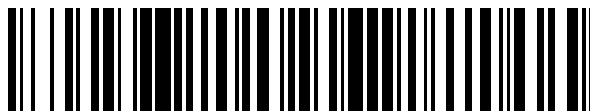




ESPAÑA



(2006.01)

A2

**TORNER LASALLE, Elisabet**

The diagram shows a system for processing a workpiece. A workpiece (2) is positioned on a support (S). A processing head (3) is positioned above the workpiece. The head (3) is connected to a control unit (7) via a cable (1). The head (3) is also connected to a processing unit (4) via a cable (5). The processing unit (4) is connected to a processing unit (6) via a cable (8). The processing unit (6) is connected to a processing unit (5) via a cable (6). The processing unit (5) is connected to a processing unit (4) via a cable (5).

## DESCRIPCIÓN

### **Método y sistema para la clasificación automática de cálculos renales, programa de ordenador y producto de programa de ordenador**

5

#### Sector de la técnica

La presente invención concierne en general a un método y a un sistema para la clasificación automática de cálculos renales, basado en el análisis de imágenes, y más en particular a un método y a un sistema que utilizan técnicas de visión por computador para llevar a cabo el análisis de imágenes de cálculos renales y su posterior clasificación como resultado de tal análisis.

Otros aspectos de la invención conciernen a un programa de ordenador que implementa las etapas de análisis y clasificación del método de la invención, y a un producto que incorpora a tal programa de ordenador.

#### Estado de la técnica anterior

Los cálculos renales se suelen clasificar de acuerdo a su composición química como oxalato cálcico monohidrato (COM), oxalato cálcico dihidrato (COD), oxalato cálcico dihidrato transformado en monohidrato (TRA), brushita (BRU), carbonato apatita (CAP) también conocido como hidroxapatita (HAP), estruvita (STR), ácido úrico anhidro (AUA), ácido úrico dihidrato (AUD), cálculos mixtos de oxalato cálcico y carbonato de apatita (MXD), con una notable variabilidad dentro de cada clase.

Esta clasificación química de cálculos renales conduce a una descripción de las alteraciones metabólicas por las que ha pasado un paciente, y así, a la selección de un tratamiento útil para evitar la repetición de cólicos (recurrencia). El tratamiento específico que cada paciente puede recibir debe basarse en recomendaciones y restricciones en la dieta y en sugerencias sobre suplementos dietéticos (que pueden modificar algunos parámetros urinarios, tales como inhibidores y promotores de la formación de cálculos), junto con el seguimiento de los niveles de algunos componentes de la orina. Es importante señalar que la formación de cálculos renales es una enfermedad con una tasa de recurrencia especialmente alta. Por lo tanto, mediante el tratamiento adecuado del paciente, la formación ulterior de cálculos se reduce drásticamente. Esto proporciona una mayor calidad de vida para el paciente, junto con un ahorro considerable para las organizaciones de salud. Esto es bien conocido por los

urólogos, pero su acceso a esta información es limitada debido a los resultados parcialmente incompletos normalmente ofrecidos por los laboratorios clínicos.

Técnicas de análisis existentes:

- 5 Conscientes del problema, algunas técnicas se han aplicado al análisis de cálculos renales. Este tipo de muestras generalmente se clasifican, utilizando metodologías ópticas y espectroscópicas, de acuerdo con su composición química.

La espectroscopía de infrarrojos (IR) es la técnica más extendida, ya que es simple y  
10 permite una clasificación de piedras basada en la composición química y en el porcentaje de los componentes principales de la muestra. La fuerza de esta clasificación radica en el reconocimiento de bandas espectrales (en el rango de infrarrojos, definido por números de onda que van de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ ), que están directamente relacionados con la composición química. Los tres principales  
15 inconvenientes de esta técnica son:

- La piedra debe molerse para su análisis, por lo que cualquier distribución espacial de los componentes se pierde inevitablemente.
- Los espectros infrarrojos obtenidos necesitan ser estudiados por un experto en el área de espectroscopía y con conocimientos de litiasis.
- 20 - Sólo entonces se pueden obtener los resultados sobre composición y cuantificación, y traducirse en las sugerencias de tratamiento más adecuadas.

Aunque la luz infrarroja es sensible a los componentes químicos que aparecen de forma natural en los cálculos renales, no es lo suficientemente sensible para detectar componentes menores.

25 Por otro lado, la naturaleza y distribución de los componentes que se encuentran en los cálculos renales inducen una apariencia visual característica, que puede ser reconocida por técnicas ópticas. Sobre la base de ello, puede llevarse a cabo un análisis morfo-constitucional basado en las características ópticas y físicas de las muestras, ya que se  
30 realiza usando un estéreo-microscopio. Características tales como la dureza, el color y la distribución de los componentes se utilizan para dar una clasificación de los cálculos. La muestra se corta para observar la parte interior del cálculo, si es necesario. Las clases resultantes de este tipo de análisis no son las mismas que las obtenidas con la espectroscopia de infrarrojos, sino una extensión/especialización de ellas porque esta  
35 técnica es sensible a la presencia de componentes menores ofreciendo así una clasificación de segundo orden. Así, las clases no sólo dependen de la composición

química, sino también de su distribución espacial. Los principales inconvenientes de esta técnica son:

- Es una técnica que consume mucho tiempo y que requiere de un técnico especializado debidamente entrenado en el reconocimiento de la constitución de cálculos.
- Debido a que el reconocimiento se realiza visualmente, éste está sujeto a la aptitud y la experiencia del técnico.

- En la solicitud Internacional WO2012136874A1 se propone, un método para la caracterización y clasificación de cálculos renales, mediante el análisis de diferentes espectros de cálculos renales pre-cortados, aplicando una técnica de formación de imágenes hiperespectrales. La información analizada es relativa a la intensidad de la radiación reflejada en el cálculo a diferentes longitudes de onda. El método propuesto en dicha solicitud comprende analizar cada pixel de cada imagen, de manera que la imagen del cálculo renal se divide en una matriz de píxeles y cada uno de ellos es analizado independientemente de los píxeles vecinos. El análisis hiperespectral se lleva a cabo en el espectro del infrarrojo cercano (en un rango espectral que cubre 1000-1700 nm), tomando en consideración todas las variables, relativas a reflectancia medida para todas las longitudes de onda, de manera individual en un análisis multiparamétrico. Es decir, en la propuesta hecha en WO2012136874A1 se considera una muestra como compuesta por un número dado de píxeles, cada uno de ellos formado por unas variables relativas a reflectancia de energías en el espectro del infrarrojo cercano. Este espectro es portador de información de la composición química de la piedra.
- En la patente US8280496B2 se describe un método para determinar el tipo de cálculo renal, en particular su composición, mediante la iluminación del cálculo renal con diferentes longitudes de onda y la comparación de las reflectancias generadas en el cálculo renal para cada longitud de onda, clasificándose el cálculo renal en función de las diferencias encontradas en dichas reflectancias para distintas longitudes de onda. El método se implementa mediante un endoscopio que porta tanto los medios de iluminación de diferentes longitudes de onda como un sensor de imagen sensible a dichas longitudes de onda y que adquiere imágenes que incluyen información relativa a dichas reflectancias.
- En el documento de patente japonés JP2008197081A también se propone realizar una clasificación de cálculos basándose en un análisis multiespectral de los mismos, en

particular cuantificando los componentes en el cálculo basándose en valores de absorbancia de algunas bandas espectrales en la región de infrarrojos.

5 En ninguno de los documentos citados se realiza un análisis de imagen, entendido como relativo a la textura y características generales del cálculo renal, sino simplemente de sus características espectrales.

