

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

**ELIMINACION DEL PRODUCTO DE COMBUSTION
DE BASURA POR METODOS QUIMICOS**

INFORME DE TESIS

Presentado por:

CARLOS ENRIQUE POSADA RUANO

Para optar al título de

QUIMICO

Guatemala, abril de 1999.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE CC. QQ. Y FARMACIA

Edificio "T-12"

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

JUNTA DIRECTIVA

FACULTAD DE CC. QQ. Y FARMACIA

DECANA	LICDA. HADA MARIETA ALVARADO BETETA
SECRETARIO	LIC. OSCAR FEDERICO NAVE HERRERA
VOCAL I	DR. OSCAR MANUEL COBAR PINTO
VOCAL II	DR. RUBEN DARIEL VELASQUEZ MIRANDA
VOCAL III	LIC. RODRIGO HERRERA SAN JOSE
VOCAL IV	BR. DAVID ESTUARDO DELGADO GONZALEZ
VOCAL V	BR. ESTUARDO SOLORIZANO LEMUS

bid/01'99

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS Y LA SANTISIMA TRINIDAD

LA MEMORIA DE MI PADRE: CARLOS RUANO VIDES

MI MADRE: JUANA BERTHA POSADA ESTRADA

MIS MAESTROS; QUE SUPIERON GUIARME Y DARME LA SABIDURIA
NECESARIA.

GUATEMALA; PARA LA CREACION DE UNA MEJOR TECNOLOGIA
ECOLOGICA.

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA DE LA USAC. COMO UNA
INCENTIVACION A LA CONSTRUCCION DE UN INCINERADOR DE DESECHOS
SOLIDOS.

MIS FAMILIARES. TODOS POR SU AYUDA Y COMPRESION.

AGRADECIMIENTO

A LAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRA MANERA, ME BRINDARON SU CONFIANZA E INCONDICIONAL APOYO.

AL DEPARTAMENTO DE FISICOQUIMICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

A LA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA, POR SU COLABORACION EN EL TRABAJO.

DE MANERA MUY ESPECIAL AL LIC. CARLOS HUMBERTO KLEE MENDOZA, LIC. MIGUEL ANGEL HERRERA, LIC. ENRIQUE FLORES.

INDICE

I-	RESUMEN	1
II-	INTRODUCCION	3
III-	ANTECEDENTES	4
	Control ambiental.....	6
	Sistemas de control Ambiental...9	
	Rechazos sólidos.....	14
	Combustión.....	17
IV-	JUSTIFICACIONES.....	23
V-	OBJETIVOS.....	24
VI-	HIPOTESIS.....	25
VII-	MATERIALES Y METODOS.....	26
	Equipo	26
	Cristalería.....	27
	Reactivos.....	28
	Métodos.....	28
	Procedimiento.....	30
VII-	RESULTADOS.....	33
IX-	DISCUSION.....	48
X-	CONCLUSIONES.....	53
XI-	RECOMENDACIONES.....	54
XII	BIBLIOGRAFIA.....	55
XIII-	APENDICE	57
XIX-	GLOSARIO.....	57

RESUMEN

La incineración a cielo abierto ha sido y es una práctica común para la eliminación de desechos sólidos, por manejar grandes cantidades de basura en tiempos relativamente cortos. Por esta razón la incineración es y ha sido un factor determinante en la contaminación atmosférica y especialmente por contaminantes gaseosos de los óxidos de azufre, nitrógeno, carbono y otros.

La eliminación de basura es una preocupación a nivel mundial de allí que se buscan soluciones a corto plazo que permitan la eliminación de los mismos sin que incidan en el deterioro del medio ambiente.

El presente trabajo consiste en simular que los gases generados durante la combustión de desechos sólidos, (PAPEL, POLIETILENO (PLET), POLICLORURO DE VINILO (PVC), NEUMÁTICO DE AUTOMOVIL) en el laboratorio, se expulsan directamente a la atmósfera mediante el uso de trampas depuradoras que contienen disoluciones de compuestos químicos, con características alcalinas. (NaHCO_3 , Ca(OH)_2 , Fe(OH)_3 , Al(OH)_3).

De los resultados experimentales obtenidos utilizando 1 sola trampa el orden de eficiencia de depuración en forma descendiente es el siguiente:

Hidróxido de aluminio, hidróxido férrico, hidróxido de calcio, y bicarbonato de sodio.

La eficiencia es 100% cuando se utilizan 2 trampas conectadas en serie a excepción de la trampa con bicarbonato que necesita de 3 para ser 100% eficiente.

Los resultados a nivel laboratorio son buenos y altamente significativos para la eliminación de los gases estudiados. Ahora queda trasladar la inquietud a otro nivel para hacer una planta piloto, motivar a las municipalidades o bien la iniciativa privada a que participe en la construcción y diseño de un incinerador de basura.

INTRODUCCION

Los sistemas de incineración implican una planta que almacene y escoja en una forma fluida utilizando elevadores y rejillas rotatorias, para luego extraer con ayuda de magnetos las partes metálicas, y otras por personal humano utilizando bandas, y una forma automática de carga y descarga de los materiales de desecho. También formas de conversión de la energía térmica generada en otros tipos de energía, como la eléctrica.[1]

En toda Europa, el Japón, los Estados Unidos, Asia, y varios países de América Latina, se han puesto en vigor reglamentos más rigurosos con respecto a la contaminación atmosférica, y al medio ambiente en general. Se prevé que en el futuro se elaboren reglamentos cada vez más estrictos, en vista de la constante preocupación que suscitan los contaminantes de azufre y nitrógeno.[2]

El costo de los sistemas de depuración de los gases de combustión de incineradores, representa un problema que puede intentar resolverse con sistemas de tratamiento mas económicos y pruebas de laboratorio que determinen la contaminación y la descontaminación de los gases de combustión utilizando determinado tipo de carga, con variantes en los depuradores, o controlando las cantidades de oxígeno. En este trabajo el incinerador y el depurador de aire se intentó construir con

materiales accesibles y económicos, y obtener una buena recuperación de los gases producidos, para luego tratarlos con soluciones de electrólitos y depurarlos por debajo de sus índices permisibles.

Se incinera por separado hule vulcanizado, PVC, polietileno, papel, y los gases de combustión se conducen por una de cuatro soluciones electrolíticas purificadoras: Soluciones saturadas de Ca(OH)_2 , NaHCO_3 , Fe(OH)_3 , y Al(OH)_3 hasta el ORSAT donde se analiza la muestra.

ANTECEDENTES

Hoy se dedica a los desperdicios especial y creciente atención, tanto para desecharlos como para aprovecharlos. Además de servir para relleno, se los aprecia como abonos y como fuente de calor y energía. En la figura No.2 de apéndice puede verse el sistema básico de recuperación de basura.[3]

La incineración ha sido y es una práctica común para los desechos sólidos, porque se utiliza para procesar grandes cantidades de basura, lo que no sucede con otras prácticas como la digestión anaeróbica de basura, pero se ha determinado que los gases producidos por la combustión, son un contaminante atmosférico y en algunos casos de desechos industriales, puede ser letal. [1] En la figura No.1 de Apéndice hay información de las operaciones requeridas en la incineración

de desechos sólidos. En ella se trabaja con combustible derivado de desechos (CDD) o Combustible Derivado de Residuos (CDR), y puede verse, el proceso preliminar que tienen los desechos gruesos, a los que se desmenuza, se reducen de tamaño y operaciones destinadas a separar y recuperar los materiales incombustibles dando como resultado un combustible más homogéneo, el que subsiguientemente alimenta a hornos existentes o a calderas diseñadas para CDD.

Las tres técnicas comunes para la alimentación de sistemas CDD son las calderas de emparrillado esparcidor, los incineradores de lecho fluidizado, y la coalimentación de sistemas CDD en calderas de empresas de servicio público.[3]

Algunos desperdicios tales como madera o plásticos, contienen tan poco contenido de ceniza que, se queman a bajos tiempos de incineración (abajo de 20 lb. de desperdicio por hora). Con suficiente aire controlado y una alta temperatura ($1500^{\circ}\text{F} = 815.56^{\circ}\text{C}$) el equipo que se necesita para un incinerador que no permita smog, y el equipo para atrapar los polvos que fluyen igual que los demás gases, tiene costos más elevados que el horno incinerador (Aprox. \$20,000).[3]

Si no se prevé un indicador y control de temperatura, la combustión de los materiales incrementará la temperatura según su entalpía estequiométricamente. De acuerdo con una practica común, los gases se diluyen con 100-300 % de aire, de manera que el aire que salga, tenga de 1800-2200 °F (982-

1204 °C), ésto obliga a que los depuradores sean de mayor costo.[4][5][6]

Control Ambiental

El Acta Federal del Aire Limpio aprobada en 1970, obligó a la Agencia para la protección ambiental (EPA) a la identificación de los contaminantes con una importancia específica. Se recogieron datos científicos sobre las relaciones entre diversas concentraciones de contaminantes atmosféricos y sus efectos adversos para los humanos y el medio ambiente. Esta información fue utilizada para preparar una lista de criterios de contaminación y de niveles ambientales aceptables; los cuales son conocidos como NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL. Los contaminantes de criterio identificados incluyen: monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono, materia aspirable en partículas (también conocida como PM10) y plomo. También se identificaron otros contaminantes atmosféricos preocupantes, pero no ha establecido normas para ellos, por lo que se denominan contaminantes no-clasificados.[5]

Oxidos de nitrógeno, Los dos óxidos de nitrógeno más importantes NO y NO₂, colectivamente nombrados como NO_x, se forman mediante reacciones entre residuos que contienen el nitrógeno y el oxígeno del aire utilizado en la combustión. Estos óxi-

dos son precursores de la formación de ozono (O_3) y peroxiacetonitrilo (PAN), oxidantes fotoquímicos conocidos como smog (niebla con humo). También contribuyen a la formación de aerosoles nítricos (gotas líquidas) que pueden causar niebla y lluvia ácida al contacto con la humedad atmosférica, en que se forma HNO_3 . [5] (ver tabla #2 de apéndice)

Dióxido de azufre (SO_2); El dióxido de azufre se forma mediante la combustión de combustibles (mayormente carbón) y materiales que contienen azufre. Es un gas irritante para los ojos, la nariz y la garganta. En altas concentraciones puede causar enfermedades o la muerte en personas ya afectadas por problemas pulmonares como asma o bronquitis. [6] El dióxido de azufre se relaciona con la producción de lluvia y nieve ácida, que afecta lagos, ríos y bosques en el norte de América y Europa. El SO_2 se oxida a SO_3 el cual reacciona con el agua, y produce H_2SO_4 .

Monóxido de carbono (CO); El monóxido de carbono, formado durante la combustión de materiales carbonosos cuando existe una deficiencia de oxígeno, reacciona con la hemoglobina en la corriente sanguínea para formar carboxihemoglobina ($HbCO$). El cuerpo humano confunde la $HbCO$ con la oxihemoglobina (HbO_2), que normalmente transfiere el oxígeno a los tejidos vivos a través del cuerpo. Provoca dolores de cabeza, náuseas e incluso la muerte en concentraciones elevadas. [5]

Materia particulada (MP); Procesos varios y de combustión incompleta del combustible y el arrastre físico de los no combustibles forman la materia en partículas. Estas emisiones causan reducciones en la visibilidad y efecto sobre la salud. Las partículas mas pequeñas de 10 μm . ($10 \times 10^{-6}\text{m}$) son críticas, por aspirarse profundamente en los pulmones. En la fig. No.4 de apéndices se resume la clasificación por tamaño.[5] Del 20-40% de las emisiones son de menos de 10 μm . de diámetro y del 7-10 % son de menos de 2 μm . de diámetro las cuales son prohibidas actualmente en estados como California.[7]

Metales; Los residuos sólidos urbanos, son una mezcla heterogénea de plásticos, revistas lujosas, pilas de linterna, etc. que contienen elementos metálicos. Los metales que presentan mayores inquietudes desde el punto de vista de la salud pública son el cadmio, cromo, mercurio, y plomo, los cuales se emiten después de la incineración como materia en partículas o vaporizados en óxidos gaseosos. El mercurio, presenta especial problema al incinerarse, por volatilizarse a 329°C, lo que puede elevar la presión del sistema a temperaturas elevadas. Lo mas aconsejable, es separar antes de la incineración los desechos que contengan metales, la mayoría son reciclables. [5]

Gases ácidos, Los residuos que contienen flúor y cloro, generan gases ácidos, como el fluoruro de hidrógeno y el cloruro de hidrógeno. El flúor se encuentra en muchos productos,

mientras que el cloro, se localiza en los plásticos como el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno (PS), y el polietileno (PETL).

SISTEMAS DE CONTROL AMBIENTAL

Se mencionan estos métodos de tratamiento de gases, para poder tener una idea general de lo que actualmente a gran escala se realiza. También se están realizando experimentos en cantidades pequeñas utilizando haces electrónicos [2]. Aunque se ha dicho, que si se logra mojar los gases se controla su contaminación en un mayor porcentaje.

Actualmente se utilizan 5 clases de equipamientos para el control de emisiones atmosféricas:

- 1.- Precipitadores electrostáticos, filtros de mangas, filtros electrostáticos de lecho de grava (para control de partículas).
- 2.- Separación de origen, controles de combustión, tratamiento de los gases de combustión (control de NO_x).
- 3.- Separación de origen, depuración húmeda o seca (control de dióxido de azufre y gas ácido).
- 4.- Controles de combustión (control de CO y HCl)
- 5.- Separación de origen, controles de combustión, control de partículas (control de la contaminación no específica).

La eficiencia de separación requerida, se define como:

$$E = (W_{entrada} - W_{salida}) / W_{entrada} * 100 \% \quad (I)$$

Donde:

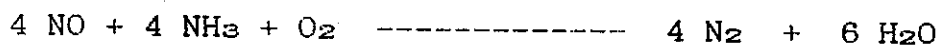
E = % de eficiencia de separación.

W = Peso del contaminante. [5]

El filtro electrostático de grava, es una combinación de la precipitación electrostática (utilizando voltajes negativos de 20,000-100,000 V), y la filtración mecánica. Esta tecnología se ha utilizado en hornos que queman madera y en la incineradora de RSU de Pittsfield, Massachusetts.

Equipamiento para el control de NOx; Se puede realizar con controles de combustión, o con tratamiento de los gases de combustión. Los primeros incluyen 1) recirculación del gas de combustión (una porción de los gases de escape se devuelve junto al aire de combustión del horno), 2) funcionamiento con bajas cantidades y aire en exceso, reduciendo así, la cantidad de óxido nitroso térmico formado en el horno.

REDUCCION CATALITICA SELECTIVA, Emplea la inyección de amoníaco en los gases de chimenea, seguido por el paso del gas sobre un lecho catalizador:

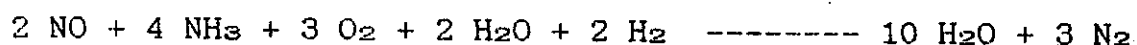


Los catalizadores metálicos pueden ser: cobre, hierro, cromo, níquel, molibdeno, cobalto y vanadio, en forma granular, cilíndrica, de malla. Se pueden obtener eficacias del 90%.

El proceso no se utiliza en incineración de RSU por la sensibilidad de los catalizadores a la contaminación con par-

tículas y al envenenamiento con plomo.[7]

REDUCCION NO CATALITICA SELECTIVA; Utiliza amoníaco inyectado directamente al horno a 700-1200°C, predomina la siguiente reacción aproximadamente:



El límite inferior de temperatura de la reacción podría ser mayor, en caso de no agregarle hidrógeno al sistema, subiendo a 870°C y a temperaturas encima de los 1200°C, predomina la reacción de formación de óxido nitroso:



El control de temperatura del proceso se consigue instalando inyectores múltiples de pared en el horno, para que el NH₃ pueda inyectarse en una zona del horno dentro del rango de temperatura óptimo. Se han logrado eficacias del 50-100%. [5]

Controladores de gases ácidos; En emisiones incontroladas, los ácidos fluorhídrico y clorhídrico, se emiten como aerosoles finos, y los dióxidos de nitrógeno y azufre se emiten en forma de gas que se combina con las gotas de agua en la atmósfera, para formar lluvias ácidas de ácido nítrico y ácido sulfúrico, como efecto; reducen la visibilidad del aire, y aumenta la corrosión de los metales. Existen varios métodos para controlar los gases ácidos:

1) **Separación en el origen.** La separación de plásticos, residuos de jardín y residuos orgánicos es una buena forma de re-

ducir las emisiones ácidas; sin embargo, todavía no se ha demostrado la efectividad de este tratamiento.

2) Depuración húmeda. En Kiel, Alemania, se utiliza con una solución de cal en un lavador venturi en una incineradora de RSU. En la fig. No.6, se observa un diagrama del sistema de depuración húmeda. El sistema es bastante complejo y está formado por un desvaporizador, un lavador venturi, un apagador de cal y un filtro prensa para deshidratar y separar los lodos de la depuradora. También forma parte del sistema, un intercambiador de calor que primero enfría los gases de combustión hasta 32°C antes de la depuradora y después recalienta los gases antes de ser evacuados por la chimenea. El enfriamiento se requiere para incrementar la eficacia de depuración y el paso de recalentamiento se requiere para incrementar la fuerza ascendente de las emisiones. El rendimiento del sistema tiene una separación media de HCl del 89%-98%, HF 84-96%, SO₂ 55-79%. [5]

3) Depuración seca. Se utilizan dos técnicas: 1) secado de rocío e 2) inyección en seco.

En la figura No.7 de Apéndice, se muestra un sistema típico de secado de rocío; se bombean disoluciones de carbonato de calcio, y de cal en el desecador de rocío donde reaccionan con los gases de combustión. Los gases ácidos y el SO₂ son adsorbidos sobre la superficie de las gotas, reaccionando para formar sales neutras tales como sulfato de calcio, clo-

ruro de calcio, sulfato de sodio, y cloruro de sodio. Después el sistema separa las partículas sólidas de sal, así como las cenizas volantes que aún están en los gases de combustión, mediante un filtro de mangas. La eficacia de separación del dióxido de azufre es de 98-100%.

