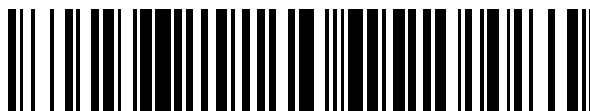


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 431 620**

51 Int. Cl.:

F01N 3/037 (2006.01)

B01D 51/06 (2006.01)

F01N 3/021 (2006.01)

F01N 3/033 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.03.2010** **E 10723346 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2013** **EP 2414645**

54 Título: **Geometría de escape para la acumulación de partículas**

30 Prioridad:

30.03.2009 US 164477 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.11.2013

73 Titular/es:

KATOSHEVSKI, DAVID (33.3%)
P.O. Box 4045 18 Irus Street
84965 Omer, IL;
RUZAL, MICHAL (33.3%) y
SHER, ERAN (33.3%)

72 Inventor/es:

KATOSHEVSKI, DAVID;
RUZAL, MICHAL y
SHER, ERAN

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 431 620 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Geometría de escape para la acumulación de partículas

Solicitud Relacionada

- 5 La presente solicitud reivindica el beneficio de la solicitud provisional de los Estados Unidos 61/164,477 presentada el 30 de marzo de 2009.

Campo de la invención

La presente invención se refiere a la agrupación de partículas pequeñas y más particularmente a la agrupación de partículas submicrónicas en un tubo que tiene una geometría tipo onda estacionaria.

- 10 Antecedentes y estado de la técnica

Hay una importante preocupación sobre la salud y el medio ambiente con respecto a las partículas emitidas desde los tubos de escape de los vehículos, en particular de los motores Diesel. Las partículas, que tiene un tamaño que va desde nanómetros a micrómetros (de ahora en adelante referido como "partículas submicrónicas"), imponen riesgos para la salud y para el medio ambiente. Dado que las partículas submicrónicas son de tamaño pequeño, es más fácil para las partículas submicrónicas penetrar en el sistema respiratorio. Por otra parte, el tiempo de permanencia de las partículas de menor tamaño en el aire es mucho más largo. Por ejemplo, una partícula de 0.1 micras se mantendrá alrededor de 100 veces más tiempo en el aire que una partícula de 1 micra. Por lo tanto, las partículas submicrónicas imponen un riesgo doble: (a) más exposición y (b) más fácil penetración a los pulmones. Este riesgo se describe en numerosos trabajos académicos, así como también en el sitio web de la US-EPA. Las partículas emitidas también dañan la vegetación e incluso la superficie de los edificios y monumentos. El término "partículas inhalables" se usa en la presente de forma intercambiable con el término "partículas submicrónicas".

Por lo tanto, aumentar el tamaño de una partícula a expensas de la reducción del número de partículas submicrónicas reducirá el arriba mencionado riesgo impuesto por las partículas submicrónicas a la salud y el medio ambiente. El término "partículas filtrables" como se usa en la presente se refiere a las partículas lo suficientemente grandes tal que los organismos de inhalación de los sujetos vivos en general, y los de los seres humanos en particular, son capaces de filtrar las partículas filtrables, de esta manera evita que las partículas filtrables entren en los pulmones. Partículas filtrables también corresponde a las partículas que pueden ser capturadas por un filtro mecánico.

La agrupación de partículas submicrónicas lleva a la coagulación y a la formación de partículas de mayor tamaño y de esta manera disminuye el número de partículas submicrónicas. Por lo tanto, existe una necesidad y sería ventajoso tener un aparato que agrupe las partículas submicrónicas en partículas de mayor tamaño, preferentemente partículas filtrables, y de esta manera disminuir el número de partículas submicrónicas, por ejemplo, las partículas submicrónicas que salen desde el sistema de escape de un motor tal como un motor Diesel.

Un análisis matemático relativo a la agrupación de partículas submicrónicas se encuentra en D. Katoshevski, "Characteristics of Spray Grouping/ Non-Grouping Behavior", Aerosol and Air Quality Research, Vol. 6 (1), pp. 54-66, 2006. El análisis muestra que cuando la velocidad de la materia que lleva las partículas submicrónicas, como el aire, tiene la forma de una onda en movimiento, las partículas que son transportadas por tal onda pueden formar grupos bajo un rango específico de parámetros. Tal onda existe en diversos sistemas tales como en el caso de las partículas en el agua de mar donde la onda se mueve, descrito en Winter, C. y otros, "Grouping Dynamics of Suspended Matter in Tidal Channels", J. Geophysical Research (JGR), Vol. 112: C08010, doi: 10.1029/2005JC003423, 2007.

La WO 2007 101 246 A2 da a conocer el rendimiento de un filtro de partículas diesel mejorado mediante la aglomeración sónica de partículas en el que los gases de escape se someten a ondas sónicas para aglomerar las partículas antes de entrar en el filtro.

45 Resumen de la invención

De acuerdo con las enseñanzas de la presente invención, se proporciona un tubo de escape para un motor de combustión que incluye un cuerpo hueco, el cuerpo tiene una superficie interna, una superficie externa, un primer extremo abierto, un segundo extremo abierto y un eje longitudinal, en el que la superficie interna se conforma para formar una geometría de onda estacionaria cíclica que tiene al menos 2 ciclos.

50 Cuando el gas que contiene partículas inhalables entra en el tubo de escape a través del primer extremo abierto y fluye hacia fuera del tubo de escape a través del segundo extremo abierto, una cantidad sustancial de las partículas inhalables se agrupan para formar partículas filtrables, mientras que fluye en el interior del tubo de escape, de manera que sustancialmente aumenta la cantidad de partículas filtrables y se reduce sustancialmente la cantidad de partículas inhalables.

Por lo general, el eje longitudinal se dispone horizontalmente. Sin embargo, en variaciones de la presente invención, el eje longitudinal se dispone verticalmente, en el que el segundo extremo abierto está elevado con respecto al primer

extremo abierto. En otras variaciones de la presente invención, el eje longitudinal se dispone diagonalmente, en el que el segundo extremo abierto está elevado con respecto al primer extremo abierto.

Por lo general, la sección transversal del tubo de escape puede ser radial, poligonal, elíptica, o de otras formas.

5

La onda estacionaria cíclica incluye una dimensión radial estrecha D_N y una dimensión radial ancha D_W , en la que la dimensión radial estrecha D_N es sustancialmente menor que la dimensión radial ancha D_W . La relación D_W/D_N influye directamente en la tendencia de la agrupación de partículas submicrónicas.

10 El campo velocidad U en el interior del tubo de escape es un campo de velocidad de la onda estacionaria, que se calcula de la siguiente manera:

$$U = U_a - U_b \cos(kx)(\text{sen}(\omega t) + C)$$

15 donde U_a es la velocidad media, C es constante, U_b es la amplitud, ω es la frecuencia angular de la onda:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

donde T es el período de la onda, y k es el número de la onda:

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

20 donde L es la longitud de la onda, y en la que dicha constante C se selecciona para obtener los valores de velocidad máxima y mínima en D_W y D_N , respectivamente.

El campo velocidad normalizada U^* es:

$$U^* = U_a^* - U_b^* \cos(x^*)(\text{sen}(t^*) + C)$$

25 donde las velocidades se normalizan con una velocidad característica: U_c , donde $U_c = \omega/k$; x se normaliza con k y t con ω , y en la que el asterisco indica los parámetros adimensionales y en la que la agrupación sustancial se produce cuando:

$$\frac{(U_a^* - 1)}{U_b^*} < 1$$

Breve descripción de los dibujos

30 La presente invención se entenderá más completamente a partir de la descripción detallada dada a continuación y de los dibujos acompañantes que se presentan sólo a modo de ilustración, y por lo tanto no son limitativos de la presente invención, y en la que:

La Fig. 1 es un gráfico que ilustra un ejemplo de las trayectorias de partículas que muestra la formación de dos grupos;

35

La Fig. 2 es una ilustración de la sección transversal de un tubo de escape, según la modalidad de la invención presente;

La Fig. 3a muestra un ejemplo de una sección transversal circular del tubo de escape que se muestra en la Fig. 2;

40

La Fig. 3b muestra un ejemplo de una sección transversal elíptica del tubo de escape que se muestra en la Fig. 2;

La Fig. 4a ilustra gráficamente la agrupación de partículas como resultado de los cambios de velocidad que fluyen en el interior del tubo de escape que se muestra en la Fig. 2;

La Fig. 4b ilustra gráficamente la variación sinusoidal en la velocidad del flujo de partículas en el tiempo, mientras que fluyen en el interior del tubo de escape que se muestra en la Fig. 2;

45

La Fig. 5 ilustra esquemáticamente una configuración experimental que tiene el tubo de escape de un motor diesel operativamente unido, en paralelo, a un tubo de acero convencional recto y a un tubo de escape cíclico, de acuerdo con modalidades de la presente invención, así como también una ampliación de un ciclo del tubo de escape cíclico;

50

La Fig. 6 ilustra gráficamente la disminución de la cantidad de partículas inhalables que fluyen hacia fuera del tubo de escape, que se muestra en la Fig. 5, en comparación con las partículas inhalables que fluyen hacia fuera del tubo recto convencional;

La Fig. 7 ilustra gráficamente el efecto de un tubo de escape cíclico, de acuerdo con modalidades de la presente invención, en la distribución del tamaño de las partículas;

La Fig. 8 ilustra gráficamente el efecto de la carga del motor sobre la distribución del tamaño de las partículas;

55

La Fig. 9 ilustra gráficamente el efecto de la velocidad del motor en la distribución del tamaño de las partículas;

Las Figs. 10-12 ilustran gráficamente las trayectorias de las partículas. La agrupación de partículas es bien observada para $\beta < 1$: a medida que β aumenta, la tendencia a la agrupación se debilita;

La Fig. 13 ilustra gráficamente un boceto de referencia aproximado para diseñar un diseño de tubo convergente, de acuerdo con la presente invención;

ES 2 431 620 T3

La Fig. 14 ilustra esquemáticamente una configuración experimental que tiene el tubo de escape de un motor diesel operativamente unido, en paralelo, a un tubo de acero convencional recto y a un tubo de escape cíclico, de acuerdo a las variaciones recomendadas de la presente invención, mientras que el tubo de escape cíclico se dispone en dirección vertical;

5 La Fig. 15 ilustra gráficamente un ejemplo que muestra los cambios en la fracción de masa en función del diámetro de la partícula, mientras que fluyen en el interior del tubo de escape que se muestra en la Fig. 14; y

La Fig. 16 ilustra gráficamente un caso ilustrativo para mostrar la caracterización de la agrupación en función del ángulo de escape.

