

419941

P.- 55.797

DLP 1498



419941

MEMORIA DESCRIPTIVA

Int. Cl.: *B01D*

para solicitar PATENTE DE INVENCION por VEINTE años

A nombre de LONE STAR STEEL COMPANY

entidad norteamericana

con domicilio en 2200 W. Mockingbird Lane at Roper, Dallas,
Texas, Estados Unidos de América.

por: "UN PROCEDIMIENTO PARA LA ELIMINACION DE CONTAMINANTES
DESDE GASES PORTADORES QUE LOS CONTIENEN"

(Clase Internacional B01D)

24.11.73

- 1 -



419941

5 Este invento se refiere al campo del control de la contaminación atmosférica y, más particularmente, a la eliminación de contaminantes; es decir, material en partículas y gases de carácter ácido u otros gases solubles, desde corrientes de gas formadas por procedimientos industriales y químicos.

10 En los últimos pocos años, diversos departamentos gubernativos, así como representantes de los sectores industrial y privado de la economía han tomado un interés creciente en la mejora de la ecología y, particularmente, en el control de la contaminación atmosférica y de la contaminación del agua. Una de las cuestiones relacionadas principales han sido los gases de escape emitidos por los diversos procedimientos industriales y químicos.

15 Tales gases de escape pueden contener material en partículas de tamaños y composiciones químicas ampliamente variables, así como materiales gaseosos y líquidos como contaminantes. Los constituyentes gaseosos y líquidos de los gases de escape pueden variar, desde sustancias tales como el vapor de agua, el dióxido de carbono y el agua, que se consideran en general inocuos, hasta óxidos de azufre y nitrógeno, monóxido de carbono y diversos ácidos que son sumamente tóxicos y deben controlarse cuidadosamente para impedir daños importantes a la ecología. Los materiales en

20 partículas en los gases de escape pueden variar en cuanto

25



419941

5 al tamaño, desde partículas grandes, tales como cenizas, hasta partículas de tamaño inferior a la micra. Partículas de tamaño inferior a la micra, típicas, son las partículas de óxido de hierro generadas durante el refinado de acero en los procesos de fabricación de acero de horno de oxígeno básico y de hornos Martin-Siemens.

10 Aunque el interés de todos los sectores de la economía con los métodos de control de la contaminación, se ha hecho más notable en los últimos años, la técnica había producido ya varios métodos bien establecidos para la eliminación de, por ejemplo, material en partículas des de corrientes gaseosas. De manera similar, se han desarrollado diversos métodos para la eliminación de materiales gaseosos.

15 En relación con la recogida de partículas des de corrientes gaseosas, la técnica ha desarrollado varios tipos generales de instalación. El primero de estos tipos incluye separadores mecánicos, tales como filtros, que proporcionan un tamiz u otra barrera para el paso de material en forma de partículas, al tiempo que permiten la circulación del gas a través de la barrera. Otra forma de separador mecánico es el separador ciclónico o centrífugo, en el que el material en partículas se separa del gas merced al cambio de dirección de la corriente de gas.

25 La separación del material en partículas pue



419941

de conseguirse también mediante el uso de fuerzas electrostáticas, como el bien conocido precipitador electrostático. En este dispositivo, el gas contaminado es hecho pasar a través de un campo eléctrico que hace que las partículas se carguen eléctricamente y sean atraídas hacia placas cargadas en oposición del precipitador, donde pueden eliminarse por medios mecánicos.

5

Se reconocerá que, además de las fuerzas centrífugas y electrostáticas empleadas en la instalación antes mencionada, también están presentes fuerzas gravitatorias que pueden producir cierta separación de las partículas. Se ha diseñado también una instalación de separación que se basa, principalmente, en las fuerzas de gravitación. Tal instalación comprende usualmente una gran cámara de sedimentación en la que la velocidad del gas se aproxima a cero. Si la cámara es suficientemente grande, el tiempo de residencia del gas en ella será el suficiente como para permitir que se sedimente una gran parte del material en partículas.

10

15

20

En general, los separadores antes descritos son eficaces para eliminar partículas relativamente grandes, pero la eficacia de recogida disminuye rápidamente cuando las partículas son de un tamaño menor que aproximadamente 1 a 2 micras.

25

Hasta este punto, la instalación de separación mencionada ha sido del tipo seco, pero se han desa-



419941

5 rrollado también muchas formas de depuradores por vía hú-
meda. El depurador por vía húmeda más sencillo comprende
una cámara que contiene una o más toberas de pulverización.
La cámara puede estar constituida por un conducto o una
cámara de combustión o una cámara de pulverización dise-
ñada especialmente. En general, la velocidad del gas a tra-
vés de la cámara es relativamente pequeña y las partículas
se eliminan por colisión entre las gotitas de agua y las
partículas. Si también está presente vapor de agua, el ma-
10 terial en partículas puede acondicionarse o aglomerarse me-
diante el proceso de termoforésis y, naturalmente, puede
ocurrir también separación como resultado de las fuerzas
gravitatorias o centrífugas. La cámara de pulverización
exige usualmente poca energía y es la de máxima eficacia
15 para las partículas mayores.

En un esfuerzo para mejorar los rendimien-
tos de recogida, se han empleado diversos tipos de depura-
dores de venturi de elevada energía. Una forma del depura-
dor de venturi comprende un conducto que tiene una sección
20 convergente, una sección de garganta y una sección diver-
gente a través del cual es obligado a pasar el gas conta-
minado por medio de ventiladores, soplantes o eyectores de
vapor. En la sección de garganta, en la que la velocidad
del gas es máxima, se inyecta agua a través de una o más
25 toberas o pulverizadores para que choque contra la corrien



419941

te del gas, con el fin de formar gotitas que colisionen con el material en partículas contenido en la corriente gaseosa. La eliminación de partículas se debe, principalmente, a la colisión entre las partículas y las gotitas de agua.

5 En el depurador de venturi mencionado en esta memoria, la velocidad relativa entre el gas y el agua se crea impulsando el gas con ventiladores, soplantes o eyectores, como antes de ha señalado. Naturalmente, carece de importancia el hecho de que el gas sea impulsado con relación al agua o
10 viceversa, y ambos sistemas se han empleado en relación con el depurador de venturi.

En el depurador de chorro de venturi, la fuerza impulsora está proporcionada por un eyector de agua fría montado, en general, en el eje geométrico de la sección convergente del venturi y no se requiere ninguna otra fuerza
15 de impulsión. Se bombea agua a través de la tobera eyectora, en la que este agua se rompe o se atomiza en forma de gotitas que se mezclan, entonces, con el gas. Se consigue la impulsión por un intercambio de momentos entre el agua
20 de impulsión y el gas impulsado y, simultáneamente, las partículas existentes en el gas son eliminadas por colisión o impacto con las gotas de agua. Un depurador de chorro de venturi del tipo descrito en esta memoria ha estado disponible durante largo tiempo, fabricado por la firma Koertrol
25 Corporation, y se le designa con la denominación depurador



419941

"Tipo 7010".

Los depuradores de venturi antes descritos son eficaces para eliminar material en partículas con un tamaño mayor que unas dos micras, pero los rendimientos de eliminación disminuyen en general rápidamente cuando el tamaño de las partículas se encuentra por debajo de una micra. Con el fin de cumplir las exigencias de muchos de los nuevos códigos de contaminación atmosférica, es necesario eliminar las partículas que se encuentran en el margen de tamaño inferior a la micra. Aunque las partículas del tamaño inferior a la micra pueden comprender un pequeño porcentaje del peso total del material en partículas contenido en el gas contaminado, pueden suponer fácilmente hasta un 98% del número de partículas incluidas.

Es bien sabido que la eficacia del procedimiento de recogida de partículas por impacto o colisión depende tanto del tamaño de las gotas de agua como de la velocidad relativa entre las gotitas y las partículas. Así, cuando la velocidad relativa entre las gotitas y las partículas se incrementa, se incrementa también la probabilidad de colisión y de subsiguiente recogida. También resulta evidente que, para una masa de agua dada, la probabilidad de colisión resulta incrementada si la masa de agua se divide en un gran número de pequeñas gotitas en



419941

lugar de en un número menor de gotas mayores. Finalmente,
se sabe que se forman líneas de flujo en torno a los cuer-
pos en movimiento, tales como las gotitas de agua, y que,
si las partículas son suficientemente pequeñas con rela-
5 ción a una gotita de agua, serán desplazadas de su trayec-
toria de movimiento y circularán en torno a la gotita sin
chocar con ella. Por tanto, resulta evidente para los ex-
pertos en la técnica que para mejorar la eficacia de la
recogida en relación con las partículas de pequeño tamaño
10 sería necesario (a) incrementar el flujo de la masa de
agua, (b) reducir el tamaño de las gotitas, o (c) incre-
mentar la velocidad relativa entre las gotitas y las par-
tículas. Cada una de estas alternativas representa un in-
cremento de las necesidades de energía: un aumento en el
15 flujo másico de agua puede conseguirse incrementando la
potencia de bombeo. El tamaño de las gotitas puede redu-
cirse en cierto modo incrementando la presión de agua o
mediante cambios en el diseño de las toberas para propor-
cionar una atomización más perfecta del agua. Finalmente,
20 la velocidad relativa entre las gotitas y las partículas
puede incrementarse aumentando la energía aplicada para
mover el fluido de impulsión.

Cada una de las alternativas antes mencio-
nada se ha aplicado a los depuradores por vía húmeda de
25 energía elevada. En el caso del depurador de chorro de ven-



419941

turi antes mencionado, es evidente que con el fin de mejorar la eficacia de recogida, debe incrementarse la energía suministrada al chorro de agua. Como el agua es, en sí misma, sustancialmente no compresible, puede introducirse energía adicional de manera más eficaz aumentando la temperatura del agua que merced a un aumento de la presión del agua. Naturalmente, es necesario aumentar la presión del agua también con el fin de impedir la ebullición en el sistema de suministro de agua por delante de la boquilla.

10 Cuando se utiliza agua caliente como fuente de energía de impulsión, el dispositivo se conoce con el nombre de eyector de agua caliente. El eyector de agua caliente es conocido desde hace tiempo como impulsor eficaz para túneles de viento (véanse las patentes norteamericanas números 2.914.941 y 3.049.005). La impulsión por agua caliente se ha aplicado también a un impulsor para instalaciones de ensayo de motores de chorro, en las que proporciona un ambiente de baja presión para simular diversas condiciones de altitud y, simultáneamente, amortigua el ruido y limpia los productos de combustión del motor cohete o del motor de chorro que se está probando. (Véase "Eyector de agua caliente para instalaciones de ensayo de motores", de O. Frenzl, en la revista Journal of Spacecraft, mayo-junio de 1964, volumen 1, nº 3, páginas 333-338). Como indica el doctor Frenzl en la referencia antes mencio-

15

20

25



419941

nada, la impulsión por agua caliente se desarrolló como mejora sobre la impulsión por eyector de vapor que se había utilizado previamente para túneles de viento y las instalaciones de ensayo de motores. Con el fin de hacer
5 funcionar los túneles de viento, particularmente aquéllos que operan a velocidades supersónicas, es necesario proporcionar enormes cantidades de energía durante períodos de tiempo relativamente cortos. Aun cuando el vapor de agua a una presión y a una temperatura predeterminadas contiene mayor energía calorífica o entalpía que la misma masa
10 de agua, puede no ser económicamente factible almacenar grandes cantidades de vapor de agua en un acumulador y no es posible retirar todo el vapor desde un acumulador de vapor. Sin embargo, un acumulador de agua caliente puede vaciarse rápidamente y toda la energía almacenada puede quedar sustancialmente disponible para uso.

Los tipos de instalación de control de partículas que se han descrito en lo que antecede se han utilizado también en diversas combinaciones. Así, ha sido común utilizar una cámara de pulverización seguida por un
20 separador ciclónico, un depurador de chorro de venturi seguido por un separador, o dos depuradores de chorro de venturi seguidos por un separador.

Un sistema depurador del tipo últimamente mencionado se describe en un artículo de L. S. Harris, ti-
25



419941

5 tulado "Depurador de humos con el sistema de eyector de
 venturi" (Chemical Engineering Progress, volumen 62, nº 4,
 páginas 55-59 de abril de 1966). Harris proporciona un de
 purador para partículas de tamaño inferior a la micra en
10 el que la primera etapa comprende un depurador de chorro
 de venturi, en el cual agua a presión actúa como medio
 impulsor y como medio de limpieza, mientras que se intro-
 duce vapor de agua o aire en el chorro de agua en la to-
 bera, para atomizar y calentar el agua. La pulverización
15 proyectada de vapor de agua y gotitas de agua arrastra y
 se mezcla con los gases de escape y los limpia merced, prin-
 cipalmente, a procesos de impacto o de colisión, aunque
 pueden ocurrir también otros procesos, incluyendo el de
 condensación. La salida del primer depurador es dirigida
20 a un depurador de chorro de venturi usual y el agua inyec-
 tada en ambos depuradores junto con las partículas atra-
 padas, se separa en una cámara separadora o en un separa-
 dor centrífugo.

 Un sistema depurador diseñado para eliminar
25 partículas de óxido de boro de tamaño inferior a la micra
 desde gases de escape producidos por motores de chorro,
 que comprende una cámara de pulverización y un separador
 centrífugo, se describe en un artículo de David, Rhodes
 y Smith, titulado "Métodos de eliminación de partículas
 de óxido de boro desde gases de escape", de Octubre de



419941

1957 (Documento ASTIA nº AD-135.346; Documento nº PB
135.391, de la Librería de Congresos). En el aparato de
David, el sistema era impulsado por los gases de escape
que salen a velocidades subsónicas desde el motor y la lim-
5 pieza se efectuaba por una combinación de inyección de agua
y de pulverizaciones de vapor de agua y agua. La limpie-
za se efectuaba, no solamente por impacto en la cámara de
pulverización, sino también por condensación del vapor de
agua generado en la región de inyección sobre el material
10 en partículas contenido en la corriente gaseosa. Las goti-
tas de agua conteniendo material en partículas eran sepa-
radas de la corriente gaseosa por un separador centrífugo.

El empleo de la impulsión por agua caliente
antes mencionada en conjunto con un separador de agua, se
15 muestra también la patente norteamericana nº 3.613.333 de
Gardenier, en la que el agua caliente en su estado líquido
constituye la fuente de la energía de impulsión y el me-
dio de limpieza.

Además, la solicitante ha empleado con éxito
20 un aparato y un método que hacen uso de una cámara de
pulverización para acondicionar el gas contaminado y para
eliminar partículas de gran tamaño y una unidad de impul-
sión por agua caliente y de inyección química para impul-
25 sar el gas y para capturar las partículas restantes de me-



419941

nor tamaño y los productos de reacción de SO_2 en gotitas de agua. Un separador ciclónico separa las gotitas de agua y los productos de reacción de SO_2 desde el gas limpio.

De acuerdo con el método de la solicitante
5 que se describe en esta memoria, las funciones de impulsión y de limpieza se controlan y realizan por separado y de manera independiente, por medio de aparatos independientes. En general, la función de impulsión viene proporcionada por un inyector de chorro de vapor de agua, mientras
10 que la función de limpieza puede realizarse, de preferencia, por agua no tratada y no calentada, inyectada en el chorro de la corriente que sale desde la tobera del inyector de vapor y que circula al interior de un tubo de mezclado proporcionado de manera apropiada adyacente al, pero
15 aguas abajo del, extremo de salida de la tobera inyectora de vapor. El agua preferiblemente no tratada y no calentada se atomiza mecánicamente en forma de gran número de pequeñas gotitas y luego se inyecta en el chorro de vapor, en un punto en que puede ser atomizada aún más por
20 el chorro de vapor a alta velocidad que sale del inyector de vapor.

Más específicamente, y de acuerdo con el
invento, se proporciona un procedimiento para la eliminación de contaminantes desde un gas portador que los contiene,
25 que comprende impulsar el gas portador que contiene



419941

dichos contaminantes a través de un tubo de mezclado alargado mediante un eyector de vapor; formar una mezcla turbulenta de vapor, al menos agua atomizada y dicho gas portador, que contiene los contaminantes (a) expandiendo el vapor a través de una tobera de un eyector de vapor para formar un chorro de vapor dirigido al interior del tubo de mezclado, (b) formando una serie de pulverizaciones en chorro de al menos un líquido acuoso relativamente frío, en una primera condición atomizada, dispuestas circunferencialmente en torno al chorro de vapor que sale de dicha tobera y (c) atomizando aún más dicho líquido acuoso, dirigiendo dichas pulverizaciones en chorro a las regiones exteriores de dicho chorro de vapor; mezclar otra vez el gas portador que contiene los contaminantes a medida que es impulsado a través del tubo de mezclado con al menos dicho otro líquido acuoso atomizado y dicho vapor dentro del tubo de mezclado, y regular así el flujo de dicha mezcla turbulenta a través de dicho tubo de mezclado, con el fin de proporcionar un tiempo de retención de dicha mezcla turbulenta en dicho tubo de mezclado suficiente para la formación de gotitas que contengan dichos contaminantes y para hacer crecer el tamaño de dichas gotitas acuosas que contienen los contaminantes y, después de ello, separar dichas gotitas acuosas que contienen los contaminantes y que han sido hechas crecer de tamaño, del resto de dicho



419941

gas portador.

Al poner en práctica el invento, se puede preacondicionar el gas contaminado en una cámara de atomización de pulverización, situada antes del eyector de vapor, por las razones que se esclarecen en lo que sigue.