En la Figura No. 9 de Apéndice, se muestra el Teller Dry Scrubbing System™ que es un sistema de depuración seca con inyección en seco. Se rocía una solución de cal en la cámara de reacción neutralizando los gases ácidos. El agua en la disolución se evapora completamente de forma que no hay lodos líquidos que tratar. Se añade un agente aglomerante patentado, Tesisorb™ a la corriente del gas de combustión después de la cámara de inmersión para ayudar a la coagulación de las partículas muy finas, antes de ser atrapadas en el filtro de mangas. Para el sistema Teller han sido constatadas eficacias de separación para HCl y SO₂ hasta de 99%. [5]

Equipamiento para el control de CO e Hidrocarburos (HC);

El control de ambos está en función del diseño y de la operación del sistema. La formación de CO y HCl se produce por la incineración incompleta de los residuos, a causa de una incineración rica en combustible (sobrecarga del horno) y a la insuficiencia de temperatura provocada por el alto contenido de humedad de los residuos; el uso de oxígeno adicional es la primera herramienta de control, pero debe controlarse para evitar una combustión a temperaturas mayores de

1200°C y generar NO_x, lo que significa que deberá lograrse un equilibrio de varios factores. En las incineradoras modernas de RSU se llevan a cabo supervisiones continuas de las emisiones (SCE) de los constituyentes del gas de combustión (CO, CO₂, NO_x, HC y O₂), utilizando instrumentación de control y monitoreo.

Rechazos sólidos; Se producen varios tipos de rechazos sólidos incluyendo: 1) cenizas de fondo 2) cenizas volantes y 3) productos de depuradora.

Cenizas de fondo; La porción no quemada y no quemable de los RSU se conoce como cenizas de fondo, pueden contener cantidades considerables de metales y vidrio, así como compuestos orgánicos no quemados. La cantidad de materia orgánica no quemada en las cenizas es una medida del rendimiento de la instalación, puede estimarse utilizando el Índice de Quemado de Cenizas (ABI): [5]

$$ABI = [1 - (A - B) / A * 100\% \quad (II)$$

DONDE:

A = Peso original de la muestra de cenizas. (cenizas restantes de la combustión)

b = Peso de la muestra de cenizas después de quemarlas en un horno de mufla.

Un incinerador de RSU bien operado debería ser capaz de lograr un Índice de Quemado de Cenizas del 95-100 %.

Cenizas volantes. El término cenizas volantes se refiere a partículas micrónicas y submicrónicas que se recolectan de los sistemas para controlar la contaminación atmosférica y son otro rechazo para gestionar. Los sistemas modernos ESP con filtro de mangas, exceden el 99% de eficacia, para controlar la contaminación atmosférica, por eso, deben manejarse con mucho cuidado para evitar emisiones fugitivas de polvo que puedan ser dañinas para los trabajadores y el ambiente circundante. Cuando las normativas locales lo permiten, las cenizas volantes también se pueden humedecer y mezclar con las cenizas de fondo antes de su evacuación.[5]

Productos de depuradora. Son los lodos producidos en una depuradora húmeda utilizada para la separación de SO_2 y gases ácidos. Los productos de la depuradora son sales de sulfato de calcio y sodio formadas en la reacción de depuración y los orgánicos con traza de metales pesados.

Las operaciones necesarias para el tratamiento de los productos de la depuradora incluye la deshidratación para reducir el volumen y la evacuación subsiguiente de los lodos en forma de rechazo sólido y del sobrenadante en forma de aguas residuales. [5]

Metales pesados y Orgánicos en cantidades traza. Las cenizas de la incineración contienen cantidades traza de metales pesados y orgánicos; por esta razón, es necesario tratar estos desechos. La situación se centra en la posible lixivía-

ción de el vertedero de cenizas a las aguas subterráneas, donde elementos como el arsénico, bario, cadmio, cromo, plomo, mercurio, selenio y plata, pueden ser tóxico por bioacumulación.

Para valorar el potencial de lixiviado de las cenizas, se han utilizado varios procedimientos, entre los que se encuentran: 1) El ensayo Procedimiento de Ceniza (EP) de Toxicidad y 2) El Ensayo Procedimiento para las Característica Tóxicas del Lixiviado (TLCP).

En el ensayo EP de Toxicidad, se lixivia una mezcla de 5 % de cenizas y 95 % de RSU con una disolución ácida en una columna de ensayo. Con ésto se pretende simular la producción de ácidos orgánicos generados por la descomposición biológica de desechos orgánicos. [5]

En el ensayo TLCP se trituran muestras de cenizas ≤ 9.5 mm mezcladas con una solución amortiguadora de acetato con un pH 5, con agitación durante 18 horas. Después se filtra el sobrenadante y se analizan los metales pesados. La validez de los ensayos, es un asunto en investigación y se han realizado diversos estudios para encontrar una correlación. [5]

Procedimientos recomendados para la manipulación de cenizas.

Una buena practica de incineración, puede resumirse en lo siguiente:

1- Manipulación : se deben humedecer correctamente las cenizas o cubrirlas para que no se produzcan emisiones fugi-

tivas de polvo.

2- Transporte: los contenedores de camiones deberán estar cubiertos y a prueba de fugas.

3- Evacuación de cenizas volantes: normalmente deberá ser en un monovertedero (solo cenizas) equipado con recubrimientos dobles y un sistema para la recogida de los lixiviados.

4- Combinado o solamente cenizas de fondo: Un monovertedero equipado con un recubrimiento mixto o de arcilla, puede almacenar los desechos de un solo tipo de cenizas o puede realizar la evacuación normalmente.

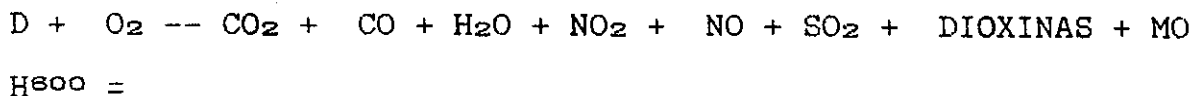
Combustión:

El proceso de incineración puede incluir muchas operaciones preparativas, pero la combustión básicamente podemos situarla en dos o tres etapas concluyentes:

1er. Etapa; Los desechos alcanzan 600°C:

$$dH \text{ Reactantes} = mCdt = mC(600-20)^\circ C$$

2da. Etapa; Combustión de los desechos (D) a 600°C; (MO = metales pesados)



3er. Etapa; Etapa de enfriamiento de los productos:

$$dH \text{ Productos} = mCdt = mC(20-600)$$

Donde C, es la capacidad calorífica de los desechos, y t = °C

$$dG = dH - d(ST) \quad (III) \quad [8]$$

Donde G= Energía libre de Gibb's, H =Entalpía, S = Entropía,

$T = \text{Kelvin} (273 + ^\circ\text{C})$.

Podemos ver según la tercera ley de la termodinámica (ecuación III que define la derivada de la energía libre de Gibb's $-dG$) que la segunda etapa, tiene una entalpía altamente exotérmica y valores entrópicos elevados a causa que todos los productos son gaseosos, mientras que sus reactantes son sólidos. Por lo tanto es de esperar presiones elevadas en la combustión, así como la necesidad de oxígeno porque todos sus productos son óxidos.

La contribución a la presión total del sistema de la segunda etapa de la combustión es considerablemente alta y dependerá de la masa de carga que incluyamos, por lo que en las pruebas iniciales se recomienda incinerar pocas cantidades de desechos.

La primer etapa no necesita alimentación de oxígeno, sin embargo, el enfriamiento de la 3er. etapa necesitará flujo de aire, para que la presión no aumente, si por ejemplo detuviéramos el flujo de aire a 600°C , la temperatura aumentará aunque el horno este apagado.

La mayor parte de los procesos de combustión se llevan a efecto con aire y no con oxígeno puro. El aire está formado por vapores y gases inertes; aproximadamente 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno, y 1 % de argón. Como el argón y el nitrógeno molecular no intervienen en la combustión a medianas temperaturas, se supones que las proporciones volumétricas

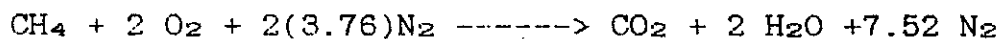
del aire son 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno, o bien:

$$79/21 = 3.76 \text{ moles de nitrógeno por mol de oxígeno.}$$

Para tener en cuenta el argón que fue incluido como parte del nitrógeno, empleamos el valor 28.16 como masa o peso del nitrógeno, y no de 28.016, y se denomina "nitrógeno atmosférico".[8]

- Aire teórico:

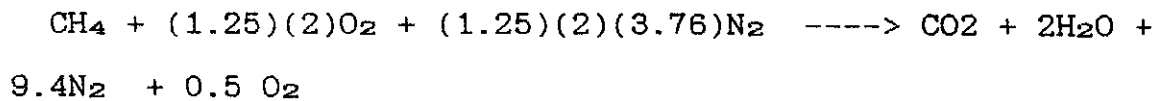
La combustión del metano en presencia de aire es:



El nitrógeno se toma en cuenta en la reacción aún sin reaccionar; existen 3.76 moles de nitrógeno por mol de oxígeno y en la reacción se necesitan 2 moles de oxígeno para efectuar la oxidación del metano, intervienen (2) (3.76) moles de nitrógeno.

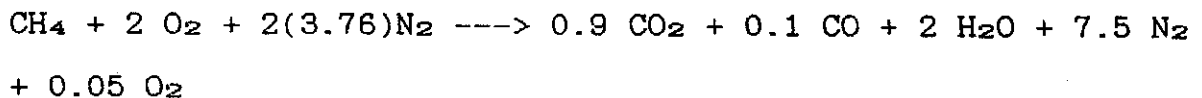
"La cantidad mínima de aire necesaria para oxidar los reactivos" se conoce con el nombre de "aire teórico". Cuando la combustión se lleva a cabo con el aire teórico debe ocurrir íntegramente; en la práctica esto no es posible, se necesita más oxígeno del teórico para lograr la combustión u oxidación total de los reactivos. Se requiere un exceso de aire, pues en la realidad cada molécula que se combustione, necesitará estar rodeada por varias moléculas de oxígeno aunque no reaccione con todas; este exceso de aire, se menciona como "*porcentaje de aire teórico*" de modo que si se emplea un 25% más del aire que teóricamente correspondería se

dice como 125% de aire teórico o bien 25% de exceso de aire y habrá 1.25 veces mas aire del que se requiere desde el punto de vista ideal. La combustión del metano en 125% de aire teórico es:



Las cantidades de nitrógeno y de oxígeno que aparecen en los productos se determinan mediante un balance de masa para cada uno de los términos. Para balancear primero se agrega el nitrógeno atmosférico como aire teórico y se multiplica posteriormente por 1.25 para considerar el 125% de aire teórico de exceso.

En caso que el exceso de aire sea insuficiente para permitir una combustión completa, entonces se forma CO en mayores cantidades y el hollín o humo negro que sale de las chimeneas según la reacción :



Para evitar esta reacción en una forma extensa, se deben tomar en consideración una o varias medidas de las siguientes:

- 1.-La mezcla de desechos (combustible y aire debe hallarse a la temperatura de ignición.
- 2.-Tiene que haber oxígeno suficiente para asegurar una oxidación completa.
- 3.-El oxígeno debe encontrarse en contacto íntimo con el com-

bustible.[8]

Relación entre aire y combustible:(ra/c) Puede ser la medida de su recíproco combustible aire (rc/a), pudiendo expresarse en términos de moles, o como masas. Ejemplo:

En la combustión del etano, se produce la siguiente reacción;



$$\begin{aligned} \text{Ra/c} &= \text{moles de aire/moles de combustible} = (3.5 + 13.17)/1 = \\ &= 16.67 \text{ moles de aire/moles de combustible.} \end{aligned}$$

En base a la masa quedan:

Peso molecular del aire es de 28.97 Kg/Kgmol.

Peso molecular del etano 30.068 Kg./ Kg.mol.

$$\text{Ra/c} = (28.97)(16.67)/(30.068)(1) = 16.05 \text{ Kg de aire/Kg.de combustible.}$$

El objeto de la incineración, es oxidar completamente los desechos sólidos, con la menor cantidad de aire, por esto; la razón aire combustible, es importante determinarla para poder relacionar los resultados obtenidos del tratamiento de los residuos sólidos de la combustión. [8]

REFRACTARIOS :

Denominados ácidos, básicos y neutros, también super refractarios, incluyen todos los materiales usados para soportar los efectos térmicos, químicos y físicos que se encuentran en los procedimientos que se realizan dentro de los hornos. [9]

Los ladrillos refractarios pueden ser de sílice, magnesita, cromita-magnesita, de carburo de silicio y de zirconia, productos del silicato de aluminio y de alumina.[10]

JUSTIFICACIONES

El crecimiento poblacional, junto con el crecimiento industrial, favorecen la deforestación, la contaminación y el acumulamiento de basura. Esto ha obligado al hombre a investigar para mejorar los procesos de producción, y buscar nuevas formas de aprovechar o reciclar los desechos de diferentes orígenes.

La ausencia de una planta de tratamiento de basura en la facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

La incineración ha demostrado ser una forma rentable y eficiente para eliminar grandes cantidades de basura, y aprovechar el calor producido convirtiéndolo en otras formas de energía.

La importancia de la eliminación de la basura sin contaminar el medio ambiente hace necesario que se investiguen formas más económicas de tratamiento de los gases de combustión que aseguren los límites permisibles.

El alto costo de los sistemas de depuración de los gases de incineradores, representa un problema que puede resolverse con sistemas de tratamiento más económicos.

La necesidad de realizar pruebas de combustión en el laboratorio, que nos puedan proporcionar información del proceso de incineración de desechos sólidos.

OBJETIVOS

EVALUAR LA CAPACIDAD QUE PRESENTAN 4 DISOLUCIONES SATURADAS DE Ca(OH)_2 , NaHCO_3 , Fe(OH)_3 , Y Al(OH)_3 A UTILIZAR EN LA ELIMINACION DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN LOS GASES DE COMBUSTION DE TUBO DE PVC, BOLSAS DE POLIPROPILENO, NEUMATICO DE AUTOMOVIL, PAPEL PERIODICO.

EVALUAR UNA OPCION DE TRATAMIENTO DE LOS GASES GENERADOS EN LA COMBUSTION, POR MEDIO DE RECOGER DICHOS GASES EN DISOLUCIONES ALCALINAS QUE PERMITAN CONVERTIR TALES CORROSIVOS A SUSTANCIAS INSOLUBLES Y SER RETIRADOS ANTES DE SALIR A LA ATMOSFERA.

EVALUAR EL EFECTO EN LA EFICIENCIA DE LA ELIMINACION DE GASES COMO PRODUCTO DE COMBUSTION; MEDIANTE LA MEDICION DE LOS GASES LIBERADOS O NO ATRAPADOS EN LAS TRAMPAS ELECTROLITICAS UTILIZANDO EL METODO ORSAT.

Específicos;

- Diseñar y construir un horno incinerador con materiales disponibles en nuestro medio.
- Diseñar y construir un sistema atrapador de los gases de combustión.
- Analizar los gases de combustión finales, tabular los resultados, y utilizar estadística descriptiva para determinar la eficiencia de los reactivos utilizados en las trampas químicas del sistema depurador de aire.

HIPOTESIS AFIRMATIVA

ES POSIBLE ATRAPAR LOS CONTAMINANTES SO_2 , NO_x , CO_2 , CO , PRESENTES EN LOS GASES DE COMBUSTION DE LA BASURA UTILIZANDO TRAMPAS QUIMICAS DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaHCO_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, Y $\text{Al}(\text{OH})_3$ Y QUE LAS CANTIDADES MEDIBLES DE LOS GASES NO RETENIDOS, SEAN MENORES A LAS PERMISIBLES.

HIPOTESIS NULA

NO ES POSIBLE ATRAPAR LOS CONTAMINANTES SO_2 , NO_x , CO_2 , CO , PRESENTES EN LOS GASES DE COMBUSTION DE LA BASURA UTILIZANDO TRAMPAS QUIMICAS DE $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaHCO_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ Y QUE LAS CANTIDADES MEDIBLES DE LOS GASES NO RETENIDOS, SEAN MENORES A LAS PERMISIBLES.

MATERIALES Y METODOS

UNIVERSO DEL TRABAJO

Proceso de incineración, Horno refractario, atrapador de partículas y contaminantes en la combustión.

Análisis de los gases para determinar contaminantes remanentes del proceso de purificación.

Materiales residuales; PVC, polietileno, papel, neumático de automovil.

RECURSOS HUMANOS

Lic. Carlos H. Klee - ASESOR -

Br. Carlos E. Posada R. - AUTOR -

MATERIALES

1-) **Material bibliográfico:**

- * Biblioteca de Instituto Centro Americano de Investigaciones e Industria apropiada (ICAITI).
- * Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos (USAC).
- * Biblioteca Facultad de Ingeniería USAC.
- * Biblioteca Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia (USAC)
- * Biblioteca del Instituto Nutricionista de Centro América y Panamá (INCAP).
- * Biblioteca Universidad del Valle de Guatemala.
- * Biblioteca personal.

2-) **Equipo:** Procesador de Textos; Computadora Packard Bell

Pentium Multimedia 75 Mhz IMPRESORA EPSON STYLUS Color
500.Escaner Mustek Color 600 DPI.Programa Works vrs. 3 ,
Mathcad 5 pluss, Photo Color, Window 95.

- * Bomba de vacío.
- * Balanza Semi-Analítica.
- * Potenciómetro
- * Balanza analítica
- * Horno de convección térmica rango 40-200 °C.
- * Horno incinerador (Mufla + tubo galvanizado de 5" x
1/2 " de diámetro.
- * Aparato receptor de gases de combustión (Fig. # 8
Apéndice)
- * Plancha de calentamiento con agitación magnética.
- * Campana de extracción de gases.
- * Desecadora con vacío.
- * Galones de Polietileno.
- * Manguera de Neopreno de 8 mm.
- * Barómetro.
- * Manómetro
- * Equipo para análisis de gases Orsat.

