

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 074**

51 Int. Cl.:

**G05D 7/06** (2006.01)

**C21C 5/38** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.09.2014** **PCT/EP2014/070434**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2015** **WO15078608**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.09.2014** **E 14776632 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019** **EP 3074834**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para el funcionamiento energéticamente eficiente de instalaciones de eliminación de polvo secundarias**

30 Prioridad:

**29.11.2013 DE 102013224615**

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

**27.02.2020**

73 Titular/es:

**SMS GROUP GMBH (100.0%)  
Eduard-Schloemann-Strasse 4  
40237 Düsseldorf , DE**

72 Inventor/es:

**THOMASBERGER, JÖRG;  
TRAPPMANN, VOLKER;  
BRAAM, MALTE y  
SCHUPPERT, FELIX**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 745 074 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**

Procedimiento y dispositivo para el funcionamiento energéticamente eficiente de instalaciones de eliminación de polvo secundarias.

**Campo de la invención**

- 5 La presente invención se dirige a un procedimiento, así como un dispositivo para controlar instalaciones de eliminación de polvo secundarias.

**El estado de la técnica**

10 En una fábrica de acero en diferentes procesos de fabricación se producen en diferentes procesos de fabricación gases de escape con contenido de polvo y parcialmente tóxicos. Las estimaciones parten de que se originan 15 kilogramos de polvo solo por cada tonelada producida de acero en la fabricación en un horno de arco eléctrico. Si se parte de que una fábrica de acero de tamaño medio al año produce 400.000 toneladas de acero por consiguiente al año se generan 6000 toneladas de emisiones de polvo.

15 Para la protección de los trabajadores y del medio ambiente es importante que las emisiones de polvo que se producen se aspiren desde el punto de formación. Durante esta aspiración debe garantizarse el cumplimiento de los valores límite en el punto de trabajo (AGW por sus siglas en alemán) de emisiones con contenido de polvo. El cumplimiento de estos valores se realiza mediante denominadas instalaciones de eliminación de polvo. Las instalaciones de eliminación de polvo se clasifican en instalaciones primarias y secundarias. La eliminación de polvo primaria se encarga de expulsar las emisiones de polvo que caen directamente en las máquinas en la fusión de chatarra de acero (por ejemplo en el horno de arco eléctrico). La eliminación de polvo secundaria se encarga de expulsar las emisiones de polvo que se encuentran en la nave de producción. Esto se realiza mediante construcciones de campana que se encuentran cerca de la fuente de polvo respectiva (por ejemplo en el convertidor). Un sistema de eliminación de polvo de tres componentes principales, concretamente una red de tuberías, un ventilador de tiro por aspiración y una cámara de filtro.

25 Para aspirar las emisiones de polvo en los puntos de formación respectivos en los puntos de aspiración se requieren flujos volumétricos definidos. La magnitud de estos flujos volumétricos que van a aspirarse se orienta según la intensidad de las concentraciones de las emisiones de polvo en el aire ambiente y se fija mediante una estimación visual en el funcionamiento de la instalación. Por una estimación visual se entiende el ajuste manual de los flujos volumétricos en los puntos de aspiración correspondientes. Para ello durante un proceso de producción real el flujo volumétrico en los correspondientes puntos de aspiración se aumenta hasta que la estimación visual muestra que todos los gases de escape se evacúan a través del flujo volumétrico. Mediante una medición del valor AGW en el entorno del proceso de producción se comprueba si el flujo volumétrico ajustado es suficiente. Si este es el caso los parámetros de funcionamiento relevantes para ello (por ejemplo presión negativa en el canal principal) se registran y se depositan en el control del sistema de eliminación de polvo.

35 Para ajustar los flujos volumétricos necesarios en los distintos puntos de aspiración en las tuberías que conducen a un punto de aspiración se instalan, tapas de aire de salida de una lámina o en caso de diámetros de tubo mayores de varias láminas que pueden desplazarse entre 0-100 % en su posición de cierre. El ventilador de tiro por aspiración produce la presión negativa necesaria de una instalación de eliminación de polvo. Este se compone esencialmente de dos a tres componentes de núcleo, concretamente una rueda de ventilador, un motor eléctrico y dado el caso un acoplamiento hidráulico o un convertidor de frecuencia. El motor eléctrico pone la rueda de ventilador en un movimiento de rotación. La rueda de ventilador proporciona entonces debido a la disposición geométrica de las ruedas helicoidales, una presión negativa en la red de tuberías. Esta diferencia de presión la presión del entorno y la presión negativa que se forma en la red de tuberías hace que se forme un flujo volumétrico en la dirección del ventilador de tiro por aspiración.

La capacidad de transporte necesaria de un sistema de este tipo se define por la siguiente ecuación.

$$45 \quad P_{zu} = \dot{V}_{zu} \Delta p_{ges}$$

De la ecuación puede verse que tanto el flujo volumétrico  $\dot{V}_{zu}$  que va a aspirarse, así como la pérdida de presión total  $\Delta p_{total}$ , tienen repercusiones esenciales en la capacidad de transporte necesaria  $P_{zu}$  de una instalación de eliminación de polvo secundaria. Si por ejemplo se aceptan los valores comunes en la práctica para el flujo volumétrico que va a aspirarse 2.000.000 m³/h de aire con polvo eliminado, y se parte de que este flujo volumétrico se aplica con una diferencia de presión de 50 mbar, se produciría una capacidad de transporte de aproximadamente 2,78 MW para una instalación de eliminación de polvo de este tipo. Este ejemplo va a aclarar por un lado la intensidad energética

de los sistemas de eliminación de polvo secundario, y por otro lado va a destacar la importancia de reducir las pérdidas de presión de sistema a un mínimo.

El documento de patente EP 0116 727 A2 describe un procedimiento de regulación para una instalación de eliminación de polvo, en donde a cada punto de aspiración está asociado un circuito de regulación con valor deseado individual. Además está previsto un circuito de regulación de orden superior para el ventilador de tiro por aspiración. La regulación necesita un sistema de sensores especial que es complejo y muy costoso.

