

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 389 287**

51 Int. Cl.:

**B03C 1/01** (2006.01)

**B03C 1/32** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09714410 .9**

96 Fecha de presentación: **16.01.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2247386**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.11.2010**

54 Título: **Método y aparato para la separación de partículas sólidas que tienen diferentes densidades**

30 Prioridad:  
**27.02.2008 NL 2001322**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**24.10.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**24.10.2012**

73 Titular/es:  
**TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT (100.0%)  
Stevinweg 1  
2628 CN Delft, NL**

72 Inventor/es:  
**REM, PETER, CARLO y  
BERKHOUT, SIMON, PETER, MARIA**

74 Agente/Representante:  
**DURÁN MOYA, Luis Alfonso**

ES 2 389 287 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

Método y aparato para la separación de partículas sólidas que tienen diferentes densidades

5 La presente invención se refiere a un método y a un aparato para separar partículas sólidas de diferentes densidades, utilizando un fluido de proceso magnético.

10 Dicho método es conocido por la patente holandesa 1.030.761. Esta patente describe un método y un aparato para separar partículas sólidas en un fluido de proceso magnético, en el que el fluido magnético se hace pasar a través de un campo magnético, generado por medio de imanes permanentes.

15 Debe señalarse que este método y aparato conocidos son, en efecto, adecuados para separar partículas sólidas de densidades muy diferentes, en los que la diferencia de densidad de las partículas sólidas puede ser de  $1000 \text{ kg/m}^3$  o más, tal como por ejemplo, el cobre a  $8900 \text{ kg/m}^3$  en comparación con el aluminio a  $2700 \text{ kg/m}^3$ . Dichas partículas se separan entre sí mediante fuerzas fuertes con el resultado de que la turbulencia en el fluido de proceso, o la posibilidad de aglomeración de partículas debido a la sedimentación, apenas influyen en la separación de las partículas sólidas.

20 Cuando se separan partículas sólidas tales como partículas de plástico, pepitas y diamantes de diferencias pequeñas de densidad, en el orden de hasta  $10 \text{ kg/m}^3$ , la turbulencia en el fluido de proceso o la aglomeración de las partículas debido a la sedimentación han demostrado ser muy desventajas.

25 Los métodos y aparatos conocidos no son adecuados para la separación de partículas sólidas de diferencias pequeñas de densidad, en el orden de hasta  $10 \text{ kg/m}^3$ , tales como partículas de polipropileno sólido y polietileno sólido.

Es el objetivo de la presente invención dar a conocer un método y un aparato con los que los inconvenientes del método y el aparato conocidos se eliminan de manera efectiva.

30 Sorprendentemente, se ha demostrado que este problema puede ser resuelto conduciendo dos flujos parciales separados de fluido de proceso en el campo magnético, con el flujo parcial considerablemente más grande que comprende el fluido de proceso magnético sin partículas, que fluye en condiciones laminares, mientras que el segundo flujo parcial, considerablemente más pequeño, se añade al fluido de proceso en un estado turbulento y se mezcla con las partículas que van a separarse.

35 Se ha demostrado que, mediante la presente invención, la turbulencia de la corriente de fluido total en el campo magnético se limita a un mínimo, mientras que permite, además, que las partículas comiencen a la altura del separador o cerca de la misma, de tal manera que la distancia que tienen que viajar (en la dirección vertical) a efectos de recuperarse en el lado deseado del separador, es mínima.

40 La presente invención satisface la necesidad creciente de separar partículas sólidas de diferencias pequeñas de densidad, tales como materiales plásticos, pepitas, diamantes, etc. que tienen una diferencia de densidad de sólo hasta  $10 \text{ kg/m}^3$ .

45 Para este fin, la presente invención da a conocer un método para la separación de partículas sólidas de diferentes densidades en un fluido de proceso magnético, en el que las partículas sólidas que difieren poco en la densidad se separan, en primer lugar, mezclando minuciosamente las partículas sólidas que van a separarse en un flujo parcial pequeño del fluido de proceso, añadiéndose este pequeño flujo parcial turbulento a un flujo parcial laminar grande del fluido de proceso, después de lo cual la mezcla obtenida de los fluidos de proceso parciales respectivos se hace circular por encima de dos configuraciones de imanes, por debajo, o por el medio de las mismas, en el que las partículas se separan en partículas más ligeras en la parte superior del fluido laminar de proceso y las partículas más pesadas en la parte inferior del fluido laminar de proceso, cada una de las cuales se retira posteriormente con la ayuda de un separador, en el que los materiales de baja densidad y los materiales de alta densidad se separan además de los respectivos flujos de proceso, se secan y se almacenan y, finalmente, las corrientes de proceso se devuelven a las corrientes iniciales originales de fluidos de proceso.

