

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 634 910**

51 Int. Cl.:

**E03F 7/00** (2006.01)

**G01M 3/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.03.2010 PCT/US2010/025989**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.09.2010 WO10101966**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.03.2010 E 10710120 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2017 EP 2404151**

54 Título: **Sistemas y procedimientos de supervisión para sistemas de alcantarillado y otros conductos**

30 Prioridad:

**06.03.2009 US 399492**

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

**29.09.2017**

73 Titular/es:

**UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA AT  
CHARLOTTE (100.0%)  
9201 University City Boulevard 305 Cameron  
Building  
Charlotte, NC 28223-0001, US**

72 Inventor/es:

**HOWITT, IVAN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 634 910 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Sistemas y procedimientos de supervisión para sistemas de alcantarillado y otros conductos

### **Remisión a solicitud(es) relacionada(s)**

5 La presente solicitud de patente no provisional reivindica el beneficio de la prioridad de la Solicitud de Patente de Estados Unidos N.º 61/041,725, presentada el 2 de abril de 2008 y titulada "SEWER SYSTEM OVERFLOW (SSO) DETECTION NETWORK".

### **Campo de la invención**

10 La presente invención se refiere en general a la supervisión de sistemas y procedimientos para sistemas de alcantarillado y otros conductos. Más específicamente, la presente invención se refiere a una red de sensores operables para la predicción y detección de bloqueos y roturas en un sistema de alcantarillado, otro sistema de distribución de fluidos u otro sistema de distribución de gas, de tal forma que puede realizarse mantenimiento preventivo y de emergencia con un despliegue eficiente de recursos y pueden evitarse daños y pérdida mayores. Esta red de sensores utiliza señales de audio y/o frecuencia de radio (RF).

### **Antecedentes de la invención**

15 En los Estados Unidos anualmente se producen más de 34 mil desbordamientos de alcantarillado, resultando en el derrame de más de 3,22 billones (850 mil millones de galones) de aguas residuales no tratadas. En Charlotte, Carolina del Norte, por ejemplo, en 2007 se produjeron más de 400 desbordamientos de alcantarillado sanitario (SSO) dentro del área de servicio de Charlotte-Mecklenburg Utilities (CMU), resultando en el derrame de más de 6,06 millones (1,6 millones de galones) de aguas residuales no tratadas. Tales desbordamientos de alcantarillado se provocan predominantemente por bloqueos. Estos bloqueos provocan que las aguas residuales no tratadas se derramen fuera de los registros a las calles, a propiedades públicas y privadas y a vías fluviales. Los resultados son daños materiales, problemas ambientales y, en los casos más graves, salud pública y peligros para la seguridad. La complejidad y naturaleza dinámica del sistema de alcantarillado presenta significantes desafíos de mantenimiento. El desarrollo de política de mantenimiento subyacente es una correlación de ingeniería: mantenimiento en exceso resulta en un despliegue de recursos ineficiente y coste innecesario y mantenimiento insuficiente resulta en un mayor riesgo de desbordamiento. Por lo tanto, existe una necesidad en esta industria y otras de sistemas y procedimientos fiables y asequibles para predecir y detectar bloqueos y roturas en un sistema de alcantarillado, otro sistema de distribución de fluidos u otro sistema de distribución de gas, de tal forma que mantenimiento preventivo y de emergencia puede realizarse con un despliegue eficiente de recursos y pueden evitarse daños y pérdidas mayores. El documento US 2003/033879 A1 describe la supervisión de un conducto transmitiendo una señal en el conducto en una dirección paralela a una dirección de flujo de fluido prevista y captando un bloqueo en la sección de conducto asociada a base de una señal reflejada medida con sensores dispuestos en el conducto.

### **Breve resumen de la invención**

35 En diversas realizaciones ilustrativas, la presente invención proporciona sistemas y procedimientos de supervisión para sistemas de alcantarillado y otros conductos. Estos sistemas y procedimientos de supervisión permiten que las compañías de servicios públicos de aguas residuales y similares implementen sistemas de mantenimiento predictivos dinámicos (DPMS) e introduzcan programas de mantenimiento justo a tiempo para la mitigación de desbordamientos de alcantarillado combinados (CSO), que implican tanto aguas residuales como agua de lluvia, y SSO, que implican únicamente aguas residuales. Por ejemplo, los sistemas y procedimientos de supervisión permiten la detección de bloqueos en tuberías de bajo flujo debido a atascos de grasa, bolas de raíces y similares, así como roturas. Los esfuerzos de mantenimiento pueden entonces dirigirse a áreas en las que los problemas son más probables, así como en las que ya existen. Será fácilmente evidente a los expertos en la materia, que aunque muchos de los ejemplos proporcionados en el presente documento implican sistemas de alcantarillado, los sistemas y procedimientos de supervisión de la presente invención son aplicables a cualquier sistema de conductos, tales como sistemas de distribución de petróleo, otros sistemas de distribución de fluidos, sistemas de distribución de gas, etc. - es decir cualquier sistema que incluya una red de "tuberías" para la distribución de uno o más "materiales" (dando a estos términos las más extensas interpretaciones posibles).

50 En una realización ilustrativa, la presente invención proporciona un sistema de supervisión para una red de conductos como se define en la reivindicación 1. Preferentemente, cada uno de los dispositivos de sensor incluye uno de un dispositivo sensor de audio y un dispositivo sensor de frecuencia de radio y se comunica a través de este medio. Cada uno de los dispositivos de sensor es operable para la detección del bloqueo o rotura en la sección de conducto asociada midiendo un atributo de una señal transmitida/recibida, solo o en combinación con otro dispositivo sensor. Cada uno de los dispositivos de sensor es operable para la comunicación de la información de bloqueo o rotura a la ubicación central a través de un enlace inalámbrico. El sistema de supervisión también incluye un modelo predictivo de red de conductos proporcionado en la ubicación central y operable para el procesamiento de la información de bloqueo o rotura para formar una política de mantenimiento predictiva dinámica que dicta una acción de mantenimiento. El sistema de supervisión adicionalmente incluye una base de datos histórica que informa al modelo predictivo de red de conductos. El sistema de supervisión aún incluye adicionalmente un mecanismo de

alarma que se activa en la ubicación central mediante la información de bloqueo o rotura si se cruza un determinado umbral de bloqueo o rotura. Opcionalmente, la red de conductos incluye una red de líneas de alcantarillado, las secciones de conducto incluyen secciones de línea de alcantarillado y los nodos de conductos incluyen registros.

5 En otra realización ilustrativa, la presente invención proporciona un procedimiento de supervisión para una red de conductos como se define en la reivindicación 9. Preferentemente, cada uno de los dispositivos de sensor incluye uno de un dispositivo sensor de audio y un dispositivo sensor de frecuencia de radio y se comunica a través de este medio. Cada uno de los dispositivos de sensor es operable para la detección del bloqueo o rotura en la sección de conducto asociada midiendo un atributo de una señal transmitida/recibida, solo o en combinación con otro dispositivo sensor. Cada uno de los dispositivos de sensor es operable para la comunicación de la información de bloqueo o rotura a la ubicación central a través de un enlace inalámbrico. El procedimiento de supervisión también incluye proporcionar un modelo predictivo de red de conductos en la ubicación central operable para el procesamiento de la información de bloqueo o rotura para formar una política de mantenimiento predictiva dinámica que dicta una acción de mantenimiento. El procedimiento de supervisión adicionalmente incluye proporcionar una base de datos histórica que informa al modelo predictivo de red de conductos. El procedimiento de supervisión aún incluye adicionalmente proporcionar un mecanismo de alarma que se activa en la ubicación central mediante la información de bloqueo o rotura si se cruza un determinado umbral de bloqueo o rotura. Opcionalmente, la red de conductos incluye una red de líneas de alcantarillado, las secciones de conducto incluyen secciones de línea de alcantarillado y los nodos de conductos incluyen registros.

20 En una realización ilustrativa adicional, la presente invención proporciona un procedimiento de supervisión y mantenimiento para una red de conductos como se define en la reivindicación 17. Opcionalmente, el estado de bloqueo o rotura se evalúa en una ubicación central. Opcionalmente, el estado de bloqueo o rotura se evalúa en la ubicación central usando un modelo predictivo de red de conductos operable para el procesamiento de información de bloqueo o rotura para formar una política de mantenimiento predictiva dinámica que dicta una acción de mantenimiento. Opcionalmente, la red de conductos incluye una red de líneas de alcantarillado, las secciones de conducto incluyen secciones de línea de alcantarillado y los nodos de conductos incluyen registros.

