



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11) Número de publicación: **2 160 468**

21) Número de solicitud: 009900036

51) Int. Cl.⁷: G01N 22/04
G01N 11/06

12)

PATENTE DE INVENCION

B1

22) Fecha de presentación: **23.12.1998**

43) Fecha de publicación de la solicitud: **01.11.2001**

Fecha de concesión: **27.02.2003**

45) Fecha de anuncio de la concesión: **01.04.2003**

45) Fecha de publicación del folleto de patente: **01.04.2003**

73) Titular/es: **Universidad de Valladolid
Plaza de Santa Cruz, 8
Valladolid, ES**

72) Inventor/es: **Alonso Alonso, Alonso;
López Coronado, Juan y
López Coronado, Miguel**

74) Agente: **No consta**

54) Título: **Sistema para la medida y control de la humedad de sustancias fluidas dieléctricas en tiempo real.**

57) Resumen:

Sistema para la medida y control de humedad de sustancias fluidas dieléctricas en tiempo real. El sistema propuesto utiliza la energía de microondas absorbida por un material dieléctrico al ser atravesado por una radiación de este tipo, para estimar su contenido en agua. La medida se realiza en tiempo real, sin interferir en el proceso industrial en el cual está implicado el producto a medir. El elemento de medida se coloca bajo una caída del producto al final de una cinta transportadora u otro elemento de transporte cualquiera de la cadena de producción (figura 1). El sistema está dotado de una salida estándar de señal en bucle de corriente, (4) que permite transmitir sin degradación la señal analógica hasta un autómata de control (5), y de ahí hacia el punto donde la lectura de humedad sea procesada (6). El sistema está constituido por un conjunto emisor-receptor de microondas de baja potencia en banda X (2) y (3), acoplado a ambos lados de una cavidad rectangular (1) a través de la cual circula el producto a una velocidad controlada. También comprende una unidad externa situada cerca del sensor, que contiene el módulo de alimentación (7) y el conversor tensión a corriente para transmitir la señal registrada.

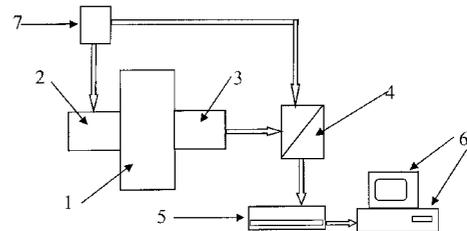


FIGURA 1

ES 2 160 468 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCION

Sistema para la medida y control de la humedad de sustancias fluidas dieléctricas en tiempo real.

Objeto de la invención

La invención consiste en un sistema para medir en tiempo real el grado de humedad de productos que se comportan como fluidos en su manejo industrial, dentro de una cadena de producción. Ejemplos de estos productos pueden ser el café en grano o triturado, cereales, arena, aceite-alpechín, harinas, polvos detergentes, etc.

La medida no interfiere en el proceso industrial ya que no desvía ni detiene el curso del producto, que es analizado de forma continua según este fluye a través de la cavidad, y vuelve a unirse al flujo principal al salir de esta.

Las medidas de humedad son muy útiles en muchos procesos donde el contenido en agua del producto debe establecerse con cierta precisión.

Antecedentes de la invención

El contenido en humedad de un material puede definirse como la proporción en peso del agua contenida en el producto con respecto al peso del producto totalmente seco.

Existen en la industria dos categorías de medidas:

- a) las que se realizan en tiempo real,
- b) las que se realizan analizando tomas de muestras en un laboratorio.

Las medidas del tipo b) suelen ser muy precisas, pero tienen algunos inconvenientes:

■ Es preciso esperar un tiempo para conocer la medida, con lo cual la cadena de producción no puede corregir en el acto el agua añadida al producto en la mezcla actual.

■ El proceso de tomas de muestras y su transporte hasta el laboratorio pueden modificar el estado del producto a analizar, degradando así la calidad de la medida (manipulación inadecuada, condensación en las paredes de los recipientes de recogida, cambios químicos en el producto con el tiempo...).

■ Es preciso el empleo de uno o varios operarios para realizar una función continua y repetitiva.

Las medidas de tipo a) son muy adecuadas en muchos procesos industriales y aunque, en general, resultan menos precisas, permiten la corrección en tiempo real de los parámetros del proceso para ajustar continuamente la humedad del producto. La invención aquí presentada es de tipo a).

En diversos países se está trabajando en el diseño de sensores, basados en diversos principios, que puedan medir la humedad en tiempo real. En la *Memoria del proyecto SIAMA: "Selección Inteligente de Arenas para Moldeo Automático"* se hace constar el fracaso de todos los sensores que habían sido probados para una aplicación en arenas de fundición, la misma aplicación donde se ha probado nuestro sensor durante más de un año. En este documento se justifica el interés de un sensor que cumpliera los requerimientos específicos necesarios para la medida de humedad en tiempo real de las arenas. Los detalles técnicos sobre los sensores comerciales ensayados se reco-

gen en las correspondientes hojas de aplicación citadas en la bibliografía.

A continuación describiremos brevemente sensores de humedad existentes en el mercado o que se aplican experimentalmente en laboratorios. Realizaremos la exposición clasificando los sistemas según su principio de funcionamiento. Se tratarán con más detalle los sensores que, como en el caso de nuestra invención, están basados en el uso de las microondas.

Sensores basados en la absorción de luz infrarroja: este tipo de sensores (*Rotoport Water Dosing Instruments 78. Documento comercial de aplicación. Karl Trischberger KG. Wilhelm Schüll-Str -2, Postf. 4149, D-5160 Düren-Birkedorf. Western Germany. Telex 833743 trika d.*) y (*Feuchte ist unser element. FL-H2O. Franz Ludwig news. Documento comercial. Franz Ludwig Company for Measurement and Control Engineering LTD. Budenheimer Strabe 1, D - 55124. Mainz-Gonsenheim. Germany. Fax: 6131-46009*), son muy poco penetrantes en un gran número de productos. En estos casos trabajan por reflexión de la radiación sobre la muestra, por lo que el análisis del sensor se limita a la detección de la humedad en una capa muy superficial del producto. En condiciones reales de operación la evaporación hacia el ambiente del agua contenida en la muestra puede ser significativa, secándose rápidamente la capa que está siendo analizada y permaneciendo el producto más húmedo en el interior. Dicha desecación es función del ambiente (normalmente no controlado) y de las condiciones del producto. Las medidas obtenidas quedan pues distorsionadas y son muy difíciles de corregir.