60 Según el presente método, es esencial que las partículas sólidas de poca diferencia de densidad que van a separarse se mezclen entre sí por separado en una corriente parcial de fluido de proceso significativamente menor, antes de añadirse al fluido de proceso, que está en una condición de flujo laminar. Posteriormente, los fluidos de proceso combinados se hacen pasar, por encima de dos configuraciones de imanes, por debajo, o por el medio de las mismas, con las partículas más ligeras que terminan en el fluido de proceso laminar, mientras que las partículas más pesadas se mueven a un estrato más bajo del fluido de proceso laminar. Las partículas separadas de este modo se retiran posteriormente con la ayuda de un separador. A continuación, las partículas sólidas separadas son extraídas de los respectivos fluidos de proceso y, después del secado, se recogen y almacenan.

65

A continuación, el fluido de proceso del que se han extraído las partículas sólidas se conduce de nuevo al sistema para su reutilización.

5 El presente método es especialmente adecuado, por ejemplo, para separar partículas de polipropileno que tienen una densidad de 880-920 kg/m<sup>3</sup> y partículas sólidas de polietileno con una densidad de 930-960 kg/m<sup>3</sup>. En la industria del plástico hay una necesidad creciente de recuperación de dichos materiales, que posteriormente pueden ser utilizados de nuevo en la industria del procesamiento de plásticos.

10 Generalmente, el fluido de proceso según la presente invención comprende una suspensión de partículas de óxido de hierro.

Generalmente, el fluido de proceso parcial al que se añaden las partículas sólidas que van a separarse constituye aproximadamente el 10% del fluido de proceso total.

15 A diferencia de la patente holandesa 1.030.761, en la que sólo se menciona la utilización de imanes permanentes, según el presente método, se obtienen buenos resultados de separación mediante la utilización de imanes permanentes, electroimanes o imanes superconductores.

20 La presente invención se refiere, además, a un aparato para separar partículas sólidas de poca diferencia de densidad en un fluido de proceso magnético, en el que el aparato -1- está provisto de un recipiente de mezcla -2- para las partículas sólidas que van a separarse en una pequeña parte del fluido de proceso magnético, recipiente de mezcla -2- que está provisto de un agitador -3-, en el que -4- denota la pequeña corriente turbulenta de fluido de proceso que contiene las partículas, -5- y -6- son laminadores para la obtención de fluido de proceso laminar, -8-, -9- denotan una cinta transportadora giratoria sin fin, -10- representa un separador para dividir y eliminar la corriente de fluido de proceso -11- que contiene las partículas más ligeras, por una parte, y la corriente de fluido de proceso -12- que contiene las partículas más pesadas, por otra parte. Una cinta transportadora sin fin -13- en forma de canal que se mueve simultáneamente sirve para eliminar las partículas pesadas sedimentadas y para mantener el flujo laminar.

30 Por lo general, el recipiente de mezcla -2- tiene forma de embudo, es decir, que se estrecha, y comprende un agitador -3- para mezclar las partículas de diferencia de densidad pequeña con una pequeña parte del fluido de proceso.

35 Es particularmente útil humedecer previamente las partículas sólidas, por ejemplo, con ayuda de vapor, de manera que, al mezclar las partículas en la corriente de fluido turbulento se evita la adherencia a las partículas de burbujas de aire, lo que haría a las partículas efectivamente más ligeras, y las partículas pesadas se separarían incorrectamente en la corriente de producto más ligera. El contacto entre las partículas frías y el vapor caliente produce una capa de condensación de espesor microscópico en la totalidad de la superficie de las partículas, de modo que las burbujas de aire no son capaces de adherirse a la superficie sólida, lo que podría interferir en la separación.

40 Los laminadores -5- y -6- se disponen antes que el imán -7-. Los laminadores -5- y -6- generan una corriente de fluido de proceso laminar -8-, con el resultado de que no hay turbulencia en la corriente de fluido de proceso laminar -8-, o no hay casi ninguna, permitiendo que tenga lugar una separación adecuada entre las partículas ligeras y las partículas pesadas.

Según la presente invención, el imán -7- puede ser un imán permanente, un electroimán o un imán superconductor.