### **Breve descripción de los dibujos**

La presente invención se ilustra y describe en el presente documento con referencia a los diversos dibujos, en los que números de referencia similares se usan para indicar componentes/etapas de procedimientos de sistema similares, según sea apropiado, y en los que:

30 la Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra una realización ilustrativa de la estructura DPMS de la presente invención;

la Figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra una realización ilustrativa de la red de sensores inalámbricos de línea de alcantarillado (SL-WASN) de la presente invención (que conceptualmente es similar a la red de sensores RF inalámbricos de línea de alcantarillado de la presente invención);

35 la Figura 3 es una representación que ilustra la evaluación de un coeficiente de atenuación de audio para una tubería de policloruro de vinilo (PVC) de 20,32 cm (8 pulgadas);

la Figura 4 es un diagrama esquemático que ilustra una realización ilustrativa de un procedimiento de medición usado por la SL-WASN de la Figura 2 para obtener un conjunto de comportamientos de estimaciones de bloqueo usado para clasificar un estado de bloqueo de una sección de línea de alcantarillado en riesgo;

40 la Figura 5 es un diagrama esquemático que ilustra un procedimiento ilustrativo para la estimación de una respuesta a impulso asociada con el procedimiento de medición de la Figura 4;

la Figura 6 es un diagrama esquemático que ilustra una realización ilustrativa de un nodo de sensor acústico de la SL-WASN de la Figura 2;

45 la Figura 7 es un diagrama esquemático que ilustra una realización ilustrativa de un protocolo SL-WASN de la presente invención, en la que los datos de bloqueo se comunican desde el nodo A-B-C-D de sensor;

la Figura 8 es un diagrama esquemático que ilustra otra, más genérica, realización ilustrativa de la estructura DPMS de la presente invención; y

la Figura 9 es un diagrama esquemático que ilustra una realización ilustrativa de un nodo de sensor de audio de la presente invención, destacando los componentes del mismo.

### **Descripción detallada de la invención**

Haciendo referencia a la Figura 1, el DPMS 10 de la presente invención utiliza observaciones en tiempo real de secciones 12 de línea de alcantarillado de aguas residuales en riesgo para formular una política 14 de mantenimiento predictiva dinámica. Esta política 14 de mantenimiento predictiva dinámica de justo a tiempo minimiza las pérdidas económicas asociadas con la planificación de mantenimiento convencional dentro de secciones 12 de

línea de alcantarillado de aguas residuales en riesgo.

La planificación de mantenimiento convencional habitualmente utiliza conocimiento previo y análisis de evaluación de riesgo informal para mitigar CSO y SSO. Por ejemplo, se conoce que secciones de línea de alcantarillado de aguas residuales que se ubican cerca de restaurantes y similares requieren mantenimiento regular debido a prácticas de manipulación de grasa inadecuadas.

Como se indica mediante la distribución aleatoria de CSO y SSO dentro de muchos municipios, es inadecuado el uso de las mejores prácticas actuales en la evaluación de secciones 12 de línea de alcantarillado de aguas residuales en riesgo. Usando datos históricos, datos climatológicos, patrones culturales y patrones de follaje, ciertas áreas dentro de una red de compañía de servicio público de aguas residuales pueden apuntarse como que tiene un mayor riesgo de CSO y SSO, pero sin ninguna percepción real en las secciones de línea de alcantarillado de aguas residuales específicas en riesgo de desbordamiento. Análogamente, las líneas principales, que a menudo corren a lo largo de arroyos aislados o cuencas fluviales, presentan un riesgo particularmente alto. Debido a sus ubicaciones remotas y alta capacidad de flujo, un bloqueo o rotura puede resultar en un derrame con un millón o más de litros de aguas residuales derramándose antes de la reparación. Usando esta percepción, se facilita la viabilidad comercial de la estructura DPMS de la presente invención limitando el despliegue de tecnología de observación en tiempo real DPMS a secciones 12 de línea de alcantarillado de aguas residuales en riesgo con un alto riesgo de desbordamientos o altos costes si se producen desbordamientos.

Secciones de línea de alcantarillado de aguas residuales de SSO con alto riesgo y aperiódicas son candidatas para el empleo de la estructura DPMS de la presente invención. Como se ilustra en la Figura 1, el DPMS 10 de la presente invención despliega una SL-WASN 16 operable para la realización de observaciones en tiempo real. Análogamente, puede desplegarse un equivalente RF de la SL-WASN 16. La SL-WASN 16 es un componente clave tanto para la supervisión de las secciones 12 de línea de alcantarillado de aguas residuales en riesgo, así como para proporcionar tecnología de comunicaciones para retransmitir las observaciones en tiempo real de vuelta a una oficina central. Las observaciones en tiempo real se introducen en un modelo 18 predictivo de línea de alcantarillado que utiliza análisis de dos puertos, conjunto de comportamientos de vecindad, una estimación de estado, un modelo oculto de Markov y/o similares, que proporcionan un análisis 20 de evaluación de riesgo de mantenimiento. Tanto este modelo 18 predictivo de línea de alcantarillado como análisis 20 de evaluación de riesgo de mantenimiento se informan mediante el conocimiento previo 22 descrito anteriormente; incluyendo datos históricos, datos climatológicos, patrones culturales, patrones de follaje y/o similares. Debería observarse que pueden tenerse en cuenta otros factores para otras aplicaciones que no sean de línea de alcantarillado. El análisis 20 de evaluación de riesgo de mantenimiento se usa para formular la política 14 de mantenimiento predictiva dinámica y tomar una acción 24 de mantenimiento, información sobre la cual se introduce de vuelta al modelo 18 predictivo de línea de alcantarillado y análisis 20 de evaluación de riesgo de mantenimiento. Como se ha descrito anteriormente, se usan observaciones 26 en tiempo real para informar la colocación y operación de la SL-WASN 16.

Cada uno de los componentes del DPMS 10 se describe en mayor detalle en el presente documento a continuación. El DPMS 10 es a base del despliegue de la SL-WASN 16 para habilitar e implementar la estructura DPMS. Los componentes del DPMS 10 interrelacionan entre sí para formar una solución llave en mano para compañías de servicio público de aguas residuales para mantener secciones 12 de líneas de alcantarillado o para otras entidades para mantener otras secciones de redes de conductos de una manera similar. A este respecto, el DPMS 10 de la presente invención es muy adaptable y robusto.

El análisis 20 de evaluación de riesgo de mantenimiento se efectúa en tiempo real para la porción de la red de la compañía de servicio público de aguas residuales cubierta por el DPMS 10. Esta evaluación es a base de datos retransmitidos a la oficina central desde la SL-WASN 16. Los datos proporcionados por la SL-WASN 16 son un conjunto de comportamientos que caracterizan el bloqueo para cada sección de tubería, es decir el conjunto de comportamientos de estimaciones de bloqueo. Usando el conjunto de comportamientos de estimaciones de bloqueo, se hacen estimaciones de estado del bloqueo. La composición específica del conjunto de comportamientos de estimación de bloqueo es específica de la aplicación. La complejidad y requisitos de implementación del análisis 20 de evaluación de riesgo de mantenimiento son a base de las características del conjunto de comportamientos de estimación de bloqueo y los procedimientos de ruido asociados con la medición de datos. Estos factores influyen la capacidad de discriminar entre los diversos estados de bloqueos, es decir el grado al que se bloquea o rompe una sección de tubería.

Se usa un análisis clásico de evaluación bayesiano de riesgo para ilustrar el análisis 20 de evaluación de riesgo de mantenimiento, en el que la acción de mantenimiento óptima es a base de minimizar el siguiente riesgo condicional en el conjunto de todas las acciones posibles:

$$R(\alpha_i|x) = \sum_{j=1}^{N.^{\circ} \text{Estados}} \lambda(\alpha_i|\omega_j) \Pr[\omega_j|x] \quad (1)$$

en la que:

- $\alpha_i$  es la  $j^{\text{ésima}}$  acción de mantenimiento, por ejemplo limpiar la sección 12 de línea de alcantarillado en riesgo en el siguiente mes.
- $\omega_j$  es el  $j^{\text{ésimo}}$  estado de bloqueo dentro de la sección de línea de alcantarillado en riesgo, por ejemplo la sección 12 de línea de alcantarillado en riesgo está bloqueada un 25 %.
- 5  $\Pr[\omega_j|x]$  es la probabilidad de estado  $\omega_j$  dada la observación  $x$ .  $\omega_j$  es el verdadero estado de bloqueo y  $x$  es la observación desde la que el verdadero estado de bloqueo debe deducirse.
- $\lambda(\alpha_i|\omega_j)$  es una función de ponderación que representa la pérdida asociada con tomar la acción de mantenimiento  $\alpha_i$  dado el estado de bloqueo  $\omega_j$ , por ejemplo la pérdida asociada con la espera de un mes para realizar el mantenimiento dado que la sección 12 de línea de alcantarillado en riesgo está en la actualidad bloqueada un 25 %.
- 10

Esta evaluación bayesiana de riesgo es únicamente un posible enfoque y se proporciona en este punto por medio de ejemplo no limitante. Debido a las características temporales del bloqueo, es posible que el uso de un Modelo de Markov o un modelo oculto de Markov, bien conocido para los expertos en la materia, pueda mejorar la fiabilidad del análisis de evaluación de riesgo de mantenimiento.

