLER FABRICACIÓN E.U.A.

Clave	Modelo	Malla	U.S. STD	Abertura (mm)	Abertura (Pulgadas)
TYLER*5191	5191	6	6	3.35	0.132
TYLER*5192	5192	7	7	2.80	0.111
TYLER*5193	5193	8	8	2.36	0.0937
TYLER*5194	5194	9	10	2.00	0.0787
TYLER*5195	5195	10	12	1.70	0.0661
TYLER*5200	5200	24	25	0.710	0.0278
TYLER*5201	5201	28	30	0.600	0.0234
TYLER*5205	5205	48	50	0.300	0.0117
TYLER*5206	5206	60	60	0.250	0.0098
TYLER*5207	5207	65	70	0.212	0.0083
TYLER*5209	5209	100	100	0.150	0.0059
TYLER*5211	5211	150	140	0.106	0.0041
TYLER*5213	5213	200	200	0.075	0.0029
TYLER*5215	5215	270	270	0.053	0.0021
TYLER*5216	5216	325	325	0.045	0.0017

FORMA MEDIA (Altura 25 mm)

TYLER*5379	5379	200	200	0.075	0.0029
------------	------	-----	-----	-------	--------

ACCESORIOS
BASES PARA TAMIZ

Clave	Modelo	Medidas (mm)*		
TYLER*8482	8482	200 x 25	Latón	Sencilla
TYLER*8483	8483	200 x 41	Latón	Con borde en la orilla
TYLER*8491	8491	200 x 41	Acero inoxidable	Sencilla
TYLER*8493	8493	200 x 41	Acero inoxidable	Con borde en la orilla

* Díámetro x altura

TAPA PARA TAMIZ

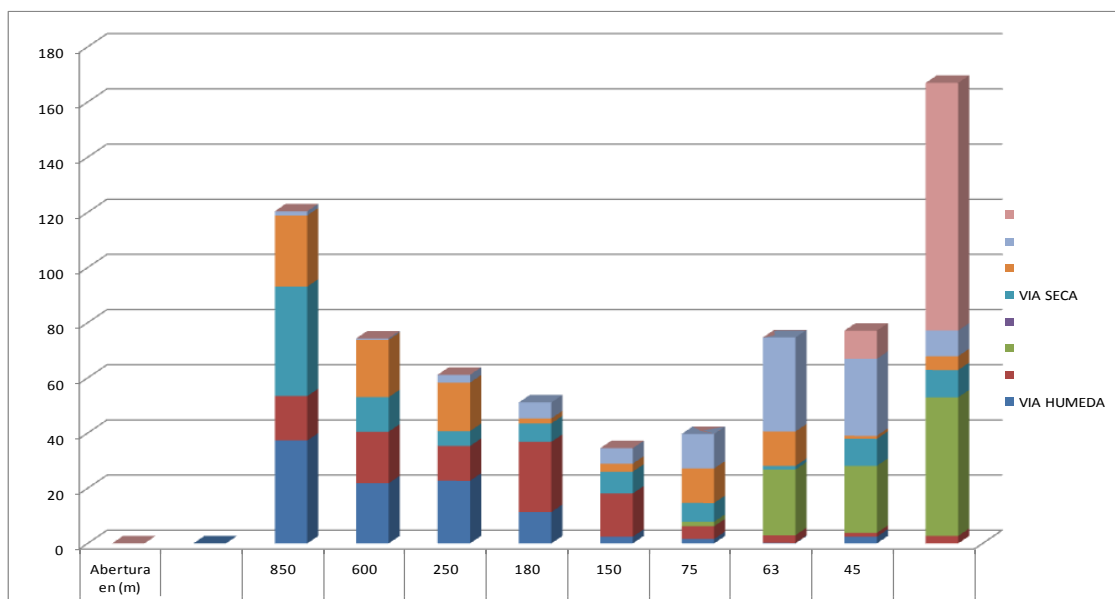
Fuente: Tyler S.A. de C.V.