10 Descripción de las modalidades preferidas

Antes de explicar las modalidades de la invención en detalle, se debe entender que la invención no se limita en su aplicación a los detalles de la construcción y al conjunto de los componentes que se exponen en la siguiente descripción o ilustrados en los dibujos. A menos que se especifique lo contrario, todos los términos técnicos y científicos usados en la presente tienen el mismo significado que el conocido comúnmente por un experto en la técnica a la que pertenece esta invención. Los métodos y ejemplos proporcionados en la presente descripción son sólo ilustrativos y no pretenden ser limitantes.

15 La principal intención de la presente invención incluye proporcionar un tubo de escape para un motor de combustión que incluye un cuerpo hueco que tiene una superficie interna, una superficie externa, un primer extremo abierto y un segundo extremo abierto. La superficie interna se conforma para formar una onda estacionaria que tiene al menos 2 ciclos. Cuando el gas que contiene partículas inhalables entra en el tubo de escape a través del primer extremo abierto y fluye hacia fuera del tubo de escape a través del segundo extremo abierto, una cantidad sustancial de partículas inhalables se agrupan para formar partículas filtrables, mientras que fluyen en el interior del tubo de escape.

20 Un aspecto de la presente invención es proporcionar un nuevo concepto de agrupación en un tubo que tiene una geometría de onda estacionaria, la cual define una velocidad de onda estacionaria. Cuando una partícula se mueve en un flujo de gas oscilante, la partícula encuentra áreas en las que la velocidad del gas es más rápida o más lenta que la propia velocidad de la partícula. El tiempo que toma para que la partícula se ajuste al cambio de velocidad local depende del cuadrado de su diámetro. Por lo tanto, algunas partículas se ven afectadas más que otras, dependiendo del tamaño de las partículas. Cuando una línea de partículas distribuidas uniformemente entra en el tubo, una velocidad de la onda se aplica a las partículas. El tiempo de retardo pequeño, que caracteriza a las partículas submicrónicas, conduce a la situación en la que una partícula se acelera o desacelera en función de la posición de la partícula en la onda (con respecto al nivel de velocidad local). Esto lleva a la separación entre dos partículas que se mueven una después de la otra, mientras una se acelera con relación a la otra. La separación entre las partículas vecinas forma grupos. Un ejemplo gráfico se ilustra en la Fig. 1, donde se presentan trayectorias de las partículas. En el tiempo=0 las partículas se distribuyen uniformemente corriente abajo en X, y según pasa el tiempo, se forman dos grupos.

30 La velocidad de la onda estacionaria en un tubo se forma por la variación periódica de su diámetro corriente abajo. De acuerdo con la conservación de la masa, en una sección transversal más pequeña se obtiene una mayor velocidad y viceversa. Por lo tanto, cuando el diámetro del tubo es convergente y divergente periódicamente, se obtiene una onda estacionaria de velocidad, en la que en cualquier momento dado, la ubicación de los valores máximo y mínimo de velocidad se fijan a lo largo del tubo. Por lo tanto, en tal tubo, las partículas experimentarán la aceleración y deceleración en función de su ubicación.

45 Se hace referencia ahora a la Fig. 2, que es una ilustración de la sección transversal de un tubo de escape ilustrativo **100**, de acuerdo con modalidades de la presente invención. El tubo de escape **100** incluye un cuerpo hueco que tiene una superficie interna **120**, superficie externa **110**, un primer extremo abierto **130** un segundo extremo abierto **140**. La superficie interna **120** se conforma en forma de geometría de onda estacionaria que tiene al menos 2 ciclos de C. En el ejemplo mostrado en la Fig. 1, el tubo de escape **100** incluye 5 ciclos C. Se hace referencia también a la Fig. 4a, que ilustra esquemáticamente la agrupación de las partículas en función de los cambios de velocidad de las partículas que fluyen dentro del tubo de escape **100**, y a la Fig. 4b, que ilustra gráficamente el cambio sinusoidal en la velocidad de flujo de las partículas a través del tiempo, mientras que fluyen dentro de un tubo de escape **100**. Los valores de velocidad de flujo se indican por la longitud de las flechas. Las partículas se introducen desde la entrada dentro de un flujo de gas oscilatorio. El flujo de gas tiene también una variación periódica corriente abajo. Como las partículas viajan corriente abajo, se lleva a cabo la agrupación y las partículas inhalables **22** se desvanecen a expensas del aumento de tamaño de las partículas filtrables **182**.

50 Cuando el gas **20** que contiene partículas inhalables **22** entra en el tubo de escape **100** a través del primer extremo abierto **130** y fluye hacia fuera del tubo de escape **100** a través del segundo extremo abierto **140**, una cantidad sustancial de partículas inhalables **22** se agrupan para formar partículas filtrables **182**. Se debe señalar que algunas partículas inhalables **22** se agrupan con partículas más grandes **182**, que son filtrables, para empezar. Por ejemplo, el uso del tubo de escape **100** para un motor de vehículo, conduce a la agrupación de partículas inhalables **22** que se mueven en el tubo **100**.

65 Debe tenerse en cuenta que la superficie interior **120** es sustancialmente simétrica con respecto al eje longitudinal **150**. Preferentemente, sin limitaciones en otras formas, el tubo de escape **100** tiene una sección transversal circular, como se muestra en la Fig. 3a. La Fig. 3b muestra un ejemplo de una sección transversal elíptica del tubo de escape **100**. La

ES 2 431 620 T3

dimensión radial estrecha D_N de la onda cíclica es sustancialmente menor que la dimensión radial ancha D_W de la onda, en la que la relación D_W/D_N influye directamente en la tendencia de agrupación de las partículas submicrónicas.

Ejemplo

5

Una configuración experimental se muestra en la Fig. 5. El escape de un motor diesel **30** se une operativamente, en paralelo, a dos tubos de escape: a) tubo recto de acero convencional **40**, y b) tubo de escape **100**, que tiene de 6 ciclos **C**. Ambos tubos **40** y **100** son de 80 cm de largo y tienen la misma velocidad de flujo. A la salida de cada tubo se usan aparatos de medición **50** para medir la distribución del tamaño de las partículas. Un analizador de partículas **50** se usa para detectar y medir partículas en un rango de diámetro de 300 nm a $2\ \mu\text{m}$. El tubo selector **160** se usa para seleccionar el tubo de escape que se somete a prueba.

10

Las especificaciones experimentales del motor son las siguientes:

Modelo de motor	Motor Mitsubishi S3L
Tipo de motor	Tres cilindros, 4 tiempos, encendido por compresión , refrigerado por aire
Carrera/diámetro del cilindro	Carrera/diámetro 78.5/78mm
Volumen de desplazamiento	1,125 cm ³
Potencia nominal:	11.8kW a 1,500 rev/min

15

En cada prueba, el motor se hizo funcionar bajo un conjunto de condiciones de funcionamiento (velocidad del motor y carga del motor). El motor se hizo funcionar bajo las condiciones especificadas para alcanzar la operación de estado estacionario, y a continuación, el gas de escape se muestreó primero a partir del tubo regular y subsecuentemente desde el tubo de resonancia. Cada muestra se promedió durante un intervalo de tiempo de 30 segundos.

20

Los resultados muestran una disminución considerable de la cantidad de las partículas más pequeñas a expensas de masa mayor en la sección de tamaño de partículas más grandes. La Fig. 6 ilustra gráficamente la disminución de la cantidad de partículas inhalables que fluyen hacia fuera del tubo de escape **100** en comparación con las partículas inhalables que fluye fuera del tubo recto **40**.

25

El efecto del tubo de escape **100** se demuestra claramente en la Fig. 7, que es una ilustración gráfica del efecto del tubo de escape cíclico **100**, de acuerdo con modalidades de realización de la presente invención, en la distribución del tamaño de las partículas. La configuración ilustrativa es la siguiente: velocidad del motor=1.700 rpm, carga del motor=0 kW, relación de aspecto del tubo de escape 100, $D_W/D_N=2.27$, relación longitud diámetro, $L/D=2.0$. La Fig. 7 muestra cómo se afecta la distribución del tamaño de las partículas de escape. El cambio de la fracción de masa Δ fracción de masa se define como sigue:

30

$$\Delta\text{fracción de masa} = M_{\text{modificado}} - M_{\text{reg}}$$

35

Donde $M_{\text{modificado}}$ es la masa de las partículas más grandes **182**, que se mide en los gases de escape del tubo de escape cíclico **100**, y M_{reg} es la masa de las partículas que se mide en los gases de escape del tubo regular **40**.

La fracción de masa aparente de las partículas pequeñas **22** (en particular, en el régimen de sub-micras) se redujo en 2-6 %, mientras que la fracción de masa de las partículas más grandes **182** se incrementó en 1-2%. Mientras las partículas **22** menores que $0.3\ \mu\text{m}$ no son detectables por el analizador de tamaño de partículas que se usa, la conservación de la masa sugiere que el notable aumento en la fracción de masa de las partículas de mayor tamaño **182**, se puede atribuir con confianza a la agrupación (que conduce a la aglomeración) de las partículas de menor tamaño no detectadas **22**. Similares resultados alentadores se observaron en una amplia gama de cargas del motor (Figura 8) y velocidades del motor (Figura 9)

45

El efecto de la carga del motor a 1.700 rpm se representa en la Fig. 8, que es una ilustración gráfica del efecto de la carga del motor sobre la distribución del tamaño de las partículas. Aunque, cuando aumenta la carga del motor, el número total de partículas en cualquiera de las categorías de tamaño de partícula aumenta también, el efecto del tubo de diámetro alterno es bastante comparable.

50

La Fig. 9 muestra el efecto de la velocidad del motor en el cambio de la fracción de masa en una carga del motor de 2 kW. Los resultados para las 1.500 rpm y 1.700 rpm son muy similares a los mostrados anteriormente. Los resultados para las 1.900 rpm todavía muestran la migración de partículas inhalables **22** hacia la de mayor tamaño de partícula **182**, pero el efecto es bastante leve. Cabe señalar que la cantidad total de las partículas es baja, debido a la carga baja del motor, mientras que el tiempo de permanencia de las partículas en el tubo de escape es relativamente corto debido a la alta velocidad del gas de escape.

55

ES 2 431 620 T3

Análisis matemático de la agrupación en un tubo convergente (campo de velocidad de onda estacionaria)

La geometría de tubo convergente induce a la agrupación y la coagulación de partículas que conduce a un cambio en la distribución de tamaño de las partículas, lo que aumenta el número de masa de las partículas más grandes a expensas de la reducción en la cantidad de partículas más pequeñas.