- 15 Observaciones en tiempo real de las secciones 12 de línea de alcantarillado en riesgo proporcionan parámetros medidos para la estimación del estado de bloqueo presente. Estas observaciones en tiempo real se retransmiten a la oficina central, permitiendo que la política 14 de mantenimiento predictiva dinámica se adapte. La SL-WASN 16 de la presente invención incorpora dos innovaciones técnicas novedosas y fundamentales: 1) detecta directamente características de bloqueo/rotura y 2) utiliza una red de comunicación inalámbrica desplegada en la red de conductos. Estas dos innovaciones técnicas novedosas y fundamentales proporcionan ventajas significativas sobre tecnologías de detección de CSO y SSO actuales, en las que la detección se evalúa indirectamente. Por ejemplo, tasas de flujo se miden en la actualidad en ubicaciones dispares dentro de la red de conductos y/o se usa radar para estudiar localmente bloqueos/roturas. En el primer caso, cada medición del medidor de flujo se retransmite directamente a través de una red celular en superficie a la oficina central. En la oficina central, se usan los datos del medidor de flujo, en conjunción con modelos de flujo de red de aguas residuales, para evaluar bloqueos dentro de toda la red de conductos. Dependiendo del número de medidores de flujo, este enfoque puede ser útil para la detección de problemas dentro de las tuberías de mayor diámetro. Las tecnologías convencionales, sin embargo, sufren de su incapacidad para detectar problemas dentro de sus líneas de suministro, donde se producen la mayoría de desbordamientos. Debido al alto coste asociado con tanto los medidores de flujo, así como los costes de servicio iniciales y recurrentes para cada módem celular, expandir el número de medidores de flujo desplegados es prohibitivo. Incluso con un número expandido de medidores de flujo, este enfoque tiene la limitación intrínseca de medición indirecta, que limita la detección temprana de bloqueos.
- 20
- 25
- 30

Haciendo referencia a la Figura 2, la sección 30 ABC de línea de alcantarillado es una típica línea de suministro con una tubería de 20,32 centímetros (8 pulgadas) de diámetro con registro 32 A, registro 34 B y registro 36 C ubicados espaciados a 73,15-152,4 metros (240-500 pies). La sección 30 ABC de línea de alcantarillado suministra en sección 38 CDE de línea principal. Esta región ilustrativa de la red de alcantarillado tiene un alto riesgo de desbordamientos. Por lo tanto, a intervalos regulares dentro de la red de alcantarillado, se despliegan sensores/transceptores de audio o RF inalámbricos de bajo coste (es decir nodo 40 A de sensor, nodo 42 B de sensor, nodo 44 C de sensor, nodo 46 D de sensor y nodo 48 E de sensor) dentro de respectivos registros. En el caso de audio, cada uno de estos nodos de sensor incluye componentes existentes en el mercado fácilmente disponibles, como se ilustra en una realización ilustrativa en la Figura 9. Los nodos de sensor son operables colectivamente para el intercambio de señales de audio que se impactan previsiblemente o se afectan mediante bloqueos/roturas intermedias. En el caso RF, cada uno de estos nodos de sensor también incluye componentes existentes en el mercado fácilmente disponibles. Los nodos de sensor son operables colectivamente para el intercambio de señales RF que se impactan previsiblemente o se afectan mediante bloqueos/roturas intermedias. Los nodos de sensor se auto configuran en una red de sensores, permitiendo que datos de sensores de cada uno de los nodos de sensor se transmitan a través de la red de sensores a un punto de recogida, es decir el nodo 48 E de sensor en el ejemplo ilustrado. Este punto de recogida proporciona una entrada a la red celular para la SL-WASN 16 a través de la que se retransmiten de vuelta a la oficina central las estimaciones de bloqueo/rotura dentro de cada sección de la red de alcantarillado cubierta por la red de sensores. La topología de la red de sensores puede configurarse para soportar mejor la detección de desbordamiento de alcantarillado dentro del distrito de la compañía de servicio público de aguas residuales. Dentro de diferentes regiones de la red de alcantarillado pueden instalarse múltiples redes de sensores para supervisar directamente todas las secciones 12 de línea de alcantarillado en riesgo (Figura 1). De nuevo, otras redes de conductos pueden configurarse de forma similar a la red de alcantarillado ilustrada.

- 55 Midiendo tanto la transmisión como reflexión de las señales de audio/RF entre los nodos de sensor, puede evaluarse directamente un bloqueo/rotura 50 de sección de línea de alcantarillado. Tanto las características de transmisión como de reflexión de las ondas de sonido/señales RF se impactarán a base de acumulación de grasa, bloqueo de raíces u otras obstrucciones, así como una rotura. Esto se ilustra entre el nodo 40 A y nodo 42 B en los que la sección 30 ABC de línea de alcantarillado se obstruye mediante un bloqueo 50 parcial. Las mediciones de señal básicas para la detección de un bloqueo/rotura 50 incluyen: 1) medir las características de transmisión y de reflexión de las señales de audio/RF entre los nodos de sensor, 2) medir únicamente las características de transmisión de las señales de audio/RF entre los nodos de sensor y 3) en el caso de audio, detectar pasivamente ondas de sonido
- 60

ambiente. Por ejemplo, la segunda y tercer mediciones pueden usarse en conjunción entre sí. Diferentes tributos de señal pueden usarse para evaluar un bloqueo/rotura 50 a base de estas mediciones, tales como, por ejemplo: 1) atenuación de señal - la menos compleja de estimar y probablemente suficiente - a base de la transmisión entre dos nodos y 2) respuesta a impulso - Figura 4 - un procedimiento más completo.

5 Opcionalmente, la misma tecnología usada para la detección de la condición de las secciones 12 de línea de alcantarillado en riesgo (Figura 1) también puede usarse para comunicaciones inalámbricas. Las comunicaciones de audio habitualmente se limitan a aplicaciones subacuáticas o comunicaciones de datos por módem informático cableado. Raramente (si alguna vez) se han usado las comunicaciones de audio para aplicaciones de red de sensores inalámbricas debido al alcance de propagación limitado de las ondas de sonido en espacio libre. Para las aplicaciones de red de conductos de la presente invención, las tuberías actúan como guías de ondas, haciendo las comunicaciones de audio una opción viable.

En el caso RF, puede usarse un modelo de parámetros concentrados para estimar las características de estimación a base de las mediciones empíricas:

$$P_R(d) = P_t - \alpha_{(a,\sigma)} \times d - A_{CL} \tag{2}$$

15 en la que la potencia recibida a distancia  $d$ ,  $P_R(d)$ , y la potencia de transmisión,  $P_t$ , están en dBm. La atenuación multimodal  $\alpha$  en dB/m es dependiente de la conductividad,  $\sigma$ , y radio de la guía de onda,  $a$ . La pérdida de acoplamiento de antena  $A_{CL}$  es en dB. En la Tabla 2 se resumen, por ejemplo, resultados de una campaña de mediciones realizada en la banda de 2,4 GHz.

Tabla 2. Campaña de Mediciones Realizada en la Banda de 2,4 GHz

Diámetro de tubería (m)	Pérdida de Acoplamiento de Antena, $A_{cl}$ (dB)	Atenuación, $\alpha$ (dB/m)
0,30	22,93	4,80
0,76	41,56	0,74
1,07	44,83	0,78
1,37	43,39	0,76

20 El desafío con el uso de señales RF para la aplicación SL-WASN se ilustra mediante los resultados de la Tabla 2. Para comunicaciones fiables con transceptores RF existentes en el mercado operando en la banda de 2,4 GHz [ $P_t - P_R(d)_{\max} \approx 120$  dB]. Por lo tanto, para una tubería de 0,3 m (1 pie)  $d_{\max} \approx 20$  m (66 pies) y para una tubería de 1,37 m (4,5 pies)  $d_{\max} \approx 100$  m (330 pies), la distancia máxima estimada es considerablemente menos que la distancia máxima deseada requerida para la aplicación SL-WASN. En base tanto a mediciones teóricas como empíricas, a medida que el diámetro de la tubería disminuye, el número de modos soportados también disminuye, resultando en mayor atenuación de señal. Usando una señal RF en una frecuencia mayor, la atenuación puede disminuirse, pero con un aumento del coste de implementación. Este aumento puede ser aceptable en algunas aplicaciones y el uso de un sistema basado en RF puede no descartarse.