Por el documento de patente CN 102635920 A se conoce un procedimiento de control para una instalación de eliminación de polvo secundaria en la que una red de tuberías une un ventilador de tiro por aspiración con al menos dos puntos de aspiración, en donde la red de tuberías para cada punto de aspiración comprende una tapa de aire de salida controlable, cuya posición de tapa influye en el flujo volumétrico en el punto de aspiración y en donde el procedimiento de control comprende las etapas siguientes:

- facilitar un modelo de sistema matemático que describe la red de tuberías, en donde cada elemento de tubo está caracterizado por sus propiedades físicas y geométricas;
- calcular las pérdidas de presión en la red de tuberías basándose en el modelo de sistema matemático determinado totalmente y en los flujos volumétricos requeridos en los puntos de aspiración;
- controlar las tapas de aire de salida de modo que se garanticen las posiciones de tapa calculadas;
- controlar el ventilador de tiro por aspiración de modo que su velocidad de giro se aumenta hasta que la pérdida de presión calculada de todo el sistema se alcanza y por consiguiente se garantizan los flujos volumétricos en los puntos de aspiración.

Además por el documento de patente CN 102635920 A se conoce un dispositivo de control para una instalación de eliminación de polvo secundaria, en la que una red de tuberías une un ventilador de tiro por aspiración con al menos dos puntos de aspiración, en donde la red de tuberías para cada punto de aspiración comprende una tapa de aire de salida controlable, cuya posición de tapa influye en el flujo volumétrico en el punto de aspiración, y en donde el dispositivo de control comprende los siguientes elementos:

- un elemento de memoria para facilitar una descripción de sistema matemático, que describe la red de tuberías, en donde cada elemento de tubo de la red de tuberías está caracterizado por sus propiedades físicas y geométricas;
- una unidad de control, que controla la posición de tapa de las tapas de aire de salida y la velocidad de giro del ventilador de tiro por aspiración basándose en la pérdida de presión averiguada de todo el sistema.

El objetivo de la presente invención es dar a conocer un procedimiento en forma de un concepto de control nuevo que permita un funcionamiento eficientemente energético de sistemas de eliminación de polvo secundarios y superar al menos algunas de las desventajas anteriormente mencionadas. Por lo demás va a darse a conocer un dispositivo así como un programa informático que implementan el procedimiento de acuerdo con la invención. Dado que un funcionamiento no rentable de instalaciones de eliminación de polvo secundarias en épocas de precios de energía en aumento a nivel mundial para los explotadores de estas instalaciones no puede seguir siendo sostenible, aumenta la demanda de optimizar instalaciones de eliminación de polvo desde el punto de vista de la utilización de energía.

### Descripción de la invención

El objetivo técnico mencionado se resuelve mediante las características de la reivindicación 1. Esta se dirige a un procedimiento de control para una instalación de eliminación de polvo secundaria, en la que una red de tuberías une un ventilador de tiro por aspiración con al menos dos puntos de aspiración. La red de tuberías comprende para cada punto de aspiración una tapa de aire de salida controlable, cuya posición de tapa influye en el flujo volumétrico en el punto de aspiración. Además, según la posición de cierre de la tapa, se producen pérdidas de presión diferentes. El procedimiento comprende las etapas siguientes:

- facilitar un modelo de sistema matemático, que describe la red de tuberías, en donde cada elemento de tubo está caracterizado por sus propiedades físicas y geométricas. Preferentemente el modelo matemático puede reproducirse basándose en un planteamiento de teoría de grafos; en este sentido los diversos elementos de tubería se convierten en valores de resistencia. El modelo de sistema matemático resultante es en este caso una red de resistencia;
- calcular las pérdidas de presión en la red de tuberías basándose en el modelo de sistema matemático determinado totalmente y en los flujos volumétricos requeridos en los puntos de aspiración;
- calcular, desde el punto de vista de eficiencia energética, la posición de tapa óptica para cada tapa de aire de salida y calcular la pérdida de presión para todo el sistema, que permiten alcanzar los flujos volumétricos operativos requeridos con capacidad de transporte lo más reducida posible;
- controlar las tapas de aire de salida, de modo que se garanticen la posición de tapa calculada;

- controlar el ventilador de tiro por aspiración, de modo que se garanticen los flujos volumétricos predeterminados en los distintos puntos de aspiración. Para ello de este modo preferiblemente o la velocidad de giro del ventilador de tiro por aspiración a partir de una posición de reposo se aumenta hasta que se alcanza la pérdida de presión calculada de todo el sistema y por consiguiente se garantizan los flujos volumétricos en los puntos de aspiración;

5 Los datos, parámetros y funciones necesarios para el modelo matemático necesario se calculan o determinan mediante las siguientes magnitudes:

- coeficientes de resistencia, que caracterizan los elementos de tubo atravesados por el flujo;
- propiedades geométricas de los elementos de tubo atravesados por el flujo;
- propiedades físicas de los elementos de tubo atravesados por el flujo (por ejemplo conductividad térmica que puede estar indicada por el coeficiente de transmisión de calor);
- flujos volumétricos que atraviesan los elementos de tubo;

15 Preferiblemente el procedimiento puede comprender el cálculo de cada posición de cierre de una tapa de aire de salida de la red de tuberías, en donde al menos un tramo de tubería une el ventilador de tiro por aspiración con en cada caso una tapa de aire de salida. Por lo demás el tramo de tubería de la pérdida de presión máxima puede averiguarse con la tapa completamente abierta. La tapa de aire de salida correspondiente se fija por el procedimiento preferiblemente como 100 % abierta.

20 Las posiciones de tapa restantes pueden averiguarse por el procedimiento mediante un cálculo basándose en el modelo matemáticos. A este respecto por un lado se utilizan las informaciones del planteamiento de la teoría de los grafos, por otro lado se obtienen informaciones necesarias de leyes físicas (por ejemplo, reglas de mallas y nodos). El resultado es la posición abierta de todas las tapas de aire de salida en la red de tuberías. Estas se corresponden con el valor de resistencia ajustable de la tapa de aire de salida.

25 La red de tuberías comprende preferiblemente un tramo principal, que está conectado con el ventilador de tiro por aspiración y que se bifurca al menos en dos tramos secundarios que están unidos en cada caso con al menos un punto de aspiración. Los tramos secundarios pueden bifurcarse adicionalmente y de este modo conducen a un aumento de la representación matemática.