50 La presente invención se ilustra adicionalmente por medio de las figuras 1-3 adjuntas.

La figura 1 muestra una realización preferente del aparato -1- según la presente invención.

55 El aparato -1- está provisto de un recipiente de mezcla -2- cónico, en el que se dispone un agitador -3- estándar para mezclar minuciosamente las partículas sólidas que van a separarse que tienen densidades ligeramente diferentes, siendo las partículas negras partículas de polietileno (PE) y representando las partículas blancas partículas de polietileno (PP). El fluido de proceso -4- que está en estado turbulento y que contiene las partículas sólidas que van a separarse pasa los laminadores -5- y -6- y termina en el fluido de proceso laminar -8- entre los imanes -7-, en este caso un electroimán.

60 Para conseguir un efecto adecuadamente laminar, los laminadores -5- y -6- se disponen, preferentemente, en el lado de la alimentación de la corriente de fluido.

65 Entre los ejemplos de laminadores se incluyen un material poroso con una permeabilidad homogénea y un material que tiene canales paralelos orientados en la dirección del flujo.

Bajo la influencia del campo magnético tiene lugar una separación entre las partículas de polietileno de mayor densidad y las partículas de polipropileno de menor densidad. Aproximadamente en el extremo de los imanes -7- se encuentra el separador -10-, preferentemente al mismo nivel que la abertura de entrada de la corriente de fluido de proceso turbulento. El separador -10- asegura que se eliminen las partículas de PP y PE separadas -11- y -12-, respectivamente y, después del secado, se almacenen para su utilización posterior.

El fluido de proceso que contiene las partículas que van a separarse se mueve a través de una cinta transportadora sin fin -13- en forma de canal en movimiento equidireccional, que posteriormente elimina las partículas sedimentadas y mantiene el flujo laminar.

La figura 2 es una representación esquemática de la distribución de partículas durante el proceso de separación de la técnica anterior.

Según el proceso de separación de la técnica anterior, tal como se describe en la patente holandesa 1.030.761, se mezcla una suspensión de partículas plásticas de (PE) y (PP) y el fluido magnético y se introduce en estado turbulento en el campo magnético entre los imanes -1-. Las partículas negras -4- son partículas de PE más pesadas y las partículas blancas -3- son las partículas de PP más ligeras.

El fluido de proceso circula de izquierda a derecha, tal como se muestra mediante las flechas -5-. El separador -6- está situado en el extremo de los imanes -1-.

Los resultados de la separación muestran de las partículas de PP no se recuperan completamente en la fracción ligera, aunque en un flujo laminar éste debería ser el caso. Al parecer, el flujo no es lo suficientemente laminar en una parte del campo magnético y/o, desde alguna de las posiciones de partida, las partículas tienen que recorrer una distancia vertical demasiado grande desde la posición en la que las partículas fluyen dentro del campo hasta el nivel del separador.

Según la presente invención, este problema se resuelve conduciendo dos corrientes de fluido separadas en el campo magnético. La corriente de fluido mucho mayor comprende aproximadamente el 90% de fluido magnético sin partículas, introduciéndose en condiciones laminares, mientras que el segundo flujo mucho más pequeño tiene una turbulencia de aproximadamente el 10%, en el que se mezclan las partículas que se van a separar.

La figura 3 muestra las trayectorias simuladas de tres pares de partículas de PP y PE en condiciones laminares en una corriente de fluido de proceso de izquierda a derecha. Las líneas continuas son partículas de PE y las líneas de puntos representan partículas de PP. Los resultados muestran que la separación es la más eficiente si las partículas que van a separarse se introducen en la corriente de fluido de proceso en un pequeño flujo turbulento de aproximadamente el 10%, aproximadamente a la altura del separador, lo que proporciona una separación particularmente buena de las partículas de PP y PE.

A continuación, la presente invención se ilustrará además por medio de los siguientes ejemplos.

#### Ejemplo 1

Se obtiene una mezcla de aproximadamente el 70% de PP y aproximadamente el 30% de PE por medio de separación por flotación-sedimentación en agua de una cantidad de residuos de fragmentos de automóvil, triturados en partículas de un diámetro de aproximadamente 10 mm y se humedece con vapor (10 kg de vapor por tonelada de plástico). A continuación, los plásticos humedecidos se mezclan con un fluido de proceso magnético en una base de agua y partículas de óxido de hierro con una saturación de magnetización de, aproximadamente, 300 A/m en una proporción de 10 kg de plástico por 100 litros de fluido de proceso. Esta mezcla se agita y se inyecta a la altura del separador, entre dos estratos de flujo laminar, en el campo por debajo de un imán tal como en la figura 1, decreciendo el campo magnético bajo el imán más o menos exponencialmente con la distancia a la superficie inferior del imán. La velocidad (horizontal) de las corrientes de fluido y las cintas transportadoras es de 0,3 m/s y el tiempo de permanencia de las partículas en el campo hasta el separador es de, aproximadamente, 2 segundos. Por encima y por debajo del separador, los productos de PP y PE se eliminan a una pureza superior al 95%.