El procedimiento del presente invento es esencialmente un procedimiento de energía controlada, en el que parte de la energía térmica disponible del vapor de agua se convierte primero en energía cinética para impulsar los gases portadores contaminados. Sin embargo, antes de que las energías térmica y cinética del vapor y del gas impulsado alcancen una condición de equilibrio, se utiliza parte de la energía del vapor para atomizar aún más el agua que ya ha sido atomizada mecánicamente a la forma de gotitas más finas y para acelerar las gotitas de agua hasta velocidades elevadas en el tubo de mezclado. Las gotitas de pequeño tamaño a gran velocidad quedan disponibles entonces para recoger partículas merced a los procedimientos de impacto o de colisión. Además, el agua fría proporciona un efecto refrigerante suplementario para el enfriamiento resultante de la expansión del vapor dentro del tubo de mezclado. Como resultado del efecto refrigerante, una parte sustancial del vapor y otros vapores condensables se condensarán dentro del tubo de mezclado. Como la condensación ocurre, de preferencia, en lugares de



419941

formación de nucleados, tales como material en partículas o gotitas de agua que ya existan, el proceso de condensación actúa tanto para capturar material en partículas adicional en las gotitas, como para aumentar el tamaño de las gotitas ya existentes. El tubo de mezclado está diseñado para que sea de longitud suficiente en vista de la velocidad de los gases que circulan a su través, de modo que proporcione gotitas de un tamaño tal que puedan ser separadas de manera eficaz por medios centrífugos. El tubo de mezclado se proporciona a la tobera de vapor para que funcione como bomba eyectora eficaz.

El agua empleada para formar el vapor de agua de impulsión debe tratarse, de preferencia, para eliminar los constituyentes químicos que, de otro modo, ensuciarían la caldera de vapor en la forma que es necesario, aunque quizás en menor grado, para tratar el agua que se utiliza para impulsar un eyector de agua caliente. Sin embargo, como la entalpía del vapor que puede utilizarse es bastante mayor que la entalpía del agua utilizada en un eyector de agua caliente que produzca la misma energía de impulsión para el gas, la necesidad de agua tratada para el eyector de vapor será considerablemente menor que la necesidad de agua tratada para el eyector de agua caliente. Esto puede mostrarse por referencia a las partes del diagrama de Mollier para agua saturada y vapor saturado, que se describirán en lo que sigue. La necesidad reducida de agua tratada en el procedimiento de la



419941

solicitante hace posible un gran ahorro de los costes de
tratamiento ya que el agua adicional que se inyecta en
el chorro del vapor para proporcionar el efecto de lim-
pieza principal puede ser un agua no calentada y no tra-
5 tada, de calidad industrial. Así, aunque la cantidad to-
tal de agua utilizada en el presente procedimiento puede
aproximarse a la empleada en un procedimiento con eyec-
tor de agua caliente, antes mencionado, el coste del agua
puede reducirse en tanto como un 75%. Cuando la cantidad
10 de gas a manipular es grande, o el arrastre deseado es
elevado, aunque la carga de polvo del gas sea relativa-
mente baja, las necesidades totales de agua serán consi-
derablemente más bajas que las exigidas por un procedi-
miento mediante eyector de agua caliente, con los consi-
15 guientes ahorros en el coste del tratamiento de las sus-
pensiones.

Además de las ventajas de coste y de com-
portamiento resultantes del uso de agua no tratada, se
consigue otra ventaja cuando se desea eliminar gases de
20 carácter ácido, tales como dióxido de azufre y olores
orgánicos desde una corriente de gas contaminado. Para
este fin, como se explicará más completamente en lo que
sigue, puede introducirse un material alcalino, tal co-
mo óxido de calcio, hidróxido de calcio, carbonato de
25 sodio o hidróxido sódico, como solución o suspensión



419941

acuosa en las zonas sumamente turbulentas del chorro de vapor, junto a y aguas abajo de la tobera eyectora para eliminar el dióxido de azufre y otros gases de carácter ácido desde una corriente gaseosa. Para eliminar los olo
5 res orgánicos, se introduce un agente oxidante, tal como el permanganato de potasio, como solución o suspensión acuosa en las zonas altamente turbulentas del chorro de vapor, en la misma forma que se hace con el material alcalino. Las zonas de mezclado turbulentas creadas de
10 acuerdo con el presente invento son también eficaces como depuradores para gases de carácter ácido, como se muestra en lo que sigue.

Otra ventaja del presente procedimiento que emplea un eyector de vapor, en comparación con el
15 eyector de agua caliente, reside en la posibilidad de controlar el procedimiento. El eyector de vapor es capaz de funcionar en una amplia gama de presiones por estrangulación del suministro de vapor. Se apreciará que la energía de impulsión del eyector es función de la
20 entalpía disponible del vapor entregado en la tobera eyectora y ésta, a su vez, es función de la presión, de la temperatura y de la entropía del vapor de agua entrante. Así, mediante un simple control de la estrangulación, pueden ajustarse la energía del eyector y el
25 arrastre resultante producido por el eyector a cualquier



419941

vapor dentro de la gama operativa del eyector. Por tanto, es posible proporcionar, dentro de amplios límites, cualquier arrastre que pueda desearse y variar este arrastre para cumplir con las necesidades variables del procedimiento químico o industrial que genere los gases de escape contaminados que se están considerando.

5
10
15
20
25

La energía de limpieza del sistema es, principalmente, función del flujo másico del agua de inyección y del tamaño de las gotitas en que resulta mecánicamente atomizada el agua de limpieza por toberas de pulverización y, atomizada de nuevo, por el chorro de vapor. Como se muestra en lo que sigue, el agua se inyecta en una parte del chorro de vapor de tal forma que, dentro del margen operativo de una combinación de tubo de mezclado y eyector de vapor diseñada de manera apropiada, el agua resulte atomizada en forma de gotas que sean de tamaño suficientemente pequeño para conseguir la captura, incluso cuando se generan partículas de tamaño inferior a la micra, por ejemplo, durante la parte de inyección de oxígeno en una operación de refino de acero en horno Martin-Siemens. El caudal másico del agua puede variarse entonces con la carga de polvo del gas para producir el funcionamiento más eficaz, consistente con el grado de limpieza deseado. Como se muestra en lo que sigue, puede obtenerse virtualmente cual-



419941

quier eficacia de limpieza deseada mediante el control del caudal de inyección de agua.

El presente invento, así como otros objetos y ventajas del mismo, resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción y de los dibujos adjuntos, en los que:

La fig. 1 es un dibujo en alzado esquemático, en sección transversal, que representa el atomizador, la impulsión por eyector de vapor y el inyector de agua, el tubo de mezclado y el separador ciclónico gemelo que puede utilizarse en la práctica del presente invento.

La fig. 2 es un alzado agrandado, en sección transversal, que muestra el inyector de agua y el impulsor por eyector de vapor y una parte del atomizador adyacente y del tubo de mezclado.

La fig. 3 es una vista en planta en sección transversal, que ilustra otros detalles del aparato representado en la fig. 2.

La fig. 4 es otra vista agrandada que muestra, en sección transversal, una parte de la sección divergente de la tobera de vapor y del inyector de agua y de sus toberas asociadas.

La fig. 5 es una vista extrema del aparato ilustrado en la fig. 4.



419941

La fig. 6 es una vista agrandada tomada a lo largo de la línea 6-6 de la fig. 4.

Las figs. 7A y 7B son dibujos diagramáticos que representan los diseños de pulverización producidos por la tobera de vapor y las toberas inyectoras de pulverización planas situadas a 15° y 45° , respectivamente, con relación al eje geométrico de la tobera de vapor.

Las figs. 8A y 8B son dibujos diagramáticos que representan los diseños de pulverización producidos por la tobera de vapor y las toberas inyectoras de pulverización cónica, situadas a 0° y 45° , respectivamente, con relación al eje geométrico de la tobera de vapor.

La fig. 9 es una representación gráfica del comportamiento de bombeo típico de tres toberas de vapor diferentes utilizadas en el aparato del presente invento.

La fig. 10A es una parte de la región de agua líquida del diagrama de Mollier aplicable a una impulsión por eyector de agua caliente.

La fig. 10B es una parte de la región de vapor de agua del diagrama de Mollier aplicable a la impulsión mediante eyector de vapor.

La fig. 11 es un gráfico que muestra la eficacia de eliminación de dióxido de azufre en función del reactivo químico soluble.



419941

Refiriéndonos ahora a la fig. 1, el número 10 indica un conducto a través del cual entran los gases de escape en el aparato. Un regulador 12 puede estar previsto en el conducto 10 para controlar el paso de gases a su través. El conducto 10 comunica con el extremo inferior de una cámara atomizadora 14, de diámetro relativamente grande en comparación con el conducto 10. Se introduce agua en la cámara atomizadora 14 a través de una serie de toberas de pulverización 16 montadas en tuberías 18 que se reúnen en un colector común, en 20, conectado a una fuente de suministro de agua (no representada). Un drenaje 22 está previsto en el fondo del atomizador, a través de cuyo drenaje puede retirarse para tratamiento en un sistema de tratamiento de aguas de diseño usual, una suspensión de material en partículas y agua.

La parte superior de la cámara atomizadora 14 está cerrada por una cabeza angular 24 que tiene un área de transición 26 y un orificio de salida 28 provisto de una brida circular. El orificio 28 de la cabeza atomizadora 24 comunica con un orificio 30 provisto de una brida, formado en un extremo de un tubo de mezclador cilíndrico 32. El extremo opuesto del tubo de mezclador 32 está acoplado de manera similar con un orificio 34 provisto de una brida, que coincide con un orificio



419941

5 cio 36 conectado tangencialmente a la región superior
de un par de ciclones gemelos 38. Los ciclones gemelos
38 son de forma en general cilíndrica e incluyen chime-
neas 40 de menor diámetro que se extienden en la región
central del ciclón. Un drenaje 42 está formado en la
10 parte inferior de cada ciclón, a través de cuyo drenaje
puede retirarse, para tratamiento en una instalación de
tratamiento de agua (no representada), una suspensión de
agua y partículas. El gas limpio sale desde el extremo
superior abierto 44 de la chimenea 40 del ciclón.

15 Una tobera 46 eyectora de vapor está mon-
tada en la cabeza atomizadora 24, coaxial con el tubo de
mezclado cilíndrico 32. Se suministra vapor a presión
a la tobera eyectora 46 a través de una tubería 48 do-
tada de una válvula 50 de estrangulación ajustable. El
20 agua a presión se alimenta a un inyector de agua 52 pro-
visto de una pluralidad de toberas inyectoras 54 a tra-
vés de una tubería de agua 56 provista de una válvula 58
de control del flujo.

25 El vapor requerido para el procedimien-
to puede ser suministrado haciendo pasar los gases de
escape que han de limpiarse a través de una caldera de
calor residual, para utilizar el contenido calorífico
de los gases utilizando otras fuentes disponibles de va-
por. En el procedimiento puede hacerse uso de vapor a



419941

presiones superiores a unos $3,5 \text{ kg/cm}^2$. El agua necesaria para el inyector de agua 52 es, de preferencia, agua no calentada y no tratada, aunque, naturalmente, puede hacer se uso de agua tratada. Si bien la temperatura del agua
5 no es crítica para el procedimiento, se ha observado un comportamiento mejorado con agua más fría, ya que se inducirá la condensación de vapor incrementada.

Las figs. 2 y 3 muestran, en alzado y en planta respectivamente, el cono del vapor 60 en expansión emitido desde la salida de la tobera 46 de vapor, el cual
10 sufre una nueva expansión a medida que pasa a lo largo del tubo mezclador, hasta que incide en la pared del tubo mezclador 32 en el punto de "enganche" o región de impacto 62.

15 Cuando el vapor, que se encuentra sustancialmente en estado saturado, seco, se expande a través de una tobera convergente-divergente bien diseñada, en una región en la que existe aproximadamente la presión atmosférica, continuará expandiéndose con una configuración
20 en general cónica, 60, que tiene un ángulo en el vértice incluido sustancialmente igual al ángulo incluido de la parte divergente de la tobera de vapor. Cuando las presiones comunicadas a la tobera superan a la proporción de presión crítica y la presión crítica supera a la presión
25 estática de salida de la tobera, la velocidad de



419941

vapor que sale de la tobera será supersónica en el plano de salida de la tobera. Se ha encontrado que el vapor que sale de la tobera contendrá un núcleo supersónico central 64. Se cree que el núcleo supersónico 64 contiene varios "rombos" 68 característicos formados por ondas de choque oblicuas que, eventualmente, terminan en una onda de choque normal 70. Se cree que en la región de núcleo existen las velocidades supersónicas más elevadas y que, en esta región, las velocidades son constantes según su sección transversal. En la región la exterior del núcleo supersónico 64, pero que se encuentran dentro del cono de vapor 60 en expansión, las velocidades también son supersónicas, si bien el perfil de velocidad a través de la sección transversal del chorro no permanece constante. En general, la velocidad disminuye a medida que aumenta la distancia desde la salida de la tobera hacia el punto de "enganche" 62 y a medida que el punto que se está considerando se aproxima a la región interfacial que separa el cono de vapor 60 en expansión de los gases portadores que penetran en el tubo de mezclado 32 o que lo atraviesan. Cuando se desarrolla la región interfacial, se une ventualmente de manera firme a la pared en el punto de "enganche". Antes del punto 62 de "enganche", la presión en la pared del tubo de mezclado es negativa, mientras que después del punto "enganche", la presión en la pared se hace positi-



419941

va.

Cuando la tobera de vapor y el tubo de mezclado están diseñados y proporcionados de manera apropiada, el cono de vapor 60 en expansión choca contra la pared del tubo de mezclado 32 con fuerza suficiente como para unirse firmemente a ella. En estas condiciones, el chorro de vapor actúa como un pistón continuo con respecto al tubo de mezclado 32 y forma una bomba efectiva. Debido a la firme unión entre el chorro de vapor y el tubo de mezclado 32, los gases portadores aspirados son bombeados de manera eficaz hacia abajo por el tubo de mezclado. En pocas palabras, cuando la tobera de vapor y el tubo de mezclado están diseñados de manera apropiada, se crea una eficaz bomba eyectora de vapor.

Se cree que cuando la energía cinética del chorro en expansión de vapor es suficientemente elevada, el sistema 68 de choque oblicuo será terminado por la onda de choque normal 70 en la región del punto 62 de "enganche" en el tubo de mezclado 32. El resultado de una onda de choque normal es una brusca discontinuidad de la presión que se refleja en un cambio de las condiciones de circulación supersónica a circulación subsónica. Así, se cree que antes y después del lugar del tubo de mezclado 32 en que aparece la onda de choque normal 70, la circulación se hace subsónica.



419941

Debido al hecho de que las ondas de choque oblicua y normal representan una brusca discontinuidad de la presión, en las regiones de los choques normal y oblicuo se produce un elevado grado de turbulencia y un
5 mezclado concomitante.

Las figs. 4, 5 y 6 se refieren al inyector de agua 52 y las toberas 54. La fig. 4 representa la parte divergente de la tobera de vapor 46 de inyector de agua adyacente 52. El inyector 52 tiene, generalmente, la
10 forma de un miembro anular 52 roscado interiormente en 72 para coincidir con filetes de rosca 74 formados en el exterior de la tobera 46, y contiene una cavidad anular 76 que comunica, a través de acoplamientos 78, con tuberías
15 56 de agua. La cavidad anular 76 está cerrada por una banda 55 soldada a la periferia exterior del miembro anular 53. En la cara anterior 80 del miembro anular 53 están formados una pluralidad de orificios roscados 82 para recibir adaptadores 84 de tobera que están dispuestos formando un ángulo predeterminado con respecto al eje geométrico de la tobera de vapor 46. Los adaptadores de tobera
20 reciben toberas 86. Como se ilustra en la fig. 4, las toberas 86 están formadas con un ánima cilíndrica 88 que termina en un ánima cónica 90. La cara anterior plana de la tobera 86 está provista de una ranura 92 en V, que
25 interseca al ánima cónica 90 de modo que defina un orifi-



419941

5 cio elíptico 94. El efecto de este diseño es proporcionar
una pulverización de chorro que sea relativamente plana
en la dirección del eje geométrico menor del orificio elíp-
tico 94, pero que se ensanche en la dirección del eje ma-
10 yor del orificio elíptico 94. Naturalmente, mediante va-
riaciones de la profundidad y del ángulo de la ranura en
V 92 pueden producirse, según se desee, diversas formas de
chorro en abanico. La fig. 5 ilustra una vista extrema del
aparato representado en la fig. 4 y muestra que el eje
15 geométrico menor del orificio elíptico 94 de cada tobera
86 esta orientado de modo que se interseque con el eje geo-
métrico de la tobera 46 de vapor. Aunque las toberas dise-
ñadas para formar una pulverización de chorro en forma de
abanico, se ilustran en las figs. 4, 5 y 6, se apreciará
20 que pueden utilizarse también otros tipos de toberas. Por
tanto, es posible, por ejemplo, emplear toberas diseñadas
para formar pulverizaciones de chorro cónicas o chorros
cilíndricos o en forma de "lápiz".

25 Las figs. 7A y 7B ilustran en forma dia-
gramática la relación entre los diseños de pulverización
de la tobera de vapor y las toberas de inyección de agua,
con distintas orientaciones de las toberas de inyección
de agua pulverizada planas y de la tobera de vapor. En
estas figuras, se apreciará que, con fines de claridad
de ilustración, se muestran sólo dos toberas de inyección,



419941

aunque, como se muestra en la fig. 5, está proyectada la existencia de una pluralidad de tales toberas.