Preferiblemente el procedimiento puede comprender las siguientes etapas adicionales:

- calcular las pérdidas de presión en el tramo principal debido a las propiedades geométricas y físicas, así como los flujos volumétricos operativos correspondientes, de los distintos elementos de tubería;
- calcular las pérdidas de presión en los tramos secundarios debido a las propiedades geométricas y físicas, así como los correspondientes flujos volumétricos operativos, de los distintos elementos de tubería;
- calcular la pérdida de presión total de todo el sistema (desde el punto de aspiración hacia el ventilador de tiro por aspiración);

35 La red de tuberías puede componerse de piezas constructivas de las más diversas geometrías y dimensiones. Ventajosamente la red de tuberías se compone de elementos de tubo que comprenden elementos de tubo rectos, curvaturas, ampliaciones, reducciones y uniones (por ejemplo piezas en T). El valor de resistencia de un tramo de tubería se arroja mediante la adición de los valores de resistencia de los elementos de tubo, de los que se compone el tramo de tubería.

40 La invención se dirige igualmente a un dispositivo de control para una instalación de eliminación de polvo secundaria, en la que una red de tuberías une un ventilador de tiro por aspiración con al menos dos puntos de aspiración, en donde la red de tuberías para cada punto de aspiración comprende tapas de aire de salida controlables, cuya posición de tapa influye en el flujo volumétrico en el punto de aspiración. El dispositivo de control está caracterizado porque comprende los siguientes elementos:

- un elemento de memoria para facilitar una red de resistencia, que representa una descripción de sistema matemático. A este respecto los datos necesarios están caracterizados por funciones y valores físicos, así como mediante dimensiones geométricas. Cada elemento de tubo de la red de tuberías está caracterizado por sus propiedades físicas y geométricas;
- una unidad de cálculo, que puede leer el elemento de memoria, y está configurada para calcular pérdidas de presión en la red de tuberías debido a la disposición geométrica de la red de resistencia y de los flujos volumétricos requeridos en los distintos puntos de aspiración, en donde la unidad de cálculo por lo demás está configurada para calcular la posición de tapa para cada tapa de aire de salida y la pérdida de presión total del sistema, que permiten en caso de una pérdida de presión lo más reducida posible de todo el sistema garantizar los flujos volumétricos requeridos en los puntos de aspiración.
- una unidad de control, que como interfaz de entrada registra la presión negativa mediante sistema de sensores adecuado en el canal principal y aumenta la velocidad de giro del ventilador de tiro por aspiración hasta que la

presión registrada coincide con la presión calculada. La velocidad de giro del ventilador de tiro por aspiración se aumenta basándose en la pérdida de presión calculada de todo el sistema hasta que esta predomina en el sistema. Por lo demás las posiciones de tapa calculadas de las tapas de aire de salida se controlan basándose en las posiciones de tapa averiguadas mediante la unidad de control.

5 El dispositivo puede comprender por lo demás medios de lectura, que permiten leer las magnitudes físicas que describen la red de tuberías, en el elemento de memoria. La unidad de cálculo puede estar configurada adicionalmente para crear una red de resistencia mediante estas magnitudes que describe la red de tuberías, y depositar estas en el elemento de memoria.

10 La unidad de cálculo puede estar configurada preferiblemente adicionalmente para implementar las etapas de procedimiento de acuerdo con la invención.

Por lo demás la invención se dirige a un ordenador, que es adecuado para implementar el procedimiento de acuerdo con la invención.

15 La invención se dirige igualmente a un programa informático y un programa para control de memoria programable, que comprende comandos legibles por ordenador y lógicos que, cuando son ejecutados por un ordenador o un control de memoria programable llevan al ordenador o al control de memoria programable a llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la invención.

20 Por lo demás la invención se dirige a un producto de programa informático, que comprende un medio legible por ordenador en el que está almacenado este programa informático. Igualmente esta invención se dirige a productos para controles de memoria programable que permiten almacenar programas para controles de memoria programable.

25 El procedimiento de acuerdo con la invención permite hacer funcionar una instalación de eliminación de polvo secundaria con eficiencia energética. Dado que el procedimiento se basa en un modelo matemático del sistema de tuberías no requiere circuito de regulación alguno y por tanto es sencilla de implementar. El procedimiento puede calcular una instalación de eliminación de polvo mediante la introducción de los flujos volumétricos deseados por medio de un cálculo de la teoría de grafos implementado en un modelo matemático con la ayuda de reglas y leyes físicas de modo que los flujos volumétricos en los distintos puntos de aspiración pueden ajustarse óptimamente. Frente a los procedimientos de control conocidos, mediante el uso del procedimiento de acuerdo con la invención se determinan ahorros de energía de más de 25%. El ventilador de tiro por aspiración y las tapas de aire de salida no se someten a cargas innecesariamente, lo que reduce el desgaste. En el sistema no se genera ninguna presión negativa innecesariamente alta y los flujos volumétricos alcanzados se corresponden con los flujos volumétricos requeridos. Por lo demás el procedimiento es flexible en cuanto a ampliaciones del sistema de eliminación de polvo: Basta solo con adaptar el modelo matemático al sistema ampliado para calcular mediante el procedimiento los nuevos ajustes óptimos. De este modo se evitan nuevas puestas en funcionamiento con largos tiempos de parada.

### Breve descripción de las figuras

35 A continuación se describen brevemente las figuras de los ejemplos de realización. De la descripción detallada de los ejemplos de realización ha de extraerse detalles adicionales. Muestran:

la figura 1 un diagrama de flujo de procedimiento para el procedimiento de acuerdo con la invención;

la figura 2 una representación esquemática de un modo de realización preferido del dispositivo de acuerdo con la invención;

40 la figura 3 una representación esquemática de un elemento de tubo;

la figura 4 el coeficiente de resistencia averiguado del elemento de tubo de la figura 4, que depende del flujo volumétrico que atraviesa el elemento;

la figura 5 el coeficiente de resistencia averiguado de una tapa de aire de salida controlable, que depende de la posición de cierre de la tapa;

45 la figura 6a y 6b un nodo en una red de tuberías y la red de resistencia equivalente;

la figura 7a y 7b una malla en una red de tuberías y la red de resistencia equivalente;

la figura 8a un diagrama de una red de tuberías a modo de ejemplo de una instalación de eliminación de

polvo secundaria;

la figura 8b un diagrama una red de resistencia que caracteriza la red de tuberías de una instalación de eliminación de polvo secundaria.