30 La propagación de ondas de audio en tuberías es un tema clásico con una significativa cantidad de teoría e investigación. Tuberías de alcantarillado y conductos similares son guías de onda de audio naturales. La teoría básica sobre la propagación de audio a base de mediciones de laboratorio de absorciones acústicas en fluidos contenidos dentro de tuberías cilíndricas indica la siguiente relación entre la amplitud de presión  $P(\cdot)$  a distancia  $d_2$  en comparación la amplitud de presión  $P(\cdot)$  a distancia  $d_1$ :

$$P(d_2) = P(d_1) e^{-\alpha(d_2-d_1)} \tag{3}$$

35 en la que  $\alpha$  es el coeficiente de atenuación de audio. Para fluidos contenidos dentro de tuberías, los coeficientes de atenuación necesitan tener en cuenta la resistencia viscosa ofrecida en las paredes de tubería. El flujo de fluido dentro de la tubería incurre en una diferencia de fase entre la velocidad de partículas de fluido y la presión acústica debido a las paredes de tubería. La diferencia de fase resulta en la presencia de dispersión acústica además de la atenuación. La atenuación acústica en tuberías puede modelarse bien mediante:

$$\alpha = \frac{1}{ac} \sqrt{\frac{\eta_e \omega}{2 \rho}} \quad (4)$$

en la que  $\alpha$  es el radio de la tubería,  $c$  es la velocidad del sonido,  $\eta_e$  es el coeficiente modificado de viscosidad,  $\omega$  es la frecuencia señal de audio y  $\rho$  es la densidad del fluido. El coeficiente modificado de viscosidad,  $\eta_e$ , incorpora el efecto de conducción térmica en las paredes de tubería:

$$\eta_e = \eta \left[ 1 + \left( \frac{\gamma + 1}{\sqrt{\gamma}} \right) \sqrt{\frac{\kappa}{c_p \eta}} \right]^2 \quad (5)$$

en la que  $\gamma$  es la relación de los calores específicos,  $\kappa$  es la conductividad térmica y  $c_p$  es el calor específico a presión constante. Usando valores típicos para las constantes, el coeficiente de atenuación de audio se evalúa para una tubería de PVC de 20,32 centímetros (8 pulgadas) en la Figura 3. Datos de propagación de audio iniciales se recogieron dentro de una sección de línea de alcantarillado inactiva a base de equipo de medición de primera generación que emplea una señal de audio de 0,5 vatios en el transmisor y un medidor de presión de sonido como el receptor con cobertura de banda de frecuencia desde 20 Hz hasta 20 kHz. La estimación preliminar para el coeficiente de atenuación de audio a base de los datos medidos también se proporciona en la Figura 3. Como se espera, el coeficiente estimado empírico es mayor que el coeficiente estimado analítico.

La viabilidad de usar señales de audio para la aplicación SL-WASN se motiva por los resultados de la Figura 3. Para comunicaciones fiables con hardware de audio existente en el mercado,  $[P(d_1) - P(d_2)]_{\max} \approx 90\text{dB}$ . Para una tubería de suministro de línea de alcantarillado de 20,32 centímetros (8 pulgadas) típica, a base de la estimación empírica para el coeficiente de atenuación de audio,  $d_{\max} \approx 1059$  m (3475 pies) a 600 Hz y  $d_{\max} \approx 234$  m (769 pies) a 10 kHz. La distancia máxima estimada es considerablemente más grande que la distancia máxima deseada de 152,4 metros (500 pies) requeridos para la aplicación SL-WASN. También, el coeficiente de atenuación de audio es inversamente proporcional al radio de tubería; por lo tanto, para tuberías de diámetro mayor, el coeficiente de atenuación disminuye proporcionalmente, sugiriendo alcances de transmisión máximo mayores.

Las ondas de ultrasonido se han usado durante mucho tiempo para la formación de imágenes y la formación de imágenes por onda de audio se usa para la determinación de las acústicas de habitaciones para sistemas de reproducción de sonido. Para la aplicación SL-WASN de la presente invención, se usa un enfoque similar a base de la suposición de que en un intervalo de tiempo lo suficientemente corto cada sección de línea de alcantarillado puede verse como un sistema lineal e invariante en el tiempo (LTI). Debido a las dinámicas del flujo y la variación en el nivel de flujo, la respuesta a impulso de la línea de alcantarillado,  $h(t)$ , es estadísticamente invariante durante un intervalo de tiempo limitado. Este intervalo de tiempo limitado es el tiempo de coherencia para la sección de línea de alcantarillado y es uno de los parámetros de la presente invención.

La Figura 4 ilustra un posible procedimiento de medición usado por la SL-WASN 16 (Figuras 1 y 2) de la presente invención para obtener el conjunto de comportamientos de estimaciones de bloqueo usado para clasificar el estado de bloqueo. Los nodos 40, 42, 44 de sensor se ubican a distancias regulares dentro de los registros. Estos nodos 40, 42, 44 de sensor estiman periódicamente la respuesta a impulso asociada con su reflexión, por ejemplo  $h_{AA}(t)$ , así como la respuesta a impulso asociada con la transmisión desde sus nodos de sensor vecinos, por ejemplo  $h_{BA}(t)$  y  $h_{CA}(t)$ . Cada nodo 40, 42, 44 de sensor en la vecindad transmite secuencialmente y de este modo proporciona un análisis de dos puertos aproximado para cada sección de línea de alcantarillado.

La respuesta a impulso puede estimarse usando varios enfoques diferentes. Uno de los enfoques ilustrativos más prometedor se ilustra en la Figura 5, en la que la señal transmitida en la fuente,  $X(t)$ , es una secuencia de longitud máxima (MLS). Las MLS tienen una densidad espectral de potencia constante aproximada y una auto correlación de  $R_{XX}(\tau) \approx \frac{N_v}{2} \delta(\tau)$ . La respuesta a impulso de la sección de línea de alcantarillado a prueba, es decir la sección de línea de alcantarillado entre la fuente y el receptor, es:

$$h(\tau) \approx \hat{R}_{XY}(\tau) \approx \frac{1}{2\pi} \int_{-T}^T x(t)y(t+\tau)dt \quad (6)$$

dado que  $T$  es suficientemente grande y la respuesta a impulso está estacionaria en el intervalo  $2T$ .

Haciendo referencia de nuevo a la Figura 4, el bloqueo dentro de la tubería afecta a la respuesta a impulso, por ejemplo  $h_{BB}(t)$ ,  $h_{AA}(t)$ ,  $h_{AB}(t)$ ,  $h_{BA}(t)$ . En impacto en la respuesta a impulso se debe al bloqueo, pero también se debe al cambio en los niveles de agua desde aguas arriba del bloqueo frente a aguas abajo. Debería observarse que la

variación en las respuestas a impulso aguas arriba y aguas abajo también se impacta mediante el bloqueo en sección de línea de alcantarillado AB.

El conjunto de comportamientos de estimaciones de bloqueo a base del análisis de respuesta a impulso de dos puertos proporciona un significativo grado de redundancia que mejora la fiabilidad de la detección, pero al relativamente pequeño coste de aumentar la complejidad del cálculo. Un enfoque alternativo es evaluar el nivel de presión de sonido (SPL) de transmisión dentro de varias bandas de frecuencia, en vez de evaluar la respuesta a impulso. La evaluación de correlaciones asociadas con diferentes conjuntos de comportamientos de estimaciones de bloqueo para desarrollar un conjunto de comportamientos robusto y computacionalmente asequible es un aspecto primordial de la presente invención que implica pruebas para evaluar diferentes condiciones de bloqueo en diferentes tasas de flujo y niveles de agua.

La tasa de flujo y niveles de flujo fluctúan a lo largo de todo el día dentro de una sección de línea de alcantarillado y puede fluctuar en diferentes periodos de tiempo en otros sistemas de conductos. Por lo tanto, a base del tamaño relativo del bloqueo con el nivel de agua de línea de alcantarillado, el bloqueo puede ocultarse por el agua. En el lado positivo, los bloqueos por grasa tienden a construirse despacio con el paso del tiempo, con lo que pueden recogerse estadísticas durante días para observar los cambios potenciales en las características del bloqueo. Uno de los desafíos en el desarrollo de la SL-WASN 16 (Figuras 1 y 2) es la planificación de la captación acústica o RF de la línea de alcantarillado a una tasa de incidencia lo suficientemente alta, mientras minimizando la incidencia para conservar potencia de batería limitada. Para que la SL-WASN 16 sea viable económicamente, los nodos de sensor deberían operar durante al menos un año en una aplicación de línea de alcantarillado, es decir la frecuencia a la que la Agencia de Protección Ambiental (EPA) requiere que cada entrada de registro sea inspeccionada. Un aspecto adicional de la presente invención es obtener estimaciones de fluctuaciones diarias y semanales en el conjunto de comportamientos de estimaciones de bloqueo a base de despliegues de pruebas de campo a largo plazo. Estas se usan para desarrollar planificación de captación acústica o RF y un algoritmo de planificación optimizado.