Las figs. 8A y 8B son similares a las figs. 7A y 7B, pero ilustran los diseños de pulverización generados por toberas de pulverización cónica, diseñadas para producir pulverizaciones de chorro asimétricas con un ángulo de dispersión de 60° . Las toberas de pulverización cónica son de construcción similar a las toberas de chorro en abanico descritas en lo que antecede, excepto porque están formadas con un orificio circular y un dispositivo de turbulencia, apropiado para crear el diseño de pulverización cónica.

Se apreciará que tanto la tobera de chorro en abanico como la tobera cónica pueden dotarse de orificios de diversos tamaños y con varios ángulos de dispersión, según lo desee el diseñador. Además, pueden proyectarse toberas que produzcan un chorro cilíndrico o en forma de "lápiz", si así se desea.

Como se ha indicado antes, con el fin de proporcionar la máxima eficacia de recogida de partículas, es necesario formar un gran número de pequeñas gotitas que tengan una velocidad máxima con relación a las partículas contenidas en el gas portador. Teniendo en cuenta este objetivo, resulta evidente que sería ventajoso atomizar el agua de inyección por medios mecánicos de mane-



419941

ra tan eficaz como sea posible. Esto puede hacerse utilizando una pluralidad de toberas relativamente pequeñas, diseñadas para formar pulverizaciones de atomización y hechas funcionar con presiones relativamente elevadas. El trabajo experimental de la solicitante ha confirmado que, para una masa fija de agua de inyección, resulta más eficaz utilizar toberas pequeñas, accionadas a presión elevada, que toberas relativamente mayores, accionadas con una presión baja.

Aunque el diseño de la tobera inyectora y la presión de funcionamiento son parámetros principales que controlan la atomización mecánica del agua, y estos medios son adecuados para producir gotitas relativamente pequeñas, por ejemplo gotitas en el margen de tamaños de 100-200 micras, deben proporcionarse otros medios para formar las gotitas de menor tamaño necesarias para chocar contra las partículas de dimensiones inferiores a la micra y recogerlas.

El chorro de vapor a velocidad supersónica es admirablemente adecuado para este último propósito, particularmente cuando se introducen gotitas atomizadas por medios mecánicos en el chorro, de modo que pueda tener lugar un proceso de cizalladura y de atomización junto a la salida de la tobera, donde están disponibles la reacción y los tiempos de retención máximos. Aunque es importante



419941

someter a las gotitas de agua al vapor dotado de gran energía, es igualmente importante que se evite una perturbación indebida del chorro de vapor, con el fin de reducir las pérdidas en la energía de bombeo del mismo.

5 Puede obtenerse de la mejor manera un compromiso entre estas necesidades en conflicto inyectando el agua en el chorro de vapor con un ángulo relativamente grande y en una parte tan grande del cono de vapor en expansión, como resulte posible, sin embargo, penetrar hasta el núcleo
10 supersónico central del chorro de vapor, con lo que el chorro de vapor se debilitaría, afectando a la capacidad del chorro para "engancharse" con el tubo de mezclado y para realizar de manera eficaz su función de bombeo.

15 Aunque las toberas de pulverización cónicas que contienen un dispositivo de turbulencia diseñado para producir una pulverización cónica relativamente sólida, son eficaces para atomizar mecánicamente agua y dirigir las gotitas atomizadas hacia el chorro de vapor, tales toberas pueden cegarse fácilmente con material en partículas o con
20 otras impurezas contenidas en el agua utilizada para alimentar el inyector de agua. Por otra parte, las toberas de chorro en abanico son relativamente insensibles a tal material en partículas y, cuando se seleccionan apropiadamente para utilizar la capacidad de cizalladura del chorro
25 de vapor, son eficaces para proporcionar una atomización



419941

mecánica principal adecuada y para favorecer una atomización de cizalladura secundaria eficaz por el chorro de vapor.

5 Cuando, como en el presente aparato, las toberas de vapor están provistas de un ángulo en el vértice divergente, incluido, de 12° , la máxima atomización secundaria por cizalladura se obtendría montando la tobera inyectora formando un ángulo de 84° con el eje geométrico de la tobera de vapor. Angulos menores, tales como de 45° , son
10 también eficaces, aunque la atomización secundaria mediante cizalladura resulta disminuida en cierto modo. Cuando se reduce el ángulo de inyección hasta las cercanías de los 15° , el agua inyectada tiende a ser reflejada desde la superficie del chorro de vapor y se dificulta la atomización
15 secundaria. Naturalmente, se produce el mismo resultado cuando se utilizan toberas de pulverización cónica con pequeños ángulos, como se muestra en la fig. 8A, ya que una parte sustancial del agua inyectada no entra en contacto de manera inmediata con el chorro de vapor.

20 Otro tipo de tobera de pulverización que podría utilizarse es la tobera del tipo denominado de "lápiz", que puede fácilmente dirigirse de manera precisa hacia el chorro de vapor. Sin embargo, esta tobera produce poca atomización primaria mecánica y tiende a penetrar en
25 el núcleo supersónico del chorro de vapor y, por tanto, es



419941

en general indeseable.

5 Es evidente que la atomización por cizalladura
secundaria puede producirse inyectando las gotitas produci-
das por atomización primaria en cualquier punto de la región
exterior o interfacial del chorro de vapor, entre la sali-
da de la tobera y el punto de "enganche". Sin embargo, con
el fin de favorecer la recogida de partículas por impacto
y mezclado, es deseable aumentar al máximo el tiempo dis-
ponible para estos procesos. En consecuencia, es preferible
10 inyectar las gotitas producidas por la atomización prima-
ria en un punto relativamente próximo a la salida de la to-
bera, en el que la velocidad del chorro de vapor se encuen-
tra también a un valor máximo.

15 Al poner en práctica el procedimiento del
presente invento, la solicitante ha desarrollado un aparato
del tipo representado en la fig 1, que se diseñó para
tratar aproximadamente 453 kg por minuto de un gas portador,
tal como el gas de escape procedente de un horno Mar-
tin-Siemens. El gas de escape contenía contaminantes; ma-
20 terial en partículas, incluyendo una gran cantidad de par-
tículas de óxido de hierro de dimensión inferior a la mi-
cra en una carga de polvo de hasta 3-5 granos por cada
28,3 litros normales. El tubo de mezclado 32 tenía 45 cm.
de diámetro y, aproximadamente, 5 metros de longitud y
25 comunicaba con unos separadores ciclónicos gemelos 38 que



419941

5 tenían 1,2 metros de diámetro y aproximadamente 3,60 metros de altura. La chimenea del ciclón era de 75 cm. de diámetro y aproximadamente 3 metros de altura y se extendía en aproximadamente 1,2 metros por encima de la parte superior del ciclón.

10 La solicitante ha diseñado cuatro toberas de vapor para funcionar en conjunto con el tubo de mezclado y con el ciclón, con el fin de realizar operaciones a presión de vapor variable. Las dimensiones de estas toberas, designadas como toberas 1-4, se representan en la Tabla 1:

TABLA 1

15

Número de la tobera	diámetro de la estrangulación (cm)	Angulo de divergencia	Presión designada kgs/cm ²	Régimen de presión operativa kgs./cm ²
1	15,06	12º	38,6	38,6-22,5
2	21,13	12º	22,5	22,5-13,35
20 3	29,84	12º	13,35	13,35-7,73
4	43,91	12º	7,73	7,73-4,42

25



419941

Los datos del comportamiento para las toberas 1 a 3 se tabularon en la Tabla 2, que se da más abajo y se dispusieron en forma de una gráfica en la fig. 9

5

TABLA 2

	<u>Tobera 1</u>		<u>Tobera 2</u>		<u>Tobera 3</u>	
10	Caudal de va por por mi- nuto (kgs)	Caudal de gas por mi- nuto (kgs)	Caudal de va por por mi- nuto (kgs)	Caudal de gas por mi- nuto (kgs)	Caudal de va por por minu- to (kgs)	Caudal de gas por mi- nuto (kgs)
	53,4	464,3	63,42	458,9	74,29	457,5
	43,03	391,8	48,9	371,4	62,51	404,52
	32,16	294,9	37,6	292,2	56,17	356,05
15	24,91	207,9	37,6	273,15	48,9	311,21

De la fig. 9 resulta evidente que puede obtenerse una acción de bombeo adecuada con presiones de vapor ampliamente variables, suponiendo que sólo se utilice una tobera diseñada de manera apropiada. En el presente caso, el diámetro de la estrangulación se diseñó para conseguir una presión operativa máxima, mientras que el diámetro de salida de la tobera estaba dimensionado para permitir un funcionamiento dentro de un régimen de bombeo deseado.

25

La fig. 10B es parte de un diagrama de Mollier que represen



419941

ta una parte de la región de vapor de agua que cubre los márgenes de presión que se investigan en esta Memoria. El diagrama de Mollier relaciona la entalpía o contenido de calor total del vapor con la entropía del vapor y es un diagrama conveniente sobre el que puede representarse la expansión de vapor a través de una tobera. Dentro de márgenes de presiones que se consideran en esta Memoria, la entalpía del vapor saturado (H_1) es casi constante, encontrándose en el margen de 658,9 kcal/kg. a una presión de 1,33 kgs./cm², hasta 662,2 kcal/kg. a una presión de 38,66 kgs./cm². Una expansión isoentrópica a la presión atmosférica daría como resultado entalpías (H_2) que se encuentran en el margen que va desde 556 kcal/kg. a una presión de 13,3 kgs./cm², hasta 520,85 kcal/kg. a una presión de 38,66 kgs./cm². Por tanto, la energía calorífica teóricamente disponible para acelerar el vapor (ΔH) se encuentra en el margen de 102,30 kcal/kg. a 13,3 kgs./cm², hasta 141,35 kcal/kg. a una presión de 38,66 kgs./cm². La expansión isoentrópica teórica no puede obtenerse y el procedimiento real, con una tobera bien diseñada, sigue las curvas de línea interrumpida de la fig. 108, para producir una energía disponible (ΔH_2) que va, desde 95,15 kcal/kg. a 13,3 kgs./cm², hasta 131,45 kcal/kgs a una presión de 38,66 kgs./cm².

Una comparación de la energía disponible mediante el uso de la impulsión por eyector de agua caliente que



419941

funciona en el mismo régimen de presiones, puede realizarse haciendo referencia a la parte del diagrama de Mollier para agua líquida representada en la fig. 10A. Esta figura ilustra que el contenido calorífico total (entalpía) del agua saturada a $38,66 \text{ kg/cm}^2$ es de $253,55 \text{ kcal/kg.}$ y la entalpía a la presión atmosférica que es de $227,15 \text{ kcal/kg.}$, proporcionando así una cantidad teórica de energía disponible (ΔH) de $26,40 \text{ kcal/kg.}$ y una cantidad real de energía disponible a partir de una tobera bien diseñada de aproximadamente $23,65 \text{ kcal/kg.}$

La disparidad existente entre las energías disponibles a partir de vapor y a partir de agua a las mismas presiones y temperaturas, proporciona una visión de las razones existentes para el comportamiento mejorado del presente procedimiento utilizando vapor como medio de impulsión y como fuente de energía para el proceso de atomización secundaria por cizalladura. Como resultado de las grandes cantidades de energía disponibles, el caudal de vapor adoptará velocidades supersónicas que pueden alcanzar el Mach 2, o incluso más, en el núcleo central de vapor a velocidad constante, mientras que en las partes circundantes del chorro, las velocidades se encontrarán en el margen de los valores transónicos, a velocidades que se aproximan a la velocidad del núcleo. Naturalmente, en los límites exteriores del chorro de vapor, donde las gotitas



419941

de agua están concentradas, estará presente un elevado grado de mezclado y de turbulencia. Dependiendo de la energía y de la velocidad del chorro de vapor, pueden formarse una o más ondas de choque intensas en o más allá del punto 62
5 de "enganche" y estas ondas de choque proporcionarán una turbulencia y un mezclado adicionales dentro del tubo de mezclado, mejorando la captura de partículas por las gotitas de agua y el crecimiento y la aglomeración de estas gotitas. Más allá de la onda de choque normal 70 (véanse figs.
10 2 y 3) el flujo será esencialmente turbulento y subsónico, y la presencia del agua inyectada favorecerá la condensación del vapor para formar gotitas adicionales o para agrandar las gotitas existentes. En esta región, la velocidad de las gotitas de agua será también mayor que la del gas de modo que pueden ponerse en operación los procedimientos de con-
15 densación y de impacto para la captura de contaminantes, aunque la función principal de esta parte del tubo de mezclado es asegurar un crecimiento suficiente de las gotitas para permitir que el agua sea separada en forma de gotitas
20 del gas en los separadores ciclónicos.

La solicitante ha utilizado con éxito el aparato representado en la fig. 1 para recoger, por ejemplo, las partículas procedentes de gases de escape de hornos Mar-
25 tin-Siemens. Datos típicos de estos ensayos se indican en la Tabla 3 siguiente:

419941

419941

TABLA 3

Datos típicos de eliminación de partículas (agua conectada a la cámara de atomización)

Ensayo Nº	Caudal gas de entrada Kgs/min.	Tobera de vapor Nº	Presión de vapor Kgs/cm ²	Caudal de vapor Kgs/min.	Alfa de vapor Kgs.vapor/Kgs.gas	Agua de depuración inyectada Kgs/min.	Partículas gaseas	
							ENTRADA	SAL
5	454,8	3	13,00	73,38	0,161	43,94	0,82	0,
	457,5	3	13,35	74,29	0,162	100,56	0,82	0,
	405,43	3	11,24	62,51	0,154	88,33	0,68	0,
	356,05	3	10,19	56,17	0,158	55,26	0,96	0,
	307,6	3	8,43	46,65	0,152	82,44	2,40	0,
10	258,21	3	7,38	40,77	0,157	105,09	1,61	0,
	458,9	2	22,49	63,42	0,132	100,56	2,10	0,
	314,83	2	14,06	59,41	0,126	61,15	0,52	0,
	371,46	2	17,22	48,92	0,132	95,13	2,90	0,
	378,70	2	17,57	49,37	0,131	54,81	2,85	0,
15	292,18	2	13,35	37,59	0,129	96,48	3,00	0,
	464,32	1	37,96	53,45	0,115	97,39	1,70	0,
	391,84	1	30,58	43,03	0,110	149,49	1,56	0,
	390,48	1	30,93	43,48	0,111	147,22	1,21	0,
	294,0	1	22,84	32,16	0,110	149,49	2,09	0,
20	294,9	1	22,84	32,16	0,109	122,31	1,47	0,
	207,9	1	18,27	24,91	0,120	81,54	1,47	0,



419941

419941

TABLA 3

ión de partículas (agua conectada a la cámara de atomización)

vapor	Caudal de vapor Kgs/min.	Alfa de vapor Kgs.vapor/Kgs.gas	Agua de depuración inyectada Kgs/min.	Partículas gaseosas		% de eficacia de eliminación
				ENTRADA grs/28,3ls	SALIDA grs/28,3ls	
	73,38	0,161	43,94	0,82	0,010	99,1
	74,29	0,162	100,56	0,82	0,010	99,1
	62,51	0,154	88,33	0,68	0,001	99,9
	56,17	0,158	55,26	0,96	0,003	99,7
	46,65	0,152	82,44	2,40	0,020	99,2
	40,77	0,157	105,09	1,61	0,030	98,2
	63,42	0,132	100,56	2,10	0,005	99,8
	39,41	0,126	61,15	0,52	0,001	99,8
	48,92	0,132	95,13	2,90	0,025	99,0
	49,37	0,131	54,81	2,85	0,050	98,2
	37,59	0,129	96,48	3,00	0,030	99,0
	53,45	0,115	97,39	1,70	0,010	99,4
	43,03	0,110	149,49	1,56	0,015	99,0
	43,48	0,111	147,22	1,21	0,030	97,5
	32,16	0,110	149,49	2,09	0,030	98,6
	32,16	0,109	122,31	1,47	0,040	97,3
	24,91	0,120	81,54	1,47	0,025	99,0

419941

TABL

Datos típicos de eliminación de partículas (a

	Ensayo Nº	Caudal gas de entrada Kgs/min.	Tobera de vapor Nº	Presión de vapor Kgs/cm ²	Caudal d Kgs/
5	520-2	454,8	3	13,00	73,38
	520-4	457,5	3	13,35	74,29
	521-7	405,43	3	11,24	62,51
	522-2	356,05	3	10,19	56,17
	523-2	307,6	3	8,43	46,65
10	523-5	258,21	3	7,38	40,77
	525-4	458,9	2	22,49	63,42
	526-1	314,83	2	14,06	39,41
	527-4	371,46	2	17,22	48,92
	527-6	378,70	2	17,57	49,37
15	528-3	292,18	2	13,35	37,59
	529-3	464,32	1	37,96	53,45
	530-2	391,84	1	30,58	43,03
	530-7	390,48	1	30,93	43,48
	531-2	294,0	1	22,84	32,16
20	531-3	294,9	1	22,84	32,16
	532-1	207,9	1	18,27	24,91

25

- 39 -

24.11.73

1941

419941

TABLA 3

de eliminación de partículas (agua conectada a la cámara de atomización)

Presión de vapor Kgs/cm ²	Caudal de vapor Kgs/min.	Alfa de vapor Kgs.vapor/Kgs.gas	Agua de depuración inyectada Kgs/min.	Pa EN 9I
13,00	73,38	0,161	43,94	
13,35	74,29	0,162	100,56	
11,24	62,51	0,154	88,33	
10,19	56,17	0,158	55,26	
8,43	46,65	0,152	82,44	
7,38	40,77	0,157	105,09	
22,49	63,42	0,132	100,56	
14,06	39,41	0,126	61,15	
17,22	48,92	0,132	95,13	
17,57	49,37	0,131	54,81	
13,35	37,59	0,129	96,48	
37,96	53,45	0,115	97,39	
30,58	43,03	0,110	149,49	
30,93	43,48	0,111	147,22	
22,84	32,16	0,110	149,49	
22,84	32,16	0,109	122,31	
18,27	24,91	0,120	81,54	