3-) Cristalería:

- * Buretas de 50 ml. de 10 ml. y de 5 ml.
- * Pipetas de 10 ml, 25, 20, 50, 5,4,3,2,1 ml.
- * Probetas de 10,25,50,100 ml.
- * Erlenmeyer de 500, 250, 125, 50, 25, 10 ml.

- * Beakers de 1000, 500, 250, 125 ml.
- * Varillas de agitación.
- * Kitasato de 500 ml.
- * Filtro al vacío Buchner de porcelana,
- * Balones aforados de 1000, 500, 250, 100, 50, 25, 10 ml.

4-) **Reactivos: (Grado Analítico)**

- * Disolución saturada de Ca(OH)_2
- * Disolución saturada de Fe(OH)_3
- * Disolución Saturada de NaHCO_3
- * Disolución Saturada de Al(OH)_3
- * Solución absorbente de dióxido de nitrógeno (ácido Sulfanílico)
- * Solución oxidante de óxido nítrico (Trióxido de Cromo)
- * Disolución al 3% de H_2O_2
- * Disolución Saturada de Cloruro de Cobre I.
- * Disolución Saturada de hidróxido de potasio.

MÉTODOS

HORNO PARA COMBUSTION:

Se acondiciona una mufla de laboratorio agregándole un tubo de 5" * 1/2 de diámetro, en la parte superior media, para extraer los gases de combustión. (Ver Fig. #8 de APENDICE)

[9]

El sistema extractor de gases se basa en la aplicación de una presión de vacío utilizando una bombita de hule con válvula de cheque tipo esfignomanómetro, (colocado in-

mediatamente atrás del Orsat, y posterior a las trampas depuradoras) que evita la dilución de los gases en el colector y los obliga a pasar atráves de las trampas depuradoras y al Orsat.

La presión de vacío deberá vencer la presión ocasionada por el rozamiento y el peso de los gases en la tubería del sistema, el vacío ocasionado por la ampliación de la cámara de combustión junto con el colector de gases y la presión ejercida por el peso de las soluciones en las trampas depuradoras. (Fig. #8 Apéndice)

-ANÁLISIS DE LOS GASES (Tipo Orsat):

En este método, se atrapa los gases con absorbentes químicos, Para:

- Dióxido de Carbono se utiliza sol. sat. de KOH. (en la trampa #1 del ORSAT).
- Dióxido de Azufre se utiliza sol. 1 N. en Peróxido de Hidrógeno. (trampa #2 Orsat)
- Monóxido de Carbono se utiliza sol. sat. de CuCl.HCl . (trampa #3 Orsat)
- Oxidos de nitrógeno (NO_x) se intercambia la sol. de la trampa #1 por la sol. oxidante del óxido nítrico con 17 g. Trióxido de Cromo en 100 ml. de agua desnitrificada, (sin NO_2) y la solución de la trampa # 2 por solución absorbente del dióxido de nitrógeno, 5.5 g. Acido Sulfanílico en 860 ml de agua desnitrificada y 140 ml. de ácido acético

glacial. (reacción de Griess-Saltzman)

-METODO ESTADISTICO:

Se utilizará estadística descriptiva, tabulando y graficando los resultados obtenidos del análisis por separado de los gases de combustión de 1.00 g. de PVC, PLET, papel, neumático de automovil, para comprobar la efectividad depuradora de 4 agentes absorbentes [$\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaHCO_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, y $\text{Al}(\text{OH})_3$] de los contaminantes CO_2 , SO_2 , CO , Y NO_x . (óxido nítrico, y dióxido de nitrógeno)[12][13]

P R O C E D I M I E N T O

PRIMERA PARTE:

- 1.-) Armar el sistema recolector de gases teniendo cuidado de dejar la llave de gases abierta. (ver Fig. # 8 APENDICE).
- 2.-) Reducir la muestra a combustionar en pedazos de 1 cm., y pesar 1.0 g. sobre una cápsula de porcelana previamente con tara.
- 3.-) Armar el ORSAT con las soluciones analizadoras.
 - Trampa # 1 con solución saturada de KOH .
 - Trampa # 2 con solución 1 N. de H_2O_2 .
 - Trampa # 3 con solución saturada de CuCl .
- 4.-) Revisar si hay fugas en el sistema recolector, y analizador de gases.

- 5.-) Calentar el horno a 600°C .
- 6.-) Asegurarse que la temperatura sea la correcta, y colocar la cápsula de porcelana con la muestra dentro del horno utilizando una pinza.
- 7.-) Esperar 0.5 min. para la combustión de papel y PLET, y 1.5 min. para la combustión de PVC, y neumático de automóvil.
- 8.-) Bombear la bombita extractora de gases para desalojar el aire de la tubería del sistema, y extraer los gases de combustión del horno hacia el colector de gases, y luego al analizador ORSAT. (La válvula de cheque incorporada a la bombita extractora evita que los gases puedan regresar al horno, o diluirse con aire). (Fig.#8 APENDICE)
- 9.-) Realizar tres determinaciones para cada tipo de contaminante CO_2 , SO_2 , CO , respectivamente.
- 10.-) Intercambiar la solución saturada de KOH en la trampa # 1 del ORSAT, por la solución oxidante de trióxido de cromo (CrO_3), y la solución de peróxido de hidrógeno en la trampa # 2 por la solución absorbente de dióxido de nitrógeno. (Acido Sulfanílico), combustionar y analizar NO_x . Realizar 3 determinaciones.
- 11.-) Tabular los resultados para los cuatro materiales. (papel, PLET., PVC, neumático de auto)

SEGUNDA PARTE:

- 11.-) Armar las 2 trampas depuradoras de gases, colocar 100 ml. de la solución química a evaluar y medir la altura del líquido.

12-) Conectar en serie la trampa química a evaluar (Sol. sat. de NaHCO_3 , o Ca(OH)_2 , o Fe(OH)_3 , o Al(OH)_3) entre el colector de gases, y el ORSAT.

13-) Proceder como en la primera parte.

14.) Conectar en serie la segunda trampa química depuradora de gases, junto a la primera mencionada en inciso 12.

15-) Proceder como en la primera parte.

16-) Tabular resultados y elaborar los gráficos de barras.

TERCERA PARTE:

17-) Consiste en la recopilación de datos de la primera y segunda parte, realizar gráficos comparativos de los promedios de eficiencia para cada trampa química, y para cada material combustionado.

RESULTADOS

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LOS GASES DE COMBUSTION DE 4
MATERIALES UTILIZANDO EL ORSAT

TABLA No 1

COMBUSTION DE PAPEL

PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.
Porcentaje de Ceniza: 14.19% de ceniza no volatil
CONCENTRACION: Porcentaje presente en 50 cc. de gas evaluado.

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600°C
PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg

TIPO DE GAS	(%) DE GAS NO DEPURADO					
	Det.No.1	Det.No.2	Det.No.3	PROMEDIO	INTV.(t95%)	STD
Dioxido de carbono	12.80	12.70	12.80	12.77	0.18	0.05
Dioxido de azufre	3.00	3.20	3.00	3.07	0.35	0.09
Monoxido de carbono	2.90	3.00	2.85	2.92	0.23	0.08

INTV.(95%) = $4.3(STD/(N-1))$ PARA N = 3.

COMBUSTION DE PVC (Tubo de 1/2" para agua irfa)

PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.
Porcentaje de Ceniza: 12.84% de ceniza no volatil
CONCENTRACION: Porcentaje presente en 50 cc de gas evaluado.

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600°C
PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg

TIPO DE GAS	(%) DE GAS NO DEPURADO					
	Det.No.1	Det.No.2	Det.No.3	PROMEDIO	INTV.(t95%)	STD
Dioxido de carbono	12.38	11.90	12.38	12.22	0.84	0.28
Dioxido de azufre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Monoxido de carbono	2.80	2.90	3.00	2.90	0.30	0.10

INTV.(95%) = $4.3(STD/(N-1))$ PARA N = 3.

TABLA No 2RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LOS GASES DE COMBUSTION DE 4
MATERIALES UTILIZANDO EL ORSAT

COMBUSTION DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PLET)

PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.

Porcentaje de Ceniza: 0.29 % de ceniza no volatil

CONCENTRACION: Porcentaje presente en 50 cc. gas evaluado.

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600°C

PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg

TIPO DE GAS	(%) DE GAS NO DEPURADO					INTV.(t95%)	STD
	Det.No.1	Det.No.2	Det.No.3	PROMEDIO			
Dioxido de carbono	13.00	13.50	13.30	13.27	0.77	0.25	
Dioxido de azufre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Monoxido de carbono	1.40	1.25	1.30	1.32	0.23	0.08	

INTV.(95%) = $4.3(STD/(N-1))$ PARA N = 3.

COMBUSTION DE NEUMATICO DE AUTOMOVIL

Porcentaje de Ceniza: 9.84 % de ceniza no volatil

PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.

CONCENTRACION: Porcentaje presente en 50 cc de gas evaluado.

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600°C

PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg

TIPO DE GAS	(%) DE GAS NO DEPURADO					INTV.(t95%)	STD
	Det.No.1	Det.No.2	Det.No.3	PROMEDIO			
Dioxido de carbono	8.60	8.90	8.40	8.63	0.77	0.25	
Dioxido de azufre	3.10	3.10	3.00	3.07	0.18	0.06	
Monoxido de carbono	9.70	10.00	9.80	9.83	0.46	0.06	

INTV.(95%) = $4.3(STD/(N-1))$ PARA N = 3.

TABLA No 3

COMPARACION DE LOS % DE CONCENTRACION DE LOS GASES DE COMBUSTION DE PAPEL UTILIZANDO TRAMPAS DEPURADORAS

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600°C

PESO COMBUSTIONADO: 1.0 g.

PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg.

CONCENTRACION: % presente de cada gas en 50cc., antes y despues de su depuración en la trampa.

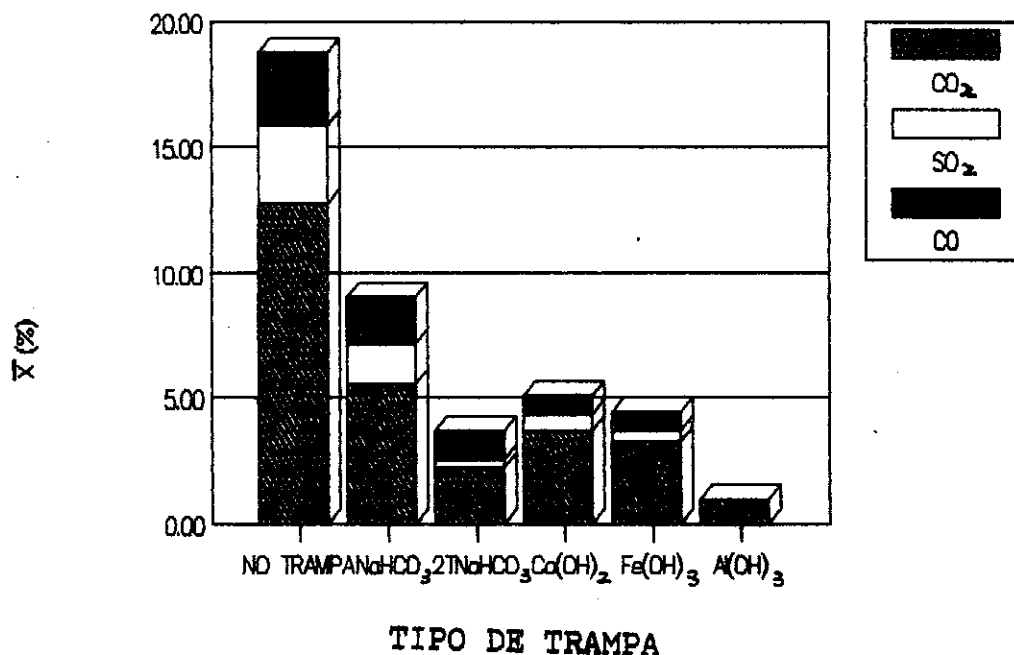
VOLUMEN DE SOLUCION EN LA TRAMPA: 100 ml.

ALTURA DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 5 cm.

PORCENTAJE DE CENIZA: 14.19 % de ceniza no volátil.

TIPO DE GAS	% PROM. NO TRAMPA	PORCENTAJE PROMEDIO UTILIZANDO TRAMPA DEPURADORA									
		NaHCO ₃ INTV.95%	2NaHCO ₃ INTV.95%	Ca(OH) ₂ INTV.95%	Fe(OH) ₃ INTV.95%	Al(OH) ₃ INTV.95%	Al(OH) ₃ INTV.95%	Al(OH) ₃ INTV.95%	Al(OH) ₃ INTV.95%	Al(OH) ₃ INTV.95%	Al(OH) ₃ INTV.95%
DIOXIDO DE CARBONO	12.77	5.55	0.84	2.22	1.68	3.65	0.42	3.25	0.42	0.95	0
DIOXIDO DE AZUFRE	3.07	1.57	0.18	0.32	0.84	0.63	0.4	0.4	0.42	0	0
MONOXIDO DE CARBON	2.92	1.87	0.18	1.11	0.82	0.79	0.82	0.75	0	0	0

% (\bar{X}) DE CONCENTRACION DE GASES DE COM-
BUSTION DE PAPEL UTILIZANDO TRAMPAS



COMPARACION DE LOS PORCENTAJES PROMEDIO DE EFICIENCIA, DE LA COMBUSTION DE PAPEL, UTILIZANDO 4 TRAMPAS CON SOLUCIONES SATURADAS

PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.
 CONCENTRACION: Porcentaje presente en el volumen de gas evaluado.
 TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600 °C
 PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg
 ALTURA DE LA TRAMPA: 5 cm
 VOLUMEN DE LA TRAMPA: 100 ml.

TIPO DE GAS	(% PROMEDIO DE EFICIENCIA (†) DE 4 TRAMPAS PARA C/GAS DEPURADO				
	NaHCO ₃	C/2T-HCO ₃	Ca(OH) ₂	Fe(OH) ₃	Al(OH) ₃
Dioxido de carbono	56.64	82.66	71.48	74.61	92.58
Dioxido de azufre	48.97	89.58	79.37	86.97	100.00
Monoxido de carbono	36.07	62.10	72.93	74.32	100.00

NOTA: Los promedios de eficiencia se obtienen de todos los % de eficiencia para cada gas analizado (CO₂, SO₂, CO), utilizando trampa diferente
 † -(%) DE EFICIENCIA, Representa el porcentaje de depuracion de la trampa estudiada, se obtiene de la siguiente manera:

$$(\%) \text{ DE EFIC.} = ((\%) \text{ PROM. } \dagger - (\%) \text{ PROM. Depurado}) / (\%) \text{ PROM. } \dagger \times 100$$

RESULTADOS PROMEDIO DE EFICIENCIA EN LA COMBUSTION DE PAPEL

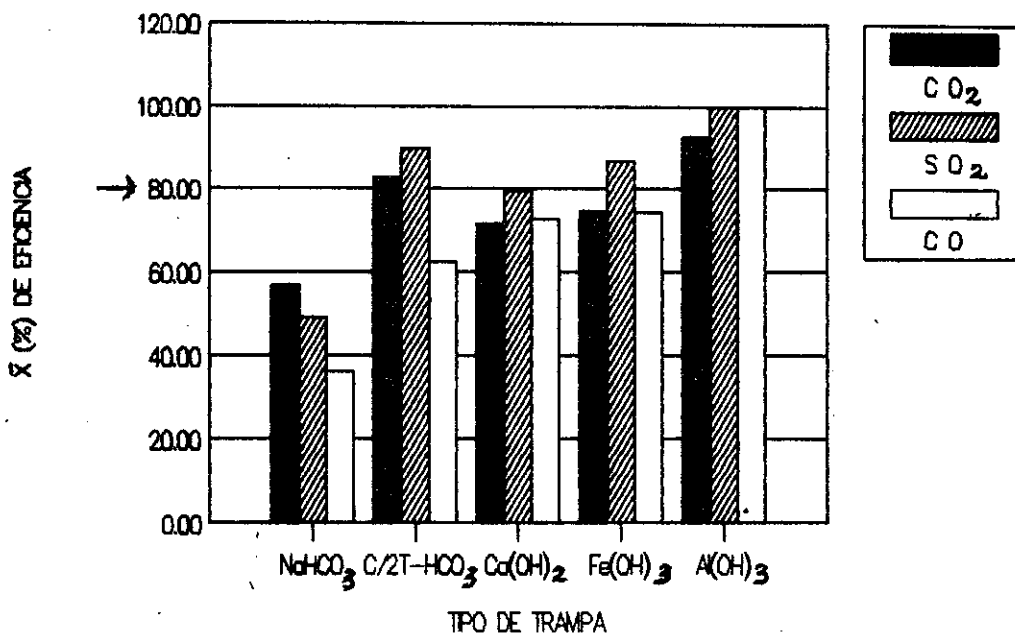


TABLA No 5

COMPARACION DE LOS % DE CONCENTRACION DE LOS GASES DE COMBUSTION DE PVC UTILIZANDO TRAMPAS DEPURADORAS

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600°C

PESO COMBUSTIONADO: 1.0 g.

PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg.

CONCENTRACION: % presente de cada gas en 50cc., antes y despues de su depuración en la trampa.