Haciendo referencia a la Figura 6, en una realización ilustrativa, un nodo 54 de sensor acústico de la SL-WASN 16 (Figuras 1 y 2) incluye un primer conjunto 56 de componentes y un segundo conjunto 58 de componentes que se acoplan eléctricamente. Opcionalmente, el primer conjunto 56 de componentes y el segundo conjunto 58 de componentes se forman integralmente. El primer conjunto 56 de componentes incluye un micrófono 60, un pre-amplificador 62 de micrófono, un convertidor 64 analógico/digital (A/D), un convertidor 70 digital/analógico (D/A), un amplificador 72 de audio y un altavoz 74. El convertidor 64 A/D y convertidor 70 D/A se acoplan eléctricamente a un micro-controlador 66 y almacenamiento 68 de datos asociado del segundo conjunto 58 de componentes. Opcionalmente, el subsistema de micrófono y altavoz se diseña y fabrica a base de componentes de audio existentes en el mercado. El microcontrolador y subsistema de almacenamiento de datos pueden comprarse como una tarjeta de desarrollo para reducir el tiempo de desarrollo y gastos. La tecnología actual está disponible para la integración de un módem celular en un sistema embebido; y la presente invención aborda los desafíos asociados con la recepción de una señal RF celular dentro de una entrada de registro o con la ubicación de una antena celular fuera de la entrada de registro.

A base de una evaluación preliminar de características de propagación de línea de alcantarillado, un límite superior de la frecuencia operacional puede ser de 20 kHz. Esto corresponde bien al mercado de audio de consumo para dispositivos celulares de MP3 y sistemas de cine en casa. Por lo tanto, el coste de componentes de audio es a base de mercados existentes con una gran economía de escala. Además, muchos de los productos de consumo tienen restricciones de batería similares y, por lo tanto, tienen incorporados modos de seguridad preestablecidos en sus diseños de circuito integrado (IC).

El desafío de diseño central de la presente invención implica a los transductores; tanto micrófono como altavoz. Debido a la exposición potencial al flujo de agua y los químicos de los desechos industriales, el micrófono y altavoz deben ser capaces de operar en entornos duros. Por ejemplo, pueden usarse micrófonos y altavoces que se diseñan para entornos exigentes, con la capacidad para operar después de inmersión en 15 m de agua además de ser resistentes a la corrosión.

Usar la red de líneas de alcantarillado como un canal de comunicación presenta un número de problemas: variaciones térmicas, codos de tubería, entradas de registro, variación en superficies de tubería, variación en tasas y niveles de flujo de agua, ruido de superficie (coches, camiones, etc.), ruido de flujo de agua y otras fuentes de ruido en el alcantarillado (por ejemplo, animales e insectos). La capa física (PHY) de comunicación de audio debe adaptarse a las condiciones de canal de comunicación actuales para maximizar la capacidad de canal con una tasa de error de transmisión lo suficientemente baja. Una ventaja distintiva para SL-WASN 16 (Figuras 1 y 2) - la señal de audio sirve el fin doble de captación acústica y comunicación. Los resultados de la captación acústica pueden usarse para adaptar los parámetros de procesamiento de señal de capa PHY, por ejemplo ecualizador de canal y potencia de transmisión. La única restricción es que la transmisión de comunicación debe producirse dentro del tiempo de coherencia de línea de alcantarillado de la captación acústica. Capas superiores del protocolo se desarrollan a base de la adaptación de la cantidad significativa de trabajo de las redes de sensores inalámbricas de energía eficiente.

La Figura 7 ilustra una implementación ilustrativa del protocolo SL-WASN de la presente invención, en la que los datos de bloqueo se comunican desde el nodo A-B-C-D de sensor. Transmisiones se basan en paquetes con

detección de error y acuse de recibo. La capa MAC es a base de un acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA) combinado y acceso múltiple de captación de colisión con prevención anticolidión (CSMA/CA). Cada nodo de sensor se asigna una ventana de transmisión en la que transmitir exitosamente; por lo tanto, ningún otro nodo de sensor provoca interferencia a su transmisión en el nodo receptor previsto. CSMA/CA se usa para minimizar el impacto de fuentes de ruido de canal adyacente. Por lo tanto, antes de la transmisión, un nodo de sensor escucha el canal para fuentes de ruido y se retira para evitar transmitir durante su presencia. El algoritmo de retirada y la longitud de la ventaja de comunicación son a base de las características de las fuentes de ruido presentes en la línea de alcantarillado. La longitud de la ventaja de comunicación se establece para permitir que múltiples retransmisiones garanticen un enlace de comunicación fiable. La sincronización de tiempo entre nodos de sensor se logra a través de la transmisión de captación acústica. Los nodos de sensor operan en un ciclo de trabajo muy bajo y durante un gran porcentaje del tiempo están en un modo de apagado.

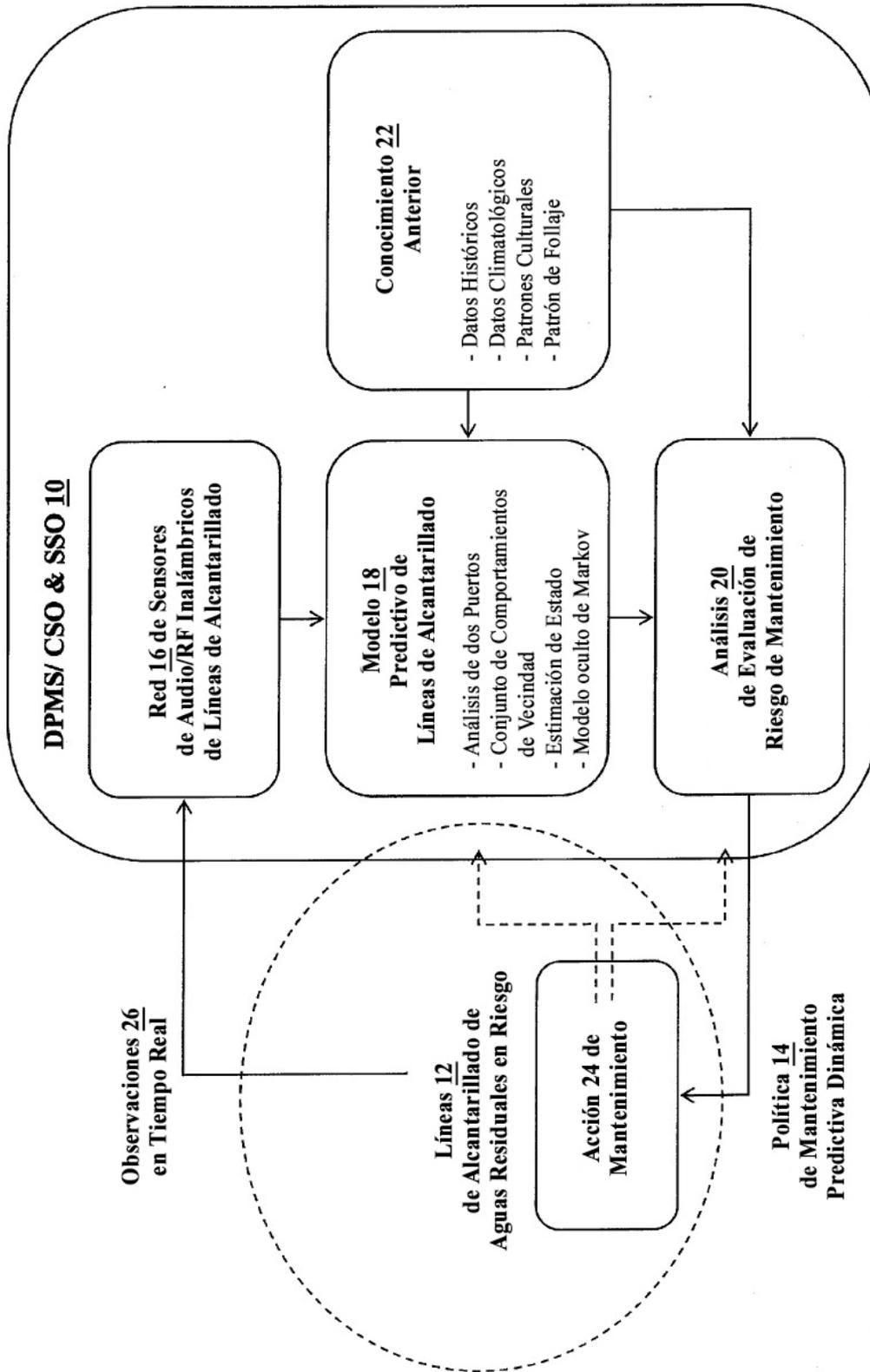
Haciendo referencia a la Figura 8, en otra, más genérica, realización ilustrativa que resume los sistemas/procedimientos descritos anteriormente, el DPMS 80 de la presente invención utiliza observaciones 82 en tiempo real de secciones 84 de línea de alcantarillado de aguas residuales en riesgo para formular una política 86 de mantenimiento predictiva dinámica. Esta política 86 de mantenimiento predictiva dinámica de justo a tiempo minimiza las pérdidas económicas asociadas con la planificación de mantenimiento convencional dentro de secciones 84 de línea de alcantarillado de aguas residuales en riesgo. Secciones de línea de alcantarillado de aguas residuales de SSO con alto riesgo y aperiódicas son candidatas para el empleo de la estructura DPMS de la presente invención. Como se ilustra en la Figura 8, el DPMS 80 de la presente invención despliega una red 88 de sensores inalámbricos de línea de alcantarillado (SL-WSN) operable para la realización de observaciones en tiempo real. Esta SL-WSN 88 puede basarse en audio, basarse en RF o a base de un medio/tecnología equivalente. La SL-WSN 88 es un componente clave tanto para la supervisión de las secciones 84 de línea de alcantarillado de aguas residuales en riesgo, así como para proporcionar tecnología de comunicaciones para retransmitir las observaciones 82 en tiempo real de vuelta a la oficina central. Las observaciones 82 en tiempo real se introducen en un modelo predictivo de línea de alcantarillado que utiliza análisis de dos puertos, conjunto de comportamientos de vecindad, una estimación de estado, un modelo oculto de Markov y/o similares, que proporcionan procesamiento 90 de decisión y acción en la oficina central. Tanto este modelo predictivo de línea de alcantarillado como análisis de evaluación de riesgo de mantenimiento se informan mediante el conocimiento previo descrito anteriormente; incluyendo datos históricos, datos climatológicos, patrones culturales, patrones de follaje y/o similares. Debería observarse que pueden tenerse en cuenta otros factores para otras aplicaciones, que no sean de línea de alcantarillado. El análisis de evaluación de riesgo de mantenimiento se usa para formular la política 86 de mantenimiento predictiva dinámica y tomar una acción 92 de mantenimiento, información sobre la cual se introduce de vuelta al modelo predictivo de línea de alcantarillado y análisis de evaluación de riesgo de mantenimiento. Como se ha descrito anteriormente, las observaciones 82 en tiempo real se usan para informar la colocación y operación de la SL-WSN 88.