419941

41994

da a la cámara de atomización)

Alfa de vapor Kgs.vapor/Kgs.gas	Agua de depuración inyectada Kgs/min.	Partículas gaseosas		% de eficacia de eliminació
		<u>ENTRADA</u> grs/28,3ls	<u>SALIDA</u> grs/28,3ls	
0,161	43,94	0,82	0,010	99,1
0,162	100,56	0,82	0,010	99,1
0,154	88,33	0,68	0,001	99,9
0,158	55,26	0,96	0,003	99,7
0,152	82,44	2,40	0,020	99,2
0,157	105,09	1,61	0,030	98,2
0,132	100,56	2,10	0,005	99,8
0,126	61,15	0,52	0,001	99,8
0,132	95,13	2,90	0,025	99,0
0,131	54,81	2,85	0,050	98,2
0,129	96,48	3,00	0,030	99,0
0,115	97,39	1,70	0,010	99,4
0,110	149,49	1,56	0,015	99,0
0,111	147,22	1,21	0,030	97,5
0,110	149,49	2,09	0,030	98,6
0,109	122,31	1,47	0,040	97,3
0,120	81,54	1,47	0,025	99,0



419941

osas	% de eficacia
<u>ALIDA</u>	de eliminación
<u>rs/28,31s</u>	
0,010	99,1
0,010	99,1
0,001	99,9
0,003	99,7
0,020	99,2
0,030	98,2
0,005	99,8
0,001	99,8
0,025	99,0
0,050	98,2
0,030	99,0
0,010	99,4
0,015	99,0
0,030	97,5
0,030	98,6
0,040	97,3
0,025	99,0



419941

Los datos de la Tabla 3 se tomaron con las pulverizaciones de agua 16 del atomizador 14 en operación, pero la carga de grano de entrada representa la carga de gas en la salida del atomizador 14. Por tanto, las eficacias de eliminación registradas son las eficacias de eliminación reales obtenidas en el tubo de mezclado 32 y en los ciclones 38. La carga de grano de salida del gas portador se basaba en las muestras "tomadas" del gas aspirado a través de un filtro de 5 cm. normalizado, en un matraz en el que se ha hecho el vacío. Los filtros obtenidos de esta forma se compararon con los obtenidos utilizando grandes muestras de gas y técnicas de medición de carga del grano normalizadas, para comprobar la validez de la técnica de muestreo de las "tomas". Se determinaron las cargas de grano de entrada a partir de una muestra "tomada" de la suspensión que sale del ciclón 38 a través del drenaje 42.

Con el fin de determinar si el atomizador 14 era esencial o no para el funcionamiento apropiado del procedimiento, se realizaron un grupo de ensayos adicionales manteniendo inoperantes las pulverizaciones de agua 16 del atomizador. En este régimen, se obtuvo relativamente poca eliminación de partículas en el atomizador pero el comportamiento total del sistema era todavía altamente satisfactorio. Los datos típicos de estos ensayos se representan en la Tabla 4 siguiente:

419941

419941

TABLA 4

Datos típicos de eliminación de partículas (agua desconectada de la cámara de atomización)

Ensayo Nº	Caudal de gas de entrada Kgs/Min.	Tobera de vapor Nº	Presión de vapor Kgs/Min.	Caudal de vapor Kgs/Min.	Alfa de vapor Kgs.vapor/Kgs de gas	Agua de depu- ración inyec- tada Kgs/Min.	Partículas gaseosa ENTRADA grs/28,31s	SALI grs/
5	381,8	2	17,22	48,92	0,127	54,81	0,39	0,1
	394,1	2	17,22	48,92	0,124	95,13	2,81	0,1
	411,32	2	17,57	49,37	0,120	138,16	3,55	0,1
	414,94	2	17,22	48,92	0,118	167,61	3,25	0,1
	357,41	1	30,93	45,48	0,121	79,27	1,50	0,1
10	379,61	1	30,58	43,03	0,114	113,70	2,18	0,1
	390,48	1	30,93	43,48	0,111	147,22	1,21	0,1
	448,47	1	30,93	43,48	0,097	179,84	1,36	0,0
	541,33	1	37,96	54,36	0,100	201,58	3,07	0,0
	515,06	1	37,96	54,36	0,106	134,54	2,24	0,0
15	505,09	3	13,35	74,29	0,147	197,96	2,06	0,0
	511,9	3	13,49	75,19	0,147	166,70	1,65	0,0
	490,6	3	13,35	74,29	0,151	132,27	2,27	0,0
	445,7	3	13,35	74,29	0,167	98,30	1,47	0,0
	467,04	3	13,35	74,29	0,159	102,83	1,87	0,0
20	497,39	3	13,35	74,29	0,149	132,27	2,00	0,0



419941

419941

TABLA 4

(agua desconectada de la cámara de atomización)

Velocidad de vapor 'gs/min.	Alfa de vapor Kgs.vapor/Kgs de gas	Agua de depu- ración inyec- tada Kgs/Min.	Partículas gaseosas		% de eficacia de eliminación
			ENTRADA grs/28,3ls	SALIDA grs/28,3ls	
48,92	0,127	54,81	0,39	0,005	98,9
48,92	0,124	95,13	2,81	0,010	96,4
49,37	0,120	138,16	3,55	0,030	99,2
48,92	0,118	167,61	3,25	0,030	99,1
43,48	0,121	79,27	1,50	0,030	98,0
43,03	0,114	113,70	2,18	0,020	99,1
43,48	0,111	147,22	1,21	0,030	97,5
43,48	0,097	179,84	1,36	0,025	98,2
54,36	0,100	201,58	3,07	0,025	99,2
54,36	0,106	134,54	2,24	0,025	98,9
74,29	0,147	197,96	2,06	0,015	99,3
75,19	0,147	166,70	1,65	0,015	99,1
74,29	0,151	132,27	2,27	0,015	99,3
74,29	0,167	98,30	1,47	0,050	97,1
74,29	0,159	102,83	1,87	0,050	97,3
74,29	0,149	132,27	2,00	0,025	98,7

419941

Datos típicos de eliminación de partículas

	Ensayo No	Caudal de gas de entrada Kgs/Min.	Tobera de vapor No	Presión de vapor Kgs/Min.	Ca
5	527-7	381,8	2	17,22	
	527-8	394,1	2	17,22	
	527-10	411,32	2	17,57	
	527-11	414,94	2	17,22	
	530-5	357,41	1	30,93	
10	530-6	379,61	1	30,58	
	530-7	390,48	1	30,93	
	530-8	448,47	1	30,93	
	537-1	541,33	1	37,96	
	537-2	515,06	1	37,96	
15	544-1	505,09	3	13,35	
	544-2	511,9	3	13,49	
	544-3	490,6	3	13,35	
	544-4	445,7	3	13,35	
	544-5	467,04	3	13,35	
20	544-6	497,39	3	13,35	

25

24.11.73

41

419941

TABLA 4

típicos de eliminación de partículas (agua desconectada de la cámara de atomización)

Tobera de vapor Nº	Presión de vapor Kgs/Min.	Caudal de vapor Kgs/Min.	Alfa de vapor Kgs.vapor/Kgs de gas	Agua de de ración iny tada Kgs/
2	17,22	48,92	0,127	54,81
2	17,22	48,92	0,124	95,13
2	17,57	49,37	0,120	138,16
2	17,22	48,92	0,118	167,61
1	30,93	43,48	0,121	79,27
1	30,58	43,03	0,114	113,70
1	30,93	43,48	0,111	147,22
1	30,93	43,48	0,097	179,84
1	37,96	54,36	0,100	201,58
1	37,96	54,36	0,106	134,54
3	13,35	74,29	0,147	197,96
3	13,49	75,19	0,147	166,70
3	13,35	74,29	0,151	132,27
3	13,35	74,29	0,167	98,30
3	13,35	74,29	0,159	102,83
3	13,35	74,29	0,149	132,27

419941

419941

4actada de la cámara de atomización)

Alfa de vapor Kgs.vapor/Kgs de gas	Agua de depu- ración inyec- tada Kgs/Min.	Partículas gaseosas		% de eficaci de eliminaci
		<u>ENTRADA</u> grs/28,3ls	<u>SALIDA</u> grs/28,3ls	
0,127	54,81	0,39	0,005	98,8
0,124	95,13	2,81	0,010	96,4
0,120	138,16	3,55	0,030	99,2
0,118	167,61	3,25	0,030	99,1
0,121	79,27	1,50	0,030	98,0
0,114	113,70	2,18	0,020	99,1
0,111	147,22	1,21	0,030	97,5
0,097	179,84	1,36	0,025	98,2
0,100	201,58	3,07	0,025	99,2
0,106	134,54	2,24	0,025	98,9
0,147	197,96	2,06	0,015	99,3
0,147	166,70	1,65	0,015	99,1
0,151	132,27	2,27	0,015	99,3
0,167	98,30	1,47	0,050	97,1
0,159	102,83	1,87	0,050	97,3
0,149	132,27	2,00	0,025	98,7

419941



s gaseosas	% de eficacia
<u>SALIDA</u>	de eliminación
<u>s</u> grs/28,3ls	
0,005	98,8
0,010	96,4
0,030	99,2
0,030	99,1
0,030	98,0
0,020	99,1
0,030	97,5
0,025	98,2
0,025	99,2
0,025	98,9
0,015	99,3
0,015	99,1
0,015	99,3
0,050	97,1
0,050	97,3
0,025	98,7

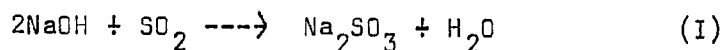


419941

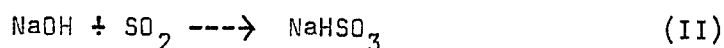
En vista de los resultados sumamente satisfactorios obtenidos en los ensayos para la eliminación de partículas, la solicitante realizó todavía otro grupo de pruebas para determinar si el procedimiento del presente invento podría o no aplicarse a la eliminación de material en partículas y de dióxido de sulfuro gaseoso.

Las reacciones químicas relativas a la eliminación de dióxido de sulfuro utilizando varios reactivos son bien conocidas. Los reactivos considerados como potencialmente más atractivos para aplicaciones a procedimientos comerciales en gran escala incluyen la cal, el carbonato cálcico, la sosa cáustica, el magnesio, el amoníaco, el permanganato potásico, las cenizas de sosa y otros álcalis.

Las reacciones utilizando sosa cáustica (hidróxido de sodio, NaOH) son:



y



29

De acuerdo con la ecuación (I), y basándose en los pesos moleculares de los reactivos, 80 partes en peso de hidróxido de sodio reaccionan con 64 partes en peso de dióxido de azufre. Por tanto, son necesarios 0,56 kgs. de hidróxido de sodio para reaccionar con 0,45 kgs. de SO_2 y

25

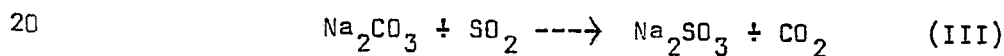
24.11.73



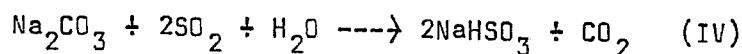
419941

eliminarlos. De acuerdo con la ecuación (II), 40 partes en
peso de hidróxido de sodio reaccionan con 64 partes en pe-
so de dióxido de azufre, de manera que se requieren 0,28
kgs. de hidróxido de sodio para reaccionar con 0,45 de
5 SO_2 y eliminarlos. Las reacciones descritas por las ecua-
ciones (I) y (II) ocurren en general al mismo tiempo y exis-
te entre ellas un equilibrio. Cuando se proporciona una
cantidad insuficiente de sosa cáustica, la reacción del bi-
sulfito (II) es favorecida, mientras que, en presencia de
10 un exceso de sosa cáustica, cualquier bisulfito será hecho
reaccionar para formar sulfito de sodio. Aunque de las con-
sideraciones económicas relativas a los reactivos químicos,
sería deseable favorecer la reacción de bisulfito, la pre-
sencia del bisulfito puede dar como resultado problemas de
15 corrosión.

Del mismo modo que las reacciones que se pro-
ducen al hacer uso de la sosa cáustica, existen dos reac-
ciones entre el carbonato de sodio y el SO_2 :



y



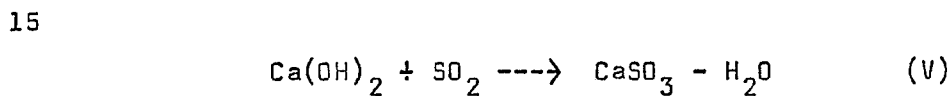
De acuerdo con la ecuación (III) y basándose
25 en los pesos moleculares de los reactivos, 106 partes en



419941

5 peso de carbonato de sodio reaccionan con 64 partes en peso de dióxido de azufre. Por tanto, son necesarios 0,74 kgs. de carbonato de sodio para reaccionar con 0,45 kgs. de SO₂ y eliminarlos. De acuerdo con la ecuación (IV), 106 partes en peso de carbonato de sodio reaccionan con 128 partes en peso de dióxido de azufre, de manera que son necesarios 0,37 kgs. de carbonato de sodio para reaccionar con 0,45 kgs. de SO₂ y eliminarlos. Asimismo, las reacciones descritas por las ecuaciones (III) y (IV) existen conjuntamente y están en equilibrio, y una deficiencia de carbonato de sodio favorece la reacción del bisulfito, mientras que un exceso favorece las reacciones de sulfito.

10 La reacción con la cal en forma de cal apagada (hidróxido de calcio) es la siguiente:



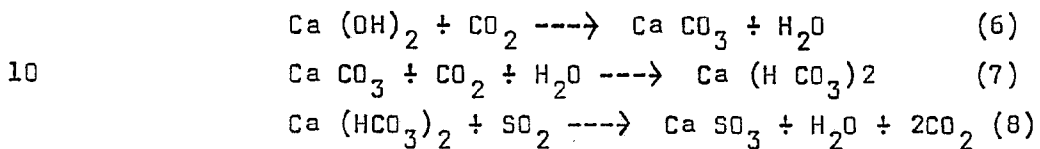
20 en esta reacción, 74 partes en peso de hidróxido de calcio reaccionan con 64 partes en peso SO₂, de modo que son necesarios 0,51 kgs. de hidróxido de calcio para reaccionar con 0,45 kgs. de SO₂ y eliminarlos. Aunque es teóricamente posible obtener una reacción de bisulfito, la cal viene dada ordinariamente en cantidades en exceso, de modo que existe poca posibilidad de que los productos de reacción contengan bisulfito. La cal puede también proporcio-

25



419941

narse en forma de cal seca (CaO) que, cuando se mezcla con
agua para formar una suspensión, reaccionará con el agua
para formar el hidróxido (Ca(OH)₂). Sin embargo, los gases
contaminados, particularmente los que resultan de un pro-
ceso de combustión, contendrán normalmente cantidades con-
siderables de dióxido de carbono (CO₂). En estas circuns-
tancias, ocurrirán las siguientes reacciones



aunque la reacción neta representada por la suma de las
ecuaciones (VI), (VII) y (VIII) es idéntica a la ecuación
(V), la existencia de reacciones intermedias, incluyendo
la formación de carbonato de calcio y de bicarbonato de
calcio, sugieren que la eficacia de eliminación del SO₂
puede reducirse en cierto modo cuando, como en este caso,
el tiempo de reacción viene limitado por la dinámica del
equipo utilizado en el procedimiento.

De las ecuaciones (VII) y (VIII), podría des-
prenderse que el carbonato de calcio sería preferible a
la cal apagada (hidróxido de calcio) como reactivo cuan-
do estuviera presente dióxido de carbono, particularmente



41994¹

5 en vista del pequeño coste y de la fácil disponibilidad
del carbonato de calcio. Sin embargo, el carbonato de cal-
cio formado de acuerdo con la ecuación (VI), y que reac-
ciona de acuerdo con la ecuación (VII), se encontrará en
una forma sustancialmente molecular, que es capaz de rea-
lizar una rápida reacción química. El carbonato de cal-
cio, por otra parte, está disponible comercialmente só-
lo como agregado grueso e incluso cuando se muele hasta
un tamiz de 325 mallas o inferior no es lo suficientemen-
te fino como para ser capaz de reaccionar rápidamente y,
10 por tanto, no es perfectamente adecuado para el presente
procedimiento.