#### Ejemplo 2

Una mezcla de diamante y partículas minerales con tamaños de grano entre 0,5 mm y 2,0 mm se humedece con vapor de agua y posteriormente se mezcla con un fluido de proceso magnético en una base de agua y partículas de óxido de hierro que tienen una saturación de magnetización de, aproximadamente, 6000 A/m en una proporción de 10 kg de mezcla por 100 litros de fluido de proceso. Esta mezcla se agita y se inyecta a la altura de la abertura extractora para la corriente enriquecida en diamantes, entre dos estratos de corriente laminares, en el campo por encima de un imán tal como en la figura 1, en el que el campo magnético por encima del imán, en una buena aproximación, disminuye exponencialmente con la distancia a la superficie superior del imán. La velocidad (horizontal) de las corrientes de fluido y las cintas transportadoras es de 0,3 m/s y el tiempo de permanencia de las

partículas en el campo hasta el separador es de 2 segundos, aproximadamente. La corriente enriquecida en diamante se extrae por medio de la apertura extractora bajo el separador.

5 Se debe prestar atención al hecho de que la presente invención no está limitada, en ningún modo, por las realizaciones descritas anteriormente.

## REIVINDICACIONES

1. Método para separar partículas sólidas de diferentes densidades en un fluido de proceso magnético, **caracterizado porque** las partículas sólidas que difieren poco en densidad se separan en primer lugar mezclando minuciosamente las partículas sólidas que van a separarse en un flujo parcial pequeño del fluido de proceso, añadiéndose este pequeño flujo parcial turbulento a un flujo parcial laminar grande del fluido de proceso, después de lo cual la mezcla obtenida de los fluidos parciales de proceso respectivos se hace circular por encima de dos configuraciones de imanes, por debajo, o por el medio de las mismas, en el que las partículas se separan en partículas más ligeras en la parte superior del fluido de proceso laminar y partículas más pesadas en la parte inferior del fluido de proceso laminar, cada una de las cuales se retira posteriormente con ayuda de un separador, en el que los materiales de baja densidad y los materiales de alta densidad se separan de las respectivas corrientes de proceso.
2. Método, según la reivindicación 1, **caracterizado porque** antes de la mezcla en la corriente de fluido turbulento, las partículas sólidas se someten a humidificación con vapor de agua.
3. Método, según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** la corriente turbulenta de partículas se introduce a la altura del separador.
4. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** las partículas pesadas decantadas en la corriente de fluido de proceso se recogen y se retiran en la parte inferior en una cinta transportadora sin fin en forma de canal.
5. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** se separa una mezcla de partículas de polipropileno que tienen una densidad de 880-920 kg/m<sup>3</sup> y partículas de polietileno que tienen una densidad de 930-960 kg/m<sup>3</sup>.
6. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** el fluido de proceso comprende una suspensión de partículas de óxido de hierro.
7. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** el flujo parcial menor comprende, aproximadamente, el 10% del fluido de proceso.
8. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque**, como imán, se utiliza un imán permanente, un electroimán o un imán superconductor.
9. Aparato (1) para separar una mezcla de materiales de diferencia pequeña de densidad, según el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** el aparato (1) está dotado de un recipiente de mezcla (2) para las partículas que van a separarse, estando dotado el recipiente de mezcla (2) de un agitador (3) y una salida para una corriente parcial de fluido de proceso turbulenta (4) que contiene las partículas, y laminadores (5) y (6) para crear una corriente de proceso laminar (8) que delimita la corriente de proceso parcial turbulenta (4), seguida de un imán para magnetizar la corriente laminar de fluido de proceso (8) y un separador (10) para eliminar la corriente de fluido de proceso que contiene las partículas más ligeras (11) por un lado, y las partículas más pesadas (12) por otro lado, por lo que existe una cinta sin fin giratoria equidireccional (9) para mantener la corriente de fluido de proceso laminar (8), y una cinta transportadora sin fin (13) de movimiento equidireccional en forma de canal para retirar las partículas más pesadas decantadas y para mantener la corriente de fluido de proceso laminar (8).
10. Aparato, según la reivindicación 8, **caracterizado porque** el recipiente de mezcla (2) se estrecha.
11. Aparato, según la reivindicación 9 ó 10, **caracterizado porque** los laminadores (5) y (6) se disponen en el lado de alimentación de la corriente de fluido.
12. Aparato, según las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado porque** el imán (7) es un imán permanente, un electroimán o un imán superconductor.