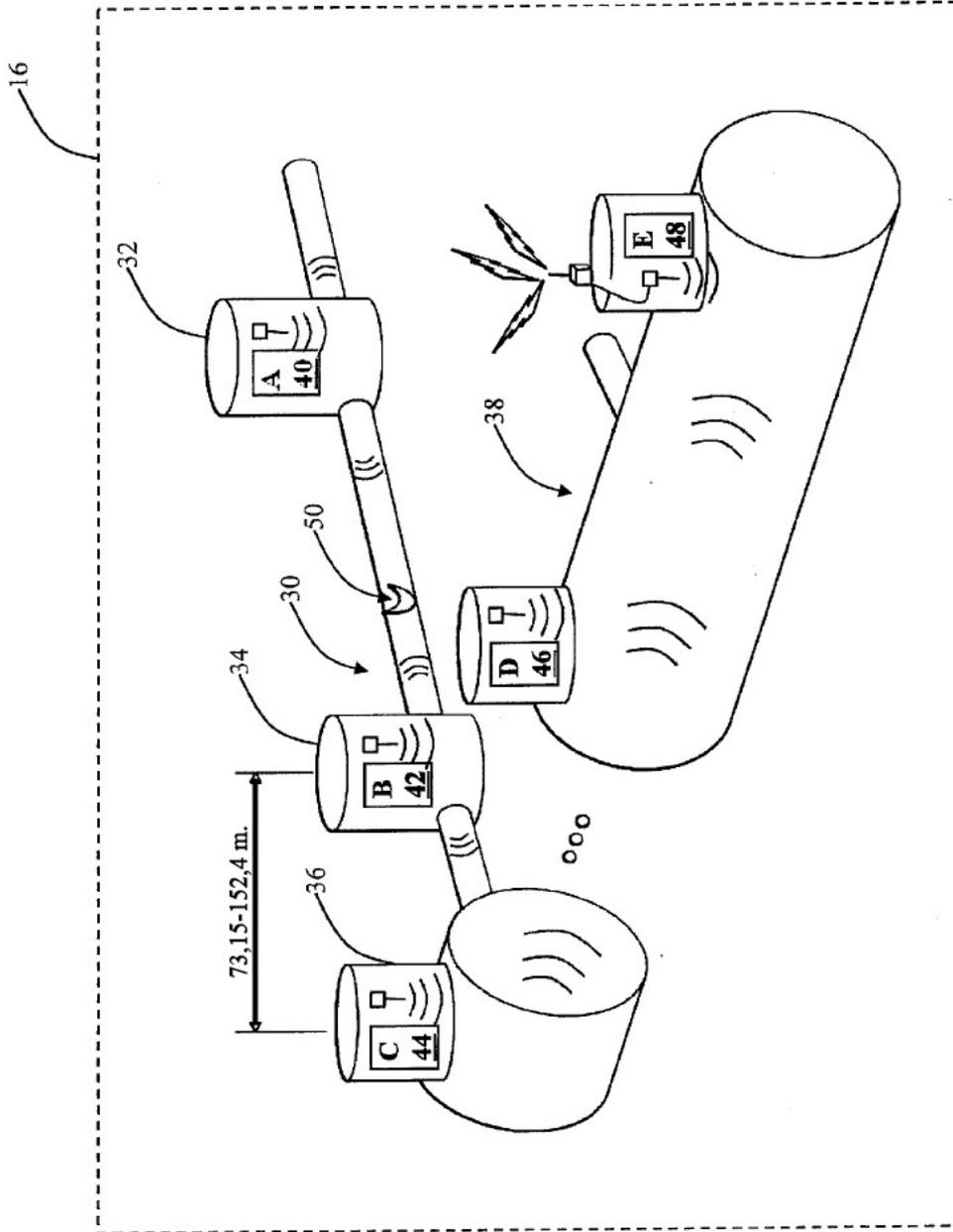
Aunque la presente invención se ha ilustrado y descrito en el presente documento con referencia a realizaciones preferidas y ejemplos específicos de las mismas, será fácilmente evidente para los expertos en la materia que otras realizaciones y ejemplos pueden realizar funciones similares y/o lograr resultados similares. Todas tales realizaciones y ejemplos equivalentes están dentro del ámbito de la presente invención mientras que se incluyan en la definición de las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