5

El campo velocidad U en el interior del tubo **100** es un campo de velocidad de la onda estacionaria con modificación:

$$U = U_a - U_b \cos(kx)(\text{sen}(\omega t) + C) \quad (1)$$

donde U_a es la velocidad media, C es constante, U_b es la amplitud, ω es la frecuencia angular de la onda

$$e \left(\omega = \frac{2\pi}{T} \right)$$

10

donde T es el período de la onda) y k es el número de la onda T

$$\left(k = \frac{2\pi}{L} \right)$$

donde L es la longitud de la onda). L

15

La constante C se introduce con el fin de alcanzar los valores de velocidad máxima y mínima en las zonas de mayor y menor diámetro, correspondientemente, y $C > 1$ para cumplir esa condición.

La ecuación de movimiento de las partículas en forma dimensional es:

$$\ddot{x} = \frac{1}{\tau_p} (U - \dot{x})$$

20

donde x es la ubicación de la partícula y

$$\tau_p = \frac{1}{18} \frac{\rho_p D_p^2}{\mu}$$

(Katoshevski, D., Dodin, x Z., Ziskind, G., 2005, "Aerosol clustering in oscillating flows: mathematical analysis", Atomization and Sprays 15, 401-412), ρ_p es la densidad de la partícula, D_p es el diámetro de partícula, y μ es la viscosidad dinámica del gas anfitrión.

25

Se sustituye el campo velocidad (Ec. 1) en la ecuación de movimiento de las partículas (Ec. 2) conduce a la siguiente ecuación dimensional:

$$\ddot{x} + \frac{1}{\tau_p} \dot{x} + \frac{U_b}{\tau_p} \cos(kx) (\text{sen}(\omega t) + C) = \frac{U_a}{\tau_p} \quad (3)$$

30

El campo velocidad normalizada es:

$$U^* = U_a^* - U_b^* \cos(x^*) (\text{sen}(t^*) + C) \quad (4)$$

donde las velocidades se normalizan con una velocidad característica: U_c , donde $U_c = \omega/k$. x se normaliza con k y t con ω (el asterisco indica los parámetros adimensionales).

35

La ecuación de movimiento de las partículas en forma adimensional es:

$$\ddot{x}^* = \frac{1}{St} (U^* - \dot{x}^*) \quad (5)$$

donde x^* es la ubicación de la partícula y

$$St = \frac{1}{18} \frac{\rho_p \omega D_p^2}{\mu}$$

40

es el número de Stokes.

La inserción del campo velocidad adimensional en la ecuación de movimiento de partículas conduce a la siguiente ecuación:

$$\ddot{x}^* + \frac{1}{St} \dot{x}^* + \frac{U_b^*}{St} \cos(x^*) (\text{sen}(t^*) + C) = \frac{U_a^*}{St} \quad (6)$$

45

Introduciendo:

$$\theta = x^* - t^*$$

conduce a:

$$\ddot{\theta} + \frac{1}{St} \dot{\theta} + \frac{U_b^*}{St} \cos(\theta + t^*) (\sin(t^*) + C) = \frac{U_a^* - 1}{St} \tag{7}$$

5

Introduciendo:

$$t^* = \frac{\tau}{\sqrt{U_b^* / St}}$$

conduce a:

$$\ddot{\theta} + \dot{\theta} + \alpha \cos(\theta + t^*) [\sin(t^*) + C] = \beta \tag{8}$$

10

donde

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{StU_b^*}} \tag{9}$$

y

$$\beta = \frac{(U_a^* - 1)}{U_b^*} \tag{10}$$

15

Con el fin de garantizar la agrupación necesitamos mantener $\beta < 1$.

20

Existen básicamente dos modos de agrupación, donde uno se denota como "agrupación estable" y el otro se denota como "agrupación no estable". En el modo estable, las partículas forman grupos que no se rompen más lejos corriente abajo. En el modo no estable, los grupos pueden romperse y algunas de las partículas no se agrupan del todo. Con el fin de garantizar un alto grado de agrupación o una agrupación estable, la condición de $\beta < 1$ tiene que ser cumplida sustancialmente. Las partículas más pequeñas (típicamente menor de 80 μ pero más grande que una molécula), que tienen un diámetro cercano a cero, tienen una mayor tendencia a agruparse, es decir menor número de Stokes. Sin embargo, para asegurar la agrupación la condición $\beta < 1$ debe cumplirse, a pesar de que la agrupación en la configuración de onda estacionaria puede ocurrir además en $\beta > 1$.

25

Las Figs. 10-12 demuestran los cálculos para trayectorias de partículas, medidas en el sistema ilustrativo **200** que se muestra en la Fig. 5. Tres conjuntos de cálculos se hacen con el mismo valor de C ($C=1.5$) pero con diferentes valores de β ($\beta=0.4, 0.94, 2.4$). Los diámetros de partículas se ponen a 0.3 micras, y 1.5 micras, tamaños que son relevantes para los resultados experimentales descritos en las Figs. 10-12. Los grupos de partículas después de aproximadamente 2 ciclos se muestran en las Figs. 10-12. La agrupación se denota por la zona densa de la Fig. 10, donde las trayectorias de las partículas se acercan más entre sí. Así como β se incrementa desde 0.4 hasta 0.94 se reduce la tendencia a la agrupación, como se muestra en la Fig. 11 (las líneas son menos densas) y por un valor mayor de β , 2.4, tal como se muestra en la Fig. 12, la situación se puede denotar como agrupación débil o no agrupación. Esto coincide con los resultados mencionados anteriormente, obtenidos para el escenario de onda en movimiento, es decir, β debe ser menor que la unidad para garantizar un grado significativo de agrupación. Es importante tener en cuenta que el modelo no incluye un factor de "adherencia", y, como las partículas de hollín tienen algunas características de pegajosidad, prácticamente, una significativa coagulación ocurre después de 2 longitudes de onda y continúa corriente abajo en el tubo de escape **100**, con geometría de onda estacionaria.

40

A raíz de la condición anterior como una herramienta de diseño para el tubo convergente **100**, β se define mediante los siguientes parámetros del tubo convergente **100**:

A_{max}	Superficie máxima del tubo
A_{min}	Superficie mínima del tubo
F	Frecuencia de flujo pulsante en la entrada
L	Distancia entre dos nodos
N	Velocidad del motor en rev/min
n	Número de cilindros

ES 2 431 620 T3

Q Q Velocidad del flujo volumétrico $\varnothing V_d$ Volumen de desplazamiento del cilindro (por cada cilindro) Q	Velocidad del flujo volumétrico
V_d	Volumen de desplazamiento del cilindro (por cada cilindro)
X	Revoluciones del motor por carrera de trabajo (= 2 para motor de 4 tiempos)

Definamos, por conveniencia, $T = \text{sen}(\omega t) + C$. Se aplica la conservación de la masa entre la máxima y la mínima ubicación suponiendo que la densidad del gas es constante

$$5 \quad \frac{U_a + U_b T}{U_a - U_b T} = \frac{A_{\max}}{A_{\min}} \quad (11)$$

Insertando β y usando las expresiones dimensionales:

$$\beta = \frac{U_a - \frac{\omega}{k}}{U_b} = 2 \frac{U_a - \frac{\omega}{k}}{U_a (A_{\max} - A_{\min})} \frac{T (A_{\min} + A_{\max})}{T (A_{\min} + A_{\max})} \quad (12)$$

10 Usando las relaciones:

$$Q = \frac{N \cdot n}{60 \cdot x} V_d, \quad f = \frac{N \cdot n}{60 \cdot x}$$

podemos escribir:

$$\frac{\omega}{k} = fL = \frac{Q}{V_d} L \quad (13)$$

15 Insertando esto a β :

$$\beta = T \left(1 - 2 \frac{(V^* - 1)}{(R - 1)} \right) \quad (14)$$

donde T es una función del tiempo, y con el fin de evaluar su valor se debe relacionar el tiempo con la aparición de la agrupación. Esto es posible mediante el uso del modelo matemático que se refleja en las Figs. 10-12.

20

El tiempo de agrupación característico se relaciona con el valor de β , lo que facilita una herramienta de diseño práctica del tubo de escape, tal como se describe en la Fig. 13, que es un boceto de referencia para el diseño. Ese boceto permite evaluar la geometría del tubo en función de las características del motor. Para un rendimiento óptimo, se sugiere que $0 < \beta < 1$. Por ejemplo, el valor de la relación de volumen V^* para el sistema ilustrativo **200**, que se muestra en la Fig. 5, es 0.62, y la relación del área de la sección transversal es $R=5.14$. Para el caso de $\beta=0.94$, descrito en la Fig. 11, el valor correspondiente de la función T (Ec. 14) lleva al valor de tiempo de 0.025 segundos. Esto a su vez se corresponde bien con la ocurrencia de agrupación como se refleja en la Fig. 11. Por lo tanto, se fija la posición correcta de la curva para $V^*=0.62$ en ese boceto.

25

30

En variaciones preferentes de la presente invención, el tubo de escape **100** se dispone operativamente de manera vertical, mientras que el flujo interno de gas es generalmente hacia arriba. Se hace referencia a la Fig. 14, que ilustra esquemáticamente una configuración experimental **300** que tiene el tubo de escape de un motor diesel **30** operativamente unido, en paralelo, a un tubo de acero convencional recto **40** y a un tubo de escape cíclico **100**, de acuerdo a las variaciones preferentes de la presente invención, mientras que el tubo de escape cíclico **100** se dispone en dirección vertical. Ambos tubos **40** y **100** tienen 80 cm de largo y la misma velocidad de flujo. A la salida de cada tubo aparatos de medición **50** se usan para medir la distribución del tamaño de las partículas. Por lo tanto, la eliminación del tubo de escape cíclico **100** se dispone en dirección vertical, en el que un primer extremo abierto **130** apunta hacia arriba.

35

40

Los resultados muestran una disminución considerable de la cantidad de las partículas más pequeñas a costa de mayor masa en la sección de mayor tamaño de partícula, en comparación con la configuración del sistema **200**, que se muestra en la Fig. 5, operado sustancialmente bajo las mismas condiciones.

ES 2 431 620 T3

- 5 La Fig. 15 ilustra gráficamente un ejemplo que muestra los cambios en la fracción de masa en función del diámetro de la partícula, mientras que fluye en el interior del tubo de escape **100** que es parte del sistema **300**, en el que el motor funciona a 1500 rpm y con una carga de 6 kW. Cabe señalar que la tasa de agrupación puede caracterizarse por la pendiente indicada por el ángulo θ . Cuanto más grande el ángulo θ es, mayor es la tasa de agrupación La Fig. 16 ilustra gráficamente un caso ilustrativo para mostrar la caracterización de la agrupación en función del ángulo θ , a distintas velocidades del motor.
- 10 En otras variaciones de la presente invención, el tubo de escape **100** se dispone operativamente en diagonal, mientras que el flujo interno de gas es generalmente hacia arriba.
- Debe tenerse en cuenta que la resistencia a la presión en el interior de un tubo de escape convencional **40** y en el tubo de escape compatible **100** son sustancialmente la misma.
- 15 La invención se describe en términos de modalidades y ejemplos, es obvio que la misma puede variarse de muchas maneras.