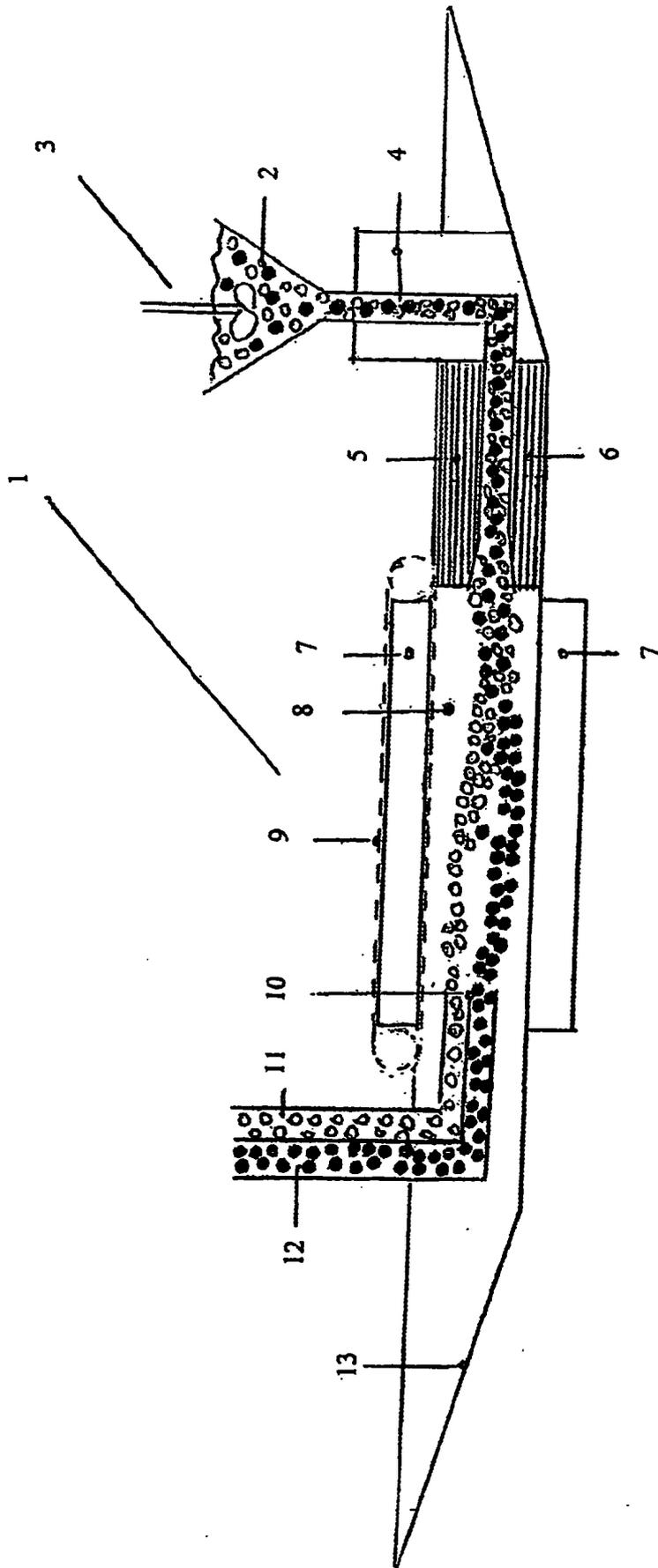


FIG. 1

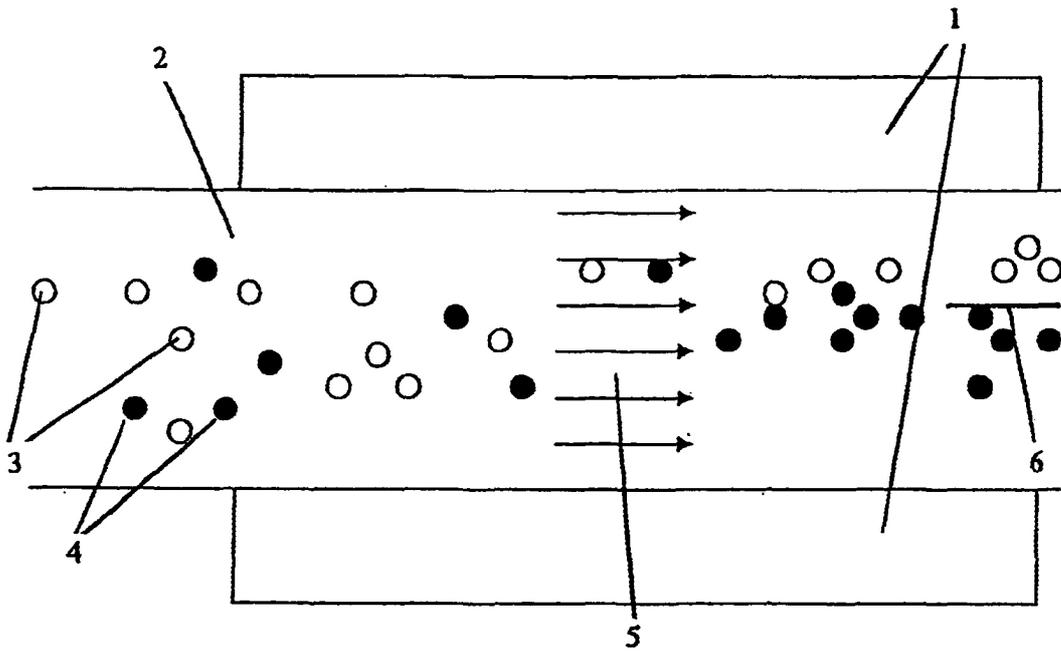