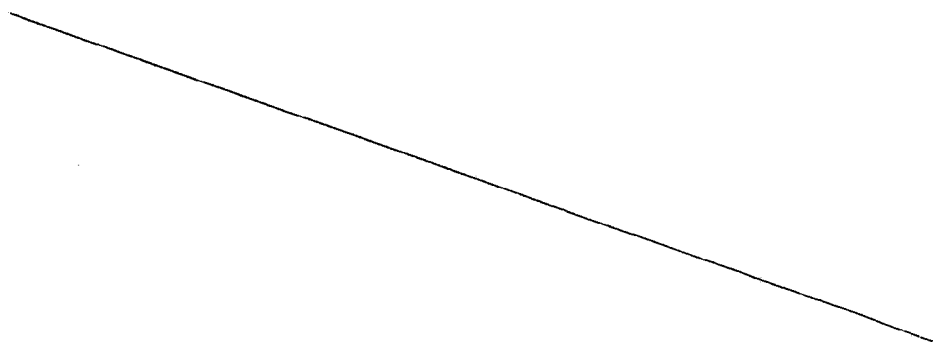
En los ensayos de eliminación de dióxido de
azufre, la solicitante utilizó cal en forma de hidróxido
15 de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), mezcla de cal y de hidróxido sódico
(NaOH) e hidróxido de sodio solamente. Los resultados de
estos ensayos mostraron que cuando el reactivo químico se
introdujo en forma de suspensión o solución junto con el
agua de inyección no tratada a través del inyector de agua
20 52, se consiguió una eliminación satisfactoria del dióxi-
do de azufre. Cuando, por ejemplo, se utilizó solamente
cal para su inyección con agua, se eliminó hasta aproxima-
damente el 90% del SO_2 , mientras que con hidróxido de so-
dio, se obtuvo una eliminación casi completa. Con mezclas
25 de cal y de hidróxido de sodio inyectadas con el agua, la



419941

5 eficacia de eliminación del SO_2 fue intermedia, entre las
eficacias de eliminación obtenidas merced al uso de cal
y de hidróxido de sodio por separado. En el caso en que
los gases portadores contengan olores orgánicos, puede
añadirse al agua de inyección un oxidante tal como el per-
manganato potásico. Las zonas de mezclado sumamente tur-
bulentas creadas por el presente procedimiento serán efi-
caces para favorecer las reacciones de oxidación necesarias
para realizar la eliminación de tales olores orgánicos. Se
10 apreciará también que las condiciones de condensación que
prevalecen en el tubo de mezclado aguas abajo del punto de
"enganche" 62 favorecerán la condensación de cualesquiera
vapores condensables presentes en la mezcla turbulenta de
gas, vapor y agua.

15 Datos típicos para los ensayos de dióxido de
azufre se representan en la Tabla 5 siguiente y se mues-
tran gráficamente en la fig. 11.



419941

419941

TABLA 5

Datos típicos de eliminación de dióxido de azufre

Ensayo No	Caudal de gas Kgs/min	Vapor de impulsión Caudal Kgs/Min	Presión Kgs/cm ²	Alfa Kgs vap./Kgs gas	Entrada SO ₂		Inyección química		Salida		Prop. Equiv.	Efi. eli.
					Kgs/min	PPM	Tipo	Kgs/min.	Kgs/Min.	PPM		
558-2	485,35	75,65	13,35	0,178	473,38	445	(1)	544,50	0,100	94	0,995	78,
558-3	475,65	73,83	13,0	0,176	465,68	445	(1)	544,50	0,081	78	1,011	82,
558-4	475,65	74,74	13,0	0,176	465,68	445	(1)	544,50	0,055	53	1,011	91,
559-2	447,11	70,21	11,6	0,167	983,46	1000	(1)	1239,40	0,28	291	1,090	70,
559-3	447,11	70,21	11,6	0,167	923,21	938	(1)	1239,40	0,24	249	1,161	73,
560-2	447,11	70,66	11,6	0,167	1.141,10	1160	(1)	1875,42	0,51	520	1,422	55,
563-3	447,11	71,57	11,67	0,168	1.141,10	1160	(1)	1875,42	0,29	302	1,422	74,
561-2	451,64	69,30	11,81	0,169	751,9	757	(2)	657,30	0,0099	10	0,699	98,
561-3	444,84	68,85	11,45	0,166	740,65	757	(2)	657,30	0,004	4	0,710	99,
562-2	454,35	69,30	11,95	0,169	1.211,32	1102	(3)	1289,23	0,183	184	0,921	83,
562-3	454,35	66,59	11,95	0,169	1.211,32	1102	(3)	1289,23	0,14	147	0,921	86,
563-2	447,11	65,23	11,60	0,167	1.475,42	1500	(1)	2441,21	0,54	530	1,431	64
563-3	447,11	65,23	11,60	0,167	1.414,7	1437	(1)	2441,21	0,47	479	1,493	66,
563-4	447,11	65,23	11,60	0,167	1.537,2	1358	(1)	2441,21	0,42	429	1,608	68
563-5	447,11	65,23	11,60	0,167	1.280,1	1300	(1)	2441,21	0,37	382	1,649	70
563-6	447,11	65,23	11,60	0,167	1.206,3	1225	(1)	2441,21	0,31	322	1,750	73

Notas

- (1) Suspensión de cal (Ca(OH)₂)
- (2) Solución de hidróxido de sodio (NaOH)
- (3) 20% NaOH; 80% Ca(OH)₂ Suspensión.



419941

419941

TABLA 5

azufre	ntrada SO2 Kgs/min PPM Vol.	Inyección química Tipo Kgs/min.	SO2		Prop. Equiv.	Eficacia eliminación %	Suspensión inyectada	
			Kgs/ Min.	Salida PPM Vol.			Kgs/ Min.	Alfa Kgs agua Kgs Gas
,38	445	(1) 544,50	0,100	94	0,995	78,9	73,3	0,152
,68	445	(1) 544,50	0,081	78	1,011	82,5	97,4	0,205
,68	445	(1) 544,50	0,055	53	1,011	91,5	140,8	0,296
,46	1000	(1) 1239,40	0,28	291	1,090	70,9	105,54	0,236
,21	938	(1) 1239,40	0,24	249	1,161	73,5	127,3	0,285
41,10	1160	(1) 1875,42	0,51	520	1,422	55,2	113,70	0,254
41,10	1160	(1) 1875,42	0,29	302	1,422	74,0	177,8	0,382
,9	757	(2) 657,30	0,0099	10	0,699	98,7	119,13	0,264
,65	757	(2) 657,30	0,004	4	0,710	99,5	197,9	0,445
11,32	1102	(3) 1289,23	0,183	184	0,921	83,3	101,47	0,223
11,32	1102	(3) 1289,23	0,14	147	0,921	86,7	162,6	0,358
75,42	1500	(1) 2441,21	0,54	530	1,431	64,7	191,16	0,428
14,7	1437	(1) 2441,21	0,47	479	1,493	66,7	191,16	0,428
37,2	1358	(1) 2441,21	0,42	429	1,608	68,4	191,16	0,428
30,1	1300	(1) 2441,21	0,37	382	1,649	70,5	191,16	0,428
36,3	1225	(1) 2441,21	0,31	322	1,750	73,7	191,16	0,428

419941

TA

Datos típicos de eliminación de dióxido de azufre

Ensayo Nº	Caudal de gas Kgs/min	Vapor de impulsión		Alfa Kgs vap./Kgs gas	Entrada Kgs/m	
		<u>Caudal</u> Kgs/Min	<u>Presión</u> Kgs/cm ²			
5	558-2	483,35	75,65	13,35	0,178	473,38
	558-3	475,65	73,83	13,0	0,176	465,68
	558-4	475,65	74,74	13,0	0,176	465,68
	559-2	447,11	70,21	11,6	0,167	983,46
10	559-3	447,11	70,21	11,6	0,167	923,21
	560-2	447,11	70,66	11,6	0,167	1.141,10
	563-3	447,11	71,57	11,67	0,168	1.141,10
	561-2	451,64	69,30	11,81	0,169	751,9
15	561-3	444,84	68,85	11,45	0,166	740,65
	562-2	454,35	69,30	11,95	0,169	1.211,32
	562-3	454,35	66,59	11,95	0,169	1.211,32
	563-2	447,11	65,23	11,60	0,167	1.475,42
20	563-3	447,11	65,23	11,60	0,167	1.414,7
	563-4	447,11	65,23	11,60	0,167	1.337,2
	563-5	447,11	65,23	11,60	0,167	1.280,1
	563-6	447,11	65,23	11,60	0,167	1.206,3

Notas

- (1) Suspensión de cal (Ca(OH)₂)
- (2) Solución de hidróxido de sodio (NaOH)
- (3) 20% NaOH; 80% Ca(OH)₂ Suspensión.

24.11.73

941

419941

TABLA 5

Tipicos de eliminación de dióxido de azufre

Vapor de impulsión			Entrada	SO ₂	Inyección química	SO ₂	Salida
<u>udal</u>	<u>Presión</u>	<u>Alfa</u>	Kgs/min	PPM	Tipo Kgs/Min.	Kgs/	PPM
Min	Kgs/cm ²	Kgs vap./Kgs gas		Vol.		Min.	Vol.
65	13,35	0,178	473,38	445	(1) 544,50	0,100	94
83	13,0	0,176	465,68	445	(1) 544,50	0,081	78
74	13,0	0,176	465,68	445	(1) 544,50	0,055	53
21	11,6	0,167	983,46	1000	(1) 1239,40	0,28	291
21	11,6	0,167	923,21	938	(1) 1239,40	0,24	249
66	11,6	0,167	1.141,10	1160	(1) 1875,42	0,51	520
57	11,67	0,168	1.141,10	1160	(1) 1875,42	0,29	302
30	11,81	0,169	751,9	757	(2) 657,30	0,0099	10
85	11,45	0,166	740,65	757	(2) 657,30	0,004	4
30	11,95	0,169	1.211,32	1102	(3) 1289,23	0,183	184
59	11,95	0,169	1.211,32	1102	(3) 1289,23	0,14	147
23	11,60	0,167	1.475,42	1500	(1) 2441,21	0,54	530
23	11,60	0,167	1.414,7	1437	(1) 2441,21	0,47	479
23	11,60	0,167	1.337,2	1358	(1) 2441,21	0,42	429
23	11,60	0,167	1.280,1	1300	(1) 2441,21	0,37	382
23	11,60	0,167	1.206,3	1225	(1) 2441,21	0,31	322

2)
sodio (NaOH)
pensión.

419941

419941

<u>acción química</u>	<u>SO₂</u>	<u>Salida</u>	<u>Prop.</u>	<u>Eficacia</u>	<u>Suspensión iny</u>	
o Kgs/Min.	Kgs/ Min.	PPM Vol.	Equiv.	eliminación %	Kgs/ Min.	Alfa Kgs agu Kgs Gas
) 544,50	0,100	94	0,995	78,9	73,3	0,152
) 544,50	0,081	78	1,011	82,5	97,4	0,205
) 544,50	0,055	53	1,011	91,5	140,8	0,296
) 1239,40	0,28	291	1,090	70,9	105,54	0,236
) 1239,40	0,24	249	1,161	73,5	127,3	0,285
) 1875,42	0,51	520	1,422	55,2	113,70	0,254
) 1875,42	0,29	302	1,422	74,0	177,8	0,382
) 657,30	0,0099	10	0,699	98,7	119,13	0,264
) 657,30	0,004	4	0,710	99,5	197,9	0,445
) 1289,23	0,183	184	0,921	83,3	101,47	0,223
) 1289,23	0,14	147	0,921	86,7	162,6	0,358
) 2441,21	0,54	530	1,431	64,7	191,16	0,428
) 2441,21	0,47	479	1,493	66,7	191,16	0,428
) 2441,21	0,42	429	1,608	68,4	191,16	0,428
) 2441,21	0,37	382	1,649	70,5	191,16	0,428
) 2441,21	0,31	322	1,750	73,7	191,16	0,428



419941

Eficacia eliminación	Suspensión inyectada	
	Kgs/ Min.	Alfa
		<u>Kgs agua</u>
%		<u>Kgs Gas</u>
.9	73,3	0,152
.5	97,4	0,205
.5	140,8	0,296
.9	105,54	0,236
.5	127,3	0,285
.2	113,70	0,254
0	177,8	0,382
.7	119,13	0,264
.5	197,9	0,445
.3	101,47	0,223
.7	162,6	0,358
.7	191,16	0,428
.7	191,16	0,428
.4	191,16	0,428
.5	191,16	0,428
.7	191,16	0,428



-7-

419941

5 En la fig. 11, se representa gráficamente la eficacia de eliminación del SO_2 como proporción entre la eficacia total, dividida por la proporción equivalente en ordenadas con el fin de tener en cuenta la variación y la cantidad de SO_2 inyectado en el sistema. En las abscisas, en la fig. 12, se utilizó el reactivo disponible con el fin de tener en cuenta la solubilidad de la cal contenida en la suspensión de cal. La cal disponible se calculó sobre la base de una solubilidad del 0,17% de cal en agua fría.

10 Resulta evidente, a partir de los datos presentados en esta Memoria que el procedimiento de la solicitante, de acuerdo con el presente invento, es sumamente eficaz para la eliminación de contaminantes en partículas y gaseosos, tales como gases de carácter ácido, comprendiendo el dióxido de azufre. La realización preferida del aparato descrito en esta Memoria comprende uno diseñado para tratar aproximadamente 453,6 kgs. de gas por minuto. La solicitante prevé que pueden hacerse funcionar en paralelo cualquier número de módulos del aparato para dar acomodo a cantidades mayores de gas, y es también evidente, a partir de los datos indicados, que pueden bombearse cantidades de gas sustancialmente superiores a los 453,6 kgs. por minuto merced al presente módulo sin perjudicar la eficacia de eliminación.

25 También resultará evidente para los expertos



419941

en la técnica que el módulo del aparato descrito en esta Memoria puede aumentarse o disminuirse de escala, según se desee, para una instalación particular, merced a la aplicación de principios conocidos. Por ejemplo, el diámetro del tubo de mezclado y la longitud del mismo hasta el punto en "enganche" son función de la raíz cuadrada de la relación del flujo deseado y el caudal diseñado del presente módulo. El diámetro del ciclón es función de la velocidad de salida de las gotitas que son proyectadas desde el tubo de mezclado, la cual está relacionada con la longitud del tubo de mezclado más allá del punto de "enganche". Como la capacidad del ciclón depende de su diámetro, puede determinarse el número de ciclones necesarios cuando se haya establecido el diámetro. Consideraciones similares son de aplicación al dimensionamiento de las restantes partes del aparato. También son posibles otras configuraciones de instalación dentro del alcance del presente invento. Por ejemplo, el eyector de vapor y el tubo de mezclado pueden estar orientados verticalmente y la separación de agua primaria puede realizarse mediante aletas curvadas u otras formas de separadores por impacto, inerciales. El diseño vertical puede ser deseable cuando, debido a la elevada capacidad del módulo, el tubo de mezclado sea relativamente largo o cuando el espacio sobre el suelo para la instalación esté limitado.



419941

El diseño de tubo de mezclado e inyector verticales puede ser deseable, también, para pequeñas unidades portátiles.

5 Se han utilizado también un aparato y un método mediante los cuales se efectúa la eliminación de SO₂ por el uso de los reactivos descritos en conjunto con una impulsión por agua caliente, y este objeto constituye la materia de la solicitud de patente norteamericana nº 291.007, presentada el 21 de septiembre de 1972.

10 La presente solicitud, que corresponde a la presentada en Estados Unidos de América, el 31 de Octubre de 1972, bajo el Nº 302.608 se acoge a los beneficios del Artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

15

REIVINDICACIONES

Los puntos de invención propia y nueva, que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

20 1ª.- Procedimiento para la eliminación de contaminantes desde gases portadores que los contienen, caracterizado por impulsar el gas portador que contiene dichos contaminantes a través de un tubo de mezclado alargado
25 mediante un eyector de vapor; formar una mezcla turbulen-

24.11.73

419941



ta de vapor, al menos agua atomizada y un gas portador que
contiene contaminantes (a) expandiendo vapor a través de
la tobera del eyector de vapor para formar un chorro de
vapor dirigido al interior del tubo de mezclado, (b) for-
mando una serie de pulverizaciones en chorro de al menos
5 un líquido acuoso relativamente frío en una primera condi-
ción atomizada, dispuestas circunferencialmente en torno
al chorro de vapor que sale desde dicha tobera y (c) ato-
mizando también dicho líquido acuoso al dirigir dichas pul-
10 verizaciones en chorro a las regiones exteriores de dicho
chorro de vapor; mezclar también el gas portador que con-
tiene los contaminantes a medida que es impulsado a través
del tubo de mezclado con al menos dicho líquido acuoso nue-
vamente atomizado y dicho vapor dentro de dicho tubo de mez-
15 clado y regular, así, el flujo de la mezcla turbulenta ci-
tada a través de dicho tubo de mezclado con el fin de pro-
porcionar un tiempo de retención de dicha mezcla turbulen-
ta en dicho tubo de mezclado suficiente para la formación
de gotitas acuosas, para contener dichas gotitas acuosas
20 que contienen contaminantes y para aumentar de tamaño di-
chas gotitas acuosas que contiene contaminantes, y después
de ello, separar dichas gotitas acuosas que contienen con-
taminantes, así aumentadas de tamaño, del resto de dicho
gas portador.