REIVINDICACIONES

5 1. Un tubo de escape (100) para un motor de combustión que comprende un cuerpo hueco, teniendo dicho cuerpo una superficie interna (120), una superficie externa (110), un primer extremo abierto (130), un segundo extremo abierto (140) y un eje longitudinal (150), en el que el gas (20) que contiene partículas inhalables (22) que entra en el tubo de escape (100) a través de dicho primer extremo abierto (130) y fluye hacia fuera del tubo de escape (100) a través de dicho segundo extremo abierto (140), en el que una cantidad de dichas partículas inhalables (22) se agrupan para formar partículas filtrables (182), mientras que fluye en el interior del tubo de escape (100), **caracterizado porque** dicha superficie interna (120) se conforma para formar la geometría de onda estacionaria cíclica que tiene al menos 2 ciclos (c).

2. El tubo de escape (100) de la reivindicación 1, en el que dicho eje longitudinal (150) se dispone horizontalmente.

15 3. El tubo de escape (100) de la reivindicación 1, en el que dicho eje longitudinal (150) se dispone verticalmente, en el que dicho segundo extremo abierto está elevado con respecto a dicho primer extremo abierto.

4. El tubo de escape (100) de la reivindicación 1, en el que dicho eje longitudinal (150) se dispone diagonalmente, en el que dicho segundo extremo abierto está elevado con respecto a dicho primer extremo abierto.

20 5. El tubo de escape (100) de la reivindicación 1, en el que dicha onda estacionaria cíclica incluye una dimensión radial estrecha D_N y una dimensión radial ancha D_W , en el que dicha dimensión radial estrecha D_N es menor que dicha dimensión radial ancha D_W .

25 6. El tubo de escape (100) de la reivindicación 5, en el que la relación D_W/D_N influye directamente en la tendencia de agrupación de partículas submicrónicas.

7. El tubo de escape (100) de la reivindicación 1, en el que la sección transversal del tubo de escape (100) puede ser radial, poligonal, elíptica, o de otras formas.

30 8. El tubo de escape (100) de la reivindicación 1, en el que el campo de velocidad U en el interior del tubo de escape (100) es un campo de velocidad de la onda estacionaria:

$$U = U_a - U_b \cos(kx)(\sin(\omega t) + C)$$

35 donde U_a es la velocidad media, C es constante, T_b es la amplitud, ω es la frecuencia angular de la onda: ω donde T es el período de la onda, y k es el número de onda:

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

donde L es la longitud de onda, y en el que dicha constante C se selecciona para conseguir los valores de velocidad máxima y mínima en D_W y D_N , respectivamente.

40 9. El tubo de escape (100) de la reivindicación 8, en el que el campo de velocidad normalizada U^* es:

$$U^* = U_a^* - U_b^* \cos(x^*)(\sin(t^*) + C)$$

donde las velocidades se normalizan con una velocidad característica: U_c , donde $U_c = \omega/k$; x se normaliza con k y t con ω , y en el que el asterisco indica los parámetros adimensionales; y en el que la agrupación se produce cuando:

$$\frac{(U_a^* - 1)}{U_b^*} < 1$$

45

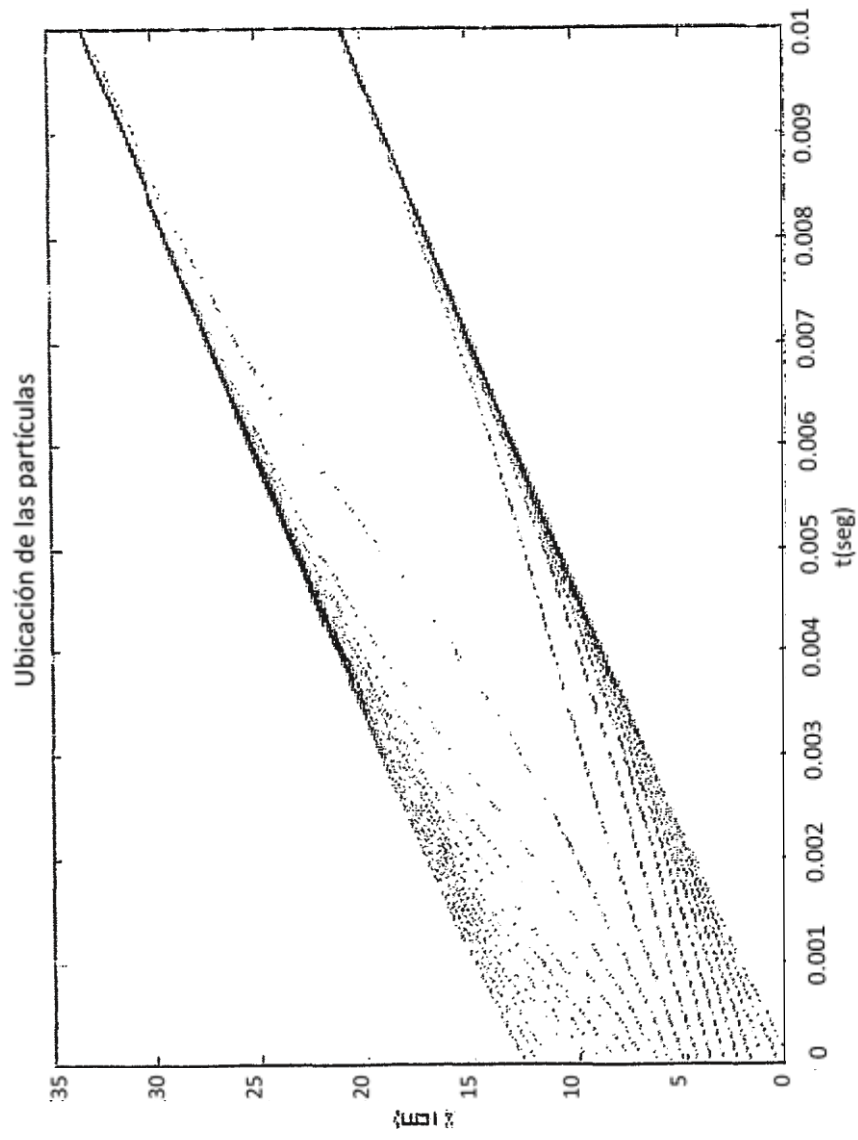


Fig 1

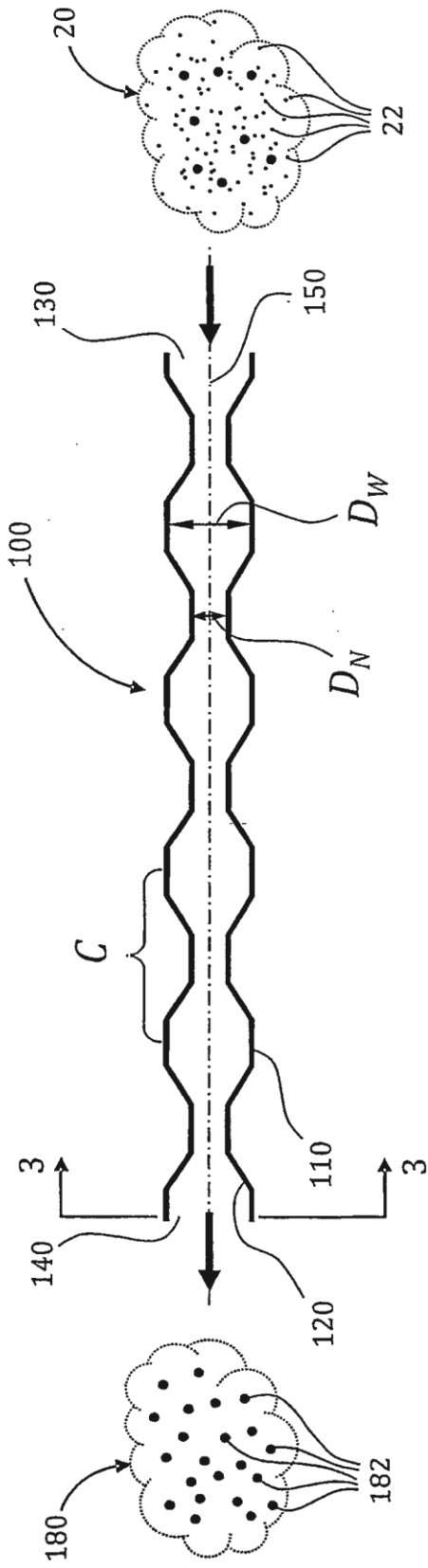


Fig 2



Fig 3a

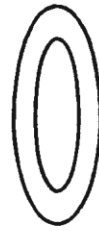


Fig 3b

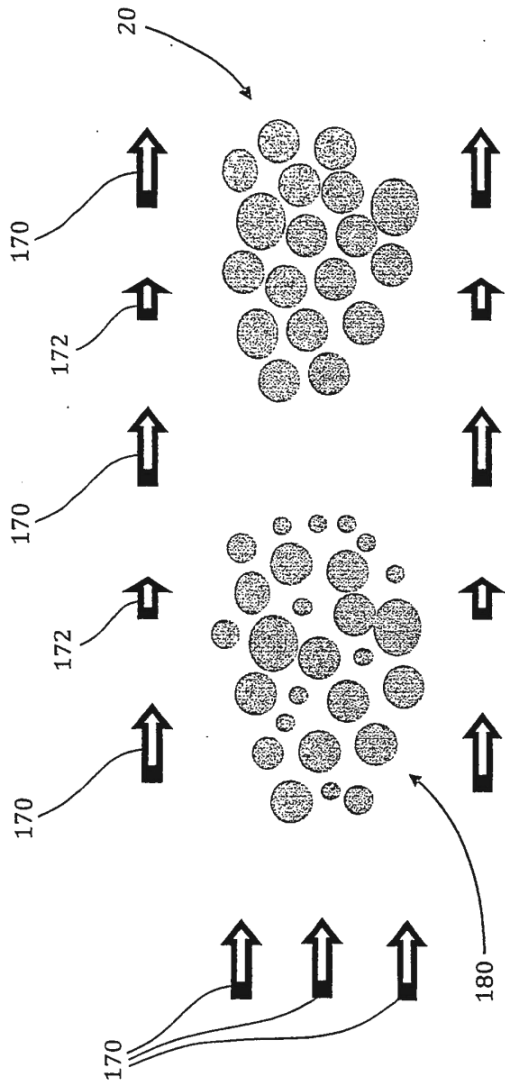
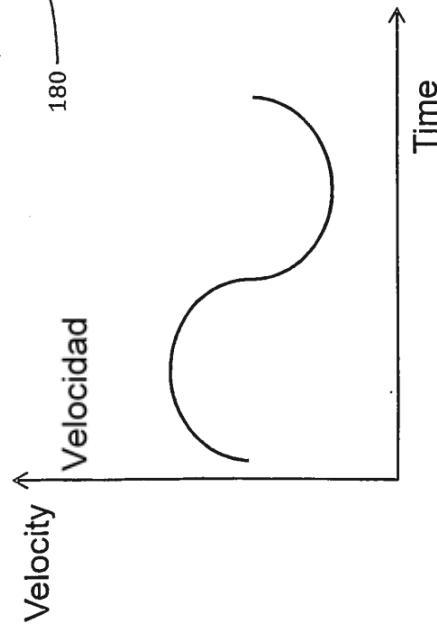