#### Explicación de la invención

10 Aparece necesario, por tanto, ofrecer una alternativa al estado de la técnica que supere los inconvenientes de los que adolecen las técnicas tradicionales de análisis de cálculos renales.

Con tal fin, la presente invención concierne, en un primer aspecto, a un método para la clasificación automática de cálculos renales, que comprende:

- 15           a) adquirir una imagen de un cálculo renal;  
             b) analizar información contenida en dicha imagen adquirida; y  
             c) clasificar dicho cálculo renal en función del resultado de dicho análisis.

20 A diferencia de los métodos de clasificación automática conocidos, en los cuales se realiza un análisis espectral de las diferentes partes de la imagen adquirida, en el método propuesto por el primer aspecto de la presente invención, de manera característica, el análisis de la etapa b) se lleva a cabo usando técnicas de visión por computador, preferentemente junto con técnicas de aprendizaje computacional, donde dicha información a analizar se refiere a las características de imagen asociadas a  
25 como mínimo la textura del cálculo renal.

Según un ejemplo de realización preferido, la imagen adquirida es una imagen digital, y el análisis de la etapa b) se lleva cabo de una vez sobre la imagen digital completa adquirida en la etapa a), sin realizar una clasificación individual de cada píxel.

30 Para un ejemplo de realización, la información a analizar se refiere a características de imagen asociadas, además de a textura, a otras características visuales del cálculo renal, incluyendo tamaño y/o forma y/o color.

35 De acuerdo con un ejemplo de realización, la etapa a) comprende adquirir como mínimo dos imágenes de un fragmento del cálculo renal, una correspondiente a una vista de

una superficie exterior y otra a una vista de una superficie interior expuesta, y analizarlas en la etapa b). Cuando el fragmento de cálculo renal no tiene expuesta ninguna superficie interior, el método comprende cortarlo para exponer dicha superficie interior cuya imagen se adquiere en la etapa a).

5

Preferentemente, el método comprende adquirir en la etapa a) y analizar en la etapa b), una pluralidad de imágenes de unas correspondientes vistas de cada una de las superficies exterior e interior del fragmento de cálculo renal, cada una de ellas bajo unas condiciones de iluminación y/o tiempo de exposición diferentes.

10

Según un ejemplo de realización, el método comprende llevar a cabo dichas adquisiciones de imagen con un mismo sensor de imagen sensible a las longitudes de onda asociadas a todas las iluminaciones incluidas en dichas condiciones de iluminación diferentes, que se encuentran dentro del rango que va desde la luz visible a las longitudes de onda iniciales del infrarrojo cercano.

15

Alternativamente, el método comprende llevar a cabo dichas adquisiciones con varios sensores de imagen sensibles, en conjunto, a todas dichas diferentes longitudes de onda.

20

El método comprende, de acuerdo con un ejemplo de realización, realizar dicha adquisición, en la etapa a), y análisis, en la etapa b), de imágenes de las vistas de las superficies exterior e interior para una pluralidad de fragmentos de una misma muestra.

25

La clasificación de la etapa c) explicada hasta aquí, es decir la basada en el análisis de las imágenes del fragmento o fragmentos de cálculo renal, es una clasificación de un primer nivel, o clasificación de vista, que incluye, para cada vista, una estimación de la probabilidad de su pertenencia a una clase de cálculo renal asociada a composición química, a partir del cálculo de un vector de probabilidades para cada vista que incluye información sobre la distribución espacial de dichas probabilidades.

30

El resultado de dicha clasificación de un primer nivel es considerado como un resultado final para un ejemplo de realización, pero para otro ejemplo de realización más elaborado para el que la precisión requerida para el resultado de la clasificación sea superior, con el fin de obtener tal clasificación más precisa, el método comprende realizar, en la etapa c), una clasificación de un segundo nivel, o clasificación de

35

fragmento, que comprende combinar los resultados obtenidos en la clasificación de un primer nivel para varias vistas de un mismo fragmento de cálculo renal, para determinar una clase única para cada fragmento basándose además de en composición química también en la localización y distribución de los componentes químicos asociados a  
5 dichas probabilidades y a qué vista corresponden.

En el caso de obtener resultados divergentes para diferentes vistas, el sistema contempla la aplicación de una matriz de costes definida previamente. Los costes relativos a cada clase están comprendidos en un vector de clasificación de cada  
10 fragmento, y son fijos, al contrario de la información obtenida como resultado de la clasificación del primer nivel, que depende de las capturas de imágenes y medidas realizadas. Los valores de coste que se aplican permiten corregir resultados dispares para dar un único valor de clase a un segundo nivel.

15 Opcionalmente, el método comprende corregir el resultado de la clasificación de un segundo nivel si el resultado para un fragmento determinado difiere de los obtenidos para cada una de las vistas del mismo, en la clasificación de un primer nivel, por encima de un valor de coste determinado. En general, tal valor de coste determinado se encuentra definido previamente al análisis, e incluido en un vector de clasificación, que  
20 incluye un valor de coste asociado que marca la dependencia de tal clasificación.

Una manera de llevar a cabo dicha corrección comprende reclasificar dicho fragmento teniendo menos en cuenta, o no teniendo en cuenta en absoluto, la localización y distribución de los componentes químicos asociados a las mencionadas probabilidades  
25 y a qué vista corresponden, es decir basándose sobre todo, o solamente (en el caso más extremo), en la composición química.

El resultado de dicha clasificación de un segundo nivel es considerado como un resultado final para un ejemplo de realización, pero para otro ejemplo de realización  
30 más elaborado para el que la precisión requerida para el resultado de la clasificación sea superior, con el fin de obtener tal clasificación aún más precisa, el método comprende realizar las etapas a), b) y c) para dos o más fragmentos de una misma muestra, comprendiendo el método realizar, en la etapa c), una clasificación de un tercer nivel, o clasificación de muestra, que comprende, si la clasificación de un  
35 segundo nivel de dichos fragmentos no es coincidente, asignar una clase única para la muestra.

Como ya se ha indicado anteriormente, en función de la precisión requerida para el resultado de la clasificación, ésta puede darse por finalizada tras la clasificación de un primer nivel, tras la clasificación de un segundo nivel o tras la clasificación de un tercer nivel.

De acuerdo con un ejemplo de realización, el método comprende:

- generar, de manera previa a la etapa a), un conjunto de entrenamiento, o de aprendizaje, para una pluralidad de muestras de cálculos renales clasificadas manualmente por un experto, incluyendo, de manera correlacionada, información de composición química, de distribución espacial y de apariencia visual para vistas internas y externas de diferentes fragmentos de cada muestra representadas en imágenes obtenidas con distintos tipos de iluminación y tiempos de exposición, y
- realizar las clasificaciones de un primer, un segundo y un tercer nivel consultando las imágenes adquiridas en dicho conjunto de entrenamiento y extrayendo la información de clase correlacionada con las imágenes más similares a las consultadas.

El método comprende entrenar a dicho conjunto de entrenamiento y/o a unos clasificadores automáticos utilizados para realizar como mínimo dichas clasificaciones de un primer, un segundo y un tercer nivel utilizando los resultados de las clasificaciones.

Según un ejemplo de realización, el método del primer aspecto de la invención comprende llevar a cabo la clasificación de la etapa c) complementando el análisis de la etapa b) con información adicional relativa al paciente del que proviene el cálculo renal y/u obtenida del cálculo renal con sensores no basados en cámara.

Con respecto a dicha información relativa al paciente, ésta incluye como mínimo una de las siguientes informaciones, o una combinación de las mismas:

- datos simples relativos a sexo y/o edad y/o raza y/o complexión y/o índice de masa corporal y/o desórdenes de salud asociados a la litiasis renal, y/o
- datos ligados a analíticas colaterales, incluyendo al menos uno de los siguientes datos recogidos en análisis de orina del paciente: pH, calcio, oxalato, magnesio, amonio y fosfato.