25

2ª.- Un procedimiento según la reivindicación

24.11.73



419941

5 1ª, caracterizado porque el chorro de vapor es dirigido mediante dicho eyector de vapor al interior del tubo de mezclado, a velocidad supersónica y de modo que tenga una región central de velocidad uniforme y una región circun-

10 3ª.- Un precedimiento según la reivindicación 1ª o la 2ª, caracterizado porque el eyector de vapor impulsa el gas portador que contiene contaminantes a través de un tubo de mezclado cilíndrico, alargado, formándose dicha mezcla turbulenta de vapor, agua atomizada y gas portador que contiene contaminantes, por expansión del chorro de vapor que sale del eyector de vapor, en una configuración en general cónica a través de una parte de la longitud de

15 dicho tubo de mezclado, hasta un punto dentro de dicho tubo de mezclado donde las regiones exteriores de dicho chorro expandido de vapor, moviéndose a velocidad supersónica, se aplican a la superficie interior de dicho tubo de mez-

20 clado cilíndrico, para "engancharse" con dicho tubo de mezclado, para impulsar así dicho gas portador a través de dicha parte de la longitud de dicho tubo de mezclado, a una parte siguiente de la longitud de dicho tubo de mezcla-

25 do en la que al menos existe una región de ondas de choque, atomizándose de nuevo dichas pulverizaciones de chorro líquido acuoso relativamente frío en dicha primera condición



419941

5 atomizada y acelerándose hasta un valor de velocidad superior a la velocidad de los contaminantes en partículas en dicho gas portador, dirigiendo dichas pulverizaciones en chorro a dichas regiones exteriores de dicho chorro de vapor, mezclándose de nuevo los contaminantes en partículas en dicho gas portador con gotitas de dicho líquido acuoso atomizado, que se mueven a una velocidad acelerada, y dicho vapor dentro del tubo de mezclado para dar lugar a múltiples colisiones entre dichas gotitas y dichas partículas, regulándose así el flujo de dicha mezcla turbulenta a través de dicho tubo de mezclado de modo que se proporcione un tiempo de retención de dicha mezcla turbulenta dentro de dicha parte de dicho tubo de mezclado en la que ocurre la impulsión y de dicha parte del tubo de mezclado en la que existe una región de onda de choque suficiente para la formación de gotitas acuosas y el arrastre de dicho material en partículas en dichas gotitas y para aumentar de tamaño dichas gotitas acuosas que contienen las partículas y, después de ello, separar dichas gotitas que contienen las partículas, así aumentadas de tamaño, del resto del gas portador.

10
15
20
25 4a.- Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el flujo de dicha mezcla turbulenta se regula a través de dicho tubo de mezclado por (a) regulación de la velocidad

24.11.73

419941



de suministro de vapor a dicha tobera de vapor para esta-
blecer un caudal volumétrico deseado de impulsión de dicha
gas portador a través de dicho tubo de mezclado, y (b) re-
gularlo el caudal volumétrico de dicho líquido acuoso a
5 través de dicha serie de pulverizaciones en chorro de acuerdo
do con cualquiera variaciones de las características, tal
como la cantidad y los tamaños de partículas del contami-
nante en partículas de dicho gas portador.

5a.- Un procedimiento según una cualquiera de
10 las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque
cuando el contaminante a eliminar del gas portador es ma-
terial en partículas y dióxido de azufre gaseoso, dicha
serie de pulverizaciones en chorro, además de dicho líquido
15 acuoso relativamente frío, liberan un reactivo alcali-
no circunferencialmente en torno al chorro de vapor que
sale de dicha tobera, siendo el flujo de dicha mezcla tur-
bulenta a través del tubo de mezclado regulado para propor-
cionar un tiempo de retención de dicha mezcla turbulenta
20 en dicho tubo de mezclado suficiente para que se produz-
ca la reacción del dióxido de azufre en dicho gas porta-
dor con dicho reactivo alcalino, para dar lugar a la for-
mación de gotitas acuosas de productos de reacción que
contengan azufre y el arrastre de dicho material en partí-
culas de dichas gotitas y para hacer aumentar de tamaño
25 dichas gotitas, siendo separadas dichas gotitas así aumen-

24.11.73



419941

tadas de tamaño del resto del gas portador.

5 6ª.- Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 4ª, caracterizado porque dichas pulverizaciones en chorro de líquido acuoso se dirigen hacia dichas regiones exteriores de dicho chorro de vapor, en posiciones muy cercanas a la salida del chorro de vapor citado desde dicha tobera a dicho eyector de vapor.

10 7ª.- Un procedimiento según la reivindicación 5ª, caracterizado porque dichas pulverizaciones en chorro líquido acuoso que contienen dicho reactivo alcalino son dirigidas hacia dichas direcciones exteriores de dicho chorro de vapor, en posiciones muy próximas a la salida de dicho chorro de vapor, desde dicha tobera de dicho eyector de vapor.

15 8ª.- Un procedimiento según la reivindicación 5ª o la 7ª, caracterizado porque dicho reactivo alcalino comprende óxido de calcio, hidróxido de calcio o hidróxido de sodio.

20 9ª.- Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 4ª, caracterizado porque cuando los contaminantes a eliminar están constituidos por material en partículas y olores orgánicos, dicha serie de pulverizaciones en chorro, además de dicho líquido acuoso relativamente frío, liberan un oxidante circunferencialmente en torno al chorro de vapor que sale desde dicha tobera, regulán-

25

24.11.73



419941

5 dose el flujo de dicha mezcla turbulenta a través de dicho tubo de mezclado para proporcionar un tiempo de retención de dicha mezcla turbulenta en dicho tubo de mezclado suficiente para la reacción de los olores orgánicos en dicho gas portador con dicho oxidante, para la formación de gotitas acuosas que contienen productos de reacción de dichos olores orgánicos y el arrastre de dicho material en partículas en dichas gotitas, y para aumentar el tamaño de dichas gotitas acuosas, separándose dichas gotitas acuosas así aumentadas de tamaño del resto de dicho gas portador.

10 10ª.- Un procedimiento según la reivindicación 9ª, caracterizado porque dicho oxidante comprende permanganato de potasio.

15 11ª.- Un procedimiento para la eliminación de contaminantes desde gases portadores que los contienen.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y con los fines que se han especificado.

20 Esta Memoria consta de cincuenta y siete hojas escritas a máquina por una sola cara.

-7 DIC. 1973

Madrid,

P.A. Fernando de Elcaboru
Por Poder

25

24.11.73

419941

419941

FIG. 1

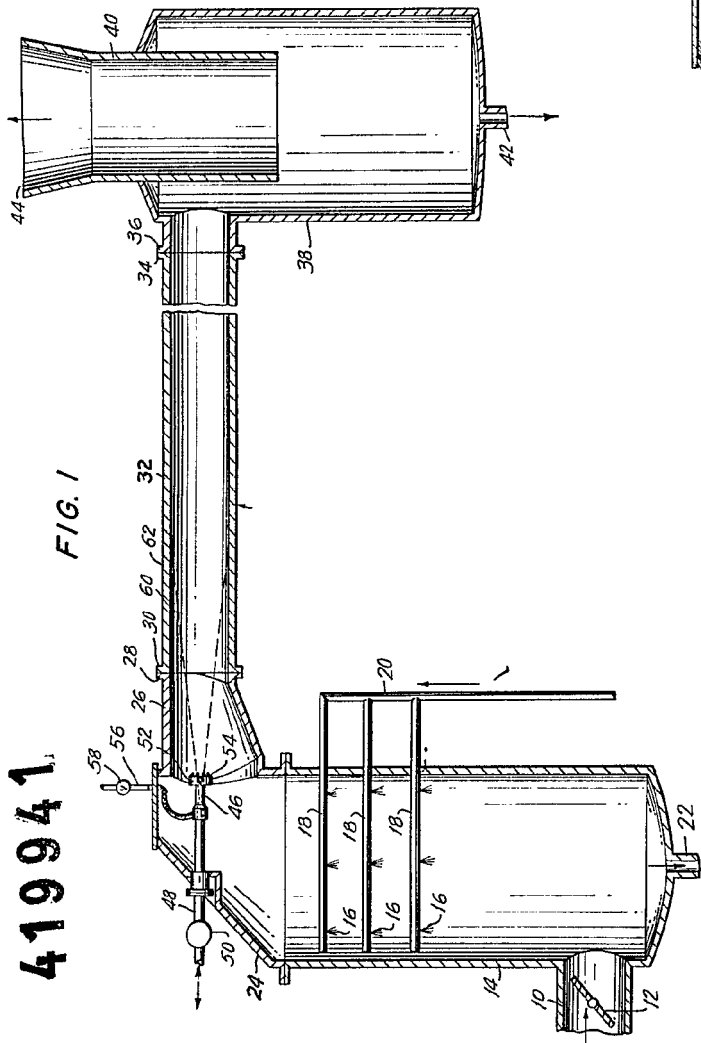
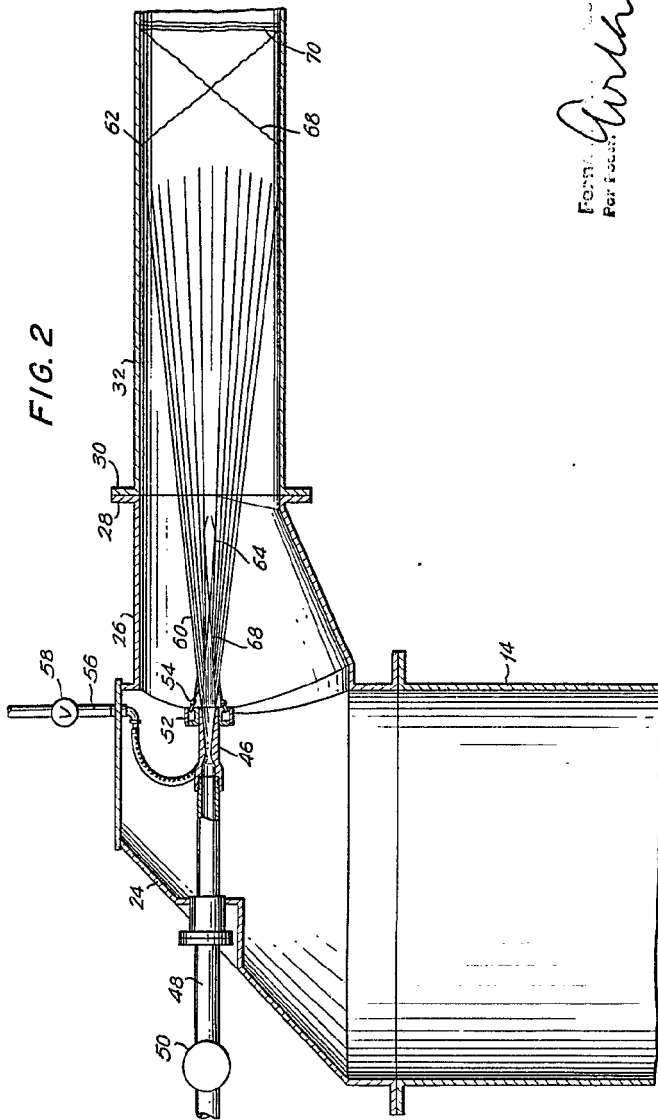


FIG. 2

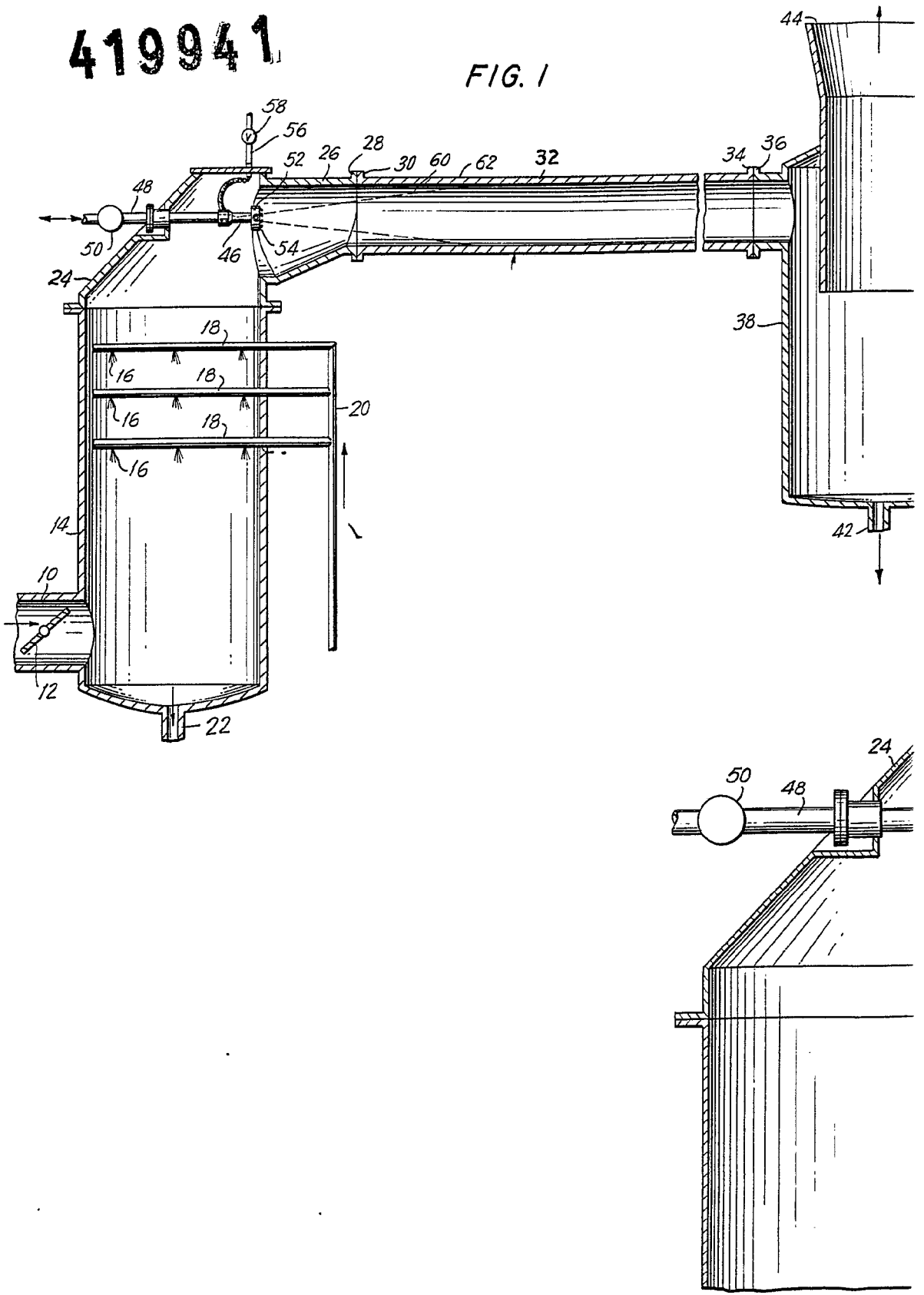


Formed in Accordance with
Per. Ind. No. 419941

U.S. PAT. OFF.

419941

FIG. 1



419941

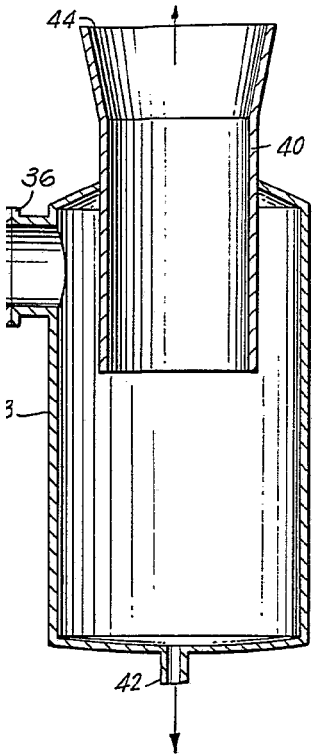
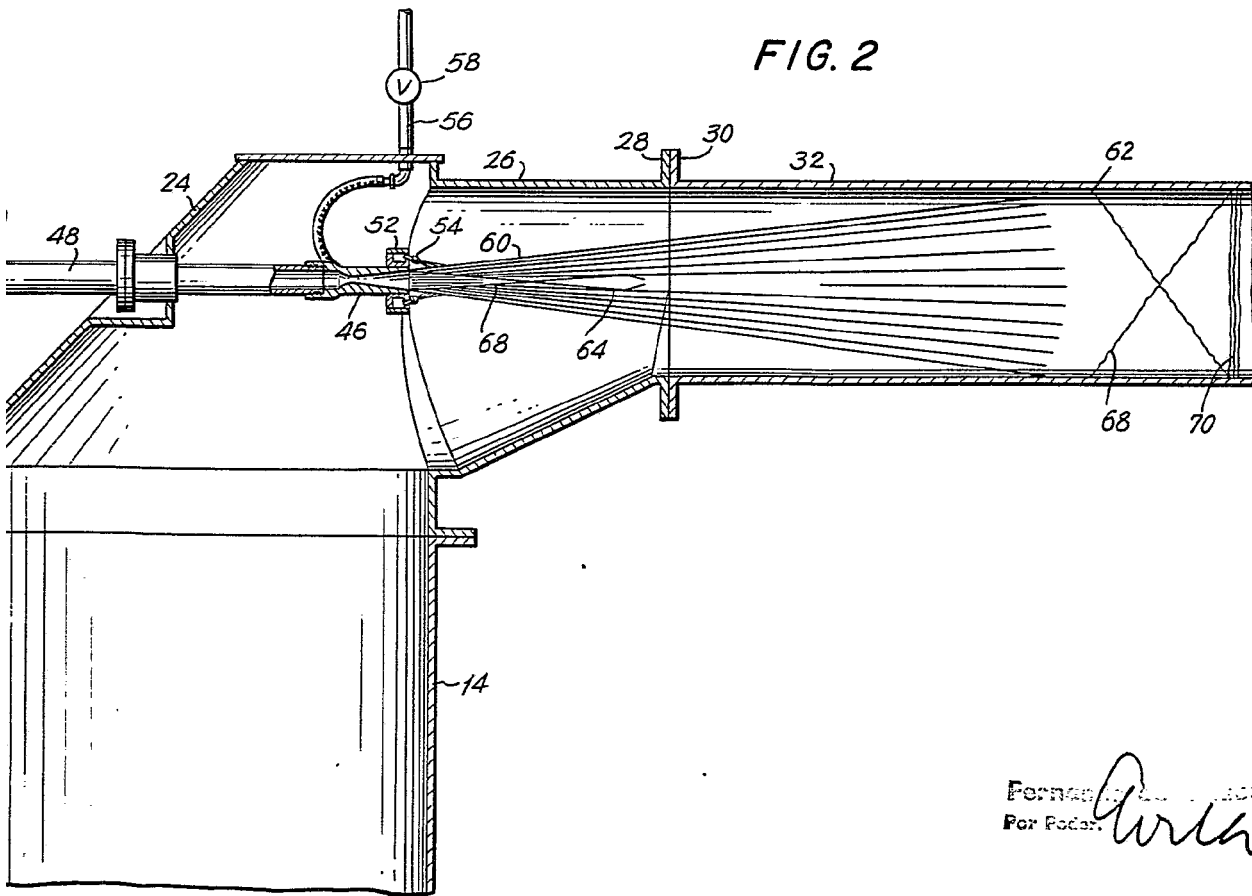