Tabla 10. Distribución de tamaño de partícula por sistema de control

			SISTEMA DE CONTROL						
			VIA HUMEDA			VIA SECA			
Malla	Abertura en (mm)	Abertura en (μ)	SEDIMENTADOR HORIZONTAL	SEDIMENTADOR VERTICAL	SCRUBBER/ TANQUES DE NEUTRALIZACION	CAJA SEDIMENTADOR VERTICAL	SEPARADOR CICLONICO	PLENUM DE MEZCLA	FILTRO DE MANGAS
PORCENTAJES DE RETENCION									
20	0,85	850	37,3	16,1	0	39,7	25,8	1,5	0
30	0,6	600	21,8	18,7	0	12,5	20,8	0,5	0
60	0,25	250	22,7	12,6	0	5,4	17,6	2,8	0
80	0,18	180	11,4	25,4	0	6,7	1,8	5,8	0
100	0,15	150	2,4	15,7	0	7,9	2,9	5,6	0
200	0,075	75	1,6	4,6	1,65	6,8	12,5	12,5	0
250	0,063	63	0,16	2,8	23,8	1,3	12,5	34,1	0
325	0,045	45	2,4	1,4	24,3	9,8	1,1	27,9	10,2
MENOR A 45 MICRAS			-	2,7	50,25	9,9	5	9,3	89,8

Fuente: Datos obtenidos en Planta

Figura 12. Distribución de tamaño de partícula



4. CONCLUSIONES

En la incineración de residuos peligrosos el tratamiento de los gases y del material particulado depende de las condiciones y del control de las variables de combustión, las cuales garantizan emisiones limpias.

Los sistemas de control garantizan el control de las emisiones de material particulado, pero es necesario realizar un montaje donde la efectividad de cada uno como equipo independiente pueda permitir controlar y evitar la emisión del contaminante a la atmosfera.

Por si solo ninguno de los equipos es capaz de controlar la salida del material particulado, pero al realizar una ubicación estratégica son capaces de disminuir hasta el grado de cumplimiento las emisiones de material particulado.

Las cajas sedimentadoras son los montajes más sencillos y económicos para el control de material particulado y en ambos sistemas, demostraron ser muy eficientes en el control de material particulado de tamaño de partícula grande, lo cual permite retener y evitar que este llegue a las mangas filtrantes permitiendo obtener una mayor eficiencia de estas. Sin embargo en el sistema húmedo la caja sedimentador horizontal duplico la cantidad de, material retenido con respecto al mismo equipo en el sistema seco.

El sistema seco permite evitar transferir el material particulado (ceniza) a otros medios como agua, evitando costos energéticos para proceso de secado de lodos para posterior disposición.

El material retenido por las mangas es de tamaño de partícula muy pequeño, lo que lo hace muy volátil y de difícil manejo para los procesos de empaque y disposición final como residuo peligros estabilizado.

El filtrado de material particulado por vía seca garantiza un control mayor y la retención de una mayor cantidad de partículas de tamaño mucho menor, como se pudo lograr evidenciar en la distribución por tamizaje.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el análisis del control de los gases de combustión de la misma manera que se hizo con el material particulado y especialmente evaluar la efectividad en el control de dioxinas y furanos, al considerarse este, el medio de formación y distribución en el ambiente, de estos contaminantes.

Realizar una distribución de tamaño de partícula captado por cada sistema, en los rangos más pequeños buscando correlacionar la efectividad en retención de PM10 e inclusive PM 2,5, por ser considerados de gran importancia en los impactos de la salud humana.

BIBLIOGRAFIA

CASTELLS ELIAS, Xavier; CREMADES V, Lazaro. Tratamiento y acondicionamiento de gases: Tratamiento y valorización, 2012, ISBN 978-84-7978-694-6

COLOMBIA.MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible/Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial OCADE, Gestión integral de residuos o desechos peligrosos. Bases conceptuales. Bogotá, D.C., Colombia, El Ministerio., 2007. 186 p

COLOMBIA.MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. Bogotá D.C.: El Ministerio. 2010. 48 p

COLOMBIA.MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. Bogotá D.C.: El Ministerio. 2010. 99 p

COLOMBIA.MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Resolución 909 (5 de junio de 2008) Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2008: El Ministerio. 2008. 36 p

PERRY H, John, Manual del Ingeniero quimico, McGrawHill Book Company 1979,Inc USA, Tomo II.

RANDALL SEEKER, Wm; KOSHLAND Catherine. comps Incineration of hazardous waste, Toxic combustion by products, 1992.

REIG MARTINEZ, Jesús. Formación de dioxinas y furanos en procesos de incineración.[ENLINEA]. Plantilla Picture Windows.[Alicante, España]: blogspot, enero 2013. [Actualizado en 27 enero de 2013].[Citado 01 febrero de 2014].Disponible en internet: <http://tecnologiayenergiaverde.blogspot.com/>
Datos operacionales y de producción en Planta de Incineración.