Por lo que se refiere a dicha información obtenida del cálculo renal con sensores no basados en cámara, ésta incluye, según un ejemplo de realización, como mínimo información de reflectividad en otras zonas del espectro electromagnético no incluidas en la imagen adquirida en a), tal como el espectro correspondiente al infrarrojo.

5

Un segundo aspecto de la invención concierne a un sistema para la clasificación automática de cálculos renales, que comprende:

- medios de adquisición de imágenes para adquirir al menos una imagen de un cálculo renal; y

10

- un sistema electrónico en conexión con dichos medios de adquisición de imágenes y que incluyen unos medios de procesamiento para procesar información contenida en dicha imagen adquirida y para clasificar dicho cálculo renal en función del resultado de dicho análisis.

15

El sistema propuesto por el segundo aspecto de la invención implementa el método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, implementando los medios de procesamiento del sistema electrónico uno o más algoritmos basados en técnicas de visión por computador, y preferentemente también de aprendizaje computacional, para realizar las etapas b) y c) del método del primer aspecto.

20

Preferentemente, los citados medios de adquisición de imágenes comprenden un sistema que posee un mecanismo de enfoque de imágenes de cálculos renales, controlable manualmente o automáticamente mediante el sistema electrónico.

25

Según un ejemplo de realización, el sistema comprende una carcasa que define un espacio interior aislado lumínicamente del exterior que alberga, sustentados y/o fijados en una estructura de soporte interior:

- a un soporte para muestras de cálculos renales, que preferentemente es extraíble respecto a dicha estructura de soporte y a dicha carcasa;

30

- a unos medios de iluminación dispuestos para iluminar, con luz de una o más longitudes de onda, la o las muestras de cálculos renales dispuestas sobre dicho soporte;

- a dichos medios de adquisición de imágenes, los cuales incluyen un sensor de imagen sensible a dicha o dichas longitudes de onda; y

35

- a como mínimo parte de dicho sistema electrónico, que también incluye a unos medios de control para controlar a al menos los medios de iluminación.

El sistema también comprende, opcionalmente, uno o más sensores sensibles a un rango del espectro electromagnético (tal como el espectro correspondiente al infrarrojo) diferente al asociado a los medios de adquisición de imágenes, dispuesto o dispuestos  
5 enfrentados a la o las muestras de cálculos renales dispuestas sobre dicho soporte, y en conexión con el sistema electrónico, para captar la reflectividad global (sin realizar un análisis por píxels) de la muestra o muestras en un rango espectral adecuado para su caracterización.

10 Según un ejemplo de realización preferido, todo el sistema electrónico es local y está albergado dentro de la carcasa.

De manera alternativa, dicha parte de dicho sistema electrónico albergada dentro de la carcasa es una parte local y el sistema electrónico comprende una parte remota, tal  
15 como un ordenador, comunicada bidireccionalmente con dicha parte local y con los medios de adquisición de imágenes.

Un tercer aspecto de la invención concierne a un programa de ordenador que incluye instrucciones de código que, al ejecutarse en un ordenador, implementa las etapas b) y  
20 c) del método del primer aspecto.

Un cuarto aspecto de la invención concierne a un producto de programa de ordenador que comprende el programa de ordenador del tercer aspecto.

25 Según un ejemplo de realización, el producto de programa de ordenador comprende o se encuentra almacenado o implementado en un medio que pueda contener, almacenar, comunicar, propagar o transportar el programa de ordenador para su uso por un sistema, un aparato o un dispositivo de ejecución de instrucciones, o en conexión con el mismo. Dicho medio es o comprende, según unos ejemplos de  
30 realización, un soporte físico y/o lógico legible por un ordenador y/o una señal electromagnética, óptica o acústica que transporte al programa de ordenador.

La presente invención permite, por tanto, en sus diferentes aspectos, realizar una clasificación automática de cálculos renales de una manera tal que es útil para los  
35 médicos, es decir, los resultados son similares a los que éstos están acostumbrados para gestionar y cumplir con sus necesidades en la asignación de tratamientos para los

pacientes. Aunque la definición de las clases utilizadas para la clasificación se basa en la composición química de los cálculos, la forma en que las muestras se analizan según la presente invención no se basa en parámetros químicos sino en las características visibles (principalmente la textura de la muestra). Las ventajas que la presente  
 5 invención ofrece frente a las técnicas conocidas, según sus diferentes ejemplos de realización, son:

- La clasificación de las muestras es automática, porque el análisis químico se sustituye por un análisis visual realizado por ordenador de una vez, evitando la necesidad de un técnico cualificado y, por tanto, sin depender de sus aptitudes.
- 10 - La muestra no se destruye, por lo que se puede volver a analizar si es necesario.
- Puede realizarse la distribución espacial de los componentes, lo que permite que pueda trazarse la historia del cálculo renal y utilizarse para evitar la recurrencia.
- 15 - Por lo que se refiere al sistema, éste es de una gran robustez.
- El análisis se realiza en pocos minutos en la misma visita al urólogo.
- El médico recibe el diagnóstico y tratamiento propuestos por el dispositivo y de acuerdo con el tipo de cálculo renal generado, facilitando así el trabajo del urólogo, que puede transmitir directamente al paciente.
- 20 - Bajo coste del sistema, que se puede amortizar en poco tiempo, ya que se puede implementar basado en una cámara, microprocesador y componentes de iluminación estándar.
- Bajo coste del análisis, incluso en comparación con un análisis químico, ya que puede ser realizado por el propio urólogo y no por un técnico entrenado de un  
 25 servicio de espectroscopía de infrarrojos.

Por lo tanto, la presente invención es capaz de proporcionar la información requerida por el urólogo, pero utilizando técnicas no convencionales que logran un resultado igual o mejorado. Además, se proporcionan recomendaciones sobre la dieta y el tratamiento  
 30 a seguir junto con la clasificación. Esas recomendaciones son útiles para el urólogo y su relación con la clase específica de cálculo renal no conocida por la mayoría de ellos.

La presente invención ha sido desarrollada, en sus diferentes aspectos, por un equipo compuesto por expertos en análisis de imagen y expertos en análisis de cálculos  
 35 renales que están continuamente en contacto con urólogos a los cuales se les pidió

consejo constantemente sobre, por ejemplo, qué tipo de información necesitan y esperarían.

#### Breve descripción de los dibujos

- 5 Las anteriores y otras ventajas y características se comprenderán más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada de unos ejemplos de realización, alguno de los cuales con referencia al dibujo adjunto, que deben tomarse a título ilustrativo y no limitativo, en los que:
- 10 La Fig. 1 muestra, de manera esquemática, al sistema propuesto por el segundo aspecto de la presente invención, que es apto para implementar el método del primer aspecto.

#### Descripción detallada de unos ejemplos de realización

- 15 En el presente apartado se describirá una implementación práctica de la presente invención, tanto por lo que se refiere al método como al sistema, un prototipo del cual se ha fabricado y describirá más adelante.

- 20 En primer lugar, se describe la implementación del método propuesto por el primer aspecto de la invención, que incluye la selección de las muestras y el posterior procedimiento de clasificación.

#### Terminología:

- 25 - Muestra: cálculo o fragmentos de cálculo generados por un paciente durante un episodio.
- Fragmento: Parte de un cálculo renal que se ha obtenido directamente del paciente (después de un tratamiento con litotricia extracorpórea por onda de choque o ESWL, de las siglas en inglés) o después de cortar una piedra entera, con el fin de dejar al descubierto su parte interna.
- 30 - Vista: Parte de la piedra o fragmento expuesta a la cámara. Existen dos tipos diferentes de vista, superficial y de corte; es decir, la parte externa o interna de un fragmento o de una piedra.
- Imagen: Para cada vista la cámara adquiere diferentes imágenes, cada una bajo una fuente de iluminación y un tiempo de exposición particulares.