FIG. 2



Fernando ...
For Patent

[Handwritten signature]

419941

419941



FIG. 3

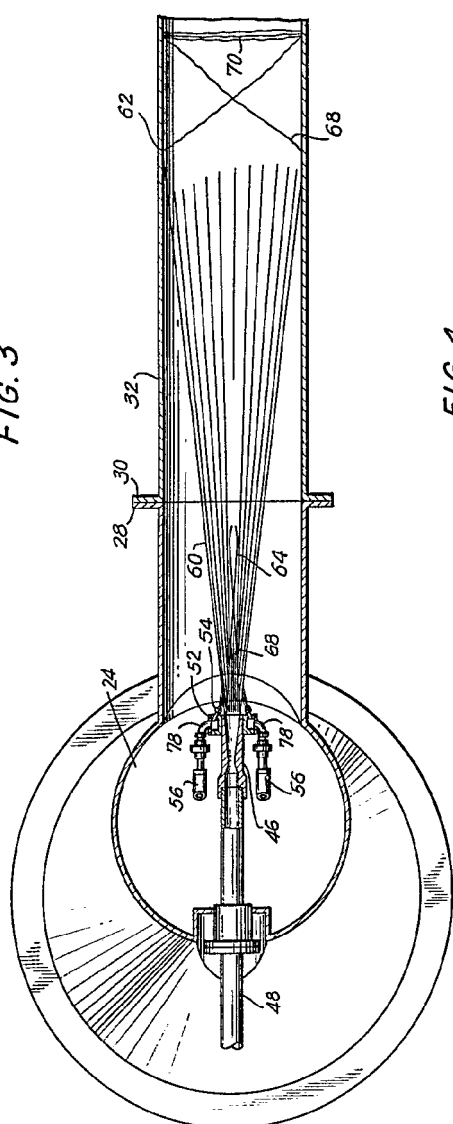


FIG. 4

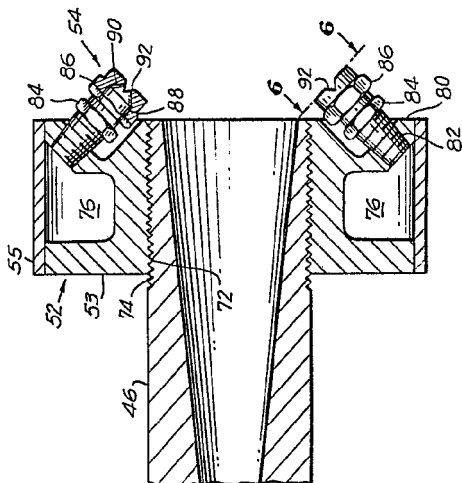


FIG. 5

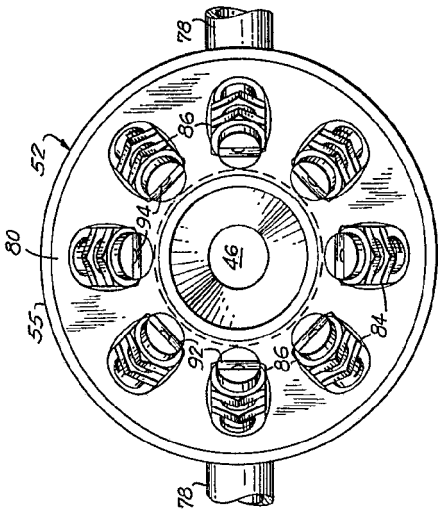
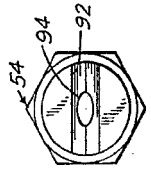


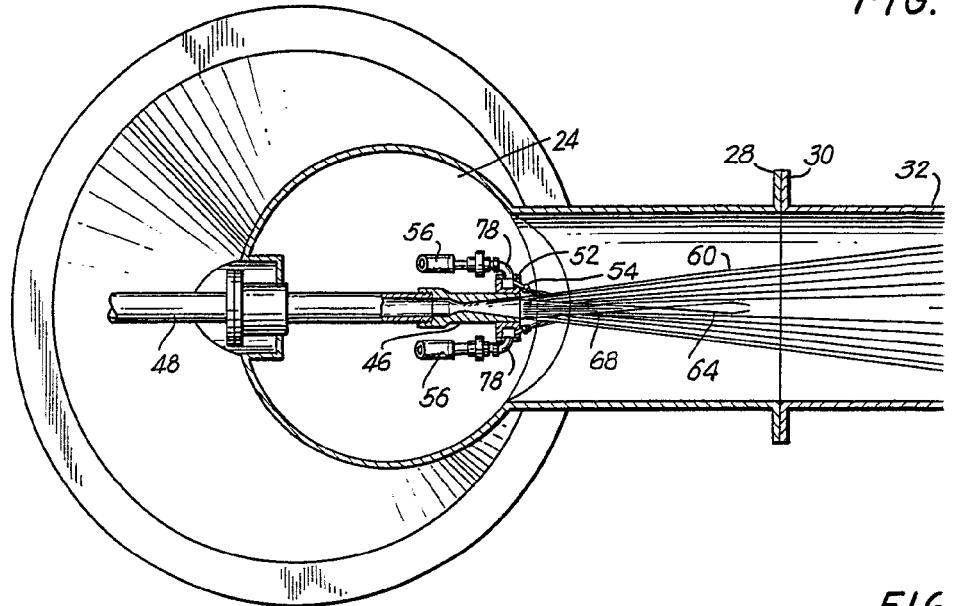
FIG. 6



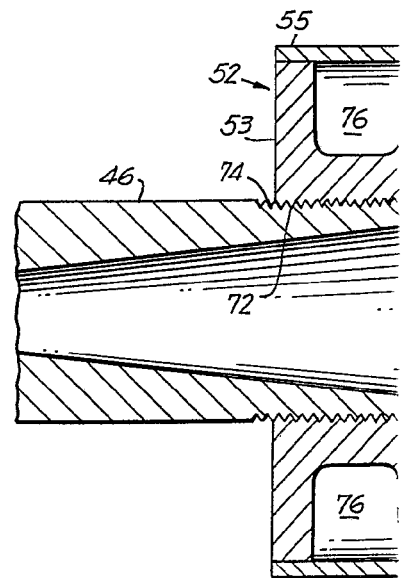
Earle

419941

FIG.



FIG



419941



FIG. 3

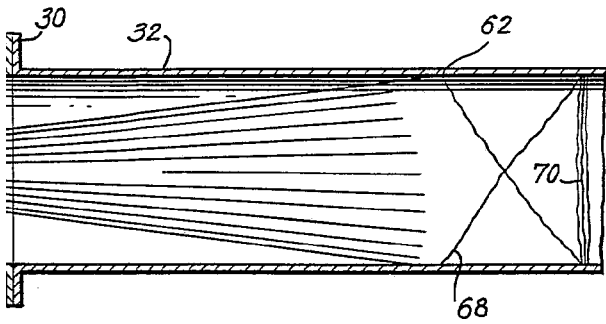


FIG. 4

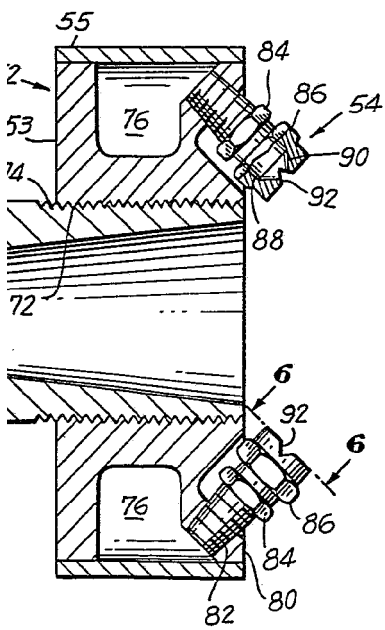


FIG. 5

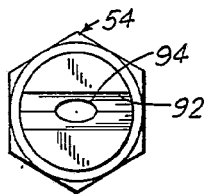
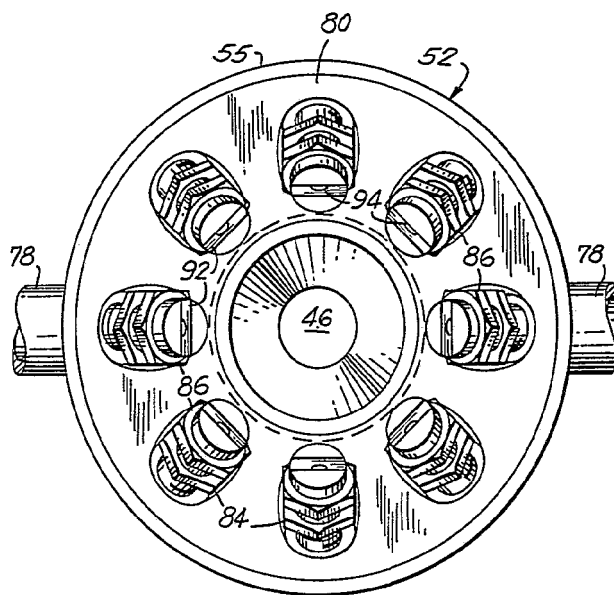


FIG. 6

Pat. No. *Carla*



419941

419941

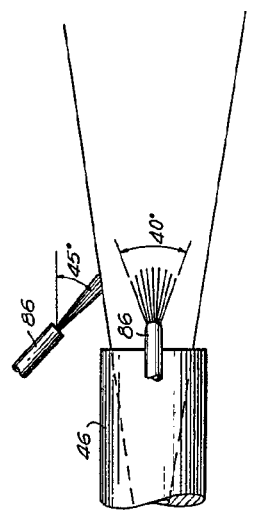


FIG. 7B

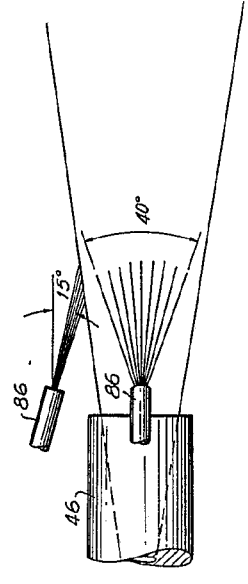


FIG. 7A

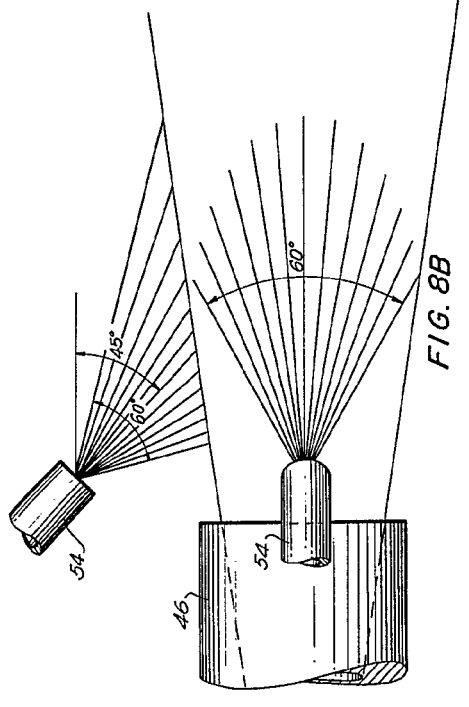


FIG. 8B

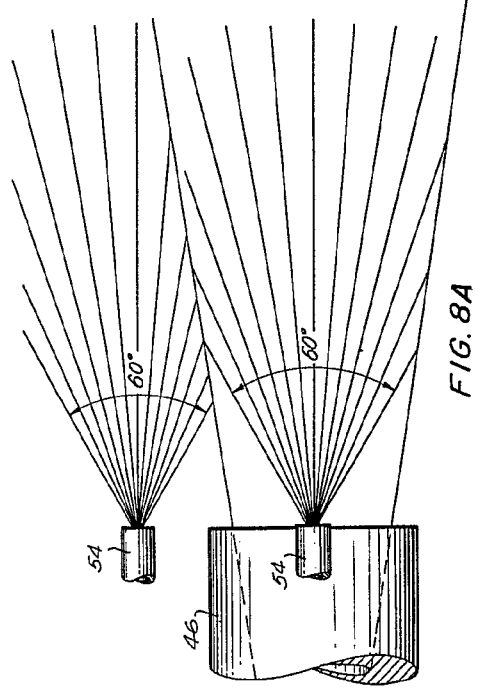


FIG. 8A

Gene

419941

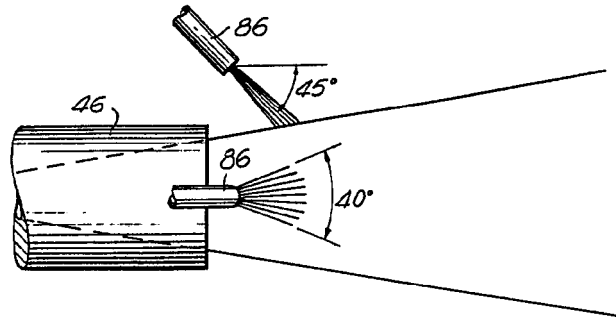


FIG. 7B

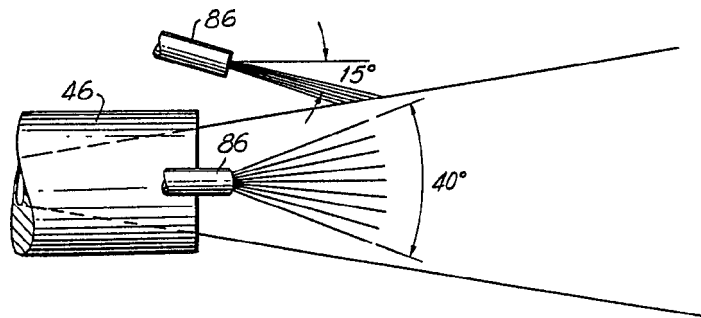
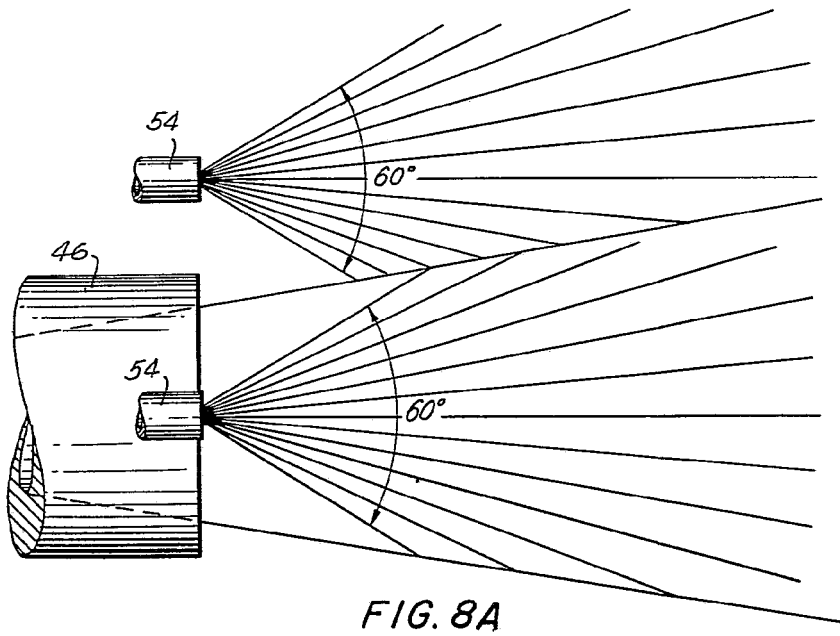
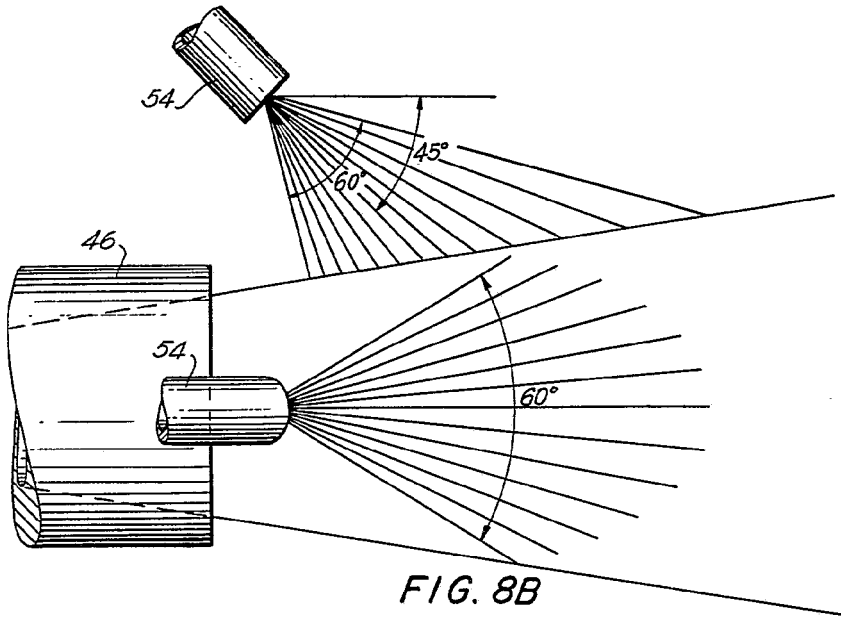