Fig 4a



Tiempo

Fig 4b

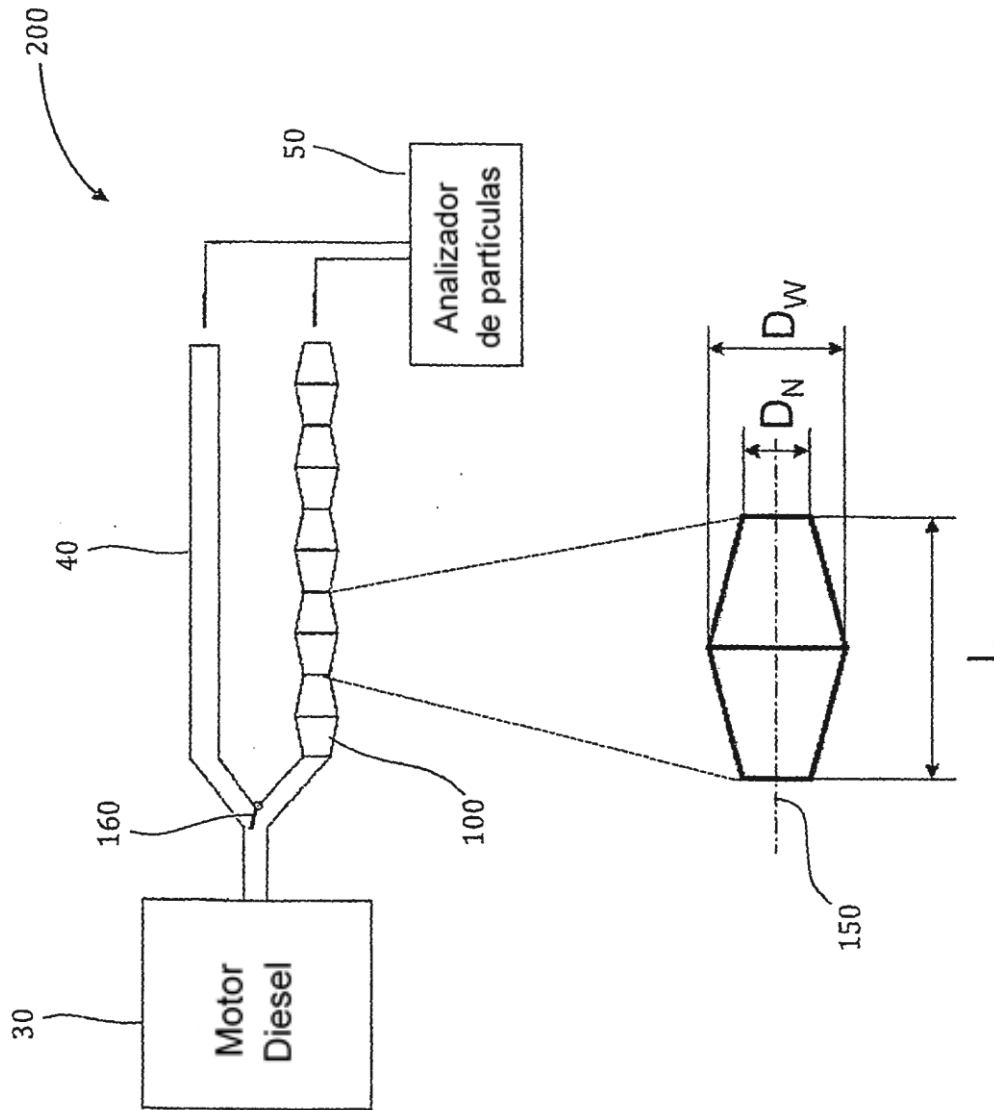


Fig 5

Masa de la partícula en función del diámetro de la partícula.