Pueden encontrarse sensores que emplean microondas para estimar la humedad de un producto. Citaremos aquí muy brevemente los distintos tipos con sus principios de funcionamiento y limitaciones:

- Sensores basados en la medida de reflexión de una sonda sumergida en el producto a medir (*Industrial Applications of Near Infrared Reflectance for the Measurement of Moisture.- I.B. Benson, Measurement + Control, Vol 22, March 1989.*), (*MM55 Moisture Sensor. Documento comercial. Infrared Engineering Ltd. The Causeway, Maldon, Essex, CM9 7XD. England. Fax: 0621 856180.*), (*Neurtek Concretemaster II: el único medidor de humedad de doble ensayo. Documento comercial. Neurtek SA, Txaltza-Zelai 1-3. Apartado 399. 20600 Eibar (España). Fax: 943 700212.ref.*) Si la humedad a medir es baja, la longitud de propagación de la señal de microondas a través del medio dieléctrico puede, en ocasiones, resultar tan grande que se vea afectada por el entorno que rodea al producto. Los objetos metálicos próximos, la cinta transportadora, los elementos móviles de la instalación etc. pueden influir en la medida. La colocación de estas sondas dentro de volúmenes pequeños de producto puede resultar poco fiable, y este puede ser el caso de las materias que se mueven a través de cintas transportadoras.

- *Sensores de microondas que emplean medidas por absorción al atravesar un producto laminar*, (concretamente especializado para determi-

nar la humedad en papel), (*Moisture Measurement by Microwave Technology. Rolf Laffan. Hydronix Limited. Documento comercial de aplicación. Hydronix Ltd, 70 smithbrook Kilns, Cranleigh, Surrey GU6 8JJ. Fax: 0483 276219*), pero el espesor de producto atravesado es fijo y muy pequeño. Además, en la citada aplicación el producto no se encuentra convenientemente confinado y controlado, de modo que no es adecuado para medir cualquier otro tipo de productos que no se presente en forma de lámina de espesor fijo.

- *El método de la guíaonda cortocircuitada:* a partir de la posición de los picos y los valles y del desplazamiento de fase de una onda estacionaria confinada en un fragmento cortocircuitado de guía y relleno con la muestra dieléctrica a medir, se determina la constante dieléctrica de ésta, según las relaciones analíticas apropiadas de la teoría de microondas (*The moisture Monitor. Documento comercial de aplicación. Strandberg Engineering Laboratories, Inc. 1302 N.O. Henry Blvd. (U.S. 29 North). Greensboro, North Carolina, U.S.A. Fax: 910-272-4521*). Es un procedimiento de laboratorio que emplea un procedimiento manual (no es en tiempo real). No se empleaba para medir la humedad pero es obvio que podría estimarla tras una adecuada calibración.

- *El método de la cavidad resonante (Microwave Diagnosis of Rubber Compounds. Ganchev Battacharyya Bakhtiari, Qaddoumi, Brandenburg, Zoughi. IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques. Vol 42, nº 1. January 1994)* Calcula la permisividad compleja de una muestra de dieléctrico que rellena una cavidad resonante con condiciones y geometría conocidas, a partir de las frecuencias de resonancia medidas en la cavidad. Es también un sistema de laboratorio, que convenientemente adaptado podría proporcionar lecturas de humedad; sin embargo, también precisa de un operario que realice la medida.

- *Método del puente de microondas (Microwave Dielectric Behavior of Wet Soil-Partes 1 y 2. Empirical Models and Experimental Observations. Hallikainen, Ulaby, Dobson, El-Rayes, Wu. IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing. Vol GE. 23, nº 1, January 1985)* la radiación de microondas generada en un oscilador se transmite en paralelo por dos guías de onda. La primera guía estará rellena con la muestra dieléctrica cuya permisividad se desea determinar; la segunda contendrá un dieléctrico de permisividad conocida que actúa como referencia. La diferencia de fase a la salida de ambos brazos sirve para determinar, mediante expresiones analíticas, la permitividad compleja buscada. De nuevo el procedimiento es inadecuado para medidas en tiempo real, su uso está limitado al laboratorio.

- *Método de transmisión, (Microwave Absorption by Conductor -Loaded Dielectrics. Neelakanta, Park. IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques. Vol 43, nº 6. June 1995):* Determina la constante dieléctrica compleja o el coeficiente de transmisión de una muestra empleando la lectura de absorción de la energía de microondas al atravesarla. El principio físico de la medida, esto es, la absorción por transmisión, es el

mismo que el empleado por nuestra invención; no obstante el sensor que se cita aquí presenta las mismas carencias que los expuestos anteriormente en cuanto a que son métodos no automatizados; desarrollos de laboratorio para investigación. De hecho, el estudio *Microwave Absorption by Conductor-Loaded Dielectrics. Neelakanta, Park. IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques. Vol 43, nº 6. June 1995*, se destinaba al análisis de las propiedades del suelo y la intención final de su aplicación era el de la sensorización remota.

- *Método Radiométrico, (Instrumentation Systems: Fundamentals and Applications. Tasuky Senbon, F. Hanabuchi. Ed. Springer Verlag 1991.) y (Dielectric Physics. A. Chelkowsky. Editorial Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam 1980).* Los métodos radiométricos estiman la temperatura de brillo de la emisión de las muestras que contienen humedad. Se ha constatado que esta temperatura de brillo depende del contenido de humedad de la muestra. La muestra húmeda, como cualquier cuerpo se caracteriza por unos valores de emisividad y reflectividad. Sin excitar la muestra con campo alguno, el método radiométrico estudia la emisión de radiación de aquélla. La intensidad de radiación a una longitud de onda determinada, que depende del contenido de humedad, se corresponde con un valor de temperatura, según las curvas de emisión del cuerpo negro deducidas por Max Planck. Así, la temperatura del brillo o de la radiación sirve para determinar el contenido de humedad. Método radiométrico mejorado. Desde un satélite se estudia la radiografía atmosférica en una banda centrada en 8,85 THz (infrarrojos). Un interferómetro de Fabry-Perot, sintonizado a las frecuencias de emisión del vapor de agua amplifica la radiación de la molécula de agua y despreja la contribución de otros factores de radiación residuales. La intensidad de la radiación captada será la estimación de la humedad atmosférica o superficial del suelo.

- *Técnicas SAR en banda L:* utilizando unas longitudes de onda en torno a los veinticinco centímetros (banda L), un radar determina, según la intensidad del eco recibido, el contenido de humedad del terreno, para formar mapas de humedad. La estimación es poco fiable, puesto que la intensidad de la señal reflejada también depende de la rugosidad de la superficie. (*L-Band Radar Sensing of Soil Moisture. Chang, Atwater, Salomonson, Estes, Simonett, Bryan. IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing. Vol GE. 18, nº 4, October 1980*).