FIG. 2

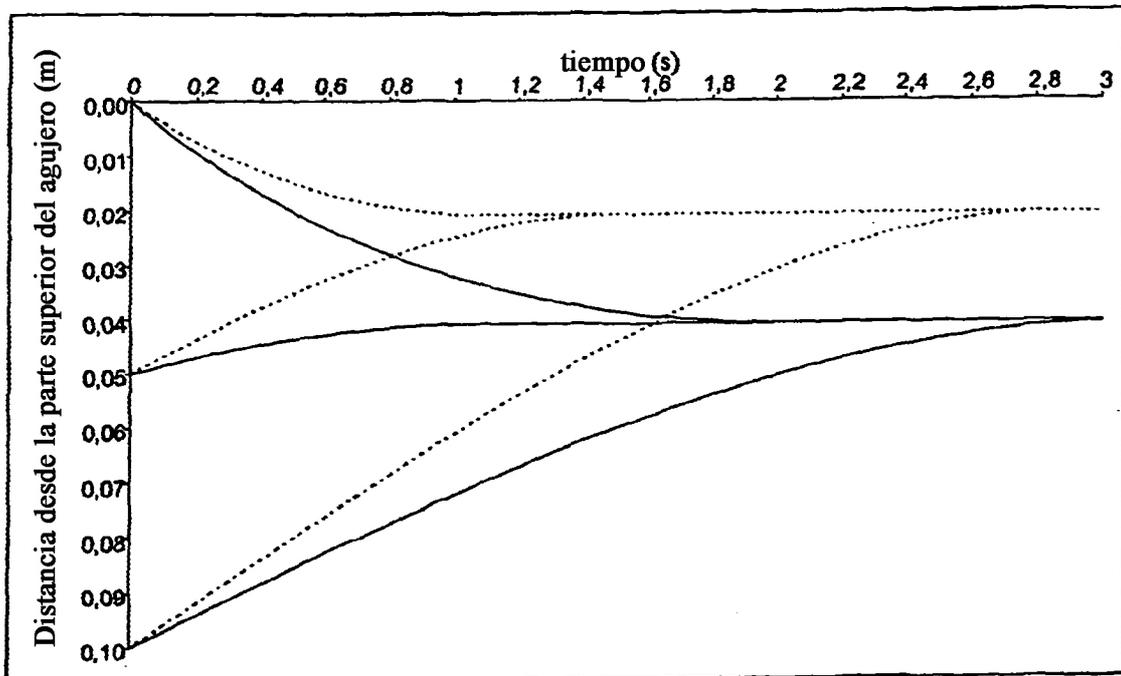


FIG. 3