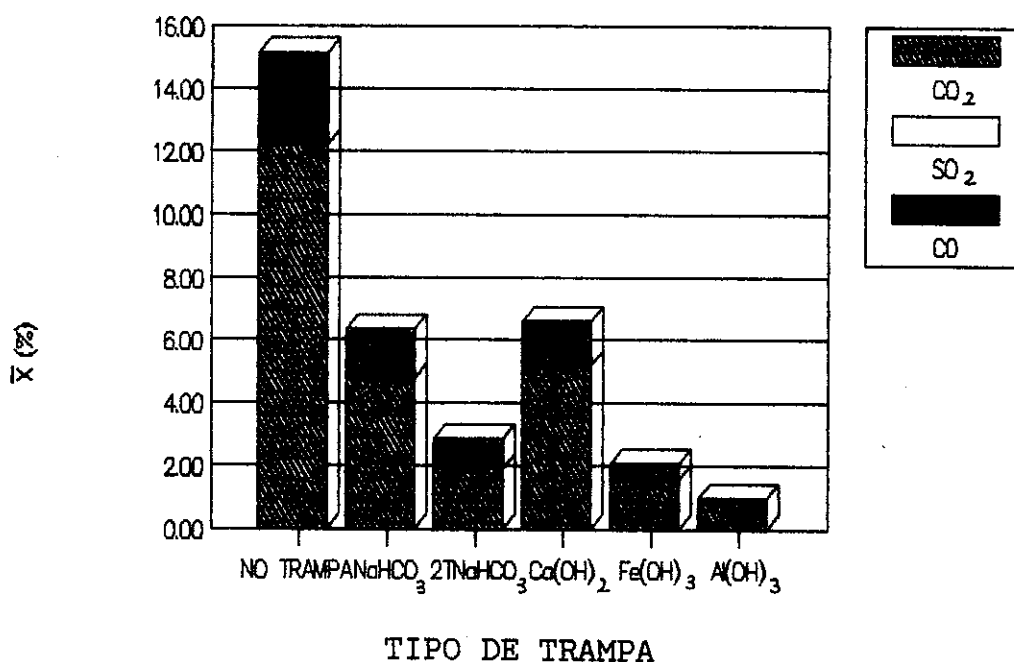
VOLUMEN DE SOLUCION EN LA TRAMPA: 100 ml.

ALTURA DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 5 cm.

PORCENTAJE DE CENIZA: 14.19 % de ceniza no volátil.

TIPO DE GAS	% PROM. NO TRAMPA	PORCENTAJE PROMEDIO UTILIZANDO TRAMPA DEPURADORA									
		NaHCO ₃ INTV.95%	2NaHCO ₃ INTV.95%	Ca(OH) ₂ INTV.95%	Fe(OH) ₃ INTV.95%	Al(OH) ₃ INTV.95%	NaHCO ₃ INTV.95%	2NaHCO ₃ INTV.95%	Ca(OH) ₂ INTV.95%	Fe(OH) ₃ INTV.95%	Al(OH) ₃ INTV.95%
DIOXIDO DE CARBONO	12.22	4.76	2.49	1.9	0	5.22	1.45	1.58	1.67	0.95	0
DIOXIDO DE AZUFRE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MONOXIDO DE CARBON	2.9	1.59	0.82	0.95	0	1.4	0	0.48	0	0	0

% (\bar{X}) DE CONCENTRACION DE GASES DE COM-
BUSTION DE PVC UTILIZANDO TRAMPAS



COMPARACION DE LOS PORCENTAJES PROMEDIO DE EFICIENCIA, DE LA COMBUSTION DE PVC, UTILIZANDO 4 TRAMPAS CON SOLUCIONES SATURADAS

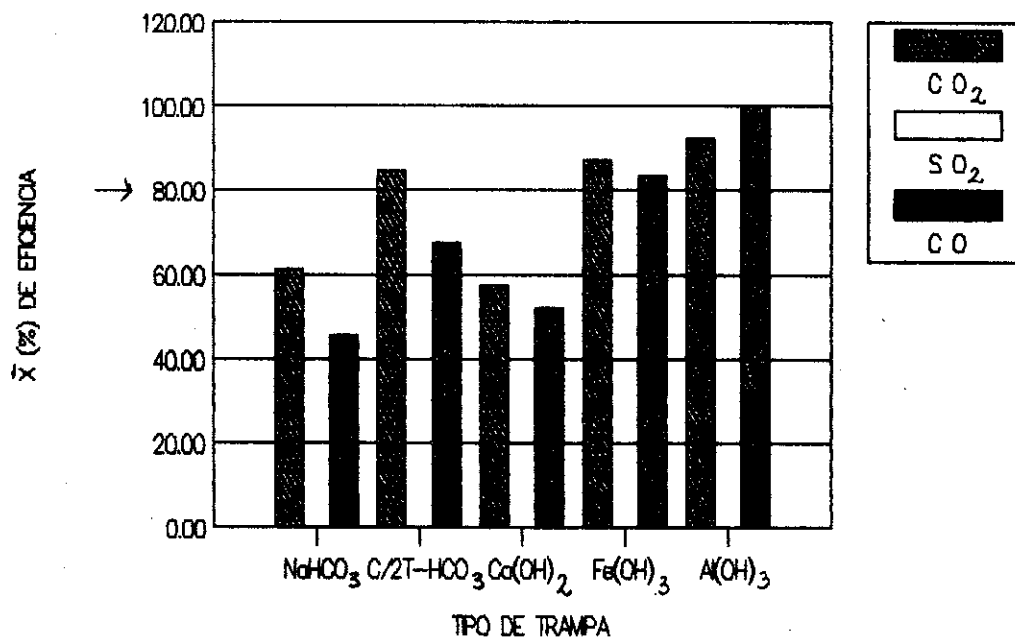
PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.
 CONCENTRACION: Porcentaje presente en el volumen de gas evaluado.
 TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600 °C
 PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg
 ALTURA DE LA TRAMPA: 5 cm
 VOLUMEN DE LA TRAMPA: 100 ml.

TIPO DE GAS	(%) PROMEDIO DE EFICIENCIA (*) DE 4 TRAMPAS PARA C/GAS DEPURADO				
	NaHCO ₃	C/2T-HCO ₃	Ca(OH) ₂	Fe(OH) ₃	Al(OH) ₃
Dioxido de carbono	61.07	84.46	57.26	87.04	92.23
Dioxido de azufre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Monoxido de carbono	45.29	67.24	51.72	83.45	100.00

NOTA: Los promedios de eficiencia se obtienen de todos los % de eficiencia para cada gas analizado (CO₂, SO₂, CO), utilizando trampa diferente
 * -(%) DE EFICIENCIA, Representa el porcentaje de depuracion de la trampa estudiada, y se obtiene de la siguiente manera:

$$(\%) \text{ DE EFIC.} = \frac{((\%) \text{ PROM.} * - (\%) \text{ PROM. Depurado})}{(\%) \text{ PROM.} *} \times 100$$

RESULTADOS PROMEDIO DE EFICIENCIA EN LA COMBUSTION DE PVC.



COMPARACION DE LOS % DE CONCENTRACION DE LOS GASES DE COMBUSTION DE PLET UTILIZANDO TRAMPAS DEPURADORAS

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600°C

PESO COMBUSTIONADO: 1.0 g.

PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg.

CONCENTRACION: % presente de cada gas en 50cc., antes y despues de su depuracion en la trampa.

VOLUMEN DE SOLUCION EN LA TRAMPA: 100 ml.

ALTURA DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 5 cm.

PORCENTAJE DE CENIZA: 14.19 % de ceniza no volátil.

TIPO DE GAS	% PROM. NO TRAMPA	PORCENTAJE PROMEDIO UTILIZANDO TRAMPA DEPURADORA									
		NaHCO ₃ INTV.95%	2NaHCO ₃ INTV.95%	Ca(OH) ₂ INTV.95%	Fe(OH) ₃ INTV.95%	Al(OH) ₃ INTV.95%	NaHCO ₃ INTV.95%	2NaHCO ₃ INTV.95%	Ca(OH) ₂ INTV.95%	Fe(OH) ₃ INTV.95%	Al(OH) ₃ INTV.95%
DIOXIDO DE CARBONO	13.27	4.91	1.67	3.81	0	3.81	1.44	3.8	0.67	1.74	0.84
DIOXIDO DE AZUFRE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MONOXIDO DE CARBON	1.32	1.11	0.84	0.47	0	0.74	0.73	0.71	0	0	0

% (\bar{X}) DE CONCENTRACION DE GASES DE COMBUSTION DE PLET UTILIZANDO TRAMPAS

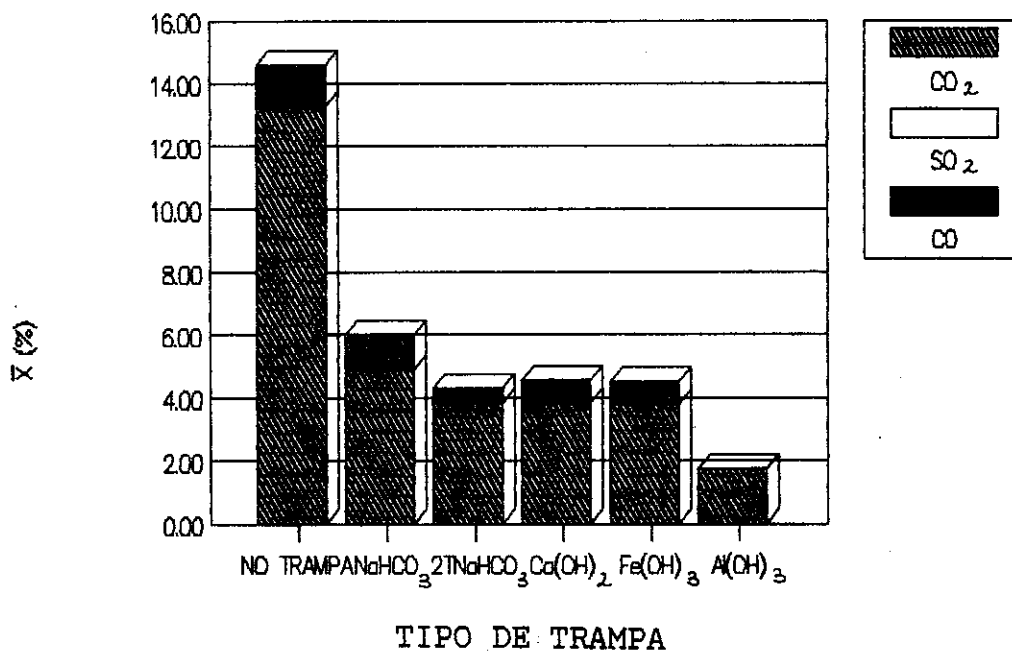


TABLA No 8

COMPARACION DE LOS PORCENTAJES PROMEDIO DE EFICIENCIA, DE LA COMBUSTION DE PLET, UTILIZANDO 4 TRAMPAS CON SOLUCIONES SATURADAS

PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.

CONCENTRACION: Porcentaje presente en el volumen de gas evaluado.

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600 °C

PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg

ALTURA DE LA TRAMPA: 5 cm

VOLUMEN DE LA TRAMPA: 100 ml.

TIPO DE GAS	(*) PROMEDIO DE EFICIENCIA (%) DE 4 TRAMPAS PARA C/GAS DEPURADO				
	NaHCO ₃	C/2T-HCO ₃	Ca(OH) ₂	Fe(OH) ₃	Al(OH) ₃
Dioxido de carbono	62.97	71.29	71.31	71.39	86.89
Dioxido de azufre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Monoxido de carbono	15.91	64.39	43.94	46.21	100.00

NOTA: Los promedios de eficiencia se obtienen de todos los % de eficiencia para cada gas analizado (CO₂, SO₂, CO), utilizando trampa diferente
 * -(%) DE EFICIENCIA, Representa el porcentaje de depuracion de la trampa estudiada, y se obtiene de la siguiente manera:

COMPARACION DE LOS PORCENTAJES PROMEDIO DE EFICIENCIA, DE LA COMBUSTION

$$(\%) \text{ DE EFIC.} = \left(\frac{(\%) \text{ PROM. *} - (\%) \text{ PROM. Depurado}}{(\%) \text{ PROM. *}} \right) \times 100$$

RESULTADOS PROMEDIO DE EFICIENCIA EN LA COMBUSTION DE PLET.

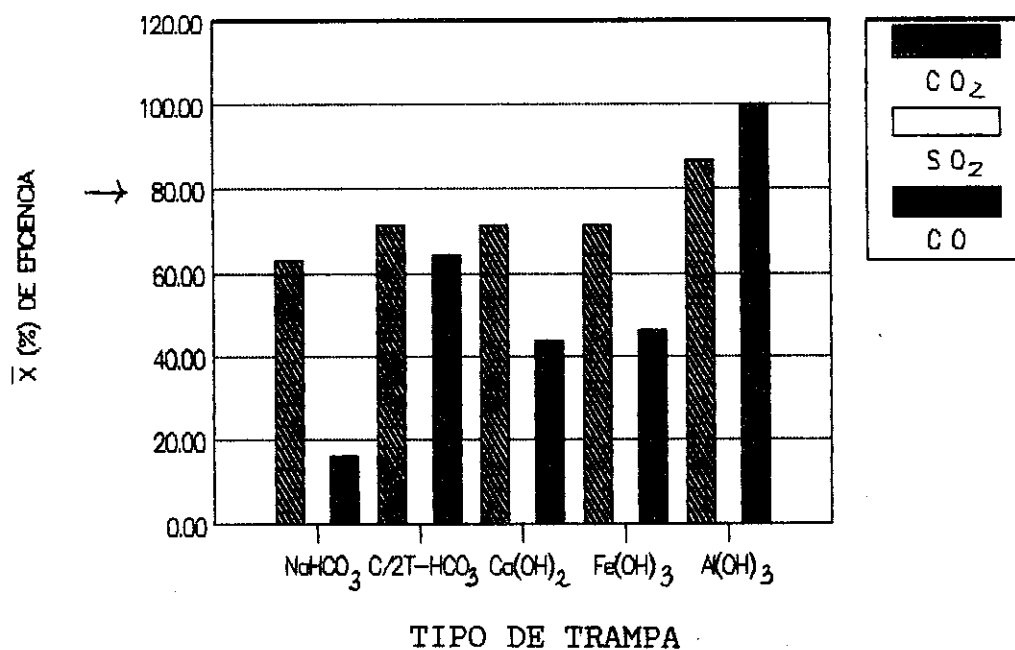


TABLA No 9

COMPARACION DE LOS % DE CONCENTRACION DE LOS GASES DE COMBUSTION DE NEUMATICO DE AUTO UTILIZANDO TRAMPAS DEPURADORAS

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600 °C

PESO COMBUSTIONADO: 1.0 g.

PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg.

CONCENTRACION: % presente de cada gas en 50cc., antes y despues de su depuración en la trampa.

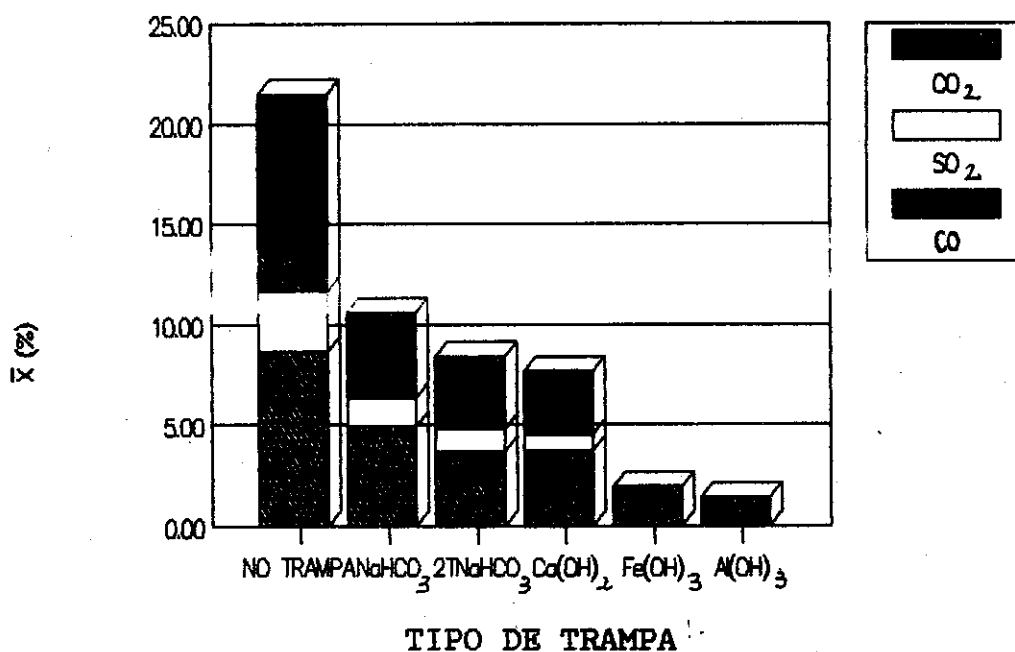
VOLUMEN DE SOLUCION EN LA TRAMPA: 100 ml.

ALTURA DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 5 cm.

PORCENTAJE DE CENIZA: 14.19 % de ceniza no volátil.

TIPO DE GAS	% PROM. NO TRAMPA	PORCENTAJE PROMEDIO UTILIZANDO TRAMPA DEPURADORA									
		NaHCO ₃ INTV.95%	2NaHCO ₃ INTV.95%	Ca(OH) ₂ INTV.95%	Fe(OH) ₃ INTV.95%	Al(OH) ₃ INTV.95%	NaHCO ₃ INTV.95%	2NaHCO ₃ INTV.95%	Ca(OH) ₂ INTV.95%	Fe(OH) ₃ INTV.95%	Al(OH) ₃ INTV.95%
DIOXIDO DE CARBONO	8.63	4.91	1.67	3.64	0.82	3.71	0.82	1.9	0	1.38	0.92
DIOXIDO DE AZUFRE	3.07	1.43	0	1.11	0.84	0.8	0.39	0	0	0	0
MONOXIDO DE CARBON	9.83	4.28	0.82	3.65	0.84	3.17	0.82	0	0	0	0

**% (\bar{X}) DE CONCENTRACION DE GASES DE COM-
BUSTION DE NEUMATICO UTILIZANDO TRAMPAS**



COMPARACION DE LOS PORCENTAJES PROMEDIO DE EFICIENCIA, DE LA COMBUSTION DE NEUMATICO, UTILIZANDO 4 TRAMPAS CON SOLUCIONES SATURADAS

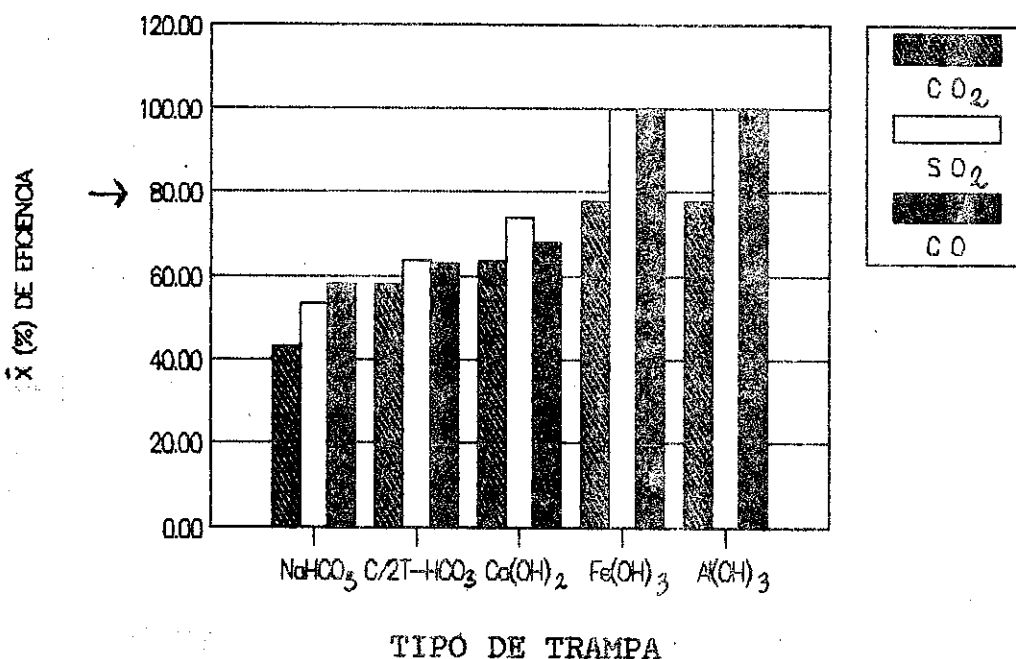
PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.
 CONCENTRACION: Porcentaje presente en el volumen de gas evaluado.
 TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600°C
 PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg
 ALTURA DE LA TRAMPA: 5 cm
 VOLUMEN DE LA TRAMPA: 100 ml.