35

Las muestras se obtuvieron del Servicio de Urología del Hospital Universitari de Bellvitge, Barcelona (España). Las piedras fueron expulsadas o bien de forma natural (por lo que se recibió la piedra completa) o recolectadas después de romperla aplicando un tratamiento con litotricia extracorpórea por ondas de choque (recibiéndose  
5 fragmentos de la piedra). Para los cálculos o piedras no fragmentadas (enteras), éstas se cortaron con un cuchillo quirúrgico con el fin de alcanzar el núcleo. Cuando la muestra contiene fragmentos, tanto la parte interior como la exterior de la piedra es en general visible sin la necesidad de realizar ninguna manipulación (a menos que el fragmento no muestre el núcleo de la piedra, entonces debe ser cortado). Después de  
10 la recogida, la piedra o fragmentos se enjuagaron con agua y etanol y después se almacenaron en viales individuales, limpios. Las muestras se pueden almacenar así durante años sin signos visibles de descomposición o daños en la estructura.

Con el fin de crear una base de datos adecuada para entrenar al sistema diseñado, es  
15 decir un conjunto de entrenamiento, las muestras deben ser elegidas cuidadosamente, es decir las muestras no pueden ser elegidas al azar. Para ello las muestras fueron seleccionadas de un banco de 1300 muestras por un experto (una persona cualificada) en el análisis y la clasificación de los cálculos renales. Debido a la variabilidad notable dentro de cada clase, el criterio de selección fue elegido con el fin de reflejar esta  
20 variación en el grupo de muestras seleccionadas para cada tipo de piedra. El conjunto de datos incluye las piedras que comprendían todas las posibilidades para cada clase en la parte interna y externa de las piedras. Estas posibilidades incluyen la composición química (definida por infrarrojos), la distribución de los componentes y el aspecto visual de la muestra (que se define por el análisis morfoconstitucional), ambas realizadas por  
25 un especialista cualificado. La creación de esta biblioteca o base de datos de muestras se basa en la experiencia de los presentes inventores en el estudio de las causas de la formación de cálculos y la clasificación de los cálculos renales. Los resultados obtenidos con el método propuesto por la presente invención no se pueden lograr si el conjunto de datos de piedras se elige al azar, o si las muestras seleccionadas no  
30 cubren toda la gama de posibilidades para cada clase de piedra. Esto sólo puede ser desarrollado por un experto en este campo, como resultado de un trabajo experimental en la clasificación de las muestras.

Como se dijo anteriormente, se eligieron las muestras con el fin de cubrir todas las  
35 diferentes clases (lo que podría hacerse a partir de un análisis de los resultados de obtenidos por espectroscopía de infrarrojos) y también la clasificación, diferente, de

segundo orden (lo que sólo se puede hacer por una persona bien entrenada). El procedimiento de adquisición de imágenes se ha diseñado de la siguiente manera. De cada muestra seleccionada se seleccionaron uno o dos fragmentos de manera que tanto la superficie interior como la exterior pueden observarse. Entonces, para cada una

5 de las dos superficies o vistas, se registraron una serie de 6 imágenes variando el tipo de fuente de iluminación y el tiempo de exposición. La elección de la fuente de luz depende de los conocimientos y la experiencia adquirida después de analizar varios espectros de cálculos renales. El número total de muestras seleccionadas era 346, a partir del cual se seleccionaron 606 fragmentos dando lugar a 1212 vistas superficiales

10 interiores y exteriores (y la adquisición y registro de 6 imágenes de cada vista). Se seleccionaron, por tanto, en total 7272 imágenes, todas ellas utilizadas para el entrenamiento y la validación de un novedoso esquema clasificador jerárquico, diseñado específicamente para ese propósito en tres niveles por dos expertos en el procesamiento de imágenes, el cual ya se ha explicado en un apartado anterior para un

15 ejemplo de realización del método propuesto por la presente invención, pero que se describirá seguidamente de manera más detallada y con referencia al experimento aquí expuesto.

Esquema del Clasificador:

20

*Primer nivel: Clasificación de vistas.*

Usando el conjunto de 6 imágenes de una vista de un fragmento, se determina una clase para esa vista así como se estima la probabilidad de cada clase para esa vista, coincidiendo casi siempre la clase determinada con la más probable. Esta clase se

25 basa totalmente en las características visuales de tamaño, forma, color y textura (una característica nunca utilizado antes). En este nivel también es posible tener en cuenta también el nivel de pH de la orina como otra característica, si éste es conocido. Aunque la medición de las características químicas no se utiliza en la presente invención para la clasificación, las clases de salida son comparables a las obtenidas por el análisis

30 químico (COD, COM, STR...) con el fin de facilitar al urólogo una clasificación conocida. El resultado de salida de esta clasificación es una estimación de la probabilidad o creencia de que un fragmento con tal vista (externa o interna) pertenezca a cada una de las clases anteriores. Por lo tanto, el método y sistema desarrollado por la presente invención calcula un vector de probabilidades para cada vista de un fragmento. A partir

35 de ellos se puede inferir fácilmente también la clase más probable para una vista determinada, como una primera aproximación de la clase del fragmento.

Para la creación y entrenamiento de este clasificador, se incluyeron todas las especies posibles que aparecen naturalmente como componentes principales en las piedras. Los tipos de cálculos que figuran en este análisis se definieron de acuerdo a la composición química (por lo que son comparables con la espectroscopía IR), pero fueron reconocidas según características visuales. Se seleccionaron las clases oxalato cálcico monohidrato (COM), oxalato cálcico dihidrato (COD), oxalato cálcico dihidrato transformado en monohidrato (TRA), brushita (BRU), carbonato apatita (CAP), estruvita (STR), ácido úrico anhidro (AUA), ácido úrico dihidrato (AUD), cálculos mixtos de oxalato cálcico y carbonato apatita (MXD). Esta composición química es el esquema de clasificación compartido con la técnica de espectroscopía por infrarrojos.

*Segundo nivel: Clasificación de fragmentos.*

Una vez que para las dos vistas de un fragmento, se ha computado una de estas clases y también una distribución de probabilidades, un segundo clasificador produce una clase fragmento a partir de los resultados de salidas del clasificador de un primer nivel. Esta es una clasificación de segundo orden, una información muy útil que sólo se puede lograr por un experto en el análisis morfoconstitucional y no por uno en espectroscopía de infrarrojos.

La clasificación de los fragmentos se realiza después de que ambas vistas (partes interior y exterior) han sido asignadas a una clase. El sistema es entrenado en la definición de una única clase específica para el fragmento basada en la combinación de los resultados para las vistas individuales. Por lo tanto, la clasificación de cada fragmento no se limita solamente a los componentes químicos presentes en la piedra, sino también a su localización y distribución. Por ejemplo, la clase asignada a un fragmento será diferente si el compuesto A está dentro de la piedra y B en la superficie, o si la situación es la contraria. La definición de estas clases por fragmentos se basa en las diferencias entre los posibles tratamientos administrados al paciente. La relación entre las posibles combinaciones para vistas internas y externas se da a continuación en la Tabla 1, referente a clasificación de fragmentos de acuerdo con sus vistas internas (Interior) y externas (Superficie).