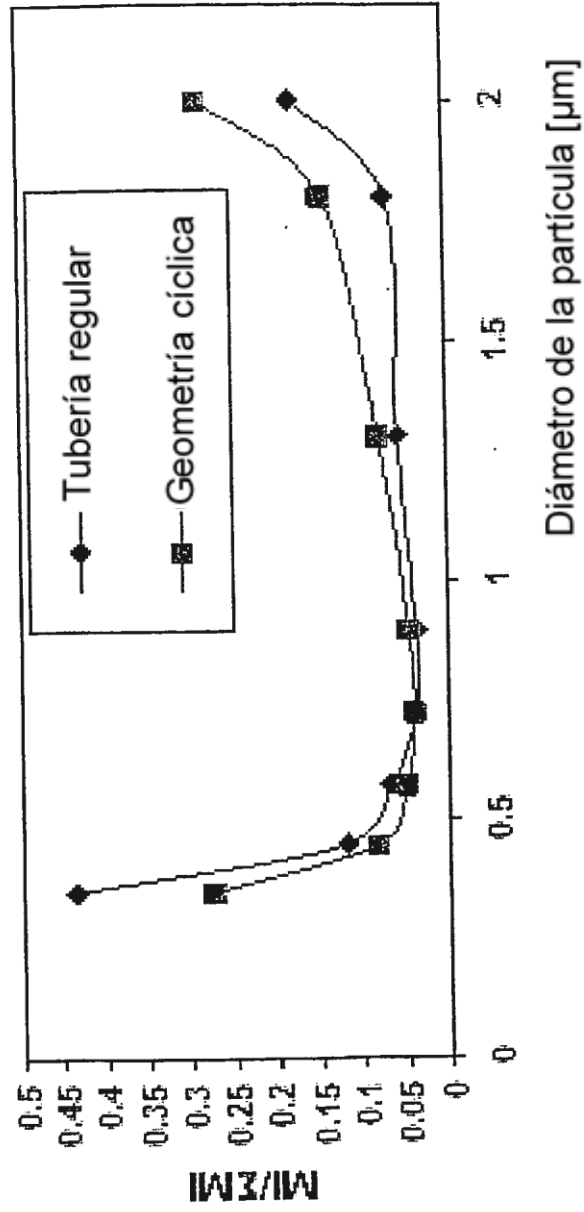


Fig 6

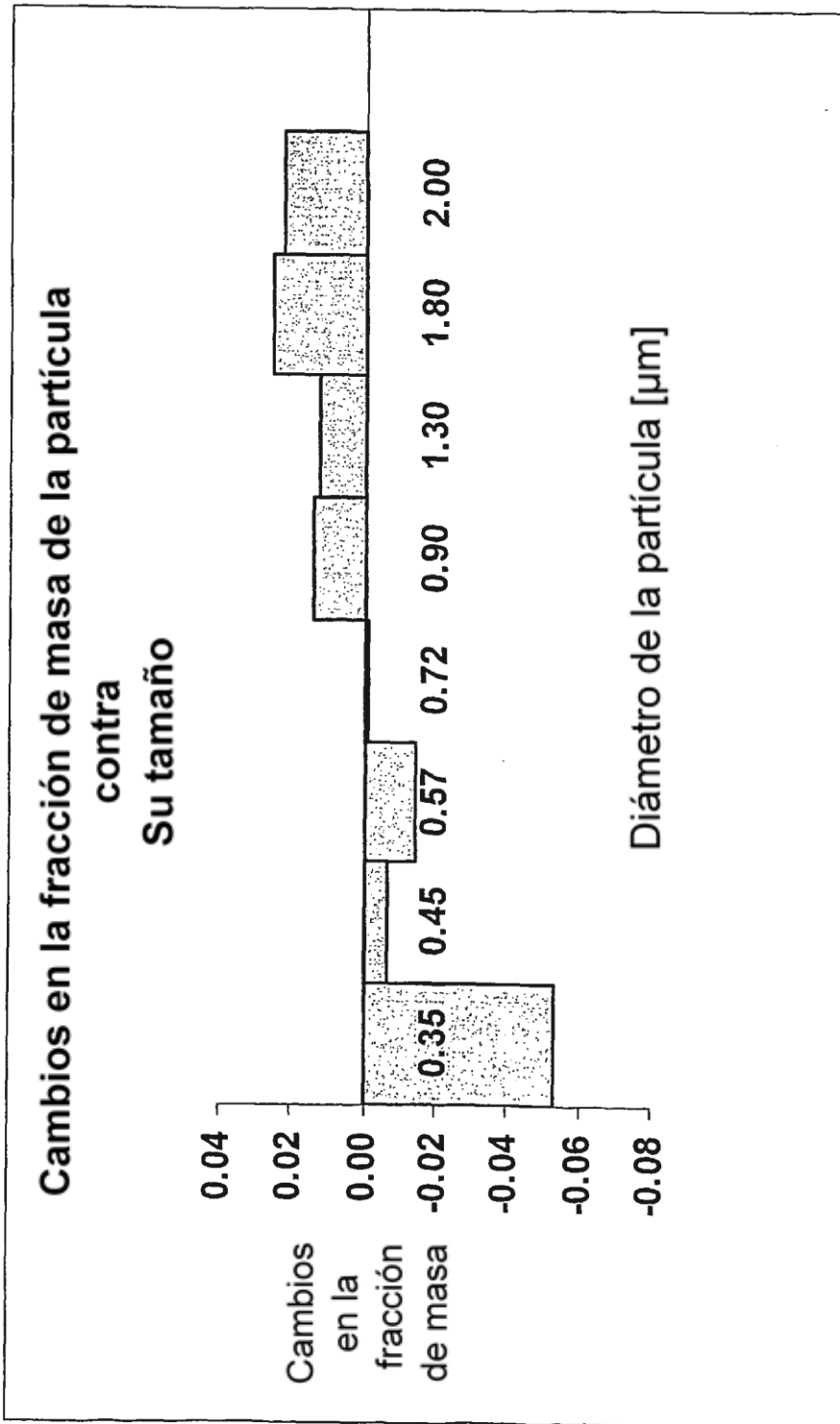


Fig 7

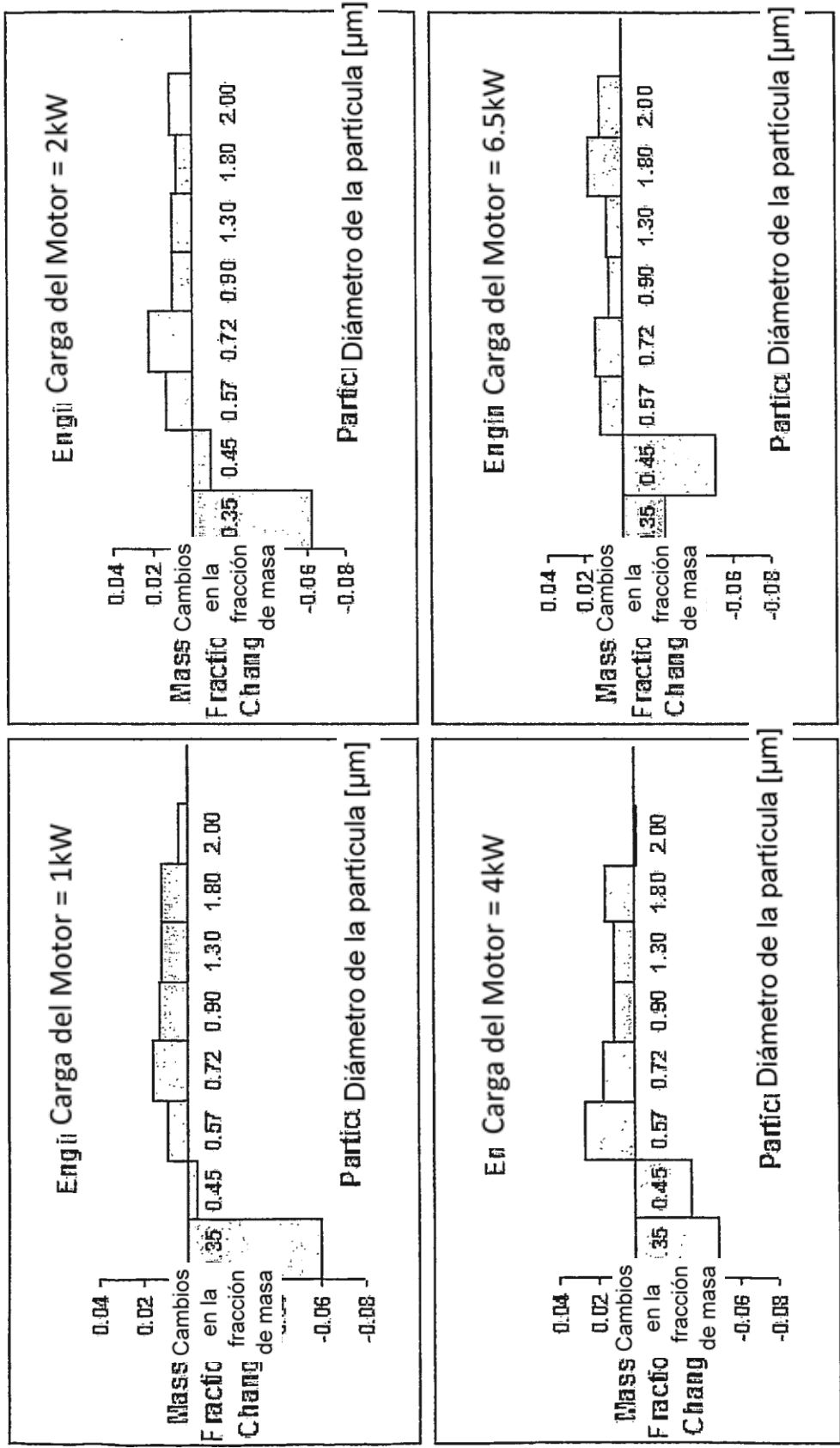


Fig 8

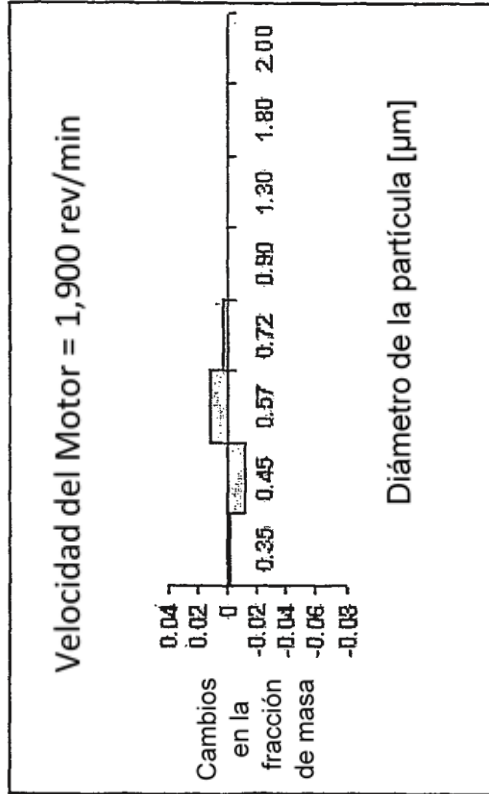
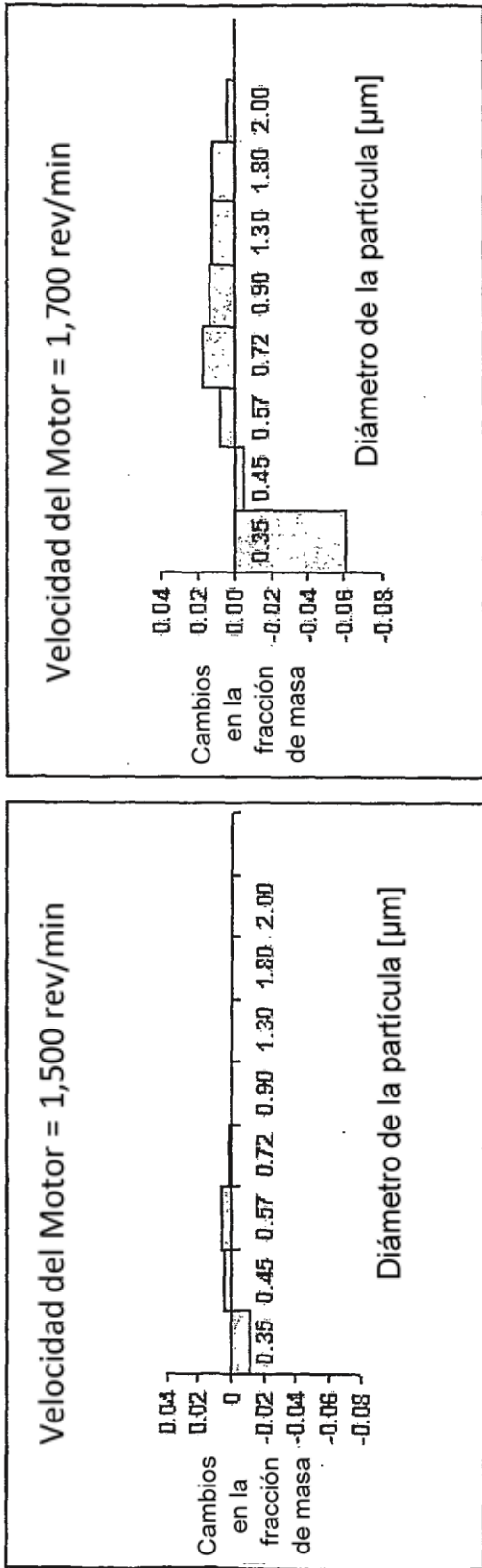