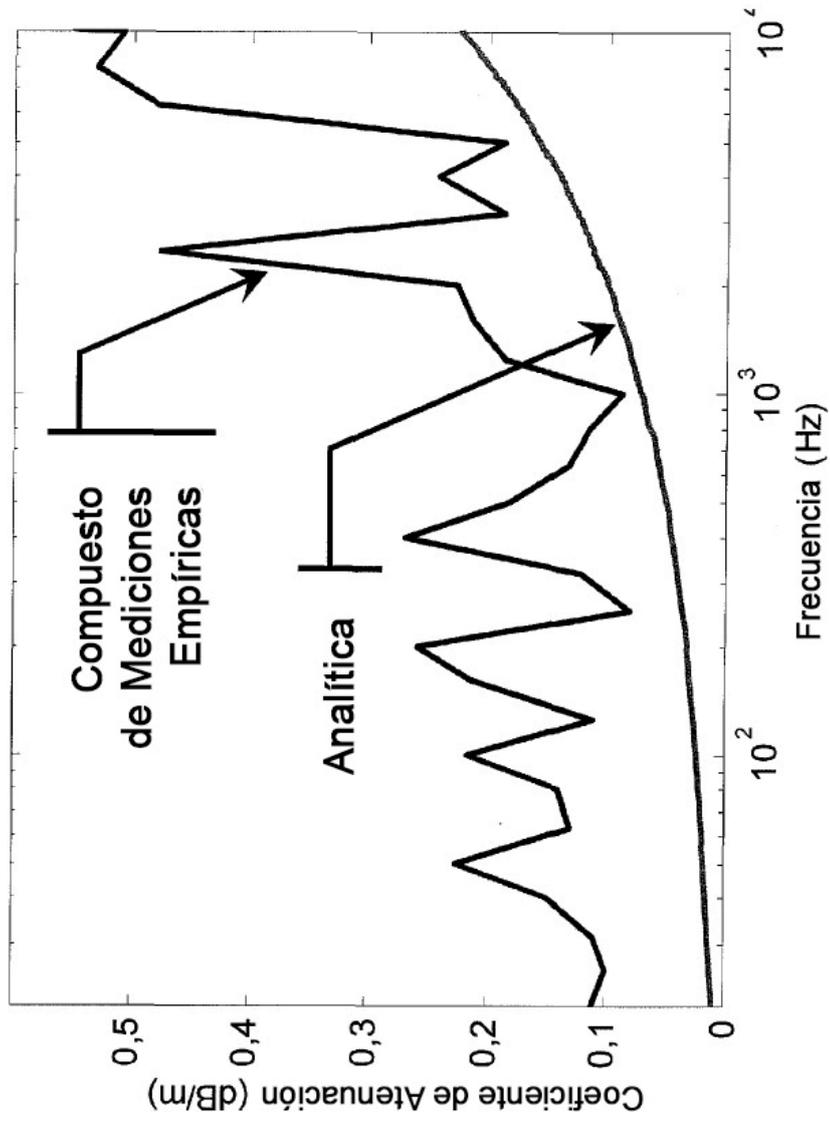
1. Un sistema de supervisión para una red de conductos que comprende una o más secciones (30, 38) de conducto unidas en uno o más nodos de conducto, que comprende:
  - 5 uno o más dispositivos (40-48) de sensor dispuestos en unos seleccionados del uno o más nodos de conducto, en el que cada uno del uno o más dispositivos de sensor es operable para la detección de un bloqueo o rotura (50) en una sección de conducto asociada transmitiendo una señal que se afecta por el bloqueo o rotura a otro dispositivo sensor que mide una señal transmitida después de que ha pasado a través de o por el bloqueo o rotura y/o que se refleja mediante el bloqueo o rotura de vuelta al mismo, en el que se miden tanto la señal transmitida después de que ha pasado a través de o por el bloqueo o rotura como una señal reflejada después de que se ha reflejado por el bloqueo o rotura, en el que la señal se transmite en una dirección que es sustancialmente paralela a una dirección de flujo de fluido prevista en la sección de conducto asociada y en el que cada uno del uno o más dispositivos de sensor es operable para la comunicación de información de bloqueo o rotura a una ubicación central.
- 15 2. El sistema de supervisión de la reivindicación 1, en el que cada uno de los dispositivos de sensor comprende uno de un dispositivo sensor de audio y un dispositivo sensor de frecuencia de radio.
3. El sistema de supervisión de la reivindicación 1, en el que cada uno de los dispositivos de sensor es operable para la detección del bloqueo o rotura en la sección de conducto asociada midiendo un atributo de una señal transmitida/recibida, solo o en combinación con otro dispositivo sensor.
- 20 4. El sistema de supervisión de la reivindicación 1, en el que cada uno de los dispositivos de sensor es operable para la comunicación de la información de bloqueo o rotura a la ubicación central a través de un enlace inalámbrico.
5. El sistema de supervisión de la reivindicación 1, comprendiendo además un modelo predictivo de red de conductos proporcionado en la ubicación central y operable para el procesamiento de la información de bloqueo o rotura para formar una política de mantenimiento predictiva dinámica que dicta una acción de mantenimiento.
- 25 6. El sistema de supervisión de la reivindicación 5, comprendiendo además una base de datos histórica que informa al modelo predictivo de red de conductos.
7. El sistema de supervisión de la reivindicación 1, comprendiendo además un mecanismo de alarma que se activa en la ubicación central mediante la información de bloqueo o rotura si se cruza un determinado umbral de bloqueo o rotura.
- 30 8. El sistema de supervisión de la reivindicación 1, en el que la red de conductos comprende una red de líneas de alcantarillado, las secciones de conducto comprenden secciones de líneas de alcantarillado y los nodos de conducto comprenden registros.
9. Un procedimiento de supervisión para una red de conductos que comprende una o más secciones (30, 38) de conducto unidas en uno o más nodos de conducto, que comprende:
  - 35 disponer de uno o más dispositivos (40-48) sensores en unos seleccionados del uno o más nodos de conducto, en el que cada uno del uno o más dispositivos de sensor es operable para la detección de un bloqueo o rotura (50) en una sección de conducto asociada, transmitiendo una señal que se afecta por el bloqueo o rotura a otro dispositivo sensor que mide una señal transmitida después de que ha pasado a través de o por el bloqueo o rotura y/o que se refleja mediante el bloqueo o rotura de vuelta al mismo, en el que se miden tanto la señal transmitida después de que ha pasado a través de o por el bloqueo o rotura como una señal reflejada después de que se ha reflejado por el bloqueo o rotura, en el que la señal se transmite en una dirección que es sustancialmente paralela a una dirección de flujo de fluido prevista en la sección de conducto asociada y en el que cada uno del uno o más dispositivos de sensor es operable para la comunicación de información de bloqueo o rotura a una ubicación central.
- 45 10. El procedimiento de supervisión de la reivindicación 9, en el que cada uno de los dispositivos de sensor comprende uno de un dispositivo sensor de audio y un dispositivo sensor de frecuencia de radio.
11. El procedimiento de supervisión de la reivindicación 9, en el que cada uno de los dispositivos de sensor es operable para la detección del bloqueo o rotura en la sección de conducto asociada, midiendo un atributo de una señal transmitida/recibida, solo o en combinación con otro dispositivo sensor.
- 50 12. El procedimiento de supervisión de la reivindicación 9, en el que cada uno de los dispositivos de sensor es operable para la comunicación de la información de bloqueo o rotura a la ubicación central a través de un enlace inalámbrico.
13. El procedimiento de supervisión de la reivindicación 9, comprendiendo además proporcionar un modelo predictivo de red de conductos en la ubicación central operable para el procesamiento de la información de bloqueo o rotura para formar una política de mantenimiento predictiva dinámica que dicta una acción de mantenimiento.

14. El procedimiento de supervisión de la reivindicación 13, comprendiendo además proporcionar una base de datos histórica que informa al modelo predictivo de red de conductos.
- 5 15. El procedimiento de supervisión de la reivindicación 9, comprendiendo además proporcionar un mecanismo de alarma que se activa en la ubicación central mediante la información de bloqueo o rotura si se cruza un determinado umbral de bloqueo o rotura.
16. El procedimiento de supervisión de la reivindicación 9, en el que la red de conductos comprende una red de líneas de alcantarillado, las secciones de conducto comprenden secciones de líneas de alcantarillado y los nodos de conducto comprenden registros.
- 10 17. Un procedimiento de supervisión y mantenimiento para una red de conductos que comprende una o más secciones (30, 38) de conducto unidas en uno o más nodos de conducto, que comprende:
- 15 evaluar un estado de bloqueo o rotura (50) de cada una de la una o más secciones de conducto midiendo un atributo de una señal de audio o frecuencia de radio transmitida después de que ha pasado a través de o por un bloqueo o rotura en cada uno del uno o más nodos de conducto, en el que la señal de audio o frecuencia de radio transmitida se transmite en una dirección que es sustancialmente paralela a una dirección de flujo de fluido prevista en cada una de la una o más secciones de conducto; y
- mantener cada una de la una o más secciones de conducto en respuesta al estado de bloqueo o rotura evaluado.
18. El procedimiento de supervisión y mantenimiento de la reivindicación 17, en el que el estado de bloqueo o rotura se evalúa en una ubicación central.
- 20 19. El procedimiento de supervisión y mantenimiento de la reivindicación 18, en el que el estado de bloqueo o rotura se evalúa en la ubicación central usando un modelo predictivo de red de conductos operable para el procesamiento de información de bloqueo o rotura para formar una política de mantenimiento predictiva dinámica que dicta una acción de mantenimiento.
- 25 20. El procedimiento de supervisión y mantenimiento de la reivindicación 17, en el que la red de conductos comprende una red de líneas de alcantarillado, las secciones de conducto comprenden secciones de líneas de alcantarillado y los nodos de conducto comprenden registros.