|            | Interior |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|            | COM      | COD | TRA | MXD | HAP | STR | BRU | AUA | AUD | CYS |
| Superficie | COM      | 2   | 3t  | 3t  | 4   | 5b  | 6   | .   | 9   | 9   |
|            | COD      | 2c  | 3   | 3t  | 4   | 5b  | 6   | .   | .   | .   |
|            | TRA      | 2c  | 3t  | 3t  | 4   | 5b  | 6   | .   | .   | .   |
|            | MXD      | 2ct | 3b  | 3tb | 4   | 5b  | 6   | .   | .   | .   |
|            | HAP      | 2b  | 3b  | 3tb | 4   | 5   | 6   | 7   | .   | .   |
|            | STR      | .   | .   | .   | .   | 6   | 6   | .   | .   | .   |
|            | BRU      | .   | .   | .   | .   | 7   | 6   | 7   | .   | .   |
|            | AUA      | 9   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 8   | 8b  |
|            | AUD      | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 8   | 8b  |
|            | CYS      | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | .   | 10  |

Tabla 1. Segundo nivel de clasificación

5

Sin embargo, el sistema puede estar equivocado, es decir, se le asigna una clase incorrecta a un fragmento, y en función de la diferencia entre la clase real y la asignada el coste asociado será diferente (en el segundo nivel de clasificación). En otras palabras, no todos los errores que el sistema puede cometer tienen la misma influencia sobre el tratamiento. Para hacerlo, las clases que se describen en la Tabla 1, en la que se basa la clasificación, pueden ser reordenadas o asignadas como se describe en la Tabla 2. Si tal reordenamiento se realiza, siempre de acuerdo con el coste potencial, que también se muestra en la Tabla 2 en el rango de 0 a 10 siendo 10 el asociado al error más alto, el sistema de clases se puede simplificar, acercándose cada vez más al primer nivel de clasificación, basado sólo en composición química, no en la distribución de componentes. Es decir, el algoritmo de clasificación de piedras puede ser muy estricto, pero ha sido diseñado también con un importante componente de flexibilidad. Esta característica permite que el método y sistema de la presente invención adapten su actuación a las condiciones específicas que necesita el usuario.

10

15

20

Por lo tanto, los valores que se muestran en la Tabla 2 se pueden utilizar como un porcentaje de probabilidad de que una clase para ser asignada, en lugar de otra, durante el proceso de entrenamiento. Por ejemplo, si se conoce que una muestra es de clase 2b, el coste si la clase asignada (y aprendida) es 2ct es baja, por lo que el modelo será más libre para asignar esta otra clase al fragmento. Sin embargo, si la misma muestra 2b se reconoce inicialmente como clase 6, esta decisión se verá afectada y modificada por el riesgo de asignar dicha clase.

25

30

Como se ha dicho anteriormente, los criterios utilizados para esta transposición se muestran en la matriz de costes de la Tabla 2, que se expone a continuación. Si se combinan las clases con un bajo riesgo de confusión, la clasificación se simplifica hasta



el primer nivel de clasificación. Lógicamente, el porcentaje de exactitud de la clasificación aumenta a medida que los subtipos de piedras disminuye (al combinarse diferentes grupos), ya que los errores suelen darse entre clases similares, que dan un valor bajo en la matriz de costes.

5

|               |     | CLASES RECONOCIDAS |    |    |     |    |    |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|---------------|-----|--------------------|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
|               |     | 2                  | 2b | 2c | 2ct | 3  | 3b | 3t | 3tb | 4  | 5  | 5b | 6  | 7  | 8  | 8b | 9  | 10 |  |
| CLASES REALES | 2   | 0                  | 2  | 2  | 2   | 5  | 5  | 2  | 3   | 6  | 8  | 8  | 9  | 8  | 7  | 7  | 5  | 10 |  |
|               | 2b  | 2                  | 0  | 2  | 1   | 5  | 5  | 5  | 5   | 6  | 8  | 8  | 9  | 8  | 7  | 7  | 6  | 10 |  |
|               | 2c  | 2                  | 2  | 0  | 1   | 4  | 4  | 4  | 4   | 6  | 8  | 8  | 9  | 8  | 7  | 7  | 6  | 10 |  |
|               | 2ct | 3                  | 2  | 2  | 0   | 4  | 4  | 3  | 3   | 5  | 8  | 7  | 9  | 8  | 7  | 7  | 6  | 10 |  |
|               | 3   | 2                  | 3  | 3  | 4   | 0  | 1  | 0  | 3   | 6  | 8  | 8  | 9  | 8  | 8  | 8  | 7  | 10 |  |
|               | 3b  | 2                  | 3  | 3  | 3   | 2  | 0  | 2  | 0   | 3  | 7  | 4  | 9  | 8  | 8  | 8  | 7  | 10 |  |
|               | 3t  | 2                  | 3  | 1  | 2   | 0  | 2  | 0  | 0   | 2  | 8  | 6  | 9  | 8  | 8  | 8  | 7  | 10 |  |
|               | 3tb | 2                  | 3  | 2  | 1   | 2  | 0  | 1  | 0   | 2  | 6  | 4  | 9  | 8  | 8  | 8  | 7  | 10 |  |
|               | 4   | 6                  | 6  | 6  | 6   | 6  | 4  | 6  | 4   | 0  | 3  | 1  | 7  | 8  | 9  | 9  | 7  | 10 |  |
|               | 5   | 8                  | 6  | 7  | 6   | 7  | 5  | 7  | 5   | 2  | 0  | 1  | 5  | 3  | 9  | 9  | 8  | 10 |  |
|               | 5b  | 8                  | 6  | 7  | 6   | 5  | 3  | 5  | 3   | 1  | 1  | 0  | 5  | 3  | 9  | 9  | 8  | 10 |  |
|               | 6   | 10                 | 10 | 10 | 10  | 10 | 10 | 10 | 10  | 7  | 5  | 5  | 0  | 5  | 10 | 10 | 10 | 10 |  |
|               | 7   | 8                  | 7  | 8  | 7   | 8  | 7  | 8  | 7   | 4  | 2  | 2  | 5  | 0  | 9  | 9  | 9  | 10 |  |
|               | 8   | 5                  | 6  | 5  | 5   | 5  | 6  | 5  | 6   | 8  | 9  | 9  | 10 | 9  | 0  | 0  | 2  | 10 |  |
|               | 8b  | 5                  | 6  | 5  | 5   | 5  | 6  | 5  | 6   | 8  | 9  | 9  | 10 | 9  | 0  | 0  | 2  | 10 |  |
|               | 9   | 2                  | 3  | 2  | 3   | 5  | 6  | 5  | 6   | 8  | 9  | 9  | 10 | 8  | 2  | 2  | 0  | 10 |  |
|               | 10  | 10                 | 10 | 10 | 10  | 10 | 10 | 10 | 10  | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0  |  |

Tabla 2. Matriz de costes

*Tercer nivel: clasificación de las muestras.*

- 10 Aprovechando que se seleccionaron dos fragmentos para cada piedra, se ha diseñado un tercer clasificador con el fin de ofrecer una clasificación final. Si la clase más probable de cada uno de los dos fragmentos tienen ambas una probabilidad mayor que un cierto umbral, si son la misma clase es ésta la que se asigna. Si no lo son pero las dos superan este umbral, el método y el sistema de la presente invención ha sido
- 15 diseñado para asignar una sola clase para la muestra, utilizando la tabla de combinaciones como se ve en la Tabla 3, diseñada en base a la experiencia y el conocimiento en el análisis de cálculos renales. Cuando alguna de las dos clases no supera este umbral de probabilidad, se clasifica a partir de los resultados de salidas del clasificador de segundo nivel.