Fig 9

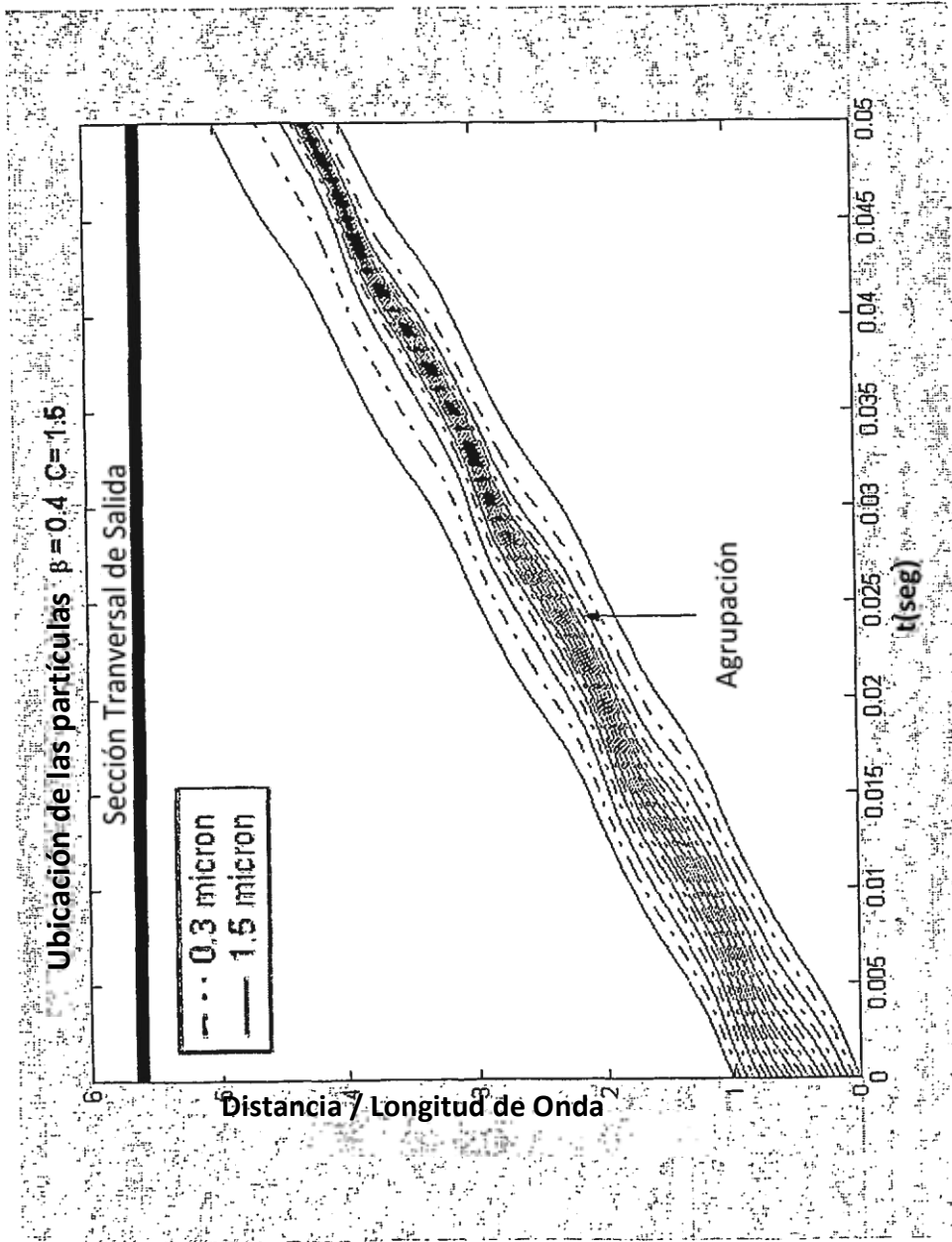


Fig 10

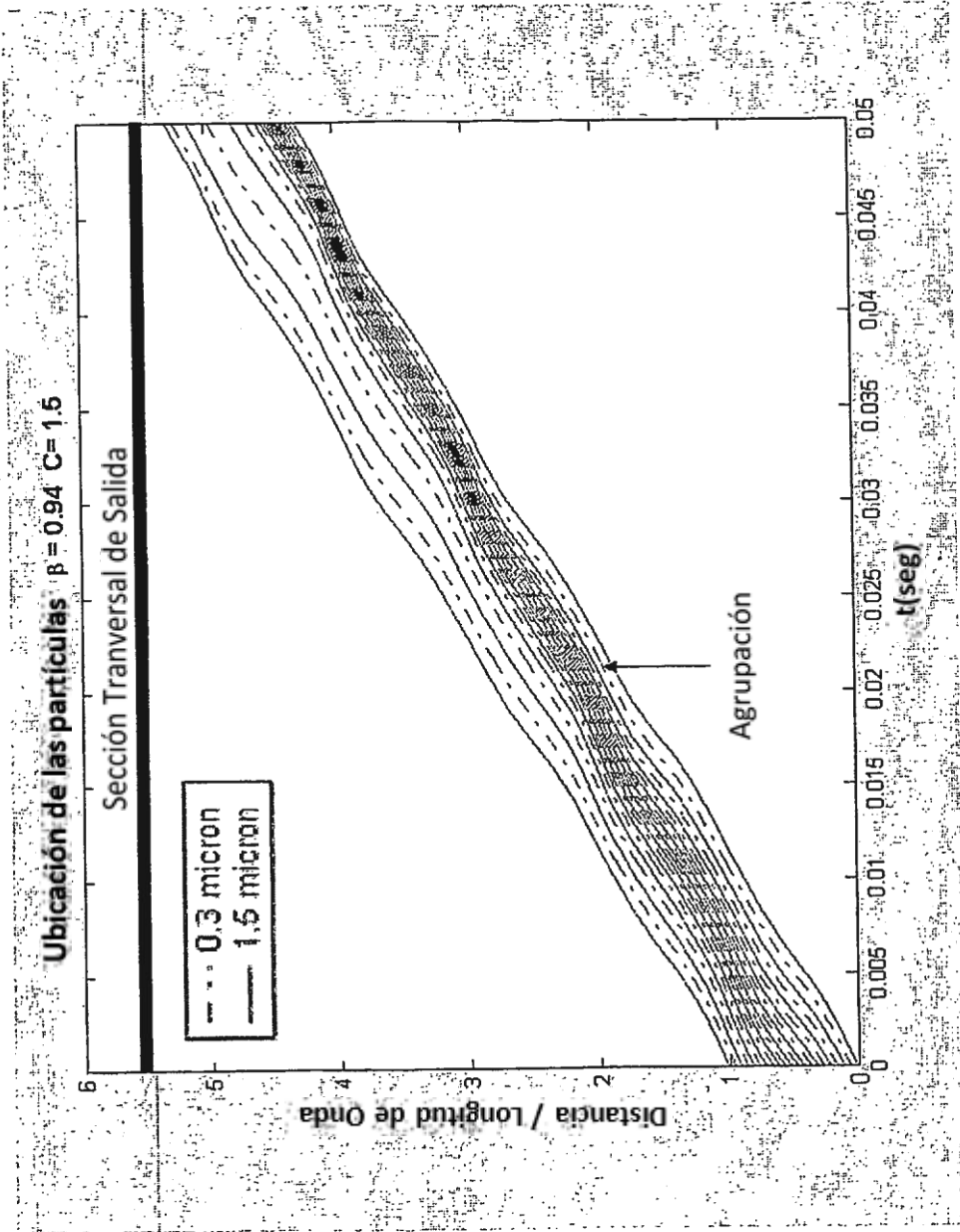


Fig 11

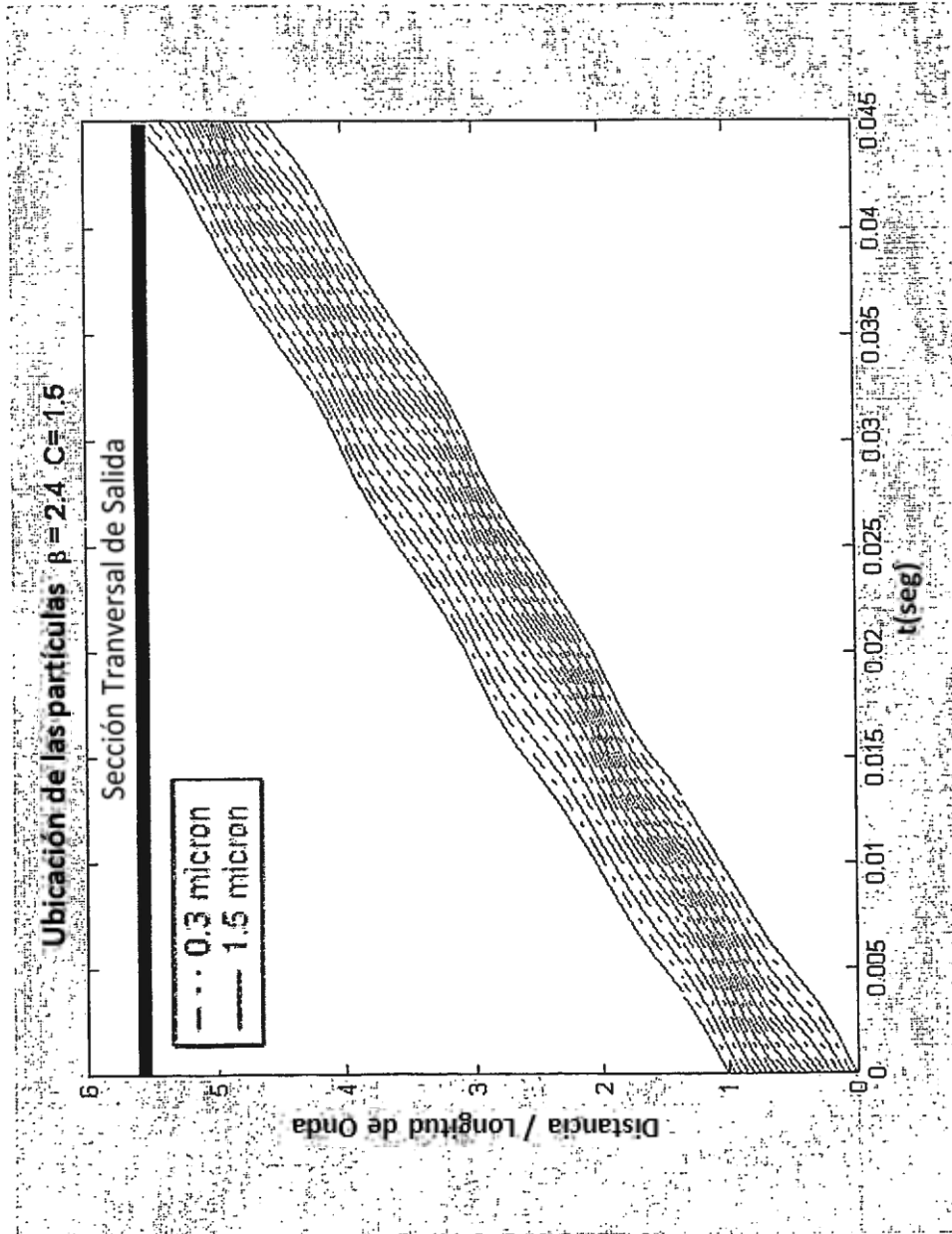
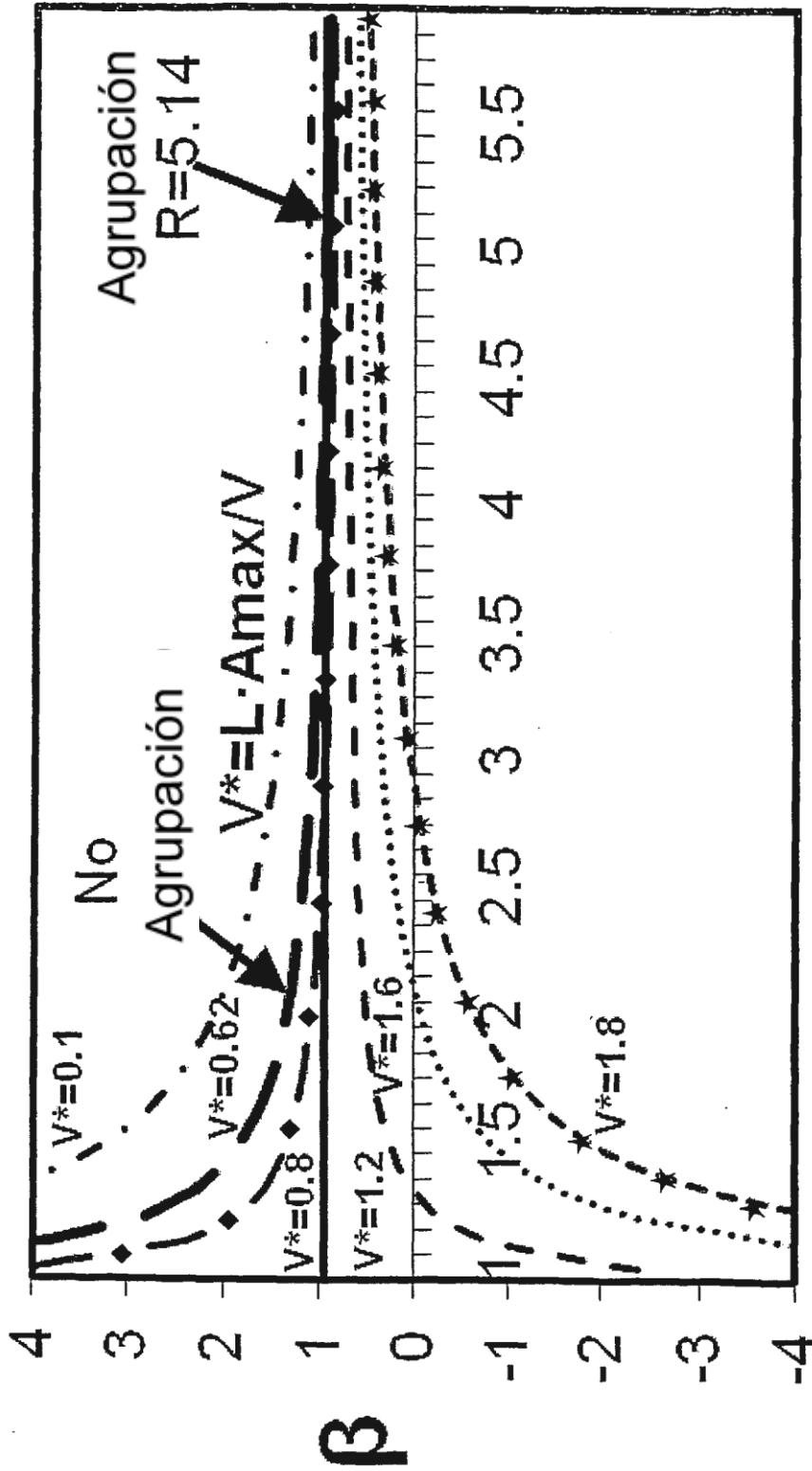