### Descripción detallada de los ejemplos de realización

- 5 El nuevo concepto de control de acuerdo con la invención se basa en la idea de formar un modelo matemático de la instalación de eliminación de polvo secundaria y con ayuda de datos de la instalación facilitados llevar a cabo un cálculo que como resultado arroja las die posiciones de tapa y la pérdida de presión total del sistema. Sobre la base de estos cálculos las tapas de aire de salida del sistema se trasladan a la posición correspondiente y la velocidad de giro del ventilador de tiro por aspiración se aumenta a partir de una posición de reposo original hasta que la pérdida de presión provocada por ello de todo el sistema (medida en el canal principal) alcanza el nivel de toda la pérdida de presión calculada.

A este respecto en la primera etapa se reproduce una descripción de sistema matemático sobre la base de un planteamiento de la teoría de grafos y de los datos de instalación en un software de control. Esto corresponde a etapa 10 en la figura 1.

- 15 En la etapa siguiente un algoritmo calcula las pérdidas de presión en el sistema teniendo en cuenta las propiedades de sistema y requisitos de proceso (etapa 20), y basándose en esto la posición óptima de cada tapa y la pérdida de presión del sistema total (etapa 30). Sobre la base de estas informaciones facilitadas las tapas del sistema se colocan en la posición respectiva (etapa 40) y la velocidad de giro del ventilador de tiro por aspiración se aumenta hasta que la pérdida de presión calculada por el logaritmo se alcanza en el sistema (etapa 50).

- 20 Resulta un control, que permite ajustar en cada punto de aspiración el flujo volumétrico previamente definido y reducir la pérdida de presión total en el sistema a un mínimo.

Esto describe el principio básico de la invención. Las explicaciones adicionales describen modos de realización preferidos de la invención y permiten al experto en la materia la implementación del procedimiento.

- 25 Tal como se muestra en la figura 2, la invención comprende igualmente un dispositivo 100, que sirve para implementar el procedimiento. El dispositivo comprende un elemento de memoria 110, un dispositivo de ordenador 120 así como un elemento de control 130. En el elemento de memoria se deposita un modelo matemático 300 de la red de tuberías de una instalación de eliminación de polvo secundaria. Mediante estos datos un dispositivo de ordenador 120 calcula las magnitudes de control en armonía con el procedimiento de acuerdo con la invención. Las posiciones de tapa resultantes de esto se transmiten a través del elemento de control 130 a la instalación de eliminación de polvo secundaria 400. La velocidad de giro del ventilador de tiro por aspiración de la instalación de eliminación de polvo 400, se aumenta hasta que la pérdida de presión de todo el sistema registrada mediante un sensor adecuado coincide con la pérdida de presión calcula del dispositivo de ordenador 120. El elemento de control 130 aumenta o baja la velocidad de giro para el nivel de proceso respectivo.

- 35 En un modo de realización preferido el modelo matemático es una reproducción de la teoría de los grafos de una instalación de eliminación de polvo secundaria, que mediante puede describir y calcular las magnitudes y funciones físicas depositadas, así como dimensiones geométricas de los distintos elementos de tubería. El modelo resultante puede describirse como red de resistencia.

### Principios del diseño matemático del sistema

- 40 Para poder convertir redes de tuberías a un modelo matemático es importante identificar y calcular magnitudes físicas importantes.

Cabe indicar que en esta descripción se aceptan tres simplificaciones para un cálculo eficiente. Estas simplificaciones permiten al lector comprender el modo de funcionamiento del procedimiento sin limitar sin embargo este último de ninguna manera.

- 45
- Se parte de que en cada punto de aspiración predomina la composición de gas para aire seco (78,08% de N<sub>2</sub>; 20,95% de O<sub>2</sub>; 0,93% de Ar; 0,04% de CO<sub>2</sub>). A este respecto se adopta una constante de gas específica de R<sub>S</sub>= 287,058 J/(kgK).
  - La presión absoluta se adopta como constante (p<sub>abs</sub>=101325 Pa) para el cálculo de la densidad en distintos puntos en la red.
  - La red de tuberías no experimenta pérdida de temperatura alguna, es decir, se parte de un comportamiento de sistema adiabático.
- 50

Comportamiento de la magnitud física en el sistema

- determinación de la densidad del gas que va a aspirarse

La densidad del gas que va a aspirarse juega un papel importante en el cálculo de redes de tuberías, dado que flujos volumétricos con densidad creciente o decreciente varían igualmente. La densidad del gas que va a aspirarse puede calcularse según la siguiente ecuación 2.

$$\rho = \frac{p_{Abs}}{R_s T_{Abs}} \quad (2)$$

Tal como puede verse de la ecuación la presión ambiente absoluta  $p_{Abs}$ , la temperatura ambiente  $T_{Abs}$  y la constante de gas específica  $R_s$  influyen en la densidad del gas. La constante de gas específica, así como la presión absoluta pueden considerarse en el procedimiento mencionado como magnitud constante.

- pérdida de presión mediante resistencias de flujo

Si un cuerpo físico es recorrido por un medio entonces este representa una resistencia que lleva a una pérdida de presión. Para el control de las posiciones de tapa se registran las pérdidas de presión de los distintos tramos de tubería y se incluyen en la descripción de sistema matemático. Para un cálculo unitario la pérdida de presión de los distintos componentes de un sistema de eliminación de polvos con ayuda del coeficiente de resistencia Zeta (signo de fórmula:  $\zeta$ ) se efectúa como factor sin unidades. Este factor es una medida para la cantidad de pérdida de presión que provoca un componente, cuando es atravesado por un fluido. La ecuación 3 siguiente muestra la dependencia de la pérdida de presión del coeficiente de resistencia, de la densidad de gas y la velocidad de circulación del medio.

$$\Delta p = \frac{1}{2} \zeta \rho v^2 \quad (3)$$

En la siguiente descripción se describe cómo se determinan los valores Zeta de distintos componentes.