20

| Combinaciones posibles si 2 fragmentos de la misma muestra dan resultados diferentes |          |                  |          |          |                  |          |          |                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------|----------|----------|------------------|----------|----------|------------------|
| CLASES RESULTANTES                                                                   |          |                  |          |          |                  |          |          |                  |
| Fragm. 1                                                                             | Fragm. 2 | Clase resultante | Fragm. 1 | Fragm. 2 | Clase resultante | Fragm. 1 | Fragm. 2 | Clase resultante |
| z2                                                                                   | 2c       | 2c               | 2c       | 2ct      | 2ct              | 2ct      | 9        | 9                |
| 2                                                                                    | 2ct      | 2ct              | 2c       | 2b       | 2ct              | 2ct      | 3t       | 3t               |

|     |     |     |    |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2   | 2b  | 2b  | 2c | 9   | 9   | 2ct | 3tb | 3tb |
| 2   | 9   | 9   | 2c | 3t  | 3t  | 2ct | 4   | 4   |
| 2   | 3t  | 3t  | 2c | 3tb | 3tb | 2ct | 5b  | 5b  |
| 2   | 3   | 3t  | 2c | 4   | 4   | 2ct | 5   | 5b  |
| 2   | 3b  | 3b  | 2c | 5b  | 5b  | 2ct | 6   | 6   |
| 2   | 3t  | 3t  | 2c | 5   | 5b  | 2ct | 7   | .   |
| 2   | 3tb | 3tb | 2c | 6   | 6   | 2ct | 8   | 9   |
| 2   | 4   | 4   | 2c | 7   | .   | 2ct | 8b  | 9   |
| 2   | 5b  | 5b  | 2c | 8   | 9   | 2ct | 10  | .   |
| 2   | 5   | 5b  | 2c | 8b  | 9   |     |     |     |
| 2   | 6   | 6   | 2c | 10  | .   |     |     |     |
| 2   | 7   | .   |    |     |     |     |     |     |
| 2   | 8   | 9   | 3t | 3tb | 3tb | 3b  | 3t  | 3tb |
| 2   | 8b  | 9   | 3t | 4   | 4   | 3b  | 3tb | 3tb |
| 2   | 10  | .   | 3t | 5   | 5b  | 3b  | 4   | 4   |
|     |     |     | 3t | 5b  | 5b  | 3b  | 5b  | 4   |
| 3   | 3t  | 3t  | 3t | 6   | 6   | 3b  | 5   | 5b  |
| 3   | 3b  | 3b  | 3t | 7   | 7   | 3b  | 6   | 6   |
| 3   | 4   | 4   | 3t | 8   | 9   | 3b  | 7   | 7   |
| 3   | 5b  | 5b  | 3t | 8b  | 9   | 3b  | 8   | 9   |
| 3   | 5   | 4   | 3t | 9   | 9   | 3b  | 8b  | 9   |
| 3   | 6   | 6   | 3t | 10  | .   | 3b  | 9   | 9   |
| 3   | 7   | 7   |    |     |     | 3b  | 10  | .   |
| 3   | 8   | 9   | 4  | 5b  | 4   |     |     |     |
| 3   | 8b  | 9   | 4  | 5   | 5b  | 5b  | 5   | 5b  |
| 3   | 9   | 9   | 4  | 6   | 6   | 5b  | 6   | 6   |
| 3   | 10  | .   | 4  | 7   | 7   | 5b  | 7   | 7   |
|     |     |     | 4  | 8   | .   | 5b  | 8   | .   |
| 3tb | 4   | 4   | 4  | 8b  | .   | 5b  | 8b  | .   |
| 3tb | 5b  | 5b  | 4  | 9   | .   | 5b  | 9   | .   |
| 3tb | 5   | 5b  | 4  | 10  | .   | 5b  | 10  | .   |
| 3tb | 6   | 6   |    |     |     |     |     |     |
| 3tb | 7   | 7   | 6  | 7   | 6   | 8   | 8b  | 8b  |
| 3tb | 8   | 9   | 6  | 8   | .   | 8   | 9   | 9   |
| 3tb | 8b  | 9   | 6  | 8b  | .   | 8   | 10  | .   |
| 3tb | 9   | 9   | 6  | 9   | .   |     |     |     |
| 3tb | 10  | .   | 6  | 10  | .   | 8b  | 9   | 9   |
|     |     |     |    |     |     | 8b  | 10  | .   |
| 5   | 6   | 6   | 7  | 8   | .   |     |     |     |
| 5   | 7   | 7   | 7  | 8b  | .   | 9   | 10  | .   |
| 5   | 8   | .   | 7  | 9   | .   |     |     |     |
| 5   | 8b  | .   | 7  | 10  | .   |     |     |     |
| 5   | 9   | .   |    |     |     |     |     |     |
| 5   | 10  | .   |    |     |     |     |     |     |

. Combinaciones no válidas

Tabla 3. Resultados del tercer nivel de clasificación. Fragn.1 o 2 corresponde a los fragmentos individuales. La clase resultante es el resultado final asignado.

- 5 La salida o resultado final ofrecido por el método y sistema de la presente invención consiste no sólo en la clasificación de cálculos renales, sino también en recomendaciones de tratamiento para el médico. Estas recomendaciones dependen

directamente del tipo de cálculo renal detectado, relacionado con el origen directo de la piedra. Las recomendaciones están vinculadas a un sistema de clasificación estricto que ha sido definido específicamente para este caso. En la literatura, se han definido algunos sistemas de clasificación para los cálculos renales, pero basándose en la experiencia de los presentes inventores estos sistemas se han reconstruido y adaptado a este problema específico y se ha combinado con los requisitos de análisis de imagen. De acuerdo con la presente invención, las piedras se clasifican de acuerdo a una combinación de clases definidas en una tabla diseñada específicamente para este propósito, que considera la parte exterior y la parte interior de las piedras. Esta forma de clasificación de cálculos renales no se ha utilizado nunca previamente.

La clasificación de imágenes basada puramente en parámetros ópticos se complementa, opcionalmente, tal y como ya se indicó en un apartado anterior, con información adicional procedente de la historia clínica del paciente. Por lo tanto, la tasa de muestras correctamente clasificadas se mejora mediante la consideración de algunos parámetros como el pH de la orina, ya que éste está directamente relacionado con el tipo de cálculo renal formado. La inclusión del pH de la orina en la clasificación de la piedra es otra característica exclusiva de la presente invención, ya que ninguna otra metodología que utilice dicho parámetro ha sido descrita con anterioridad.

Los presentes inventores han diseñado un prototipo del sistema propuesto por el segundo aspecto de la invención, especialmente configurado para implementar el método de la invención. Todos los componentes fueron elegidos de forma independiente para satisfacer tanto un alto rendimiento como un criterio de bajo coste. La configuración de iluminación fue elegida basándose en la experiencia de los presentes inventores en clasificación de piedras (así se escogieron los rangos de energía más útiles para esta aplicación) y tratamiento de la imagen (la configuración física del hardware se basó en la experiencia en el análisis de imágenes y en trabajo de laboratorio, por lo que se probaron un alto número de configuraciones de iluminación antes de seleccionar la más adecuada).

En la Figura 2 se ilustra esquemáticamente el sistema propuesto por la presente invención, para un ejemplo de realización, para el cual el sistema comprende:

- Una placa de iluminación 3, con LEDs L de diferentes longitudes de onda en el espectro visible y de infrarrojo cercano,

- Una unidad de control 5 (o parte local del sistema electrónico, según la terminología utilizada en un apartado anterior) para controlar la intensidad y el tipo de luz emitida por los diodos LED L de la placa de iluminación 3, conectada a un ordenador externo 7 (o parte remota del sistema electrónico, según la terminología utilizada en un apartado anterior),
- Una cámara digital 4, también conectada al ordenador externo 7, además de una óptica adecuada 8, que incluye un tubo extensor y una lente,
- Una carcasa 1 que define un espacio interior aislado lumínicamente del exterior para aislar a la muestra S de la luz ambiente,
- Un sensor de infrarrojos 6,
- Un soporte o bandeja de muestras 2,
- Una estructura de soporte interior (no ilustrada).