- *Sistemas que emplean medidas capacitivas,* donde la arena constituye el dieléctrico. Sin embargo algunos productos como los áridos o las arenas de fundición deterioran rápidamente las sondas en contacto con el flujo. (*Rotoport Water Dosing Instruments 78. Documento comercial de aplicación. Karl Trischberger KG. Wilhelm Schüll-Str- 2, Postf. 4149, D-5160 Düren-Birkendorf. Western Germany. Telex 833743 trika d.*)

- *Sensores de Conductividad:* el sistema estima la humedad de la muestra en función de su conductividad introduciendo dos electrodos en

la misma. (*Neurtek Concretemaster II: el único medidor de humedad de doble ensayo. Documento comercial. Neurtek SA, Txaltxa-Zelai 1-3. Apartado 399. 20600 Eibar (España). Fax: 943 700212.*)

Por lo tanto, es conveniente disponer de un sensor que pueda medir el producto en tiempo real, mientras se maneja mediante un sistema como el de las cintas transportadoras o similar, sin que recaiga en las deficiencias de los sistemas que acabamos de comentar. Para ello es conveniente un sistema que, sin interferir en el normal flujo del producto, consiga confinar, "dinámicamente" una muestra del producto, evitando las influencias del ambiente. Además, el procedimiento de medida debe poder explorar un espesor adecuado de la muestra y no limitarse a su estudio de superficie.

Descripción de la invención

Las medidas de humedad presentan gran interés en la industria, donde este factor es a menudo controlado como objetivo a cumplir en el producto final o en los procesos intermedios. En la actualidad no puede considerarse satisfactoriamente resuelto el problema de la medida de contenido en agua de algunas sustancias que están en movimiento dentro de una cadena de producción y que no presentan un estado homogéneo al sensor, (*Memoria del proyecto SIAMA: "Selección Inteligente de Arenas para Moldeo Automático"*). En este apartado se describe un sistema de medida de humedad en línea, que pretende resolver los inconvenientes de operación sobre un entorno agresivo y poco controlable.

El sensor de humedad está diseñado de modo que pueda soportar las duras condiciones de funcionamiento de un entorno industrial y para que su mantenimiento sea mínimo. La conveniencia de no utilizar sensores basados en el contacto íntimo con el material a medir, debido a la abrasión o a las propiedades corrosivas de algunos productos, justifica el empleo de sistemas de medida basados en la absorción de microondas, en el cual los elementos activos no están físicamente en contacto con el producto. Algunos de los equipos comerciales que habíamos evaluado utilizaban el mismo principio, pero efectuaban las medidas por reflexión sobre la muestra; nosotros decidimos medir la potencia transmitida a través de la muestra, porque relacionaba más directamente el efecto (absorción) con la causa primaria (presencia de humedad). Las medidas por reflexión, según hemos podido ensayar en nuestras primeras pruebas, implicaban la aparición de efectos de segundo orden que enmascaraban los resultados.

Se ha construido el dispositivo sensor de humedad empleando, para la parte radiante, elementos de microondas para banda X. Las estructuras pasivas que facilitan la medida "en línea" y adaptan el aparato para la medida en caída desde la cinta transportadora, han sido realizadas empleando piezas de PVC, acero y aluminio. El conjunto resulta ser un equipo robusto y ligero, adecuado para funcionar en las más agresivas condiciones ambientales del lugar de medida.

A continuación, para facilitar una mejor comprensión de esta memoria descriptiva y formando parte integrante de la misma, se acompañan una

serie de figuras en las que con carácter ilustrativo y no limitativo se ha representado el objeto de la invención.

En la Figura 2 se detallan los elementos constitutivos del sensor: un emisor y un receptor de microondas adosados a ambos lados de un conducto prismático dieléctrico por donde circulará el producto y los deflectores que protegen los elementos electrónicos. Puede observarse también la rejilla metálica, que actúa de filtro, en la boca de entrada y los elementos de amarre del prototipo.

En la Figura 1 se presentaron esquemáticamente todos los componentes:

- Un convertidor tensión a corriente para transmitir la señal sin degradación hasta el autómatas (4).
- Una fuente de alimentación para el bucle y para el transmisor de microondas (7).
- Un emisor y un receptor de microondas (2) y (3), respectivamente.
- Un conducto prismático dieléctrico por donde circulará el producto (1).
- Un autómatas que recibe las señales, las traslada al ordenador digitalizadas y se encarga de ejecutar las órdenes del control del proceso (5).
- Un ordenador que contiene un sistema experto y que con los datos recibidos a través del autómatas (sobre humedad, temperatura y otras variables) genera unas órdenes de control para el proceso (6).

Se han ensayado distintos modelos de sensor empleando elementos de microondas diferentes y para varios espesores confinados de muestras.

En la Figura 3 se muestra, a modo de ejemplo, una gráfica correspondiente a las medidas realizadas en el laboratorio, usando uno de los modelos de sensor experimental, sobre humedad en arena silíceas. Es preciso destacar la forma de la curva y su pronunciada pendiente, que revela una elevada sensibilidad, sobre todo para los valores más bajos de humedad.

A partir de un elevado número de ensayos se extrajo una curva de calibración del sensor de modo que a partir de una tensión leída se concluyese una humedad para la muestra. Las curvas dependen de las características del sensor, de las características de la arena y de la temperatura de medida. La forma que mejor ajustaba los resultados era una expresión cuadrática del tipo:

$$h = a V^2 - bV + c \quad (\% \text{ volumétrico de humedad})$$

con V en milivoltios y siendo a , b y c los parámetros ajustables para cada equipo de microondas, producto a medir y temperatura de medida.

Breve descripción de las figuras

Figura 1: Estructura del sistema completo instalado en una tolva a la caída de una cinta. El sistema está dotado de una salida estándar de señal en bucle de corriente, (4) que permite transmitir sin degradación la señal analógica hasta un

autómata de control (5), y de ahí hacia el punto donde la lectura de humedad sea procesada (6). El sistema consta también de un conjunto emisor - receptor de microondas de baja potencia en banda X (2) y (3), acoplado a ambos lados de una cavidad rectangular (1) a través de la cual circula el producto a una velocidad controlada. También comprende una unidad externa situada cerca del sensor, que contiene el módulo de alimentación (7) y el conversor tensión a corriente para transmitir la señal registrada.

Figura 2: Representación diédrica del prototipo que se construyó para las medidas en planta. a: amarre superior, 2: transmisor de microondas, 9: rejilla antiterrones, 3: receptor de microondas, b: amarre inferior.

Figura 3: Un ensayo particular obtenido a partir del primer prototipo de laboratorio de nuestro sensor donde se representan los milivoltios detectados en el receptor de microondas en función de la humedad añadida.