- convertir el flujo volumétrico en condiciones normalizadas en flujo volumétrico de funcionamiento

Al indicar flujos volumétricos necesarios en instalaciones de eliminación de polvo es habitual indicar los denominados flujos volumétricos en condiciones normalizadas. Estos se refieren a un valor comparativo teórico e idealizado. Habitualmente se emplean valores siguientes estandarizados para flujos volumétricos en condiciones normalizadas [6].

- temperatura normal = 273.15 K
- presión normal = 101325 Pa

Dado que las instalaciones de eliminación de polvo secundarias por lo general no se hacen funcionar en este punto, debe calcularse el flujo volumétrico de funcionamiento real para una temperatura de desviación. Con la simplificación aceptada de que en cada punto predomina la presión ambiente constante, a partir del flujo volumétrico en condiciones normalizadas  $\dot{V}_N$  y la relación de la temperatura de funcionamiento  $T_B$  y de la temperatura normal  $T_N$  puede calcularse el flujo volumétrico de funcionamiento  $\dot{V}_B$  (ecuación 4).

$$\dot{V}_B = \dot{V}_N \frac{T_B}{T_N} \quad (4)$$

- Variación de temperatura mediante mezcla de flujos volumétricos

Si en una instalación de eliminación de polvo secundaria aparece contaminación de flujo volumétrico, con varios flujos volumétricos de temperaturas diferentes entonces ha de determinarse la temperatura de mezcla nueva para cálculos adicionales. Con la simplificación descrita de que en cada punto de aspiración predomina la misma composición de gas, resulta la ecuación 5 que determina a través de un cálculo de relación sencillo determina la temperatura de mezcla.

Para ello los flujos volumétricos individuales se ponderan en condiciones normalizadas con la temperatura respectiva y se dividen mediante la suma de todos los flujos volumétricos en condiciones normalizadas.

$$T_{\text{nuevo}} = \frac{\dot{V}_{N1} T_1 + \dots + \dot{V}_{Nn} T_n}{\dot{V}_{N1} + \dots + \dot{V}_{Nn}} \quad (5)$$

#### Determinación de los coeficientes de resistencia necesarios

5 En esta parte se tratará el cálculo de coeficientes de resistencia de distintos elementos de tubería. El coeficiente de resistencia en el cálculo de redes de tuberías asume un papel importante dado que es una medida directa para pérdida de presión causante de un elemento de tubería y también influyen en el dimensionamiento de elementos de tubería.

La ecuación siguiente 6 muestra la definición del coeficiente de resistencia.

$$\zeta = \frac{2 \Delta p}{\rho v^2} \quad (6)$$

10 Para mantener la determinación de coeficiente de resistencia válido para la práctica se recomienda determinar empíricamente este valor dado que un cálculo de este valor sería muy complejo mediante la influencia de muchas magnitudes físicas. Como se desprende de la ecuación 6 para una averiguación empírica del coeficiente de resistencia debe medirse la pérdida de presión y la velocidad de circulación. La densidad del medio puede calcularse mediante ecuación 2.

#### - Averiguación práctica de los coeficientes de resistencia de secciones

15 Para segmentos de elementos de tubería que no experimentan contaminación de flujo volumétrico directa alguna o separación de flujo volumétrico el coeficiente de resistencia puede tomarse como parámetro constante. Para mantener lo más reducido posible el gasto de medición y de cálculo se juntan secciones lo más largas con diferentes elementos de tubería para formar un coeficiente de resistencia. Un tramo parcial, puede componerse, por ejemplo, de varios elementos de tubería, como elementos de tubo rectos, curvaturas, ampliaciones y piezas en T.

20 Mediante la medición de las presiones absolutas en la entrada  $p_1$  y en la salida  $p_2$  del tramo parcial atravesado por flujo con ayuda de la ecuación 7 puede averiguarse la caída de la presión en el tramo parcial.

$$\Delta p = p_1 - p_2 \quad (7)$$

25 Por medio de un tubo de presión de retención puede medirse además la velocidad de circulación en un tramo parcial. Si la caída de la presión medida, así como la velocidad de circulación averiguada se utiliza en la ecuación 6 de este modo como resultado se arroja el coeficiente de resistencia de la sección.

#### - Averiguación práctica de los coeficientes de resistencia de piezas en T

Las piezas en T poseen coeficientes de resistencia que varían dinámica. En caso de una contaminación de flujo volumétrico o separación de flujo volumétrico a este respecto se forma una relación no lineal con la pérdida de presión provocada. La figura 3 muestra una contaminación de flujo volumétrico en una pieza en T.

30 En la bibliografía especializada para la técnica de fluidos es habitual relacionar el coeficiente de resistencia de una pieza en T con la velocidad de circulación total de las corrientes parciales unificadas. Este modo de proceder no es apropiado para el concepto de control presentado en este trabajo dado que para un cálculo de las posiciones de tapa los coeficientes de resistencia deben asociarse a los tramos parciales respectivos. Se recomienda averiguar igualmente de manera empírica la función del coeficiente de resistencia dado que las funciones disponibles en la bibliografía están sometidas a limitaciones demasiado grandes. Debido a estas limitaciones los coeficientes de resistencia averiguados de este modo se desvían en gran medida de los valores reales.

En la averiguación empírica se forma la relación del flujo volumétrico parcial y el flujo volumétrico total. Para este estado se lleva a cabo una medición de la pérdida de presión según la ecuación 7 y se mide la velocidad de circulación en el tramo parcial.

40 Si esta medición se lleva a cabo para distintas relaciones de flujo volumétrico, y para cada relación con la ecuación 6 se calcula el coeficiente de resistencia, a modo de ejemplo se arroja el resultado de la figura 4. Esta ilustración muestra el coeficiente de resistencia de la parte recta de la pieza en T, que está registrada a través de la relación de flujo volumétrico.



Para un control automatizado esta curva característica debe convertirse en una función, de modo que para cada relación de flujo volumétrico se obtenga una afirmación sobre la magnitud del coeficiente de resistencia. Para ello la curva característica se aproxima mediante una función. Esta conversión se lleva a cabo mediante algoritmos conocidos per se y no requiere descripción adicional alguna en este contexto. Para el ejemplo en la figura 4 se arroja la siguiente ecuación 8.

$$f(x) = 0,2764x^{-2,74} \quad (8)$$

El comportamiento específico de un elemento de tubo depende naturalmente de las piezas constructivas utilizadas y puede averiguarse por medio de las etapas descritas para cualquier pieza constructiva de tubo y en particular para cualquier elemento de unión.