TIPO DE GAS	(%) PROMEDIO DE EFICIENCIA (%) DE 4 TRAMPAS PARA C/GAS DEPURADO				
	NaHCO ₃	C/2T-HCO ₃	Ca(OH) ₂	Fe(OH) ₃	Al(OH) ₃
Dioxido de carbono	43.07	57.78	63.23	77.98	77.98
Dioxido de azufre	53.42	63.84	73.83	100.00	100.00
Monoxido de carbono	59.05	62.87	67.72	100.00	100.00

NOTA: Los promedios de eficiencia se obtienen de todos los % de eficiencia para cada gas analizado (CO₂, SO₂, CO), utilizando trampa diferente
 * -(%) DE EFICIENCIA, Representa el porcentaje de depuracion de la trampa estudiada, y se obtiene de la siguiente manera:

$$(\%) \text{ DE EFIC.} = \frac{((\%) \text{ PROM.} * - (\%) \text{ PROM. Depurado})}{(\%) \text{ PROM.} *} \times 100$$

RESULTADOS PROMEDIO DE EFICIENCIA EN LA COMBUSTION DE NEUMATICO DE AUTO



COMPARACION DE LOS PORCENTAJES PROMEDIO DE EFICIENCIA, DE LA COMBUSTION DE LLANTA, PVC, PAPEL, Y PLET. CON DOS TRAMPAS CON BICARBONATO

PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.
 CONCENTRACION: Porcentaje presente en el volumen de gas evaluado.
 TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600°C
 PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg
 ALTURA DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 5 cm
 VOLUMEN DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 100 ml.

TIPO DE GAS	(%) PROMEDIO DE EFICIENCIA DE 4 TRAMPAS PARA C/GAS DEPURADO						STD
	PAPEL	PLET	PVC	LLANTA	PROMEDIO	INTV.(t95%)	
Dioxido de carbono	82.52	71.22	84.41	57.54	73.92	19.72	13.13
Dioxido de azufre	89.68	NSP	NSP	63.73	76.70	1.53	15.89
Monoxido de carbono	61.17	64.66	67.69	62.83	64.09	4.45	2.96

NOTA: Los promedios de eficiencia se obtienen de todos los % de eficiencia para cada gas analizado (CO₂, SO₂, CO).
 El promedio para cada tipo de gas, representa la eficiencia si se quemaran PAPEL, PLET, PVC, y LLANTA juntos.

* -(%) DE EFICIENCIA, Representa el porcentaje de depuracion de la trampa estudiada, y se obtiene de la siguiente manera:

$$(\%) \text{ DE EFIC.} = ((\%) \text{ PROM.}^* - (\%) \text{ PROM. Depurado}) / ((\%) \text{ PROM.}^*) \times 100$$

RESULTADOS PROMEDIO DE EFICIENCIA UTILIZANDO DOS TRAMPAS CON BICARBONATO

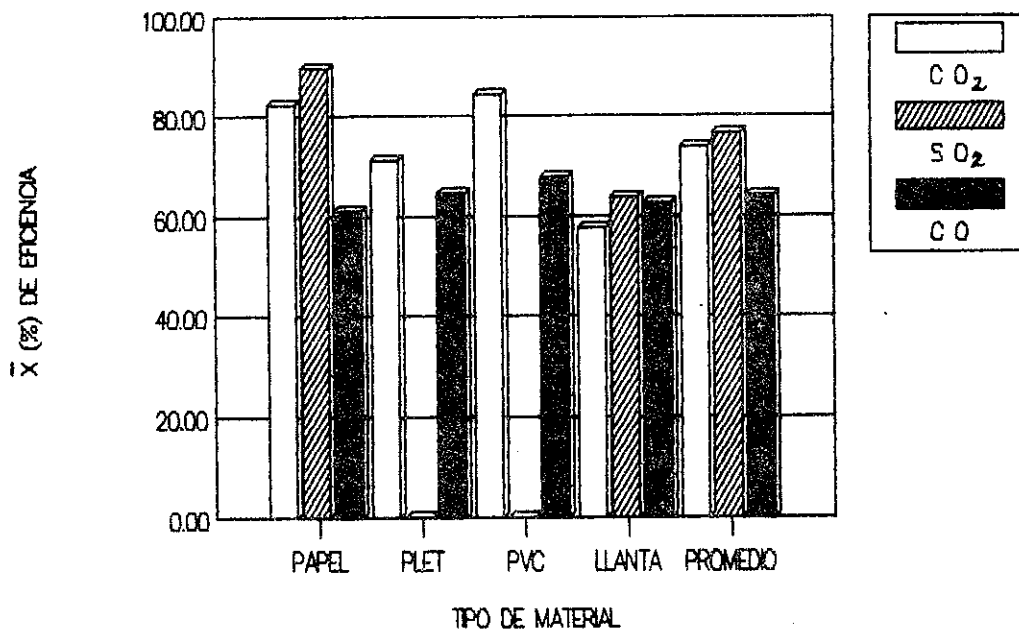


TABLA No 12

COMPARACION DE LOS PORCENTAJES PROMEDIO DE EFICIENCIA, DE LA COMBUSTION DE LLANTA, PVC, PAPEL, Y PLET. CON TRAMPA CON HIDROXIDO DE CALCIO

PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.

CONCENTRACION: Porcentaje presente en 50 cc. de gas evaluado.

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600°C

PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg

ALTURA DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 5 cm

VOLUMEN DE LA TRAMPA: 100 ml.

TIPO DE GAS	(% PROMEDIO DE EFICIENCIA (*) DE 4 TRAMPAS PARA C/GAS DEPURADO						STD
	PAPEL	PLET	PVC	LLANTA	PROMEDIO	INTV. (±95%)	
Dioxido de carbono	71.31	87.40	57.15	63.00	69.72	20.94	13.94
Dioxido de azufre	79.57	NSP	NSP	73.75	76.66	4.12	47.01
Monoxido de carbono	72.16	28.37	52.38	67.68	55.15	31.48	20.96

NOTA: Los promedios de eficiencia se obtienen de todos los % de eficiencia para cada gas analizado (CO₂, SO₂, CO).

El promedio para cada tipo de gas, representa la eficiencia si se quemaran PAPEL, PLET, PVC, y LLANTA.

* -(%) DE EFICIENCIA, Representa el porcentaje de depuracion de la trampa estudiada, y se obtiene de la siguiente manera:

$$(\%) \text{ DE EFIC.} = ((\%) \text{ PROM. *} - (\%) \text{ PROM. Depurado}) / (\%) \text{ PROM. *} \times 100$$

RESULTADOS PROMEDIO DE EFICIENCIA UTILIZANDO TRAMPA CON HIDROXIDO DE CALCIO

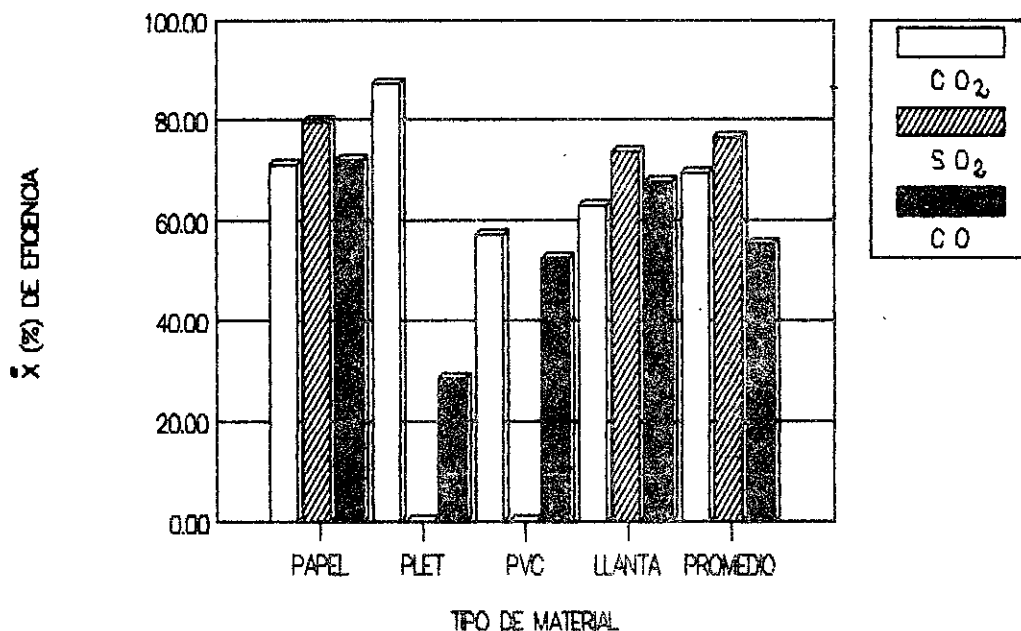


TABLA No 13

COMPARACION DE LOS PORCENTAJES PROMEDIO DE EFICIENCIA, DE LA COMBUSTION DE LLANTA, PVC, PAPEL, Y PLET. CON TRAMPA CON HIDROXIDO FERRICO

PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.

CONCENTRACION: Porcentaje presente en el volumen de gas evaluado.

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600 °C

PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg

ALTURA DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 5 cm

VOLUMEN DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 100 ml.

TIPO DE GAS	(%) PROMEDIO DE EFICIENCIA (%) DE 4 TRAMPAS PARA C/GAS DEPURADO						
	PAPEL	PLET	PVC	LLANTA	PROMEDIO	INTV. (t95%)	STD
Dioxido de carbono	74.45	71.22	87.01	77.86	77.64	10.86	7.23
Dioxido de azufre	87.10	NSP	NSP	100.00	93.55	24.21	7.90
Monoxido de carbono	73.68	75.09	83.67	100.00	83.11	19.27	12.83

NOTA: Los promedios de eficiencia se obtienen de todos los % de eficiencia para cada gas analizado (CO₂, SO₂, CO).

El promedio para cada tipo de gas, representa la eficiencia si se quemaran PAPEL, PLET, PVC, y LLANTA juntos.

* -(%) DE EFICIENCIA, Representa el porcentaje de depuracion de la trampa estudiada, y se obtiene de la siguiente manera:

$$(\%) \text{ DE EFIC.} = ((\%) \text{ PROM. } * - (\%) \text{ PROM. Depurado}) / ((\%) \text{ PROM. } *) \times 100$$

RESULTADOS PROMEDIO DE EFICIENCIA UTILIZANDO TRAMPA CON HIDROXIDO FERRICO

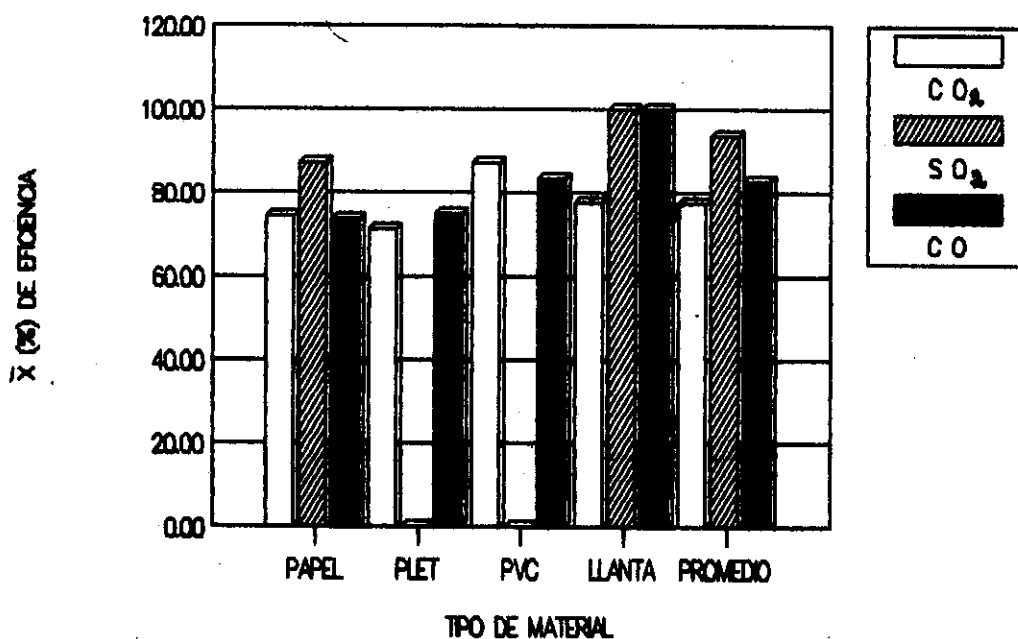


TABLA No 14

COMPARACION DE LOS PORCENTAJES PROMEDIO DE EFICIENCIA, DE LA COMBUSTION DE LLANTA, PVC, PAPEL, Y PLET. CON TRAMPA CON HIDROXIDO DE ALUMINIO

PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.

CONCENTRACION: Porcentaje presente en el volumen de gas evaluado.

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600 °C

PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg

ALTURA DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 5 cm

VOLUMEN DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 100 ml.

TIPO DE GAS	(% PROMEDIO DE EFICIENCIA (#) DE 4 TRAMPAS PARA C/GAS DEPURADO						
	PAPEL	PLET	PVC	LLANTA	PROMEDIO	INTV. (±95%)	STD
Dioxido de carbono	92.53	96.86	92.21	77.86	87.36	10.91	7.27
Dioxido de azufre	100.00	NSP	NSP	100.00	100.00	0.00	0.00
Monoxido de carbono	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00

NOTA: Los promedios de eficiencia se obtienen de todos los % de eficiencia para cada gas analizado (CO₂, SO₂, CO).

El promedio para cada tipo de gas, representa la eficiencia si se quemaran PAPEL, PLET, PVC, y LLANTA juntos.

± (%) DE EFICIENCIA, Representa el porcentaje de depuracion de la trampa estudiada, y se obtiene de la siguiente manera:

$$(\%) \text{ DE EFIC.} = ((\%) \text{ PROM.} \# - (\%) \text{ PROM. Depurado}) / (\%) \text{ PROM.} \# \times 100$$

RESULTADOS PROMEDIO DE EFICIENCIA UTILI

ZANDO TRAMPA CON HIDROXIDO DE ALUMINIO

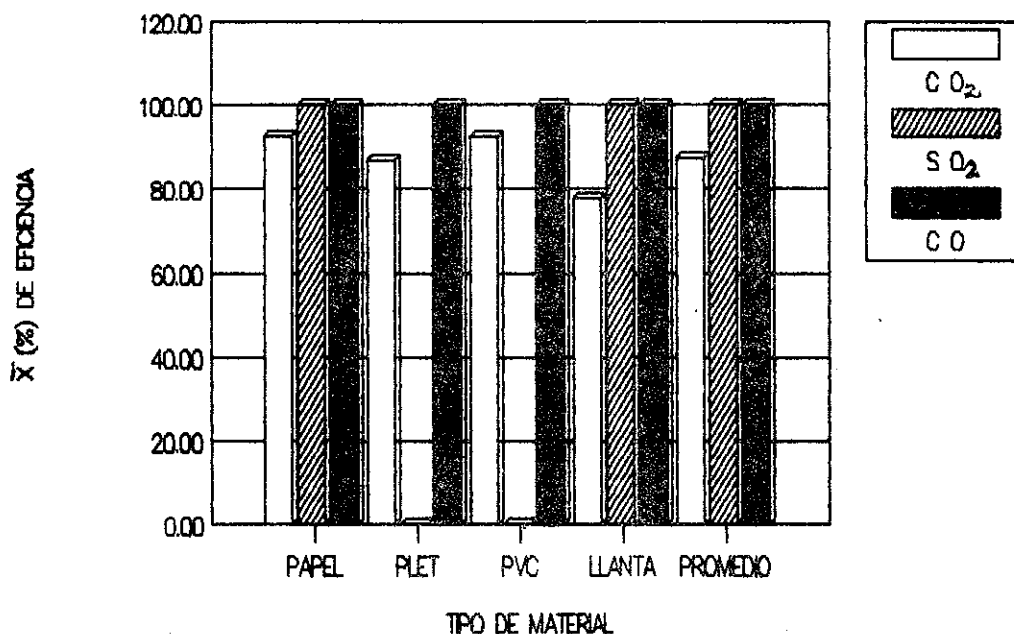


TABLA No 15

COMPARACION DE LOS PORCENTAJES PROMEDIO DE EFICIENCIA, DE LA COMBUSTION DE LLANTA, PVC, PAPEL, Y PLET. DE 4 TRAMPAS CON SOLUCIONES SATURADAS

PESO COMBUSTIONADO: 1.00 g.