Las imágenes de las muestras, que se utilizan para la descripción de las características de la piedra necesarias para la clasificación (textura, forma y color), se toman usando una cámara convencional, equipada con un sensor de Silicio. Las energías de iluminación utilizadas están en el rango Visible – Infrarrojo cercano (400-1000 nm) dentro del rango de sensibilidad de este sensor. La información de la imagen se puede complementar con el uso de otros LEDs, que emiten a longitudes de onda específicas, lo que permite las mediciones de intensidades de reflectancias particulares. La placa de iluminación 3 ha sido especialmente diseñada para que las lentes permitan observar el cálculo renal S, y la ubicación de los LED L se ha escogido para evitar sombras en la muestra S. Además, un sensor de infrarrojos 6 dispuesto en esta placa 3 proporciona una señal de la luz reflejada al ordenador 7. Los parámetros de funcionamiento de los diferentes tipos de iluminación se controlan mediante el software.

Por lo que se refiere a la bandeja para muestras 2, en el prototipo construido ésta es una bandeja de muestras móvil 2 con un fondo homogéneo, diseñada para la colocación de las diferentes muestras S en el campo de visión de la cámara 4, y para distinguir ópticamente el fragmento de piedra del fondo (segmentación). La bandeja de muestras 2 se ha colocado en una plataforma móvil, que sirve para la mejor colocación de la piedra S para un enfoque y una adaptación de la iluminación más simples. Para otro ejemplo de realización, la bandeja de muestras no es móvil.

Se ha diseñado asimismo una estructura de soporte adecuada (no ilustrada) para soportar a los elementos del sistema dentro de la carcasa 1. Ésta mantiene a todos los

componentes en la posición definida, permitiendo al mismo tiempo que la bandeja de muestras 2 se pueda mover según sea necesario, tanto para colocar la muestra en el campo de vista de la cámara como para ajustar el enfoque de la imagen.

- 5 El sistema opera desde un ordenador 7 usando software especial diseñado para este propósito. Este software controla la imagen capturada, así como las condiciones de iluminación. Además, una interfaz gráfica de usuario adecuada ha sido diseñada para la adquisición de imágenes de piedras, la clasificación y la visualización del resultado. Esta interfaz permite nombrar la muestra y la recogida y el almacenamiento de varias
- 10 imágenes, así como los datos de infrarrojo cercano asociados para cada fragmento de piedra, y también para más de un fragmento de piedra para cada muestra (piedras con origen ESWL consistían generalmente en varios fragmentos). Una vez grabadas todas las imágenes y datos de las piedras de una determinada muestra, se clasificaron usando un conjunto de algoritmos supervisados diseñados exclusivamente para la
- 15 presente invención. Además de esas imágenes y de la información IR, se pueden introducir otros datos del paciente, relevantes para la clasificación, tal como edad, sexo y nivel de pH de la orina. Los resultados de la clasificación se dan como la distribución de probabilidad para cada clase basada en el grado de creencia en término de percepción, ilustrándose, por ejemplo, mediante un diagrama.
- 20 Un experto en la materia podría introducir cambios y modificaciones en los ejemplos de realización descritos sin salirse del alcance de la invención según está definido en las reivindicaciones adjuntas.

25

## REIVINDICACIONES

- 1.- Método para la clasificación automática de cálculos renales, que comprende:
  - a) adquirir una imagen de un cálculo renal;
  - 5       b) analizar información contenida en dicha imagen adquirida; y
  - c) clasificar dicho cálculo renal en función del resultado de dicho análisis;estando el método **caracterizado** porque dicho análisis de dicha etapa b) se lleva a cabo usando técnicas de visión por computador, donde dicha información a analizar se refiere a las características de imagen asociadas a al menos la textura del cálculo renal.
- 10       2.- Método según la reivindicación 1, caracterizado porque para el análisis de la etapa b) también se utilizan técnicas de aprendizaje computacional.
- 3.- Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha imagen adquirida es una imagen digital, y porque el análisis de la etapa b) se lleva a cabo de una vez sobre la imagen digital completa adquirida en la etapa a), sin realizar una
- 15       clasificación individual de cada píxel.
- 4.- Método según la reivindicación 1, 2 ó 3, caracterizado porque dicha información a analizar se refiere a características de imagen asociadas, además de a textura, a otras características visuales del cálculo renal, incluyendo tamaño y/o forma y/o color.
- 20       5.- Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha etapa a) comprende adquirir al menos dos imágenes de un fragmento de dicho cálculo renal, una correspondiente a una vista de una superficie exterior y otra a una vista de una superficie interior expuesta, y analizarlas en la etapa b).
- 25       6.- Método según la reivindicación 5, caracterizado porque si dicho fragmento de cálculo renal no tiene expuesta ninguna superficie interior, el método comprende cortarlo para exponer dicha superficie interior cuya imagen se adquiere en la etapa a).
- 7.- Método según la reivindicación 5 ó 6, caracterizado porque comprende adquirir en la etapa a) y analizar en la etapa b), una pluralidad de imágenes de unas
- 30       correspondientes vistas de cada una de dichas superficies exterior e interior de dicho fragmento de cálculo renal, cada una de ellas bajo unas condiciones de iluminación y/o tiempo de exposición diferentes.
- 8.- Método según la reivindicación 7, caracterizado porque comprende llevar a cabo dichas adquisiciones con un mismo sensor de imagen sensible a las longitudes de
- 35       onda asociadas a todas las iluminaciones incluidas en dichas condiciones de iluminación diferentes, que se encuentran dentro del rango que va desde la luz visible al

infrarrojo cercano, o con varios sensores de imagen sensibles, en conjunto, a todas dichas diferentes longitudes de onda.

9.- Método según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, caracterizado porque comprende realizar dicha adquisición, en la etapa a), y análisis, en la etapa b),  
5 de imágenes de dichas vistas de dichas superficies exterior e interior para una pluralidad de fragmentos de una misma muestra.

10.- Método según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9, caracterizado porque dicha clasificación de dicha etapa c) basada en el análisis de dichas imágenes de dicho fragmento o dichos fragmentos de cálculo renal, es una clasificación de un  
10 primer nivel, o clasificación de vista, que incluye, para cada vista, una estimación de la probabilidad de su pertenencia a una clase de cálculo renal asociada a composición química, a partir del cálculo de un vector de probabilidades para cada vista que incluye información sobre la distribución espacial de dichas probabilidades.

11.- Método según la reivindicación 10, caracterizado porque comprende  
15 realizar, en la etapa c), una clasificación de un segundo nivel, o clasificación de fragmento, que comprende combinar los resultados obtenidos en la clasificación de un primer nivel para varias vistas de un mismo fragmento de cálculo renal, para determinar una clase única para cada fragmento basándose además de en composición química también en la localización y distribución de los componentes químicos asociados a  
20 dichas probabilidades y a qué vista corresponden.

12.- Método según la reivindicación 11, caracterizado porque comprende corregir el resultado de dicha clasificación de un segundo nivel si el resultado para un fragmento determinado difiere de los obtenidos para cada una de las vistas del mismo, en la clasificación de un primer nivel, por encima de un valor de coste determinado.

25 13.- Método según la reivindicación 12, caracterizado porque dicha corrección comprende reclasificar dicho fragmento teniendo menos en cuenta, o no teniendo en cuenta en absoluto, la localización y distribución de los componentes químicos asociados a las mencionadas probabilidades y a qué vista corresponden.

14.- Método según la reivindicación 11, 12 ó 13, caracterizado porque  
30 comprende realizar dichas etapas a), b) y c) para al menos dos fragmentos de una misma muestra, comprendiendo el método realizar, en la etapa c), una clasificación de un tercer nivel, o clasificación de muestra, que comprende, si la clasificación de un segundo nivel de dichos fragmentos, que son al menos dos, no es coincidente, asignar una clase única para la muestra.