#### - Averiguación práctica de los coeficientes de resistencia de tapas de aire de salida

El coeficiente de resistencia de tapas de aire de salida depende en primera línea de la posición de cierre de las tapas. Por tanto es conveniente llevar a cabo una medición del coeficiente de penetración aerodinámica dependiendo de la posición de cierre. La averiguación de resistencia empírica es necesaria dado que los coeficientes de resistencia en la bibliografía y en diversos programas de simulación se desvían en gran medida unos de otros. Para la averiguación de estos valores se toma igualmente una curva característica según el mismo método que se ha descrito para la pieza en T.

Para averiguar el coeficiente de resistencia de una tapa la tapa se desplaza sucesivamente en distintas posiciones de cierre. Para cada posición de cierre se miden la pérdida de presión provocada, así como la velocidad de circulación. Con la ecuación 6 puede calcularse entonces el coeficiente de resistencia. La figura 5 siguiente muestra una curva característica registrada a modo de ejemplo de una tapa de aire de salida de una lámina.

Si la curva característica del ejemplo de la figura 5 se aproxima como función así arroja la ecuación 9

$$f(x) = 0,1061 e^{0,0776x} \quad (9)$$

Dado que el algoritmo de control de acuerdo con la invención requiere la función de la posición de cierre dependiendo del coeficiente de resistencias de la ecuación 9 se forma la función inversa (ecuación 10).

$$f(x) = 12,8866 (\ln(x) + 2,24337) \quad (10)$$

Esta función es adecuada para depositarse en el algoritmo de control. Mediante esta puede averiguarse la posición de cierre de la tapa para un coeficiente de resistencia necesario.

#### Transformación de una red de tuberías en un modelo de sistema matemático

##### - Derivación de la ley de resistencia al cuadrado

Por analogía con la electrotécnica es posible convertir redes de tuberías en redes de resistencia. Para esta representación es necesario transformar los distintos elementos de una red de tuberías en resistencias. Esto sucede según la ecuación de pérdida de presión para flujos turbulentos según Darcy (ecuación 11). Esta describe la pérdida de presión en segmentos de tubo rectos. A este respecto  $\lambda$  representa el coeficiente de fricción y  $d$  el diámetro del elemento de tubería.

$$\Delta p = \frac{\lambda l \rho}{2 d A^2} \dot{V}^2 \quad (11)$$

Si el cálculo de pérdida de presión se lleva a cabo mediante el coeficiente de resistencias entonces la ecuación 11 puede convertirse en la ecuación 12.

$$\Delta p = \frac{\zeta \rho}{2 A^2} \dot{V}^2$$

$$\text{con } \zeta = \lambda \frac{l}{d}$$
(12)

A partir de esta ecuación puede derivarse la ley de resistencia al cuadrado (ecuación 13) según la cual la pérdida de presión  $\Delta p$  es igual al producto de la resistencia  $R$  y al cuadrado del flujo volumétrico  $\dot{V}$ .

$$\Delta p = R \dot{V}^2$$

$$\text{con } R = \frac{\zeta \rho}{2 A^2}$$
(13)

- 5 Mediante la ayuda de la ecuación 13 es posible transformar los distintos elementos de tubería en un valor de resistencia.

- reglas de nodos y mallas en sistemas de tuberías

De modo análogo a las reglas de Kirchhoffsch de la electrotécnica en una red de tuberías se cumplen reglas similares. Estas reglas se utilizan en el algoritmo de control para calcular la red.

- 10 - regla de nodos en sistemas de tuberías

Si en una red de tuberías aparece un punto nodal como en la figura 6a entonces allí se reúnen o se separan flujos volumétricos. La red de resistencia correspondiente se muestra en la figura 6b.

- 15 La regla de nodos dice que la adición de todos los flujos de entrada y de salida en un nodo arroja el valor cero. En este sentido se registran en positivo flujos volumétricos, que entran en el nodo. Flujos volumétricos salientes se registran en negativo. Matemáticamente la siguiente fórmula de suma ecuación 14) expresan esta relación, en donde  $k$  representa el número de los tramos parciales adyacentes.

$$\sum_{n=1}^k \dot{V}_n = 0$$
(14)

Con ayuda de esta regla de nodos en entradas de flujo volumétrico conocidas es posible calcular la magnitud del flujo volumétricos de cada tramo parcial.

- 20 - regla de mallas en sistemas de tuberías

La regla de mallas para sistemas de tuberías dice que la suma de todas las pérdidas de presión de una malla arroja el valor cero. La figura 7a muestra una malla de este tipo. La figura 7b muestra la red de resistencia correspondiente. Como puede verse en la figura 7b se determina para ello una malla en la red y se recorre en el sentido horario. Las pérdidas de presión en el sentido de las agujas del reloj se cuentan en positivo a este respecto, las pérdidas de presión en contra de las agujas del reloj se cuentan en negativo.

- 25 En una fórmula esta relación se expresa con la ecuación 15. En este sentido  $I$  indica en ramas el número que corresponde a una malla.

$$\sum_{n=1}^I \Delta p_n = 0$$
(15)

- 30 Con ayuda de la regla de mallas es posible, se calculan presiones no conocidas hasta ahora en un sistema de tuberías.

- División de los tramos parciales en corrientes

Si se observa un tramo parcial de una instalación de eliminación de polvo secundaria puede distinguirse que este se compone de un gran número de distintos elementos de tubería como por ejemplo curvaturas, ampliaciones o reducciones.

Cada tramo parcial se divide en distintas resistencias parciales en donde se lleva a cabo la siguiente diferencia.

- 5
  - resistencias dinámicas de tapas de aire de salida, en este caso el coeficiente de resistencia es una función de la posición de cierre (%);
  - resistencias dinámicas de piezas en T, en este caso el coeficiente de resistencia es una función de los flujos volumétricos;
  - resistencias constantes de otros elementos de tubería.
- 10 Sobre la base de estas reglas está claro que una red de tuberías puede convertirse en un modelo de sistema matemático, por ejemplo una red de resistencia, que describe la red de tuberías. En el concepto de control según la invención las pérdidas de presión de los distintos tramos parciales se calculan aplicando la ley de resistencia al cuadrado y las reglas de mallas y nodos. Las reglas descritas permiten la descripción de redes de tuberías, que une un ventilador de tiro por aspiración con un gran número de puntos de aspiración, en donde un tramo principal unido
- 15 con el ventilador de tiro por aspiración puede ramificarse varias veces como un árbol, y en donde en el extremo de cada rama está unido un punto de aspiración. Mediante aplicación iterativa de los nodos y reglas de mallas se calculan las relaciones de presión en la estructura de árbol total.