Figura 4: Vista del sensor en carga bajo una cinta transportadora y del resto del sistema. El sistema consta de un conjunto emisor - receptor de microondas de baja potencia en banda X (2) y (3), acoplado a ambos lados de una cavidad rectangular (1). La salida estándar de señal en bucle de corriente (4) permite transmitir sin degradación la señal analógica hasta un autómata de control (5), y de ahí hacia el punto donde la lectura de humedad sea procesada denominada unidad de proceso y control (6). También comprende una unidad externa situada cerca del sensor, que contiene el módulo de alimentación (7) y el conversor tensión a corriente para transmitir la señal registrada.

El objeto marcado como (8) es la cinta transportadora cargada con material, el marcado con (9) una rejilla para evitar la entrada de terrones, el marcado con (10) es un deflector que evita que la arena caiga sobre los circuitos de microondas mientras que (11) es la salida regulable para el control del caudal. La salida del control del proceso se ha marcado con (12) y el resto de entradas procedentes de otros sensores del proceso industrial lleva la etiqueta (13).

Figura 5: humedad leída durante un ciclo de llenado y vaciado del sensor. Se tomaron 4'5 muestras por segundo.

Figura 6: Representación de las medias obtenidas sucesivamente en un período de tiempo que comprende numerosos ciclos de llenado (humedad leída, escalada en mA durante 450 minutos continuos de proceso).

Figura 7: Representación del efecto de la presencia de carbón en la arena respecto a las medidas sobre arenas limpias. Se representa en mV frente al porcentaje volumétrico de humedad añadida.

Descripción de un ejemplo de realización de la invención

Aplicación: medidas de humedad en arenas de moldeo.

Una aplicación industrial de sumo interés es la medida de humedad en procesos de fundición en los cuales emplean como molde de las piezas unas arenas especiales, que se compactan adecuadamente para estrechos márgenes de composición y de humedad. En estos procesos la arena se reu-

tiliza, añadiendo pequeñas cantidades de arena nueva, otros componentes minoritarios y el agua que debe reponer la evaporada durante cada ciclo. Una deficiente estimación del agua a añadir repercute directamente en la cantidad de piezas defectuosas obtenidas al final del proceso. Es por tanto primordial poder medir con precisión la humedad residual contenida en la arena, antes de reponer el agua, (*Memoria del proyecto SIAMA: "Selección Inteligente de Arenas para Moldeo Automático"*).

En cuanto a las características básicas de la arena de moldeo, se exponen a continuación. El componente básico es arena silíceo fina y limpia, de similar aspecto a la arena de playa. En la tabla siguiente se detallan los contenidos de la arena de moldeo en otros elementos controlables.

Rangos de Variación en la Composición de las Muestras. (Cortesía de Lingotes Especiales S.A.)

| Componente | Mínimo | Nominal | Máximo |
|------------|--------|---------|--------|
| Carbón | 2% | 2,8% | 3'5% |
| Bentonita | 7% | 7'5% | 8% |
| Agua | 2'8% | 3% | 3'5% |

Es de destacar el estrecho margen de humedad permitido. Además, el grado total de humedad en la arena puede considerarse pequeño o medio, por lo que las muestras se sitúan en la zona de mejor sensibilidad del medidor.

El contenido de carbón en la arena se mide cada 8 horas. su variación en varias molinadas no suele sobrepasar el 0'2%.

La densidad aparente de esta arena aumenta con el contenido de finos para una misma humedad de la arena. El valor de entrada al molino suele ser de 1'4, disminuyendo los valores a un rango de entre 0'9 y 1 después del proceso de mezcla, por el efecto de expansión de la bentonita con el agua, y también de la reorganización de los granos en la arena húmeda. Tanto las variaciones de la densidad aparente como el contenido en carbón afectan a la medida y son responsables de gran parte de los errores del sistema.

Las condiciones de funcionamiento del medidor de humedad Pueden resumirse fundamentalmente en dos:

- Rangos de medida: del 1 al 2% del contenido en humedad a la entrada del molino (mezcladora).
- Precisión: La precisión de las medidas de humedad, teniendo en cuenta el estrecho margen de medida en el que trabajan los equipos, serían cercanas al $\pm 0'2\%$.

Las consideraciones realizadas nos indican la necesidad de confinar el material a medir en unas condiciones controladas y constantes para todas las medidas. Esto implica que el prototipo medidor de humedad debe estar constituido por dos subsistemas: uno mecánico, que prepare convenientemente la muestra a medir y otro electromagnético que genere y registre la energía de microondas. Esta es precisamente la estructura de nuestra invención.

El sensor se instala a la entrada de la mezcladora de arena, punto donde la medida de humedad resulta más útil porque es en dicha mezcladora donde se añade el agua en cada ciclo. Para solventar el problema de la presencia de terrones en el interior del sensor se ha añadido una rejilla metálica en la boca de entrada del mismo, que actúa como filtro, impidiendo que pasen terrones de un tamaño superior al conveniente.

La arena es conducida por la cinta transportadora hacia la mezcladora, situada debajo y cae sobre el medidor llenando la cavidad prismática a través de la cual fluye. El objeto de esta estructura es el de confinar dinámicamente la muestra a medir de manera que las condiciones de medida se mantengan homogéneas y controladas (la presión a la que está sometida la arena durante la medida es un parámetro importante que modifica su densidad aparente y por tanto las lecturas de absorción).

En la Figura 1 se representó el aspecto del sensor de humedad por absorción de microondas y su colocación respecto de la cinta transportadora que carga la mezcladora de arena para esta aplicación particular. La observación de la Figura 4, donde se presenta la vista correspondiente a la Figura 1, permite comprender mejor la estructura del Sensor. Tanto la arena que circula a través del medidor como la que cae fuera de él van a parar a la mezcladora situada más abajo.

Medidas del Equipo en Planta

Las pruebas de funcionamiento eléctrico han sido realizadas considerando los ciclos de llenado de la mezcladora, de unos 10 segundos de duración, durante los cuales la cinta transportadora arroja arena sobre el sensor.

a).- Durante los primeros 4 segundos se realiza el llenado completo de la cavidad dieléctrica del medidor con la muestra de arena. El valor de tensión detectado pasa del valor constante correspondiente al estado de sensor vacío, a un valor muy inferior que fluctúa notablemente. Durante este período, debido a que el detector no está lleno y en reposo, no deben anotarse las medidas.

b).- Durante los siguientes 6 segundos y con el sensor ya lleno, debido a las vibraciones mecánicas y a la caída de arena por las paredes exteriores del prototipo la medida fluctúa, sin mostrarse. Durante este período, debido a lo imprevisible de dichas fluctuaciones, no deben anotarse las medidas.