35 15.- Método según la reivindicación 10, 11 ó 14, caracterizado porque comprende:

- generar, de manera previa a dicha etapa a), un conjunto de entrenamiento, o de aprendizaje, para una pluralidad de muestras de cálculos renales clasificadas manualmente por un experto, incluyendo, de manera correlacionada, información de composición química, de distribución espacial y de apariencia visual para vistas internas y externas de diferentes fragmentos de cada muestra representadas en imágenes obtenidas con distintos tipos de iluminación y tiempos de exposición, y

- realizar dichas clasificaciones de un primer, un segundo y un tercer nivel consultando las imágenes adquiridas en dicho conjunto de entrenamiento y extrayendo la información de clase correlacionada con las imágenes más similares a las consultadas.

16.- Método según la reivindicación 15, caracterizado porque comprende entrenar a dicho conjunto de entrenamiento y/o a unos clasificadores automáticos utilizados para realizar al menos dichas clasificaciones de un primer, un segundo y un tercer nivel utilizando los resultados de las clasificaciones.

17.- Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende llevar a cabo dicha clasificación de la etapa c) complementando el análisis de la etapa b) con información adicional relativa al paciente del que proviene el cálculo renal y/u obtenida del cálculo renal con sensores no basados en cámara.

18.- Método según la reivindicación 17, caracterizado porque dicha información relativa al paciente incluye al menos una de las siguientes informaciones, o una combinación de las mismas:

- datos simples relativos a sexo y/o edad y/o raza y/o complexión y/o índice de masa corporal y/o desórdenes de salud asociados a la litiasis renal, y/o

- datos ligados a analíticas colaterales, incluyendo al menos uno de los siguientes datos recogidos en análisis de orina del paciente: pH, calcio, oxalato, magnesio, amonio y fosfato.

19.- Método según la reivindicación 17 ó 18, caracterizado porque dicha información obtenida del cálculo renal con sensores no basados en cámara incluye al menos información de reflectividad en otras zonas del espectro electromagnético no incluidas en dicha imagen adquirida en a).

20.- Sistema para la clasificación automática de cálculos renales, que comprende:

- medios de adquisición de imágenes para adquirir al menos una imagen de un cálculo renal;



- un sistema electrónico en conexión con dichos medios de adquisición de imágenes y que incluyen unos medios de procesamiento para procesar información contenida en dicha imagen adquirida y para clasificar dicho cálculo renal en función del resultado de dicho análisis;

- 5 estando el sistema **caracterizado** porque implementa el método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, implementando dichos medios de procesamiento al menos un algoritmo basado en técnicas de visión por computador para realizar las etapas b) y c) del método.

10 21.- Sistema según la reivindicación 20, caracterizado porque dicho algoritmo implementando en dichos medios de procesamiento está basado también en aprendizaje computacional, para realizar las etapas b) y c) del método según la reivindicación 2.

15 22.- Sistema según la reivindicación 21, caracterizado porque comprende una carcasa (1) que define un espacio interior aislado lumínicamente del exterior que alberga, sustentados y/o fijados en una estructura de soporte interior:

- a un soporte (2) para muestras (S) de cálculos renales;
- a unos medios de iluminación dispuestos para iluminar, con luz de una o más longitudes de onda, la o las muestras (S) de cálculos renales dispuestas sobre dicho soporte (2);
- 20 - a dichos medios de adquisición de imágenes, los cuales incluyen al menos un sensor de imagen (4) sensible a dicha o dichas longitudes de onda; y
- a al menos parte de dicho sistema electrónico que también incluye a unos medios de control (5) para controlar a al menos los medios de iluminación.

25 23.- Sistema según la reivindicación 22, caracterizado porque comprende también uno o más sensores (6) sensibles a un rango del espectro electromagnético diferente al asociado a dichos medios de adquisición de imágenes, dispuesto o dispuestos enfrentados a la o las muestras (S) de cálculos renales dispuestas sobre dicho soporte (2), y en conexión con el sistema electrónico, para captar la reflectividad global de la muestra o muestras (S) en un rango espectral adecuado para su

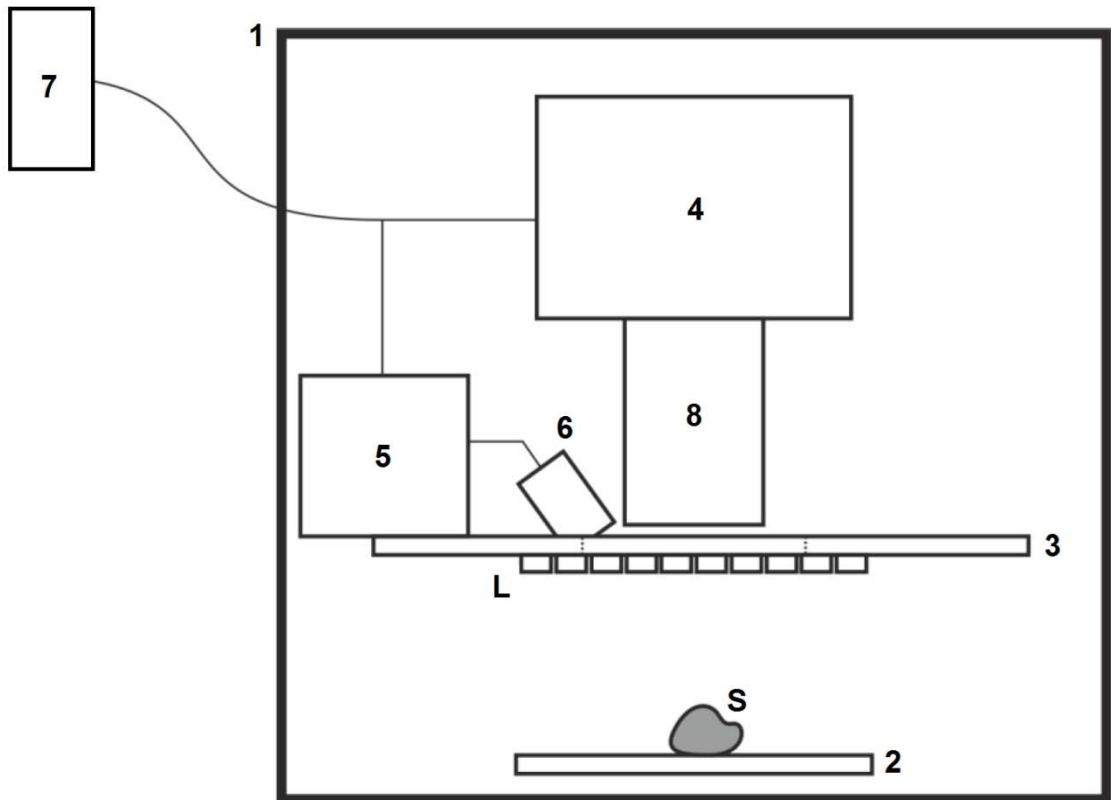
30 caracterización.

24.- Sistema según la reivindicación 22 ó 23, caracterizado porque dicha parte de dicho sistema electrónico albergada dentro de la carcasa (1) es una parte local (5) y porque el sistema electrónico comprende una parte remota (7) comunicada bidireccionalmente con dicha parte local (5) y con los medios de adquisición de

35 imágenes.

25.- Programa de ordenador que incluye instrucciones de código que, al ejecutarse en un ordenador, implementa las etapas b) y c) del método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 19.

26.- Producto de programa de ordenador que comprende el programa de  
5 ordenador de la reivindicación 25.



**Fig. 1**