### Ejemplo de cálculo

El cálculo mostrado se explica en una red de tuberías ficticia con cuatro puntos de aspiración 1 - 4 y un ventilador de tiro por aspiración 6. A modo de ejemplo sobre una parte de unión, está reproducida por ejemplo una pieza en T 5. Este cálculo es el que se ejecuta preferiblemente por una unidad de cálculo de un ordenador o un sistema de control. La figura 8a muestra una representación esquemática de una red de eliminación de polvo secundaria. Sobre la base de un planteamiento de la teoría de grafos una red de este tipo puede convertirse en una relación de bordes y nodos (figura 8b). Mediante ponderación de los bordes K1-K7 mediante las magnitudes de sistema físicas y funciones, así como mediante dimensiones geométricas conocidas de las piezas constructivas individuales se crea la base para una descripción de sistema matemático. Tales magnitudes de sistema pueden ser por ejemplo las propiedades enumeradas a continuación:

- 20
  - dimensiones geométricas de los elementos de tubería;
  - coeficientes de resistencia fijos de los elementos de tubería;
- 30
  - funciones de coeficiente de resistencia dinámicos de los elementos de tubería;
  - coeficiente de transmisión de calor de los elementos de tubería;
  - aumento de presión o disminución de la presión mediante fuga, soplador de refuerzo o similar.

Si estas informaciones están depositadas en la unidad de almacenamiento del ordenador o unidad de control correspondiente y se presenta una descripción completa de la relación de nodos y bordes, así como su afinidad (por ejemplo en forma de una matriz de adyacencia), de este modo la unidad de cálculo con ayuda de un algoritmo y de la indicación de los flujos volumétricos en condiciones normalizadas necesarios y temperaturas en los puntos de aspiración, puede empezarse a determinar los siguientes valores para los nodos N1-N8 en el sistema:

- 35
  - temperatura en los elementos de tubería;
  - densidad en los elementos de tubería;
- 40
  - flujos volumétricos operativos.

A este respecto el cálculo se realiza según fórmulas físicas conocidas o adaptadas para este caso (por ejemplo regla de mezcla de Riechmann). Como resultado del cálculo se arroja el flujo volumétrico de funcionamiento, la densidad del medio que va a aspirarse y la temperatura del medio en cada punto nodal.

Para hacer funcionar una instalación de eliminación de polvo secundaria de este tipo con eficiencia energética el punto de aspiración que ocasiona la pérdida de presión más alta debe conocerse. Este se averigua con ayuda de las informaciones desde los bordes y nodos ponderados. A este respecto se comprueba qué recorrido desde el ventilador de tiro por aspiración a un punto de aspiración provoca la pérdida de presión más alta (con la tapa completamente abierta). Para ello según la ley de resistencia al cuadrado se averigua para flujos turbulentos los valores de resistencia de las distintas tuberías. Estos valores de resistencia se multiplican con el cuadrado de los flujos volumétricos de los tramos de tubería respectivos. Como resultado se arroja la pérdida de presión del tramo de tubería respectivo. Al poder añadirse pérdidas de presión consecutivas (validez de regla de mallas y de nodos en redes de tuberías) de este modo puede determinarse la pérdida de presión más alta. La tapa de aire de salida se abre desde este tramo al 100%, todas las otras tapas se adaptan en su posición abierta de modo que la regla de mallas para los flujos volumétricos requeridos en condiciones normalizadas presenta también validez.

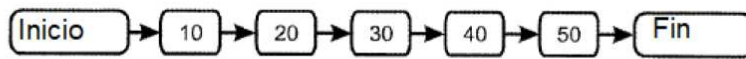
Los ejemplos de realización que se han expuesto anteriormente sirven sobre todo para la mejor comprensión y deberían entenderse como no limitativos. El alcance de protección de la solicitud de patente presente resulta de las reivindicaciones de patente.

- 5 Las características de los ejemplos de realización descritos pueden combinarse entre sí o intercambiarse unas por otras. Además el experto en la materia puede adaptar las características descritas a las circunstancias existentes o requisitos presentes.