c).- Durante un tiempo mínimo de 5 segundos, una vez que la cinta ha terminado de verter la arena, las indicaciones de la medida se estabilizan. En este período de tiempo las vibraciones mecánicas no se dejan notar, ni tampoco se aprecia caída de más arena sobre el prototipo. El nivel de arena en la cavidad comienza a descender lentamente a una velocidad que depende de la humedad de la arena y de su contenido en finos. Durante los cinco segundos de este período es cuando pueden anotarse las medidas muestreadas; el número de medidas a muestrear parecen ser de 10 (2 por segundo). A partir de estas medidas se hará el promediado que nos indicará la humedad de la muestra.

d).- A partir de 6 a 7 segundos desde la parada de la cinta, la indicación comienza a variar de

nuevo rápidamente, debido a que el nivel de arena dentro de la cavidad está aproximándose a la zona de las bocinas de microondas. La forma de esta variación dependerá de las características de la arena en cada medida; esta propiedad facilita un posible método de apoyo a la medida principal, como se indica más abajo.

e).- Unos 15 segundos después de la parada de la cinta la cavidad se encuentra ya totalmente vacía. La tensión detectada será la de reposo sin muestra, que corresponde al valor constante de vacío citado al principio de este punto.

Todas estas consideraciones de las medidas se han automatizado en el ordenador, de manera que este sabe escoger el instante de muestreo adecuado.

Aclaraciones Sobre las Pruebas

Para complementar la anterior descripción de etapas en el proceso de la medida es preciso realizar las siguientes aclaraciones:

- En el período de tiempo c) se puede asumir con suficiente seguridad que las antenas de microondas no "perciben" la parte superior del nivel de arena, por estar éste situado aún bastante por encima de ellas.

- Ha de señalarse que el hecho de que la velocidad de vaciado esté relacionada también con la humedad de la arena (mediante la variación de las características físicas de la arena y su densidad aparente) puede aportarnos también una información complementaria sobre esta humedad. Esta labor es realizada por la inteligencia del sistema; se requiere únicamente que el sensor de humedad facilite lecturas continuas (que es su manera normal de funcionar) para poder muestrear cuando se desee.

- Las curvas de humedad del equipo son diferentes para cada una de las escasas variedades de arena que se utilizan en el proceso, debido a la influencia de la composición (principalmente el carbón) sobre la absorción de microondas. La inteligencia del proceso tendrá en cuenta este extremo, asignando la curva conveniente en cada caso.

Para ilustrar mejor la variación de la medida en cada vaciado de la cinta sobre el sensor descrita anteriormente, representamos en la Figura 5 los valores instantáneos de la humedad leída durante un ciclo de carga de la mezcladora. El valor de humedad efectivo se obtiene filtrando los valores de la zona central (zona casi estable).

En la Figura 6 se muestran las lecturas de humedad recogidas por el sistema de control y procedentes del sensor de humedad, durante un período de unos 400 minutos. Cada punto es un promediado de las muestras tomadas durante la parte estable del ciclo de carga, como se explicó en la Figura 5. Los ciclos de carga suceden cada, aproximadamente, 2'5 minutos de media. Estos datos se emplean para entrenar el sistema experto en la adición de agua a la arena en el mezclador.

En la Figura 7, se muestran las lecturas de tensión respecto al contenido de humedad para una muestra con el 15 % de carbón. La línea continua representa curva que ajustaba las lecturas de humedad para la arena sin carbón medidos con el mismo prototipo. Es claro que la tendencia de las lecturas es a situarse por debajo de las que se

tienen para la muestra sin carbón, puesto que la presencia de carbón implica una atenuación adicional. Además, los datos empíricos parecen situarse en torno a una curva que es paralela a la dibujada. La presencia de carbón también incrementa la variabilidad de las medidas.

Existe también la posibilidad de emplear la invención para estimar el contenido en carbón u otras partículas conductoras de la arena, mejorando mucho la precisión de las medidas obtenidas, sin más que añadir elementos de microondas adicionales que trabajen a otras frecuencias. Esta mejora no ha llegado a ser añadida aún a nuestros prototipos, pero es una línea de trabajo que seguiremos. Es conocido que la atenuación que causan las partículas conductoras en el seno de un dieléctrico varía poco con la frecuencia en el rango de las microondas, mientras que la de

los componentes como el agua, cuya atenuación está basada en fenómenos de polarización, presentan intervalos de frecuencia de absorción preferente. Teniendo en cuenta esta característica se puede elegir un par emisor receptor en banda X, donde el agua presenta una fuerte absorción y otro par que trabaje en frecuencias por debajo de 1GHz, donde esta absorbe notablemente menos la energía de microondas.

La determinación de la atenuación adicional debida a la presencia del carbón podría llevarse a cabo en línea, midiendo el valor de la atenuación debida al carbón y corrigiendo con este valor el obtenido para la absorción debida al agua. De este modo el resultado de la medida sólo tendrá en cuenta el efecto del agua en la atenuación, eliminando los efectos de la presencia del carbón.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Sistema para la Medida y Control de la Humedad de Sustancias Fluidas Dieléctricas en Tiempo Real que permite conocer en cada instante la humedad del producto que llega hasta él en caída libre y comunicarlas a un ordenador que procesará los datos. Para realizar esto se emplea un sistema mecánico regulable (1) que actúa confinando dinámicamente el producto fluido que se pretende medir de manera que éste queda sometido a un ambiente controlado. La parte activa del sensor de medida está constituido por un transmisor y un receptor de microondas (2) y (3) situados de forma que entre los dos circule el producto. La señal recogida se entrega a un convertidor I/V (4) conectado bidireccionalmente al autómata que controla el proceso (5). La señal recogida en el autómata industrial es leída por un ordenador (6) que procesa convenientemente las medidas y que toma, según un programa particular dependiente de cada aplicación concreta, las decisiones oportunas respecto de la regulación de los parámetros del proceso industrial mediante el control del autómata citado.

2. Sistema para la Medida y control de la Humedad de Sustancias Fluidas Dieléctricas en Tiempo Real, según la reivindicación 1, **caracterizado** por el empleo de las medidas de absorción por transmisión a través de la muestra en un espesor controlado para estimar la humedad de la muestra. Esto se consigue mediante una configuración especial de sensor basado en una cavidad abierta y regulable (1) que confina adecuadamente el producto que debe ser atravesado por la

energía de microondas del emisor (2), alimentado por el módulo (7), para llegar al receptor de señal (3).

3. Sistema para la Medida y control de la Humedad de Sustancias Fluidas Dieléctricas en Tiempo Real, según la reivindicación 1, **caracterizado** por la manera en que se realizará la lectura múltiple del sensor, de manera que el ordenador (6) puede realizar una integración de la medida fluctuante mediante la consideración de un determinado período de muestreo. Esta forma de operar tiene por objeto minimizar los errores de medida debidos a la no homogeneidad de los productos, tal y como se explicó en la descripción detallada de la invención.