FIG. 7A

419941



Fernando
For Est. *[Signature]*

419941

419941



FIG. 9

1 (Δ) 550-320
 2 (□) 320-190
 3 (○) 190-110

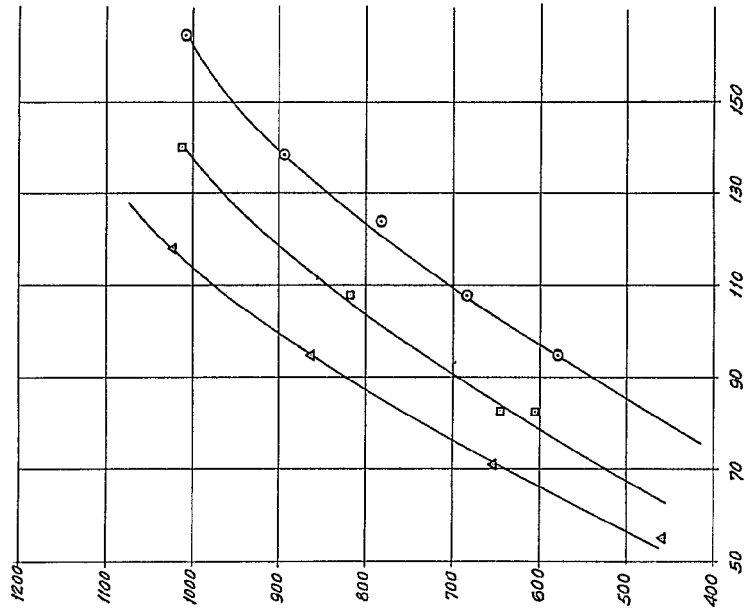
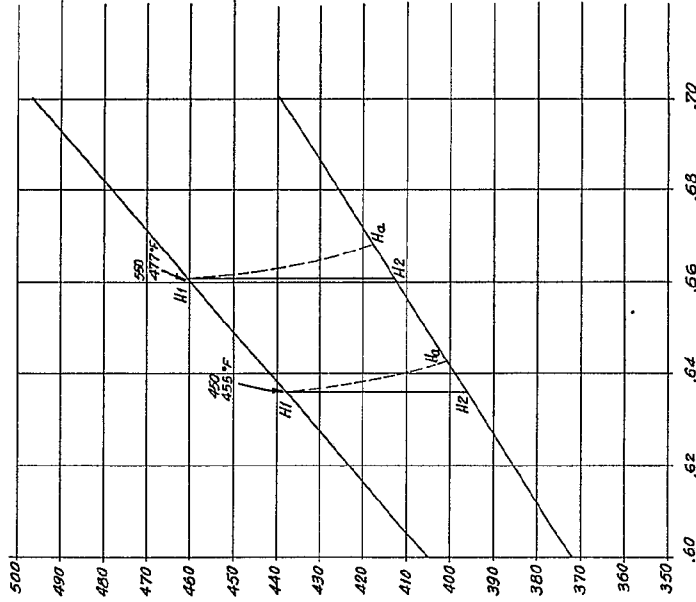


FIG. 10A

°F	H1	H2	ΔH	ΔH _a
550	477	461	43	43
450	456	437	39	36

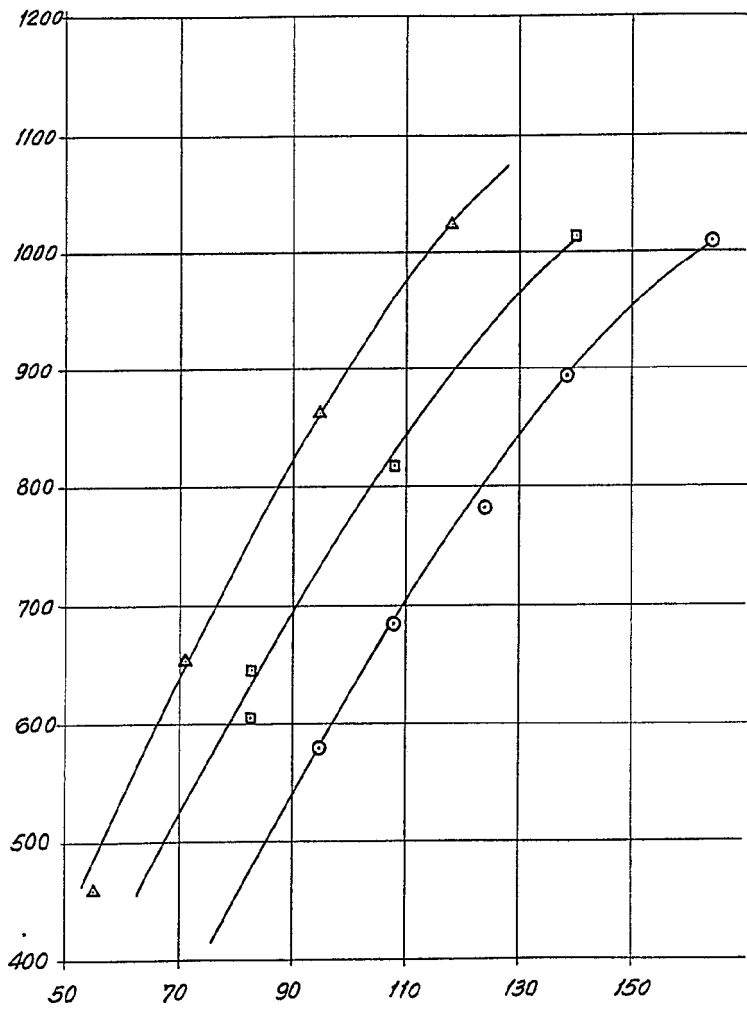


Am
 For
 Part

419941

FIG. 9

- 1 (Δ) 550-320
- 2 (□) 320-190
- 3 (○) 190-110

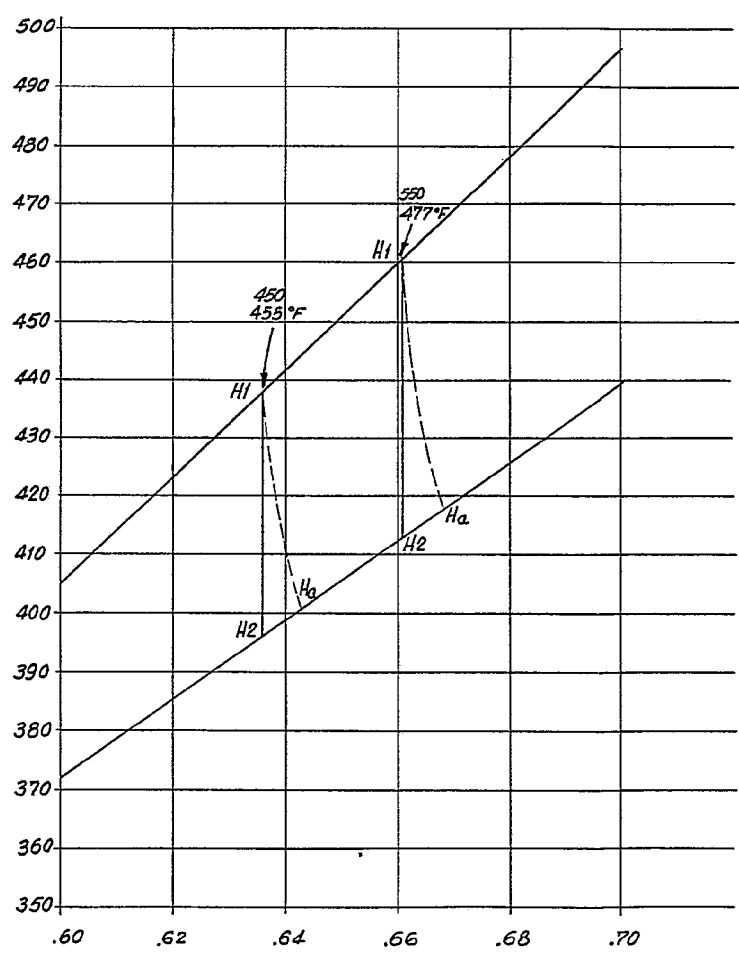


419941



FIG. 10A

	°F	H1	H2	ΔH	ΔH _a
	550	477	461	48	43
	450	456	437	41	36



Fern...
 Per... *ama*



419941

419941

FIG. 10B

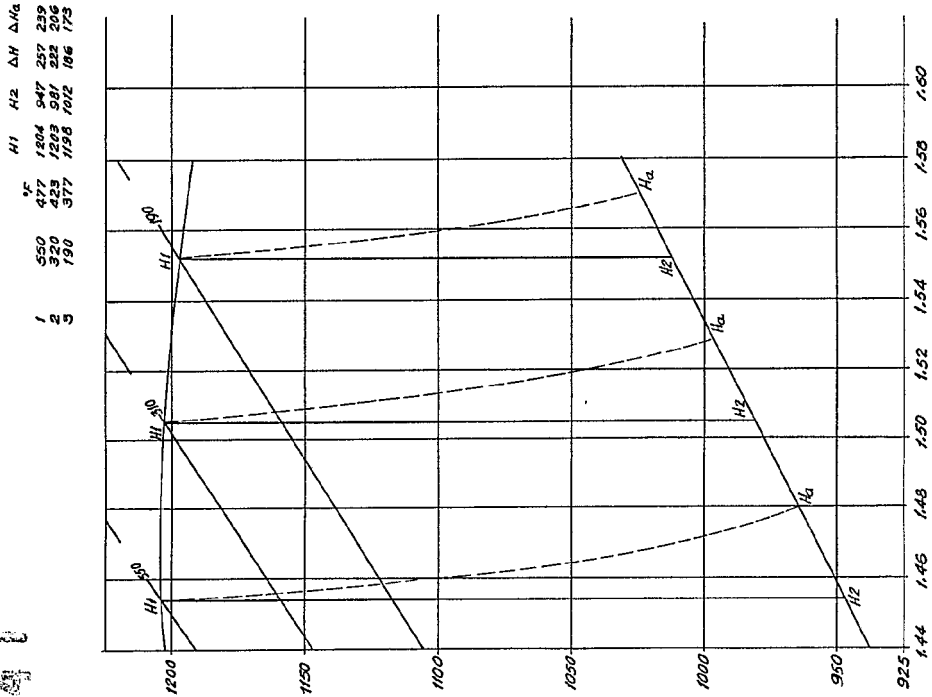
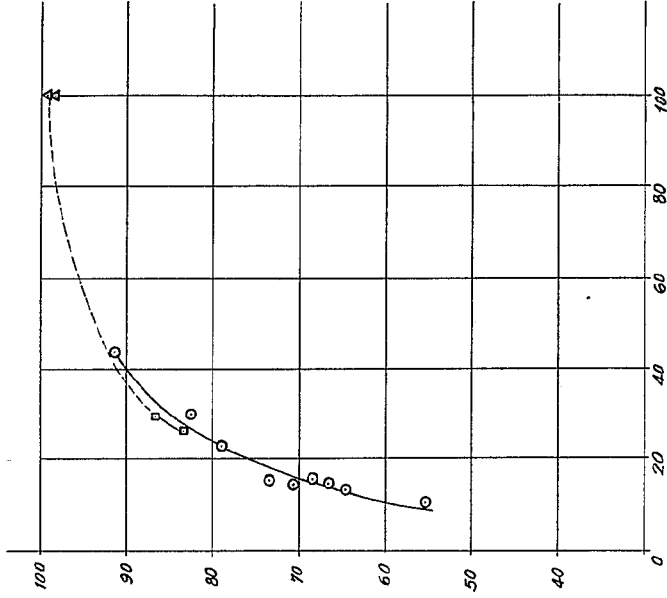


FIG. II

○ Ca(OH)₂
 △ NaOH
 □ 20% NaOH f 80% Ca(OH)₂

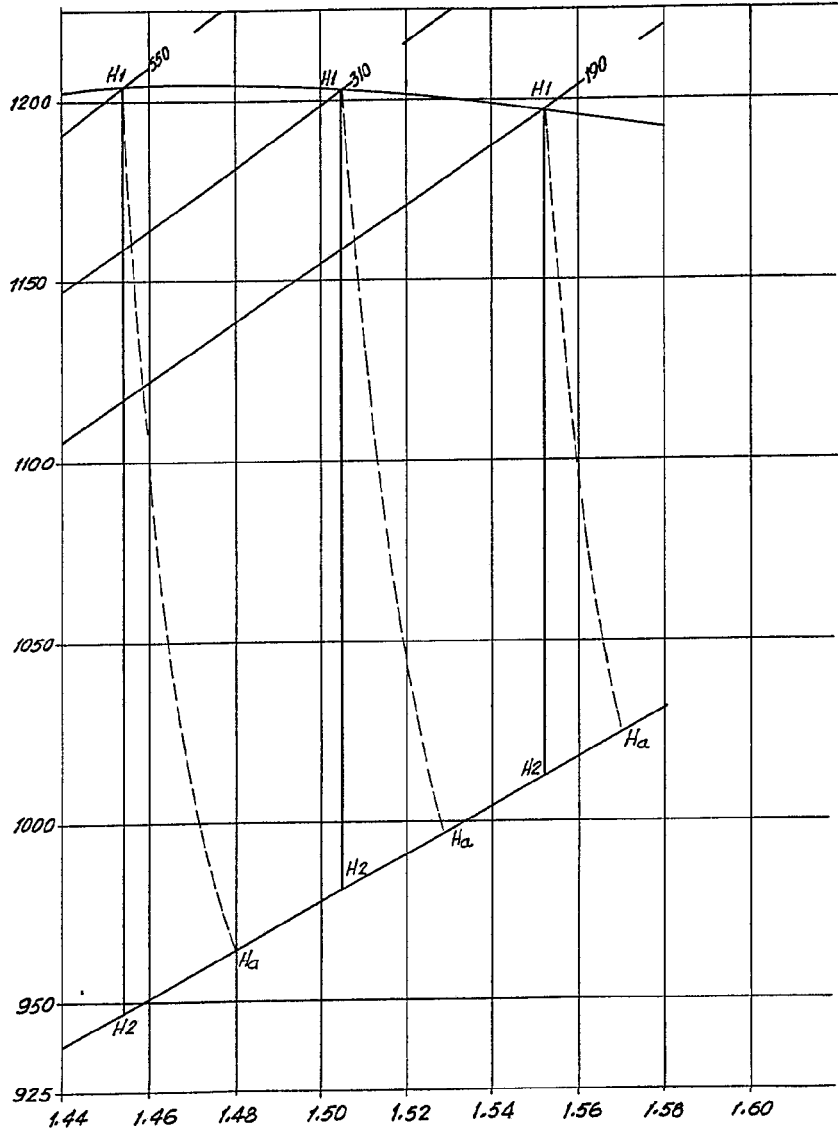


Time

419941

FIG. 10B

		°F	H1	H2	ΔH	ΔH _a
1	550	477	1204	947	257	239
2	320	423	1203	981	222	206
3	190	377	1198	1012	186	173



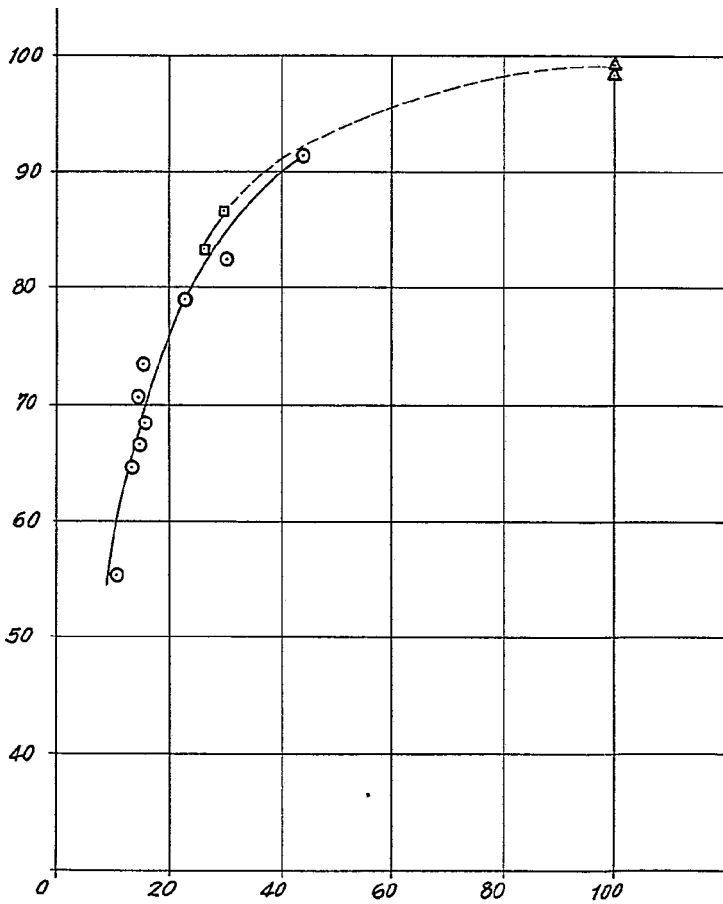
419941



H ΔHa
17 239
12 206
6 173

FIG. II

- (Ca(OH)₂)
- △ (NaOH)
- 20% NaOH & 80% Ca(OH)₂



Fernando de Alburquerque,
Ponente

Amé