Fig 12



$R = A_{max}/A_{min}$

Fig 13

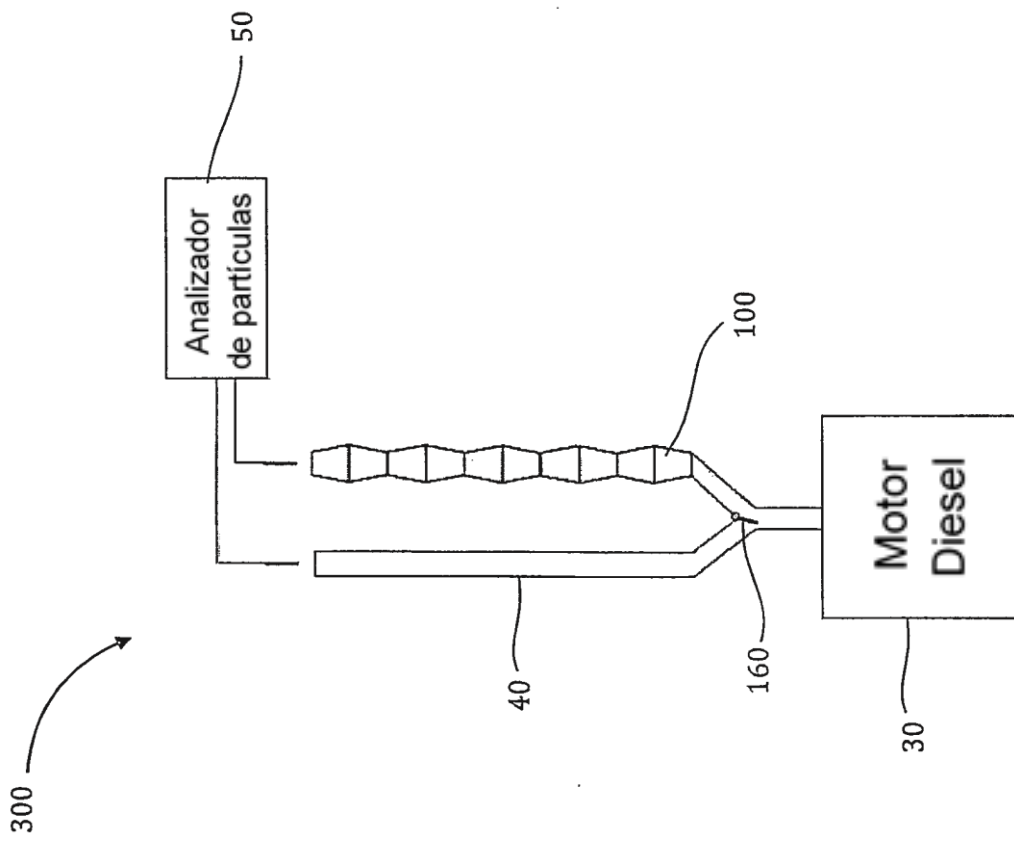


Fig 14

Char
Cambios en la fracción de masa en función
del diámetro de la partícula

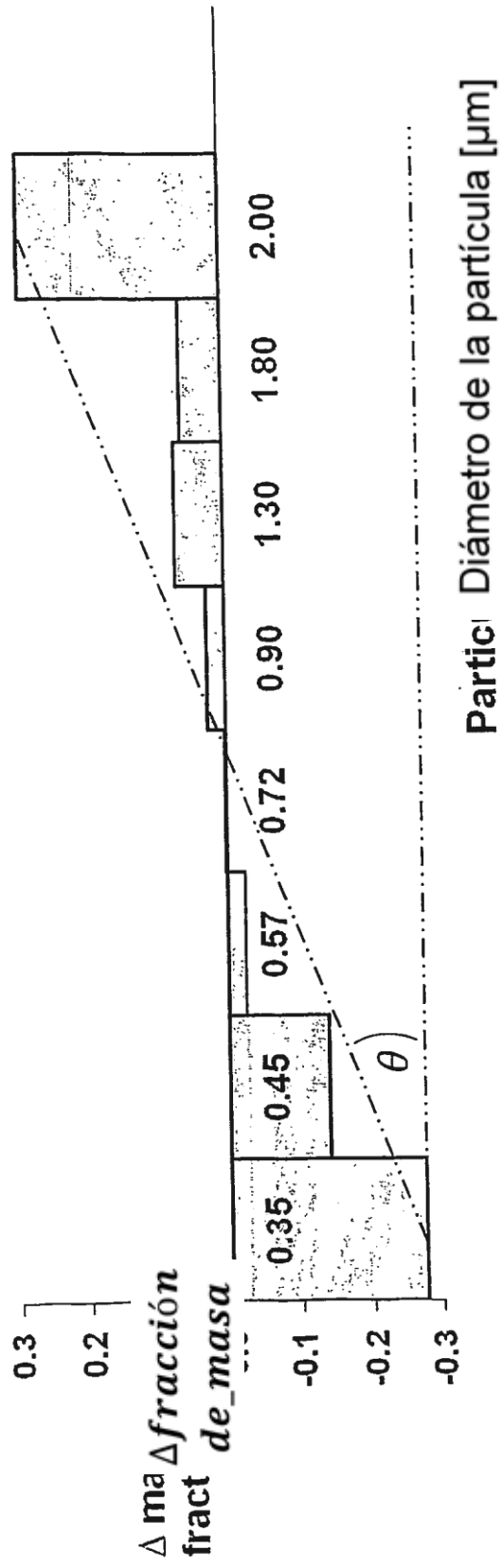


Fig 15

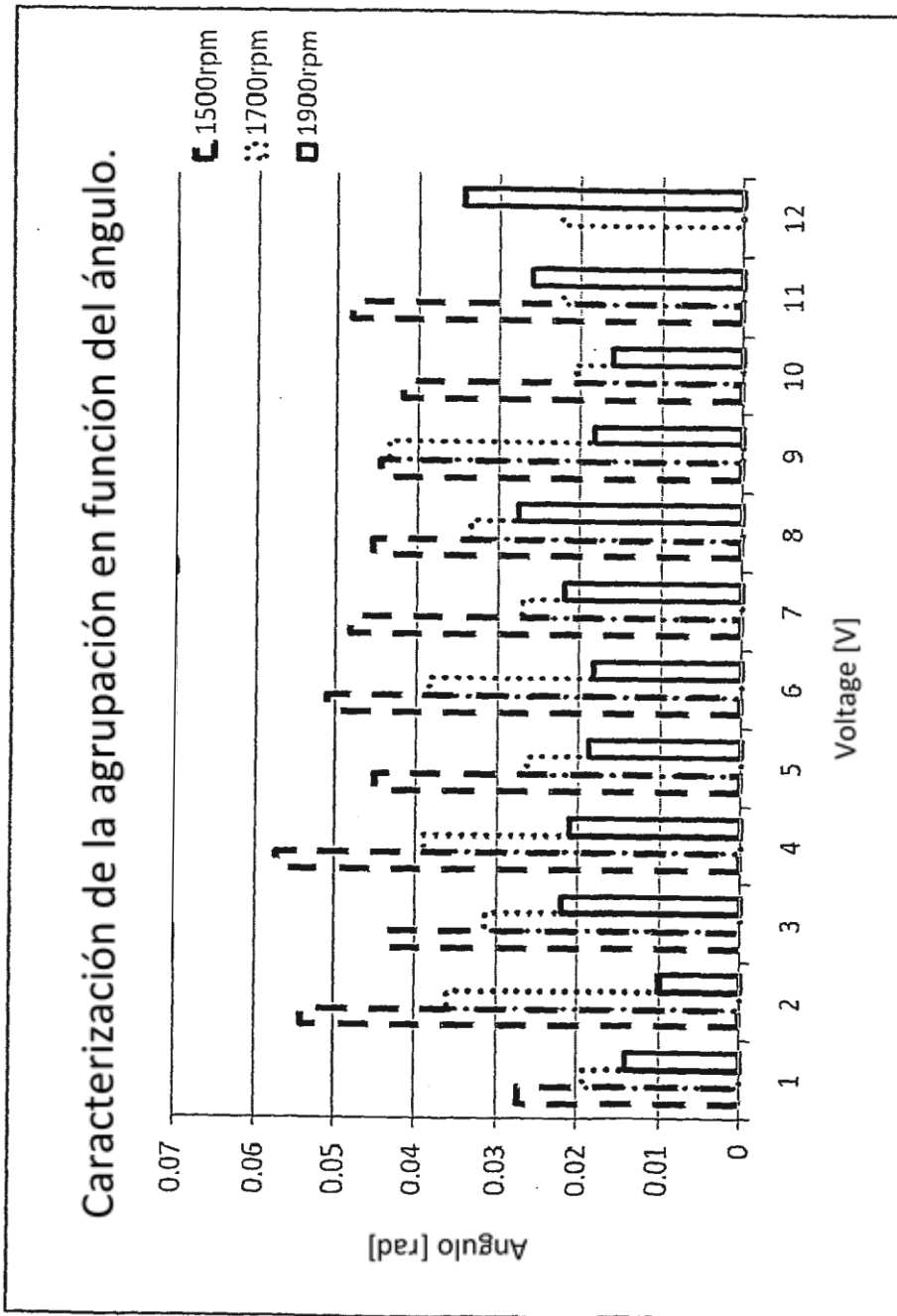


Fig 16