4. Sistema para la Medida y control de la Humedad de Sustancias Fluidas Dieléctricas en Tiempo Real, según la reivindicación 1, **caracterizado** por la posibilidad de medida del tiempo de vaciado del contenedor (1) que permite al ordenador (6) estimar también la humedad indirectamente, gracias a la relación de ésta con la viscosidad del producto y por tanto con la mayor o menor fluidez de éste.

5. Sistema para la Medida y control de la Humedad de Sustancias Fluidas Dieléctricas en Tiempo Real, según la reivindicación 1, **caracterizado** por la posibilidad de medida, en varias frecuencias, mediante la incorporación de más pares transmisor-receptor, tal y como se explicó en la descripción detallada de la invención. La medida multifrecuencia permitiría descontar los efectos de absorción de otros productos presentes en el producto.

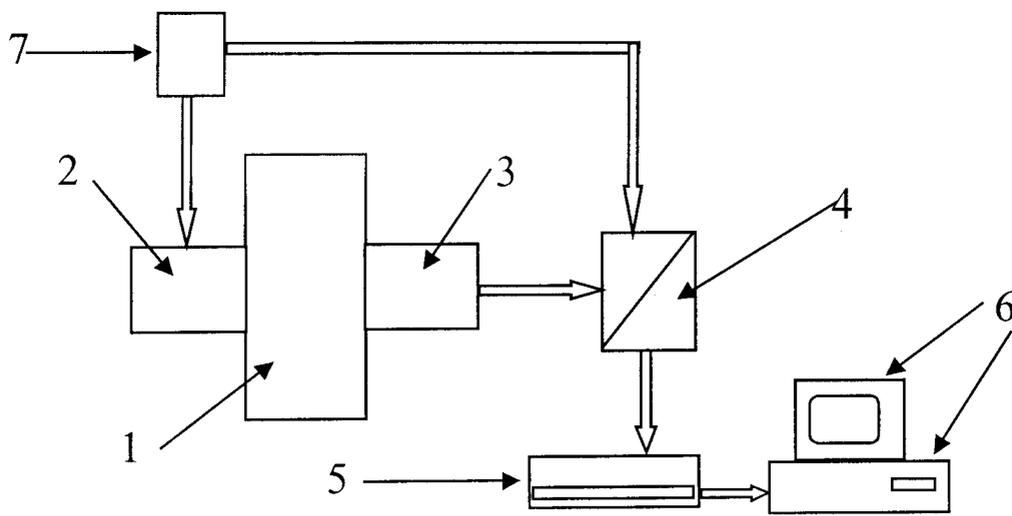


FIGURA 1

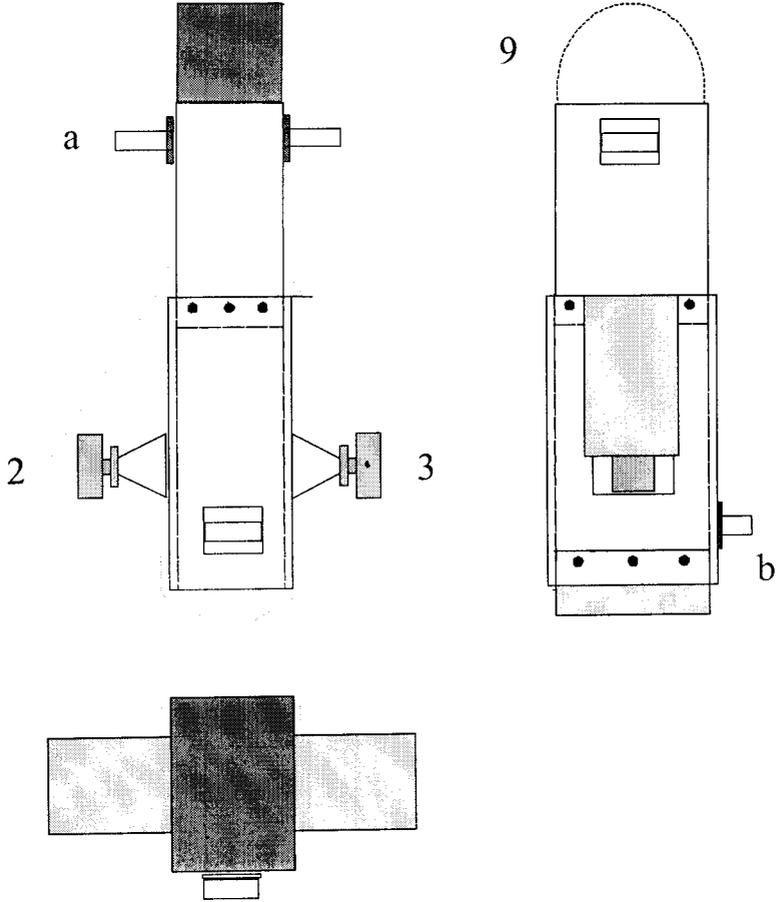


FIGURA 2

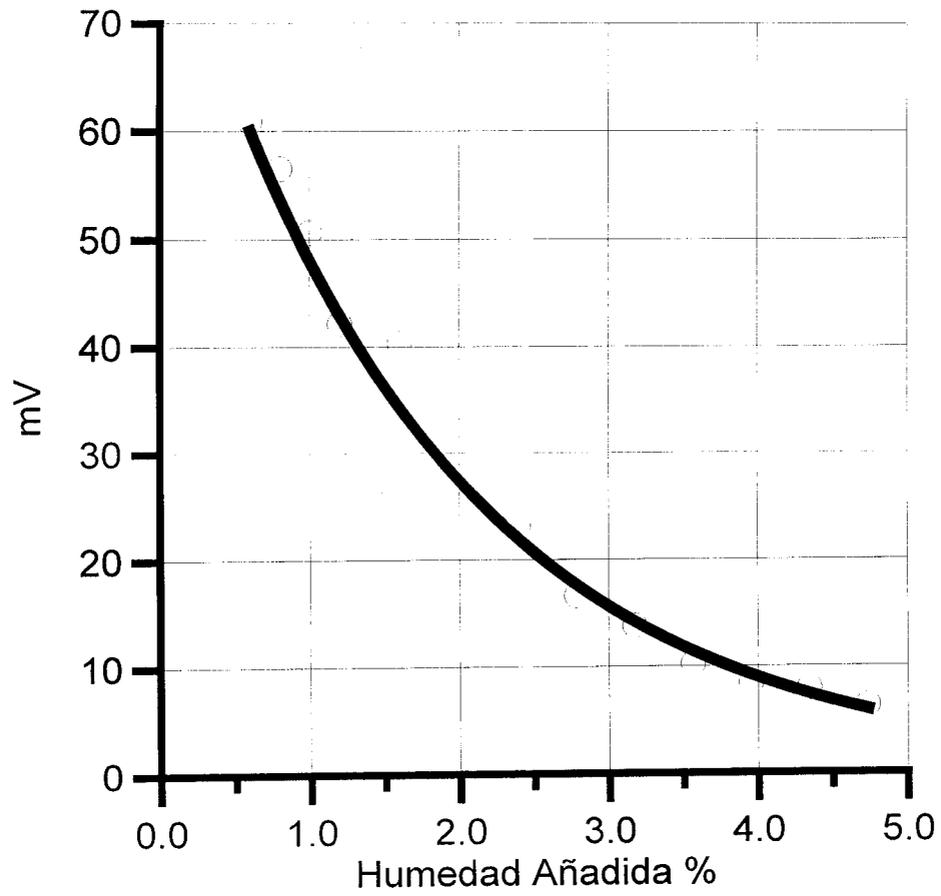


FIGURA 3

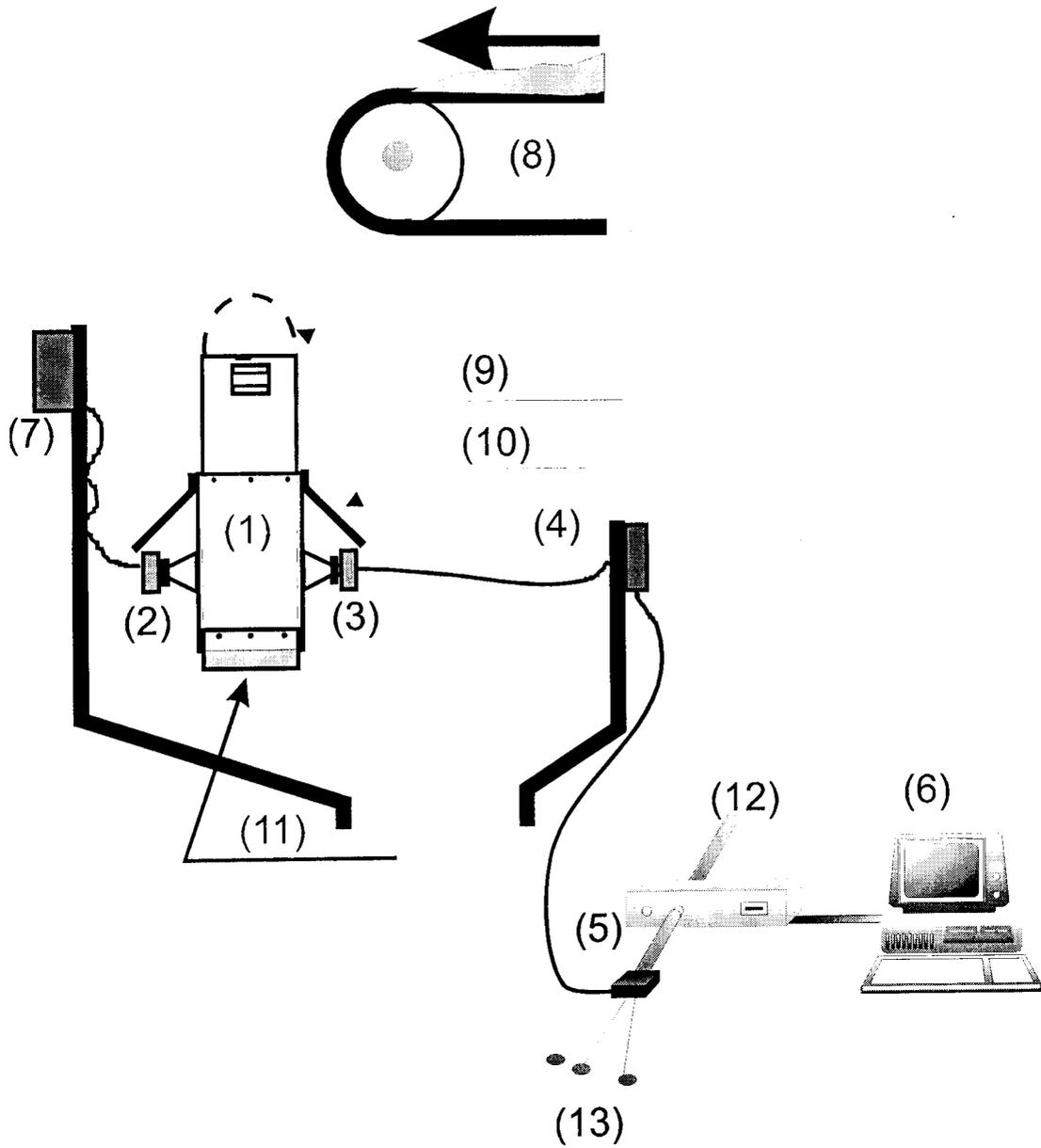


FIGURA 4

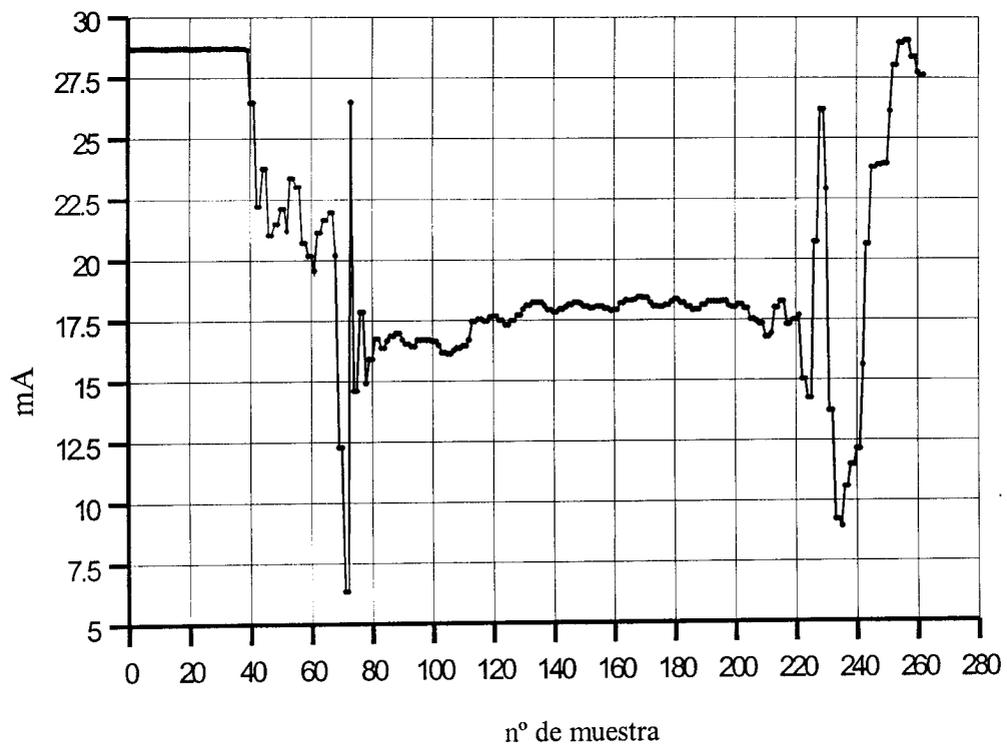


FIGURA 5

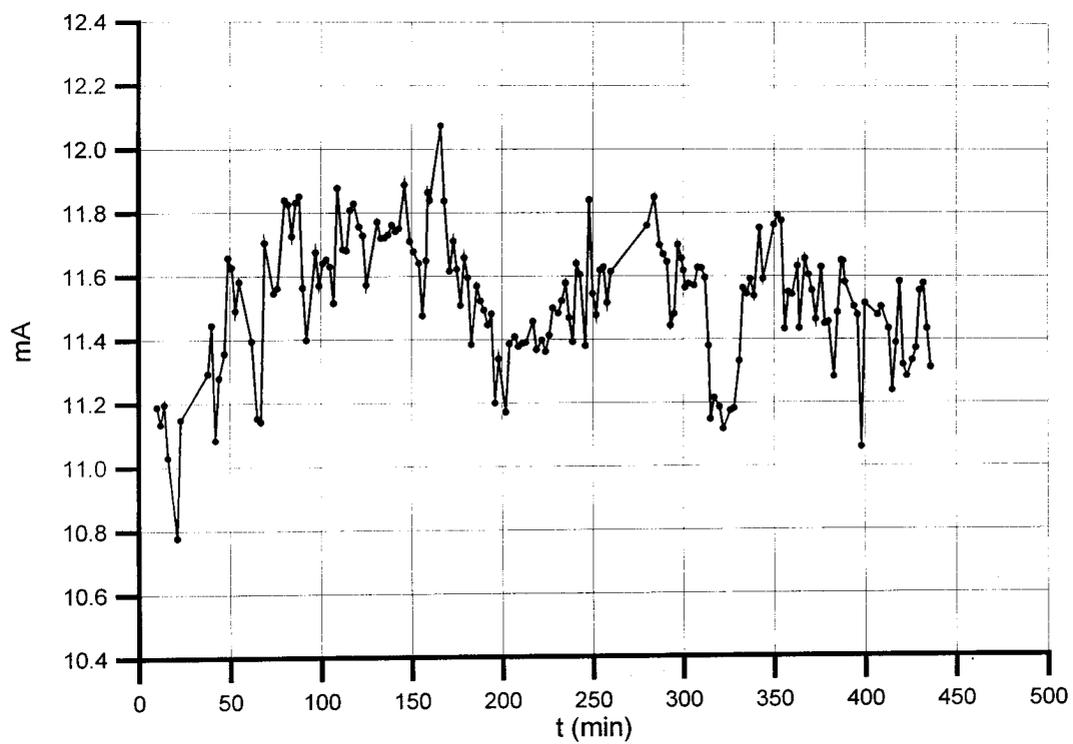


FIGURA 6

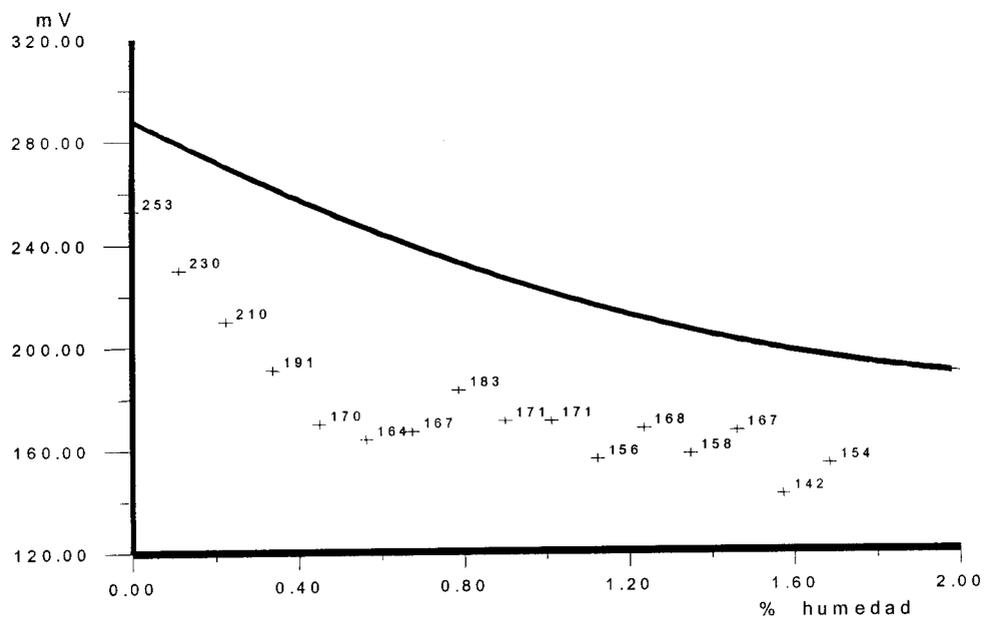


FIGURA 7



INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤ Int. Cl.⁷: G01N 22/04, 11/06

DOCUMENTOS RELEVANTES

| Categoría | Documentos citados | Reivindicaciones afectadas |
|-----------|--|----------------------------|
| Y | EP 0824963 A (SATAKE) 25.02.1998, página 3, línea 26 - página 5, línea 17; figuras 1,3. | 1-5 |
| Y | US 3535629 A (GIBSON et al.) 20.10.1970, columna 2, línea 35 - columna 4, línea 29; figuras 1,2. | 1-5 |
| Y | US 3265873 A (SAWYER) 09.08.1966, columna 1, línea 54 - columna 2, línea 47; columna 4, línea 71 - columna 5, línea 17. | 3 |
| Y | US 3221560 A (KOSA et al.) 07.12.1965, columna 1, líneas 10-39; figura 1. | 4 |
| Y | US 4962384 A (WALKER) 09.10.1990, columna 1, líneas 10-30; columna 1, línea 53 - columna 2, línea 30; columna 3, líneas 23-40. | 5 |
| A | GB 1068166 A (SASAKI) 10.05.1967, página 4, líneas 21-71; figura 8. | 1,2 |
| A | EP 0249738 A (OCRIM) 23.12.1987, todo el documento. | 1,2 |
| A | US 3499499 A (BILBROUGH) 10.03.1970, columna 2, líneas 21-27; figura 1. | |

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe

28.09.2001

Examinador

J. Olalde Sánchez

Página

1/1