CONCENTRACION: Porcentaje presente en el volumen de gas evaluado.

TEMPERATURA DE COMBUSTION: 600 °C

PRESION DE DETERMINACION: 638 mmHg

ALTURA DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 5 cm

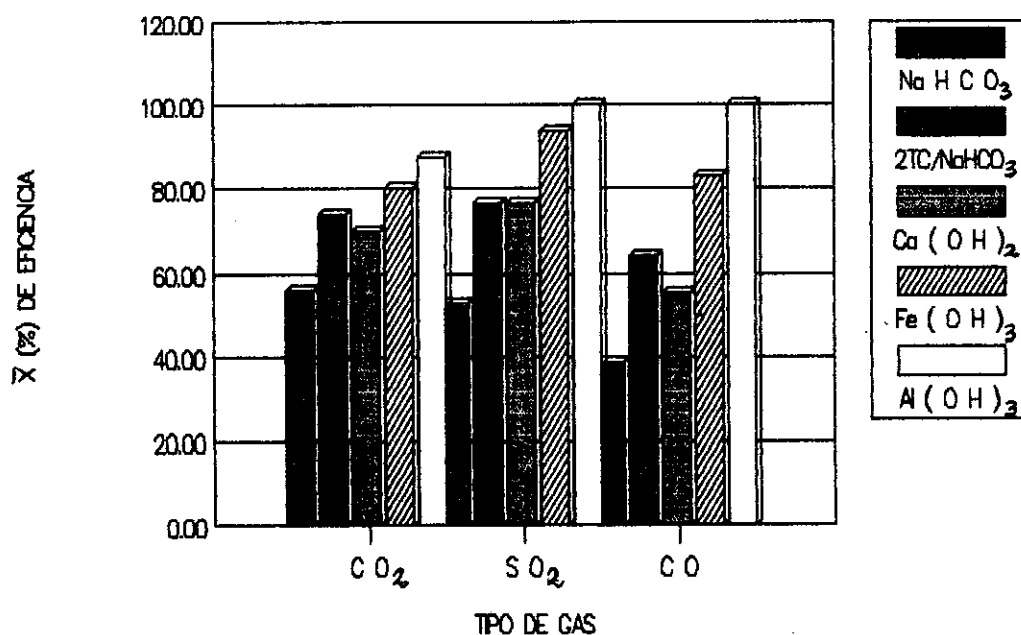
VOLUMEN DE LA SOLUCION EN LA TRAMPA: 100 ml.

TIPO DE GAS	(% PROMEDIO DE EFICIENCIA (*) DE 4 TRAMPAS PARA C/GAS DEPURADO				
	NaHCO ₃	C/2T-HCO ₃	Ca(OH) ₂	Fe(OH) ₃	Al(OH) ₃
Dioxido de carbono	55.73	73.92	69.71	80.00	87.31
Dioxido de azufre	52.79	76.70	76.66	93.55	100.00
Monoxido de carbono	38.77	64.07	55.15	83.11	100.00

NOTA: Los promedios de eficiencia se obtienen de todos los % de eficiencia para cada gas analizado (CO₂, SO₂, CO), utilizando trampa diferente
 * -(%) DE EFICIENCIA, Representa el porcentaje de depuracion de la trampa estudiada, y se obtiene de la siguiente manera:

$$(\%) \text{ DE EFIC.} = \frac{((\%) \text{ PROM. } * - (\%) \text{ PROM. Depurado})}{(\%) \text{ PROM. } * } \times 100$$

RESULTADOS PROMEDIO DE EFICIENCIA EN LA COMBUSTION DE PAPEL, PVC, PLET, LLANTA



DISCUSION DE RESULTADOS

Las principales fuentes de error del método de análisis se encuentran en las operaciones de 1) recolecta, 2) transporte, 3) almacenamiento de la muestra, 4) Del instrumento de análisis, y 5) método estadístico. Los tres primeros podemos descartarlos, porque los gases se extraen directamente del horno para realizar las determinaciones in situ (ver fig. # 8; El horno tiene conectado un tubo el cual conduce los gases de combustión y por medio de una manguera de Neopreno a un recipiente de vidrio herméticamente cerrado (Colector de gases) de donde se toma la muestra para ser analizada, y para ser depurada en la trampa química y analizada).

El trabajo es una comparación de medidas realizadas en idénticas condiciones de Presión, Temperatura, Volumén, y con el mismo instrumento, ésto permite situar los errores en el método estadístico empleado para determinar la media aritmética, donde se toma en consideración el intervalo de error con 95 % de confianza (Desde $-2(\text{STD})$ -- $+2(\text{STD})$ alrededor de la media). Se utiliza la desviación típica con el término $(N-1)$ que sitúa la desviación típica para mayor número de datos en un valor 6 % inferior.

El analizador Orsat cuantifica las proporciones de cada gas en base seca, (la cantidad de vapor no puede cuantificarse) a la temperatura y presión del laboratorio; la cual se encuentra por debajo del punto de rocío para la mayoría de los productos hidrocarbónicos de combustión. Así, el error implícito es pequeño, por estar condensado el vapor de agua

previo a su determinación en el Orsat.[8]

El nitrógeno molecular (N_2) que se encuentra en el aire a elevadas temperaturas ($600^\circ C$) puede reaccionar con el oxígeno y formar óxidos de nitrógeno (NO_x) en los gases de combustión [5]. Por ésta razón aunque los materiales combustiónados no tienen nitrógeno en su constitución, presentaron menos del 1 % de concentración de óxidos de nitrógeno en el blanco. Sin embargo, al utilizar cualquiera de las trampas alcalinas para depurar los gases de combustión y ser analizados, no mostró ninguna concentración de óxidos siendo 100% eficientes. (Los óxidos de nitrógeno son altamente miscibles en medio alcalino.[15])

A continuación se discuten los resultados que permitan establecer la eficiencia de las trampas de recolecta de los productos de combustión de los 4 materiales estudiados:

En primera parte de los resultados se muestra en las tablas # 1 y # 2 con la cuantificación de los gases; operación que se realizó, para cumplir con el objetivo de establecer valores de referencia para cada gas (por medio del promedio de 3 lecturas que permiten establecer la reproducibilidad del método analítico y la desviación producida) y así comprobar su depuración, eliminación o limpieza en las trampas estudiadas. En la columna 5 de dichas tablas, se presentan los porcentajes promedio del análisis cuantitativo de CO_2 , SO_2 , y CO , para papel, PVC, PLET, y neumático de auto. Estos valores se toman como referencia de la tabla # 3 en adelante, para determinar el grado de depuración de cada tram-

pa, y se citan en cada tabla como (%)PROM.

En la columna 6 de las tablas #1 y #2, el intervalo representa el valor mas, menos en que se encuentra el valor promedio de concentración en porcentaje, con un 95% de confianza, y utilizando la desviación estandar (STD) con el término (N-1) y en combinación con la tabla # 3, donde se presentan los resultados para la combustión de papel, utilizando una trampa de cada depurante a excepción de la de bicarbonato en la que se incluyen los resultados utilizando dos trampas conectadas en serie; la concentración de dióxido de Carbono desciende a menos de la mitad de su concentración inicial así como la concentración de dióxido de azufre, pero obtenemos una concentración relativamente elevada para el monóxido de carbono (según el comportamiento obtenido para el dióxido de carbono y de azufre), notando la mayor dificultad para oxidar el monóxido que para el dióxido de ambas especies. También nos muestra comparativamente el efecto de las trampas alcalinas en la concentración de las especies gaseosas, y su gráfica en columnas con rimeros en forma de emparedado visualiza el efecto descendente en la concentración de los gases de combustión.

Un resumen de la eficiencia de las trampas estudiadas combustionando papel (tabla #4), PVC (tabla No.6), PLET (tabla #8), y neumatico de automovil (tabla #10); muestra gráficamente la forma ascendente de los valores de eficiencia conforme nos acercamos al hidroxido de aluminio que resulta ser la trampa mas eficiente.

Obsérvese en la tabla #4 que la eficiencia para CO_2 , es menor que para SO_2 . Esto sucede porque las concentraciones de dióxido de carbono en los gases de combustión son mas de 5 veces mayores que la de SO_2 (porque el volumen de solución en la trampa, se mantiene constante).

La columna # 5' de la tabla No.4 se construyó con los valores resultantes de depurar los gases de combustión de papel, con Sol.Sat. de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, las eficiencias se encuentran en los valores fronterizos que acepta EPA; sin embargo, utilizando dos trampas en serie, se produce una depuración total para todos los gases de combustión, teniendo 100% de eficiencia. Esto mismo sucede al utilizar la segunda trampa depuradora con hidróxido férrico e hidróxido de aluminio, por lo que podemos decir que la hipótesis afirmativa se cumple utilizando dos trampas depuradoras de estas soluciones para los cuatro materiales combustionados.

Las siguientes tablas contienen graficas con el resumen de los resultados. La tabla # 11, muestra los resultados promedio de los porcentajes de eficiencia promedio para cada gas, de cada material combustionado, utilizando dos trampas con bicarbonato. Esto permite visualizar la eficiencia de depuración promedio para los cuatro materiales combustionados en forma de simulación estadística (columna # 6) como si combustionáramos todos los materiales juntos analizando CO_2 , SO_2 , Y CO , y comprobáramos la eficiencia de cada trampa (ver tablas #11-#14 de resultados, columna #6)

La trampa mas eficiente resulta ser la que tiene hidróxido de aluminio como puede verse en la tabla No.14 de resultados.

Los resultados globales pueden visualizarse mejor en la tabla # 15, en la gráfica se plotean los porcentajes promedio de eficiencia para cada gas utilizando las diferentes trampas en 5 series. La trampa de hidróxido de aluminio tiene mejores eficiencias, y promete utilizarse en la depuración de gases; sin embargo, es aconsejable utilizar dos trampas en serie, las cuales garantizan la depuración completa de los gases evaluados.

CONCLUSIONES

- 1.-) Los resultados son alentadores para la eliminación de basura a través del proceso de combustión con la depuración de los gases de combustión (CO_2 , SO_2 , CO , NO_x) utilizando trampas con soluciones alcalinas.
- 2.-) De los cuatro materiales combustionados, el neumático de automóvil produce mayores cantidades de CO y SO_2 .
- 3.-) La trampa conteniendo solución sat. de hidróxido de aluminio, resultó ser la más eficiente en depurar los gases de combustión evaluados CO_2 (87.31 %EFIC.), SO_2 (100 % EFIC.) Y CO (100%).
- 4.-) Se deben utilizar dos trampas con hidróxido férrico, para que cumpla las especificaciones de EPA.
- 5.-) La trampa con hidróxido de calcio evaluada, no se acepta, por no tener más del 80% de eficiencia en CO_2 . También, los promedios de eficiencia para la combustión de todos los materiales juntos es baja (Tabla -12, columna # 6 de resultados); y tiene que utilizarse dos trampas conectadas en serie para ser aceptado.
- 6.-) Para el bicarbonato de sodio, se necesita usar tres trampas, para obtener 100% de eficiencia.

RECOMENDACIONES

1.-) Los resultados obtenidos están sujetos a las condiciones del sistema empleado en su obtención, y aunque prueban la eficiencia depuradora de las trampas estudiadas, para la fabricación de una planta piloto similares pruebas a las realizadas en éste trabajo deberán efectuarse.

2-) En la combustión de desechos sólidos, deberá buscarse trabajar con sistemas continuos, los cuales implican un mantenimiento sostenible, y la necesidad de comprobar el agotamiento de las trampas depuradoras utilizadas, así como la utilización de los hidróxidos, sulfatos, nitratos y carbonatos resultantes en la trampa para no crear solamente desechos, los cuales a la larga podrían convertirse en un problema secundario.

3-) Debe garantizarse la relación aire/combustible para un sistema y determinado material, para lo cual deberá calcularse antes de su combustión utilizando un procedimiento similar al explicado en antecedentes (pp. 11, 12, 13), desarrollando la ecuación de combustión para el material combustionado por medio de la determinación de las cantidades de oxígeno presente en los gases de combustión, junto con los determinados en este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.-) Servicios Públicos y Desarrollo Nacional. "LA MEJOR MANERA DE APROVECHAR LA BASURA " Stanford: Intercontinental Publicaton Inc. marzo 1970, vol 17, No.2pp.60-65.
- 2.-) Norman W. Frank y Markovic Vitomir "Tratamiento de los gases de Combustión por Haces Electrónicas: Purificación del Aire", USA: Boletín de la OEA. 1/1994. PP. 7-10.
- 3.-) Servicios Publicos y Desarrollo Nacional. HAY ORO EN LA BASURA? Stanford: Intercontinental Publication Inc. Vol.35, No.8 Nov/Dic. 1989. pp.30-32.
- 4.-) Perry H.R. y Chilton H. Cecil. "CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK. N.Y.: Mc.Graw-Hill Chemical Engineer. 5ta. Edit. pp. 9,18-39.
- 5.-) Tchobanoglous G. Theisen H. Vigil S.A. GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS. Madrid: Mc. Graw Hill, 1994 Vol.II pp. XXII + 609-1107.
- 6.-) Cooper, C.D. y Alley, F.C. "AIR POLLUTION CONTROL: A DESIGN APPROACH". Boston: PWS-Publishers, 1986 1er Edit. pp 240-265.
- 7.-) California Air Resource Board. AIR POLLUTION CONTROL AT RESOURCE RECOVERY FACILITIES. Sacramento, Ca- 24/05/1984.
- 8.-) Burghardt, M.D. INGENIERIA TERMODINAMICA México: Harla Harper & Row Latinoamericana. 2da. Edic. 1984. pp.(94-123), (296-304).
- 9.-) Gilchrist, J.D. FUEL, FURNACE AN REFRACTORIES. Oxford: Pergamon Press. 1977, pp.182-240.

- 10-) Austin, George T. MANUAL DE PROCESOS QUIMICOS EN LA INDUSTRIA. México:Mc Graw-Hill, 1989 Tomo I pp. 187-199.
- 11-) Sears, Zemansky, Young. UNIVERSITY PHYSICS. -Complete- Phillippinas: Addison Wesley Publishing Company Inc. Sixth Printing. 1980 pp.216.
- 12-) Grant, Eugene L. Leaventworth, Richard S. CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD. México: C.E.C.S.A. 1987.pp. 15-132.
- 13-) Spiege, Murray R. ESTADISTICA, México: Mc.Graw-Hill. 1981.Pp.357+7.
- 14-) Ayres H. Gilbert. ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO. México: Harla HARPER & Row Latinoamericano. 2da.Edic. 1970.pp 168-171,431.
- 15-) Lodge,James P. Jr. (Edit.) METHODS OF AIR SAMPLING AND ANALYSIS. USA: Copyrigh Lewis Publishers, Inc. 1989.pp. 523-528,559-562.
- 16-) American Public Health Association. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER. USA: Library of Congress Cataloging in Publication Data. 14 edit. (1976).pp. 648.
- 17-) Blaedel, W.S., Melcche, V.W., ELEMENTARY QUANTITATIVE ANALYSIS. Illinois: Row,Peterson and Companyu. (1957).pp.648.
- 18-) Cole-Palmer. INSTRUMENTS FOR RESEARCH, INDUSTRY, AND EDUCATION.USA.:Copyright Cole-Palmer Instrument Company. (1990).

GLOSARIO

- EPC: Buenas prácticas de combustión.
- CDR: Combustible derivado de residuos.
- ESP: Sistemas modernos de incinerar.
- LD: Cantidad mínima de un compuesto en gr., por Kg. de peso, necesaria para matar.
- Materia Volatil (MV): Son todos los contaminantes que se evaporan a baja temperatura.
- MO: Metales pesados.
- PAN: Peroxiacetonitrilo.
- PCDD: Policloro dibenzo dioxina.
- PCDF: Policloro dibenzo furano.
- PE: Polietileno.
- PS: Poliestireno.
- PVC: Policloruro de vinilo
- RSU: Residuos de sistemas unitarios. Constituyen los sólidos residuales de otros procesos, como los sedimentos de aguas residuales en plantas de papel.
- SCE: Supervisión continua de emisiones.
- 2,3,7,8-TCDD: Tetracloro dibenzo p.Dioxina.
- Smog: Gases con alto poder oxidante constituidos por PAN, y ozono.