## REIVINDICACIONES

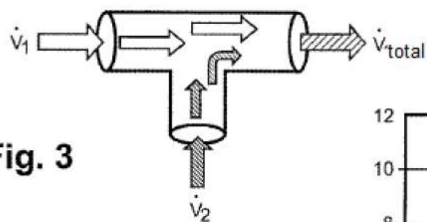
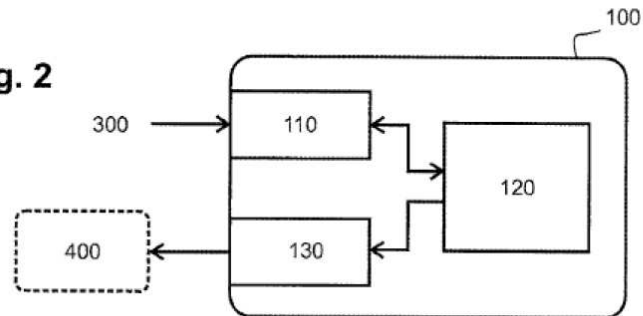
1. Procedimiento de control para una instalación de eliminación de polvo (400) secundaria, en la que una red de tuberías une un ventilador de tiro por aspiración con al menos dos puntos de aspiración, en el que la red de tuberías para cada punto de aspiración comprende una tapa de aire de salida controlable, cuya posición de tapa influye en el flujo volumétrico en el punto de aspiración, y en el que el procedimiento de control comprende las siguientes etapas:
  - facilitar un modelo de sistema matemático (300) que describe la red de tuberías, en donde cada elemento de tubo está caracterizado por sus propiedades físicas y geométricas (10);
  - calcular las pérdidas de presión en la red de tuberías basándose en el modelo de sistema matemático determinado totalmente y en los flujos volumétricos requeridos (20) en los puntos de aspiración;
  - calcular la posición de tapa para cada tapa de aire de salida y la pérdida de presión de todo el sistema, que permiten con capacidad de transporte lo más reducida posible alcanzar los flujos volumétricos operativos requeridos (30);
  - controlar las tapas de aire de salida de modo que se garantizan las posiciones de tapa calculadas (40);
  - controlar el ventilador de tiro por aspiración de modo que su velocidad de giro se aumenta hasta que se alcanza la pérdida de presión calculada de todo el sistema, y por consiguiente se garantizan los flujos volumétricos en los puntos de aspiración (50).
2. Procedimiento de control según la reivindicación 1, en donde los parámetros físicos necesarios en la red de tuberías se calculan mediante las siguientes magnitudes:
  - coeficientes de resistencia, que caracterizan los elementos de tubo atravesados por el flujo;
  - coeficiente de transmisión de calor de los elementos de tubo atravesados por el flujo;
  - propiedades geométricas de los elementos de tubo atravesados por el flujo;
  - flujos volumétricos que atraviesan los elementos de tubo.
3. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones 1 a 2, en donde las etapas de cálculo (20, 30) comprenden las siguientes etapas adicionales:
  - calcular la pérdida de presión para cada tramo de tubería de la red de tuberías, en donde un tramo de tubería o varios tramos de tubería une el ventilador de tiro por aspiración con el punto de aspiración;
  - averiguar el tramo de tubería con la pérdida de presión más alta calculada con la tapa completamente abierta;
  - fijar la posición de tapa de la tapa de aire de salida correspondiente como 100% abierta.
4. Procedimiento de control según la reivindicación 3, en donde las posiciones de tapa restantes se fijan de modo que la validez de las reglas de mallas y nodos se ha cumplido con referencia a los flujos volumétricos requeridos.
5. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la red de tuberías comprende un tramo principal, que está conectado con el ventilador de tiro por aspiración, y que se bifurca en al menos dos tramos secundarios, que están unidos en cada caso con al menos un punto de aspiración.
6. Procedimiento de control según la reivindicación 5, en donde las etapas de cálculo (20, 30) comprenden las siguientes etapas adicionales:
  - calcular la pérdida de presión en los tramos principales y secundarios en función de las propiedades físicas y geométricas y flujos volumétricos dados;
  - calcular la pérdida de presión de todo el sistema mediante la regla de mallas.
7. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones 3 a 6, en donde el valor de resistencia de un tramo de tubería se arroja mediante adición de los valores de resistencia de los elementos de tubo de los que se compone el tramo de tubería.
8. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones 1 a 7, en donde la red de tuberías se compone de distintos elementos de tubo que comprenden elementos de tubo rectos, curvaturas, ampliaciones, reducciones y uniones.
9. Dispositivo de control (100) para una instalación de eliminación de polvo (400) secundaria, en la que una red de tuberías une un ventilador de tiro por aspiración con al menos dos puntos de aspiración, en donde la red de tuberías para cada punto de aspiración comprende una tapa de aire de salida controlable, cuya posición de tapa influye en el flujo volumétrico en el punto de aspiración, y en donde el dispositivo de control comprende los siguientes elementos:
  - un elemento de memoria (110) para facilitar una descripción de sistema matemático (300), que describe la red de tuberías, en donde cada elemento de tubo de la red de tuberías está caracterizado por sus propiedades

- físicas y geométricas;
- una unidad de cálculo (120), que puede leer el elemento de memoria, y está configurada para calcular pérdidas de presión en la red de tuberías en función de las propiedades físicas y geométricas de los elementos de tubería, así como de los flujos volumétricos requeridos en los puntos de aspiración, en donde la unidad de cálculo por lo demás está configurada para calcular la posición de tapa para cada tapa de aire de salida y la pérdida de presión de todo el sistema, que permiten, en caso de una pérdida de presión lo más reducida posible de todo el sistema garantizar los flujos volumétricos requeridos en los puntos de aspiración.
  - una unidad (130) de control, que controla la posición de tapa de las tapas de aire de salida y la velocidad de giro del ventilador de tiro por aspiración basándose en la pérdida de presión averiguada de todo el sistema.
- 5
- 10 10. Dispositivo de control según la reivindicación 9, en donde el dispositivo comprende adicionalmente medios de lectura, que permiten leer las magnitudes físicas y geométricas que describen la red de tuberías, en el elemento de memoria (110), y en donde la unidad de cálculo (120) está configurada adicionalmente para crear una descripción de sistema matemático (300) mediante estas magnitudes que describe la red de tuberías, y depositar estas en el elemento de memoria.
- 15 11. Dispositivo de control según una de las reivindicaciones 9 o 10, en donde la unidad de cálculo está configurada adicionalmente para realizar las etapas según una de las reivindicaciones 2 a 8.
12. Programa informático, que comprende comandos legibles por ordenador que, cuando son ejecutados por un ordenador, llevan al ordenador a realizar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8.
- 20 13. Producto de programa informático, que comprende un medio legible por ordenador en el que está almacenado el programa informático según la reivindicación 12.



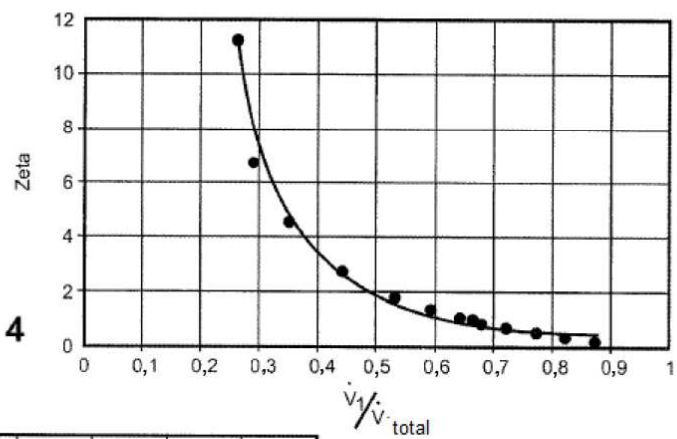
**Fig. 1**

**Fig. 2**



**Fig. 3**

**Fig. 4**



**Fig. 5**