FIGURA No 1:

Sistema típico de combustibles derivados de desechos (CDD)

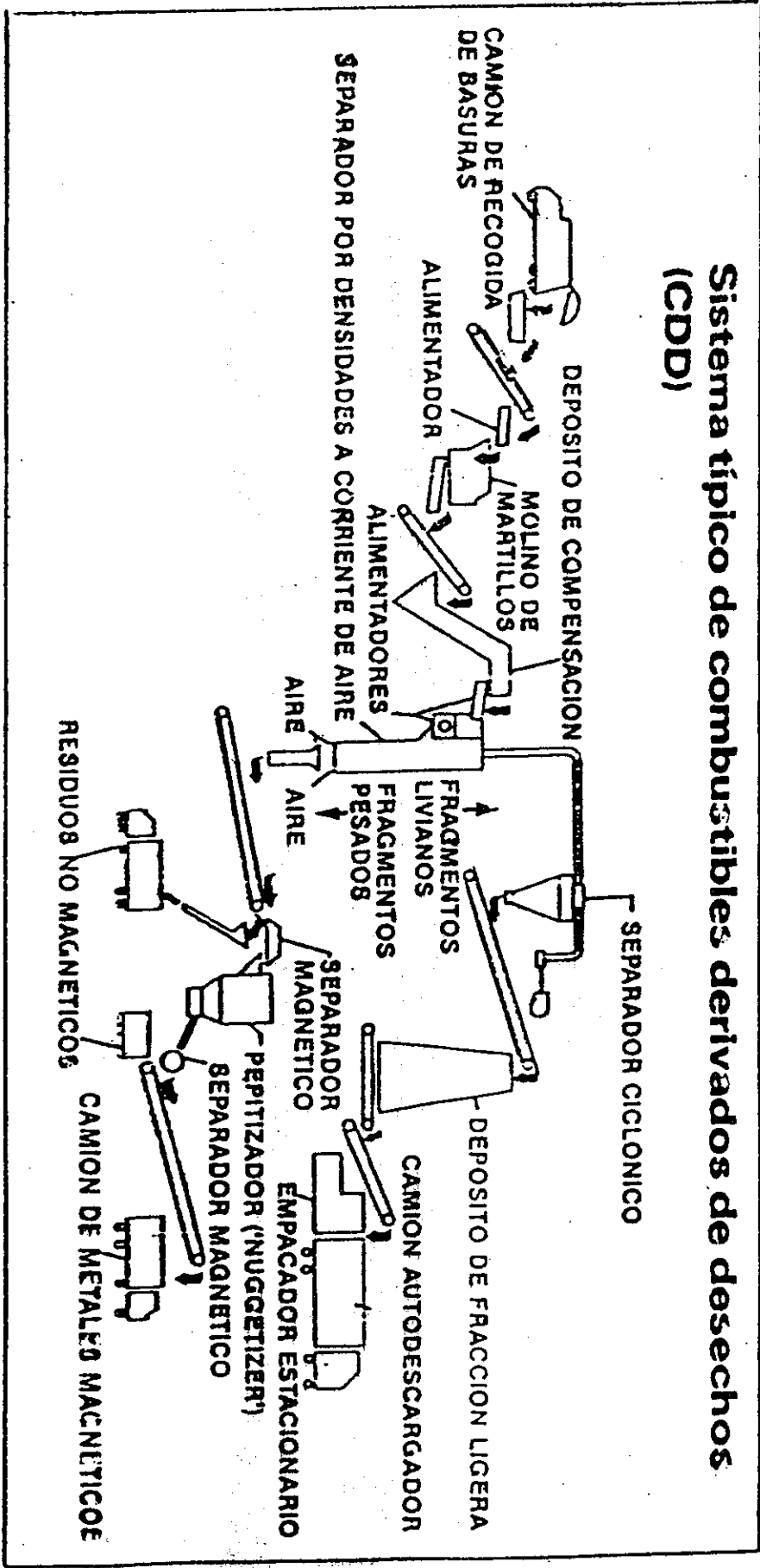


FIGURA No. 2

Sistemas básicos de Recuperación de Recursos

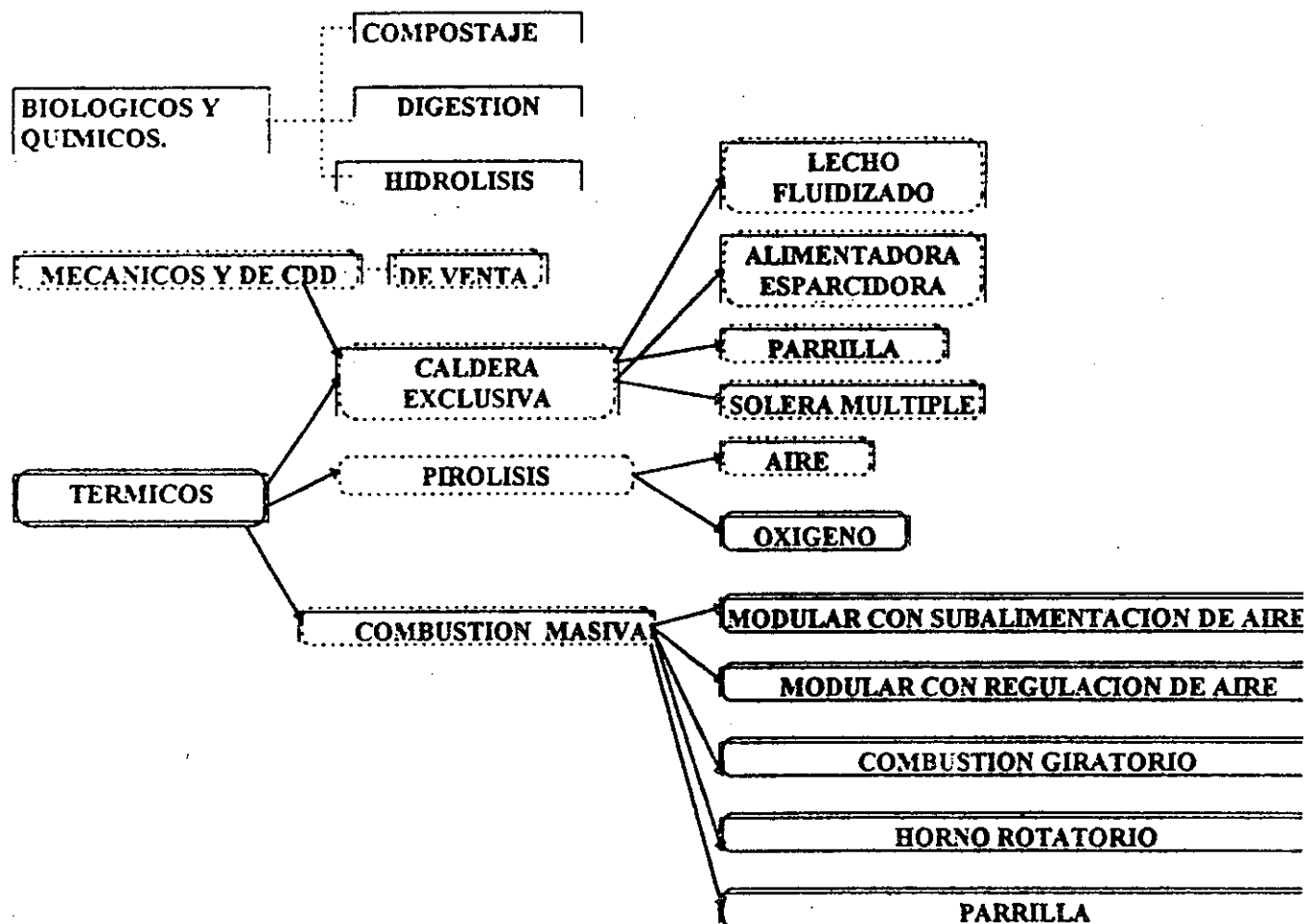


FIGURA No. 3

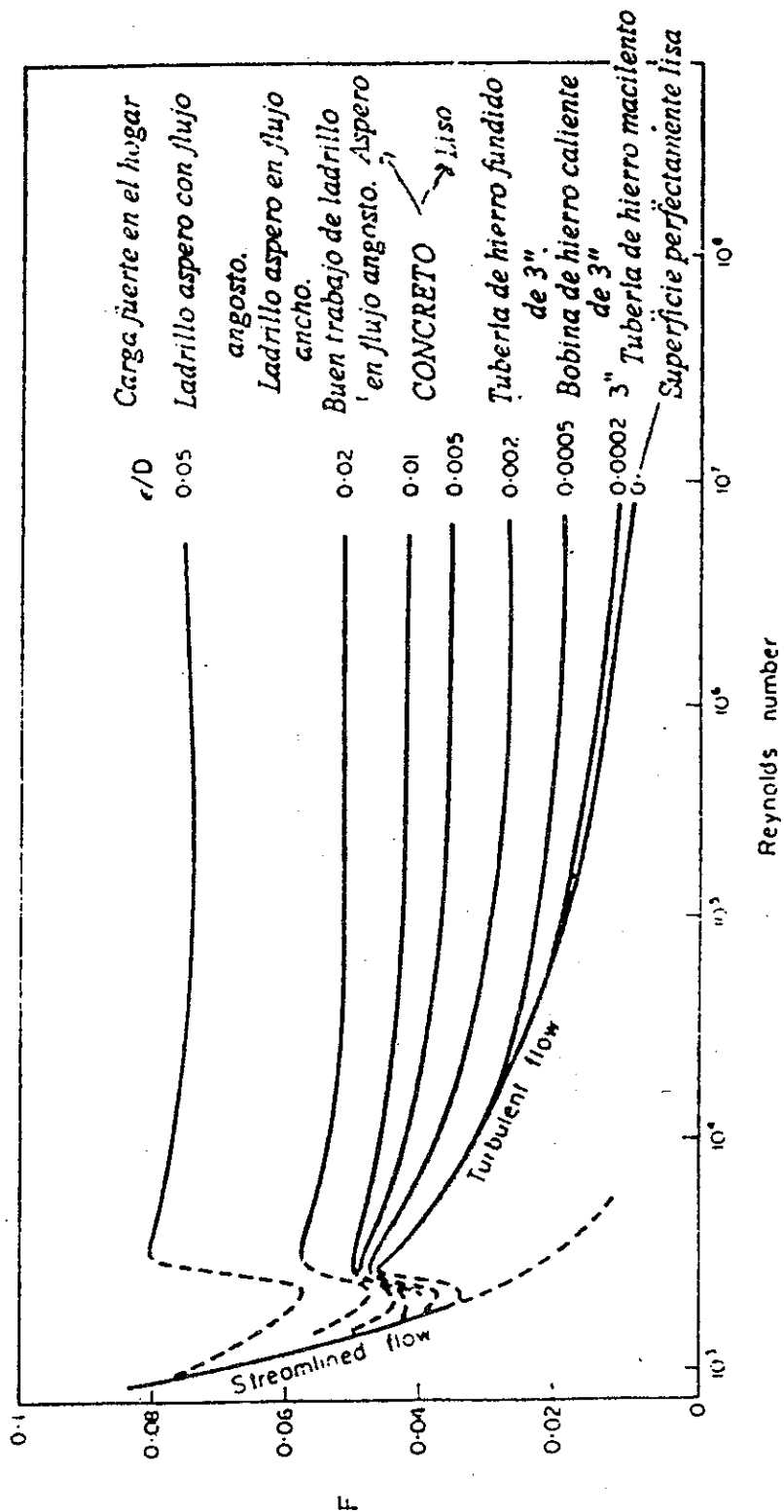
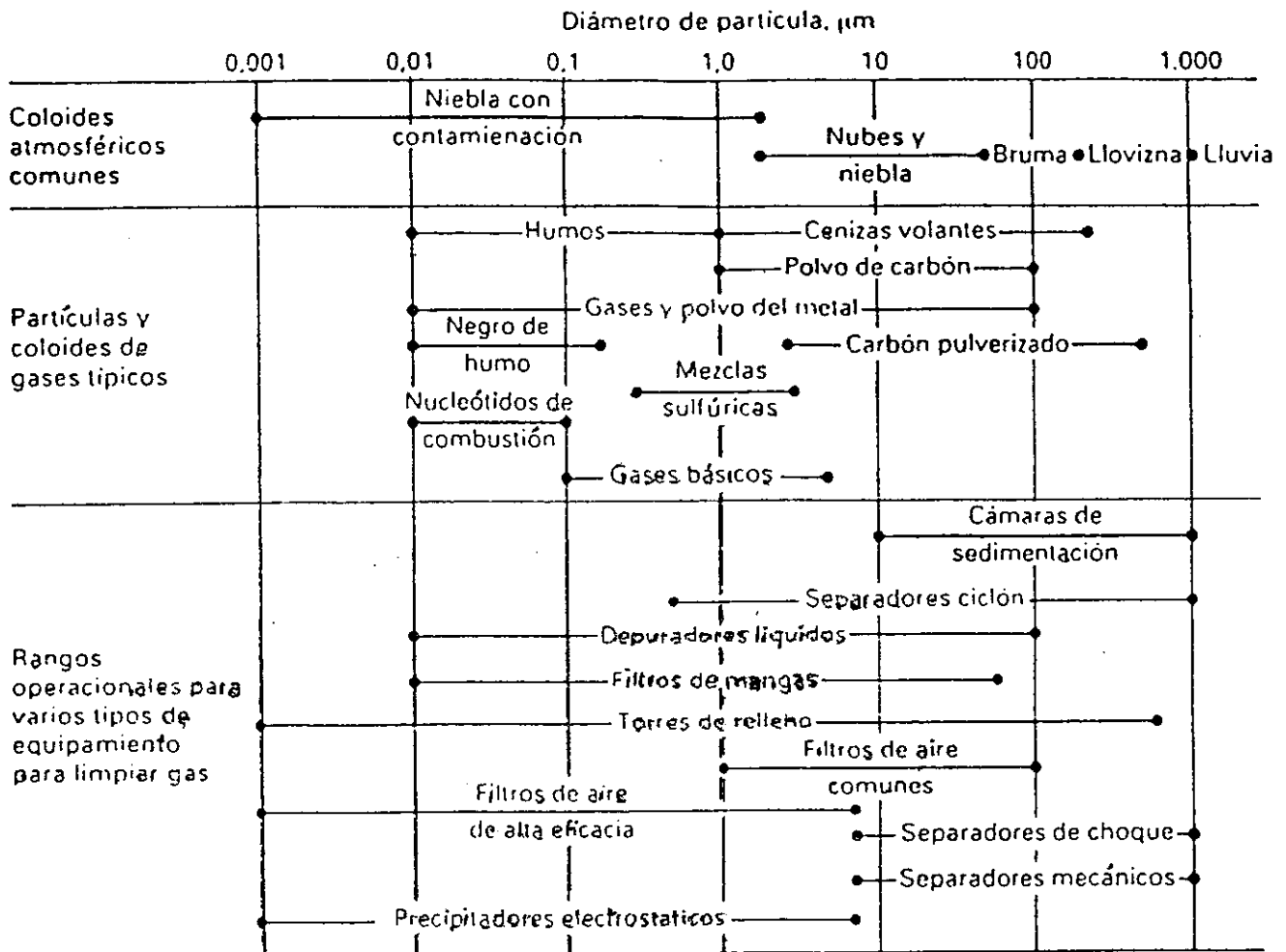


Fig. No. 3 Relaciones entre el factor de fricción F y el número de Reynolds para superficies con varios estados de rugosidad, indicadas por la rugosidad relativa ϵ/D .

[12], [4]

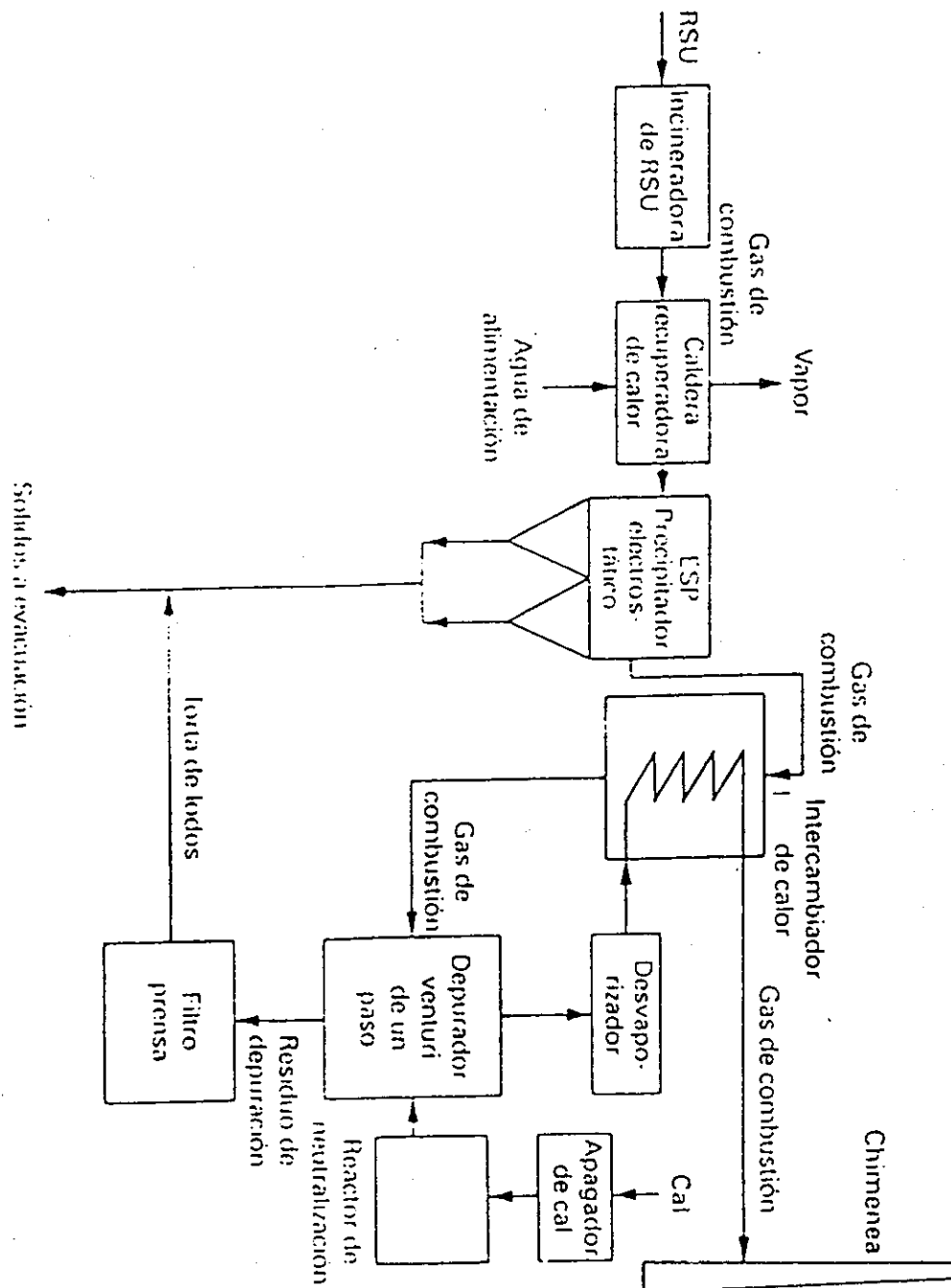


Clasificación de los tamaños de las partículas.

[5]

FIGURA No. 6

Diagrama de flujo de un sistema de depuración húmeda en Kiel, Alemania, para el control de gase ácidos y dióxido de azufre.



[5]

FIGURA No. 7

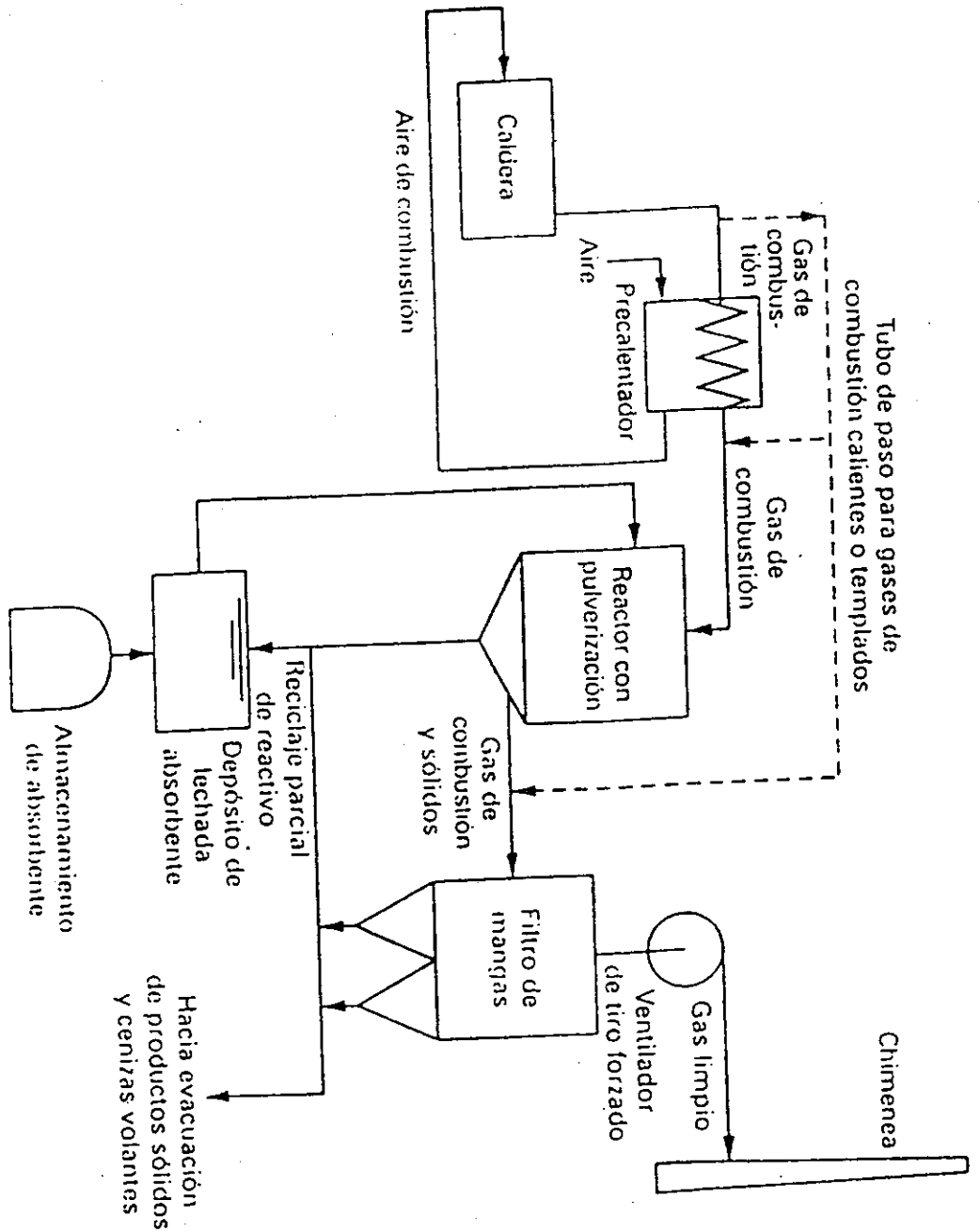


Diagrama del flujo de una desecadora de rocío para la separación de gases ácidos y SO₂.

FIGURA No. 8

Diagrama del flujo de los gases de combustión - Tratamiento propuesto-

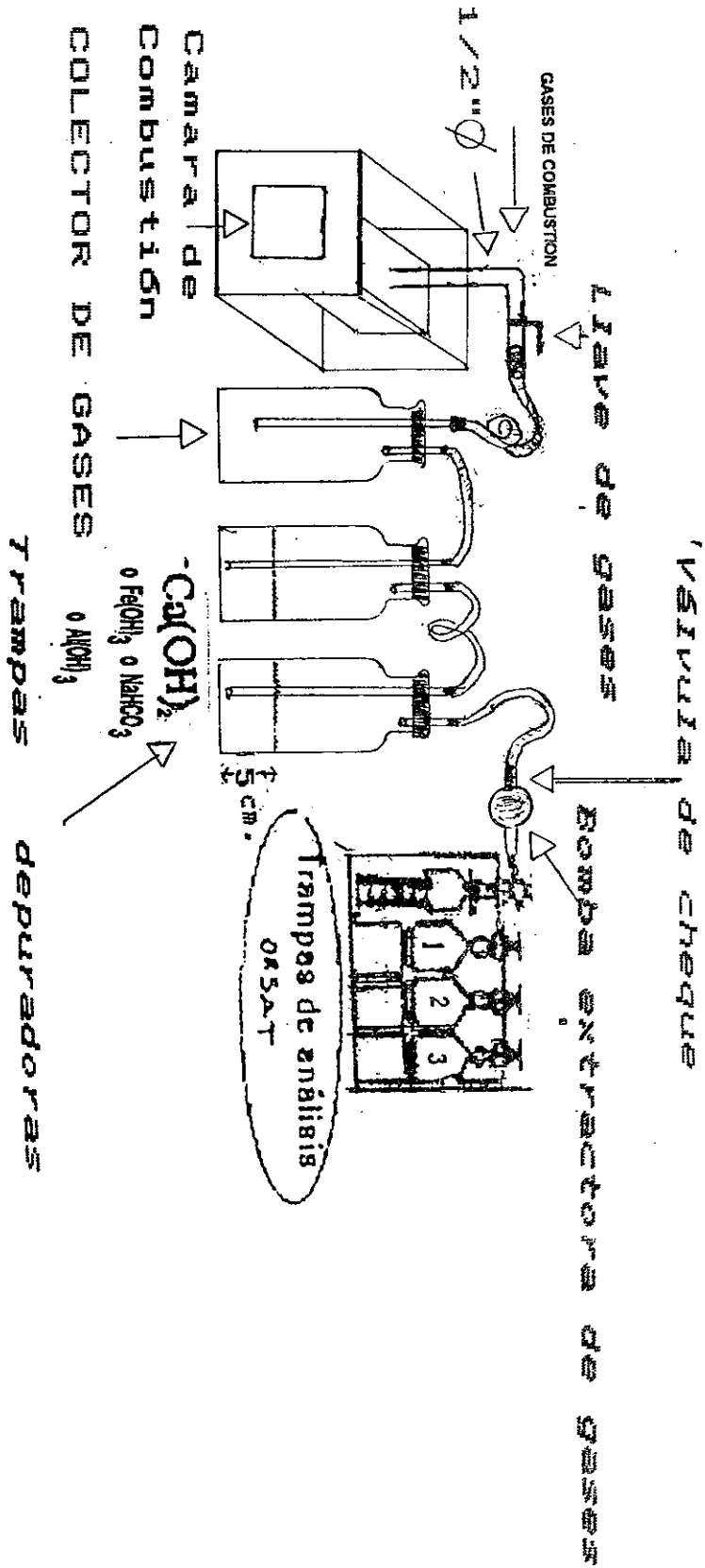
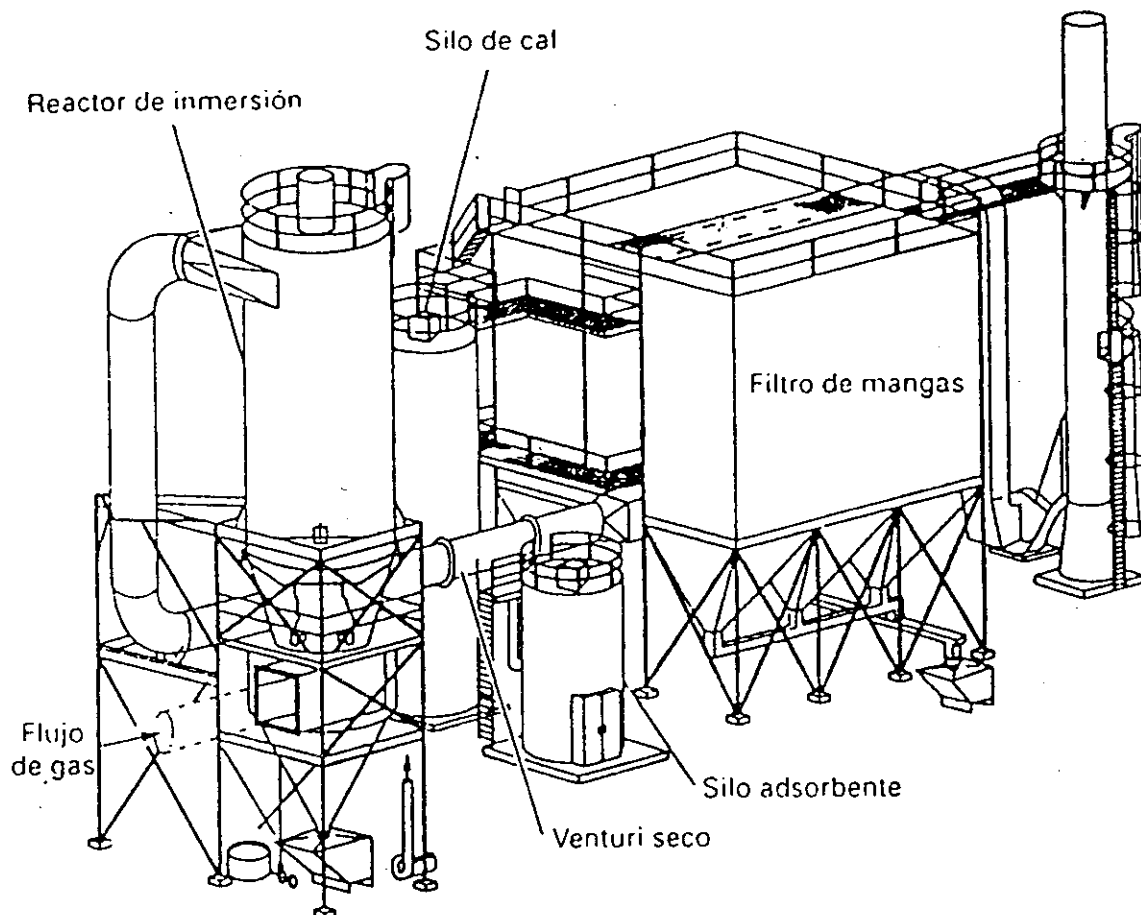


FIGURA No. 9



Sistema de depuradora seca Teller para gases ácidos y SO_2 . Se inyecta TesisorbTM, un polvo cristalino con un rango de tamaño específico, u otro agente, y se mezcla en el venturi seco antes del filtro de mangas. (Cortesía de Research-Cottrell, División para el Control de la Contaminación Atmosférica.)

[5]

TABLA # 1

Materiales utilizados para resistencias

Tipo	Resistividad específica	Punto de fusión (°C)	Resistencia a la oxidación
Nicromo	alta	~1500	Bueno a 1100°C
Kantal	alta	~1500	Bueno a 1250
Carbón	baja	NO	En atmosfera reductora o vacío
Carburo de silicón	baja	NO	bueno a 1550
Molibdeno-silice	baja	2600	No use H ₂ o vacío
Tungsteno	baja	3400	No " " "
Tantalio	baja	2850	" " "
Platino y aleaciones	baja	1775	BUENA
Mezclas de sales	mediana	desde 250	Buena para volatilizar sales.

[15],[12]

Normativas de contaminación atmosférica

Bajo la autoridad del Acta del Aire Limpio, la Agencia para la Protección Ambiental (EPA) emitió Estandarizaciones de Rendimiento para las nuevas incineradoras de RSU (23) y líneas Directrices sobre Emisiones para incineradoras de RSU ya existentes (22) en febrero de 1991. Con fines reglamentarios, las incineradoras de RSU (IRU) que comenzaron a construirse en o antes del 20 de diciembre de 1989 (la fecha en la que se publicaron las Normativas Preliminares en el *Registro Federal* para comentarios públicos) se consideran como IRU *existentes*.

IRU nuevas. Las Estandarizaciones de Rendimiento para las nuevas IRU se resumen en la tabla 13.8 Actualmente las Estandarizaciones se aplican solamente a las IRU de capacidad superior a 250 t/d. Las Estandarizaciones se dividen en seis partes: 1). Definición de buenas prácticas de combustión, 2). Límites de emisiones para orgánicos (dioxinas y furanos), 3). Límites de emisiones para metales, 4). Límites de emisiones para gases ácidos, 5). Límites de emisiones para NO_x y 6) requisitos de supervisión. Las Estandarizaciones especifican también la mejor tecnología demostrada (MTD) para cumplir con los límites de emisiones.

Resumen de las normas de la EPA para nuevas incineradoras de RSU^a**Aplicabilidad**

Las New Source Performance Standards (NSPS) (Normativas sobre el Rendimiento de Nuevas Fuentes) se aplican a las incineradoras de residuos urbanos (IRU) con capacidades unitarias por encima de 225 Mg. día (250 t día) que queman desechos domésticos. Comerciales y/o desechos institucionales. Las NSPS no cubren los desechos industriales.

Buenas Prácticas de Combustión (BPC)

Nivel máximo de carga demostrado durante los ensayos de rendimiento de dioxinas/furanos.

No puede exceder el 110 por 100 de la carga máxima demostrada, media de 4 horas.

La temperatura máxima a la entrada del dispositivo de control de las partículas no pueden exceder de 17 °C por encima de la temperatura máxima demostrada durante los ensayos del rendimiento de dioxinas/furanos.

Nivel de CO^b (tiempo medio) de la forma siguiente:

<i>IRU con aire restringido y en exceso</i>	<i>50 ppmv (4 horas)</i>
<i>IRU con pantalla de agua y refractarios de quemado en bruto</i>	<i>100 ppmv (4 horas)</i>
<i>IRU utilizando combustión de lecho fluidizado</i>	<i>100 ppmv (4 horas)</i>
<i>IRU con pantalla de agua rotatoria de quemado en bruto</i>	<i>100 ppmv (24 horas)</i>
<i>Alimentadores de CDR</i>	<i>150 ppmv (24 horas)</i>
<i>IRU alimentadores por una mezcla carbón/CDR</i>	<i>150 ppmv (4 horas)</i>

TABLA No. 2

68

(cont.)

certificación estatal o de la ASME para los supervisores de IRU. Formación de operario y manual de formación para el resto del personal de IRU.

Emisiones orgánicas de IRU (medidas en función del total de dioxinas/furanos)

Dioxinas/furanos ^{b,c,d}	30 ng/m ³ .N
Mejor Tecnología Demostrada (MTD)	Buenas Prácticas de Combustión (BPC). Secador de rocío y filtro de tejido

Emisiones metálicas de IRU (medidas en función de MP)^{b,d}

Materia en partículas (MP)	34 mg/m ³ .N
Opacidad	10 por 100 (media de 6 minutos)
MTD	Filtro de tejido

Emisiones de gases ácidos de IRU (medidas en función de SO₂ y HCl)^b

SO ₂	80 por 100 o 30 ppmv (24 horas)
HCl ^e	Reducción del 95 por 100 o de 25 ppmv
MTD	Secador de rocío y filtro de tejido

Emisiones de óxidos de nitrógeno ^b

NO _x	180 ppmv (24 horas diarias (bloqueo))
MTD	Reducción no catalítica selectiva

Requisito de control

SO ₂	Sistemas de supervisión continua de emisiones (SSCE). media geométrica de 24 horas
NO _x	SSCE, media aritmética de 24 horas
Opacidad	SSCE, media de 6 minutos
CO, carga, temperatura	SSCE, media de 4 0 24 horas
MP, dioxinas furanos ^c y HCl	Ensayo anual de chimenea

^a Adaptado de Referencia 27.

^b Todos los niveles de emisión están al 7 por 100 de O₂ en base seca.

^c Las dioxinas furanos se miden en función del total de tetra-hasta octo-cloros dibenzo-*p*-dioxinas y dibenzofuranos y no en función de sus equivalentes tóxicos.

^d Verificado con el ensayo anual de chimenea.

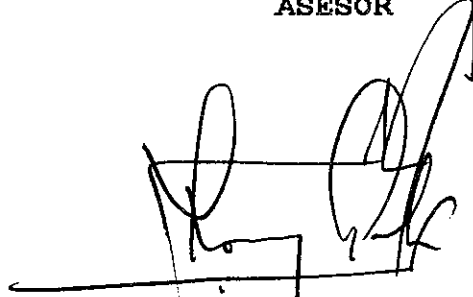
IRU existentes. Las líneas Directrices sobre Emisiones para las IRU existentes se resumen en la Tabla 13.9. Las líneas directrices contienen solamente cinco partes porque actualmente no se regulan las emisiones de NO_x (22). sin embargo, las enmiendas del Acta de Aire Limpio de 1990 permiten que EPA añada la regulación de NO_x a las IRU existentes en el futuro.



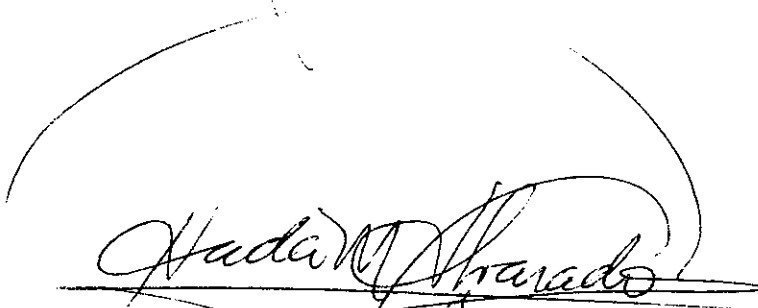
CARLOS ENRIQUE POSADA RUANO
AUTOR



Lic. CARLOS HUMBERTO KLEE MENDOZA
ASESOR



Lic. RONY ESTUARDO AYALA JIMENEZ
DIRECTOR



Licda. HADA MARIETA ALVARADO BETETA
DECANA