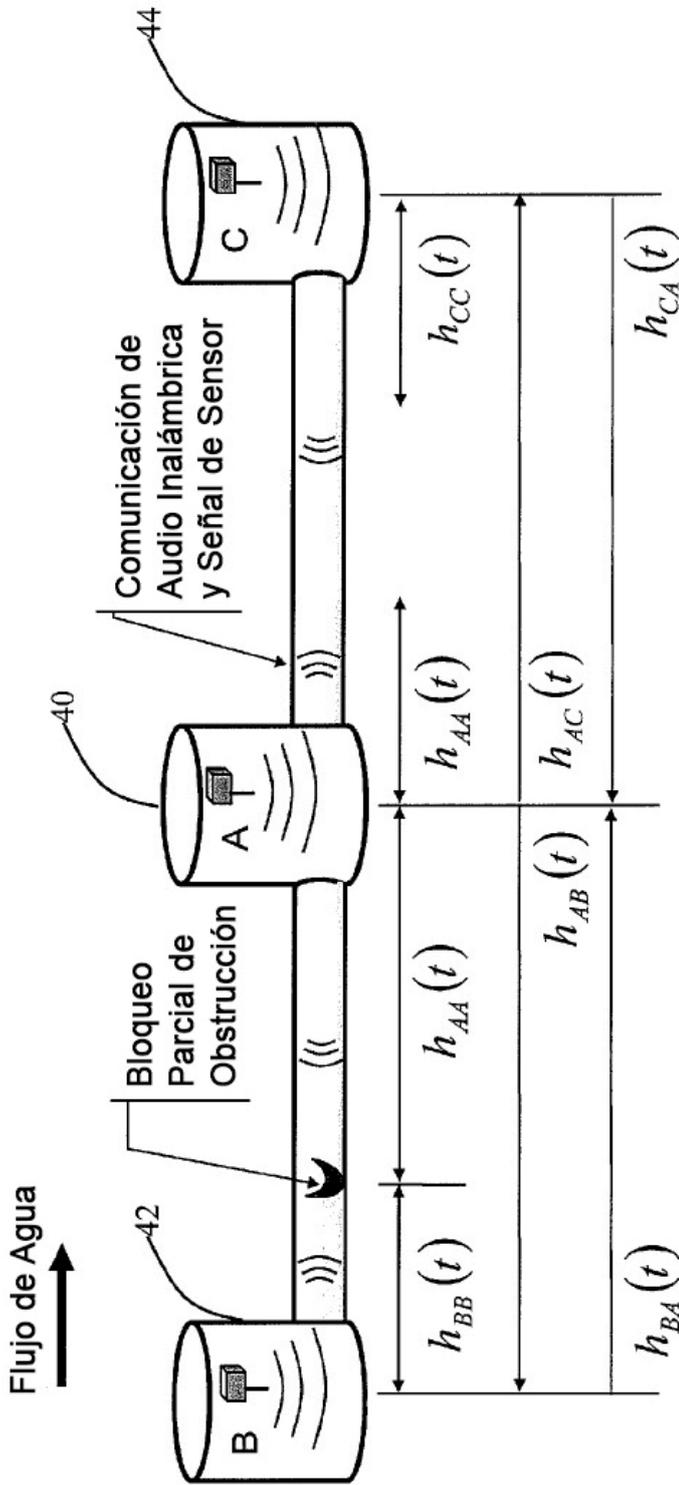




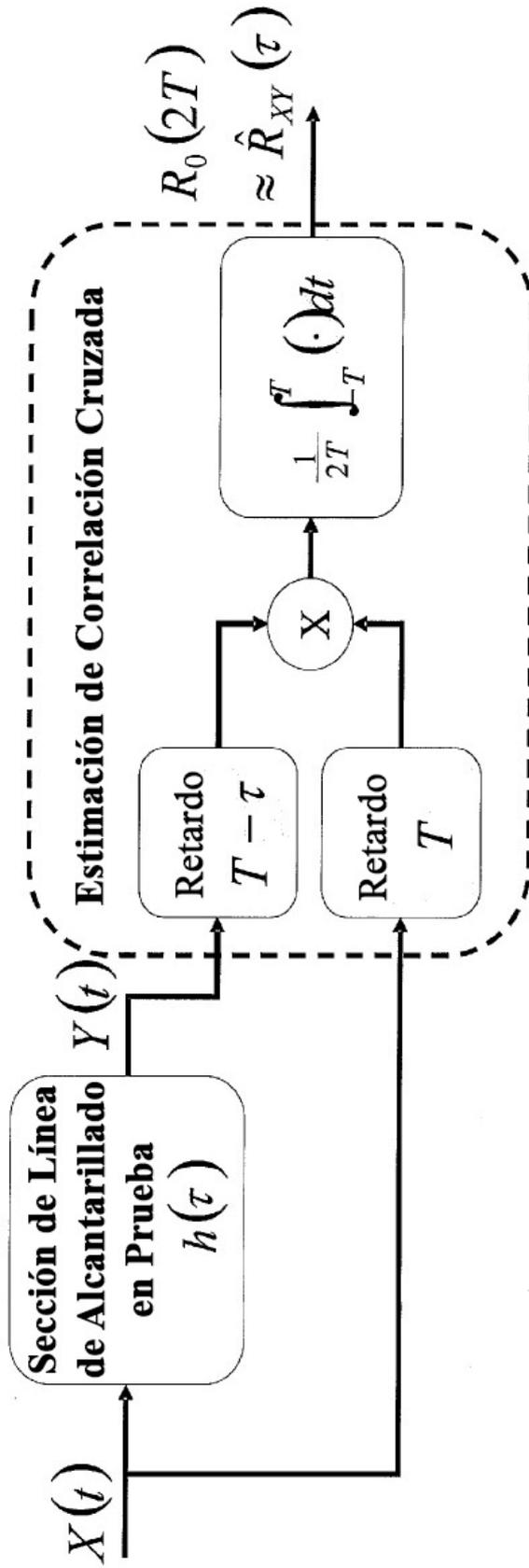
**FIG. 2**



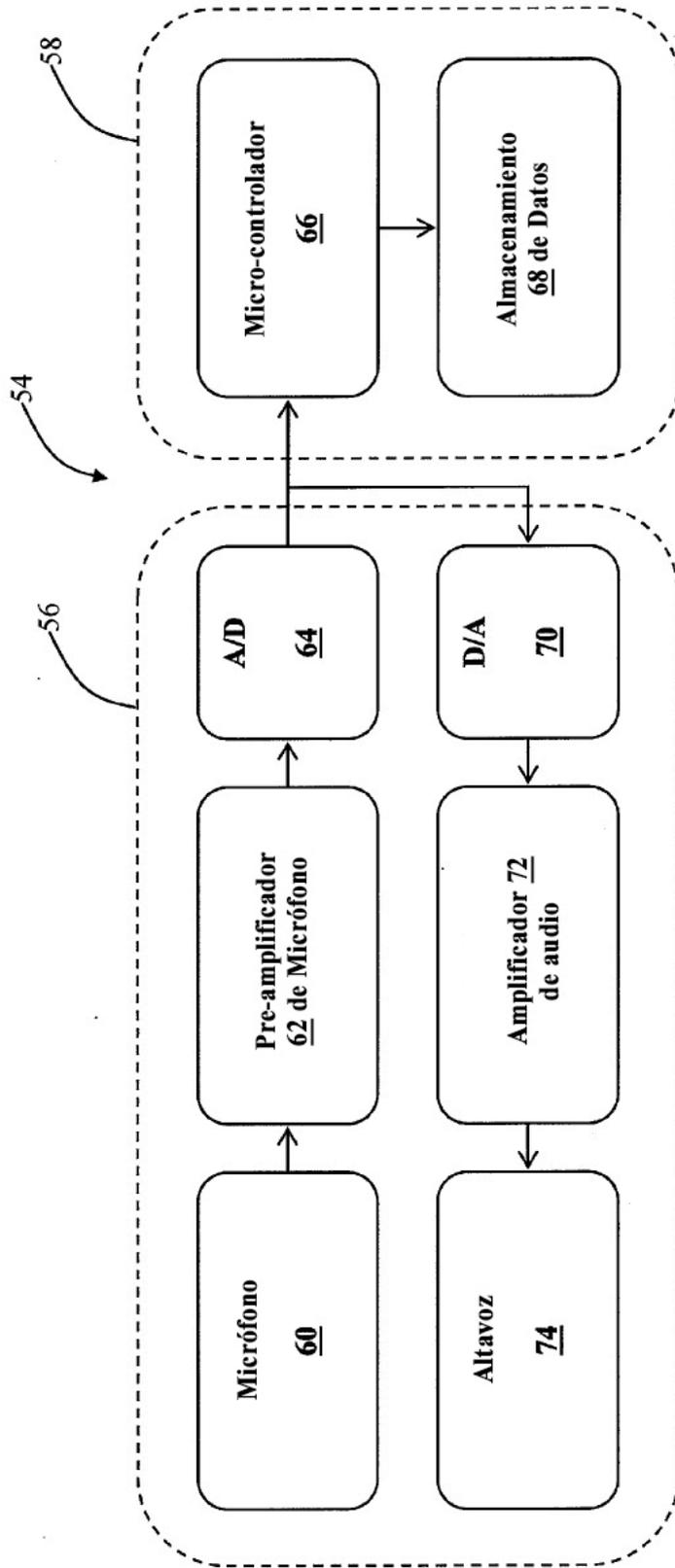
**FIG. 3**



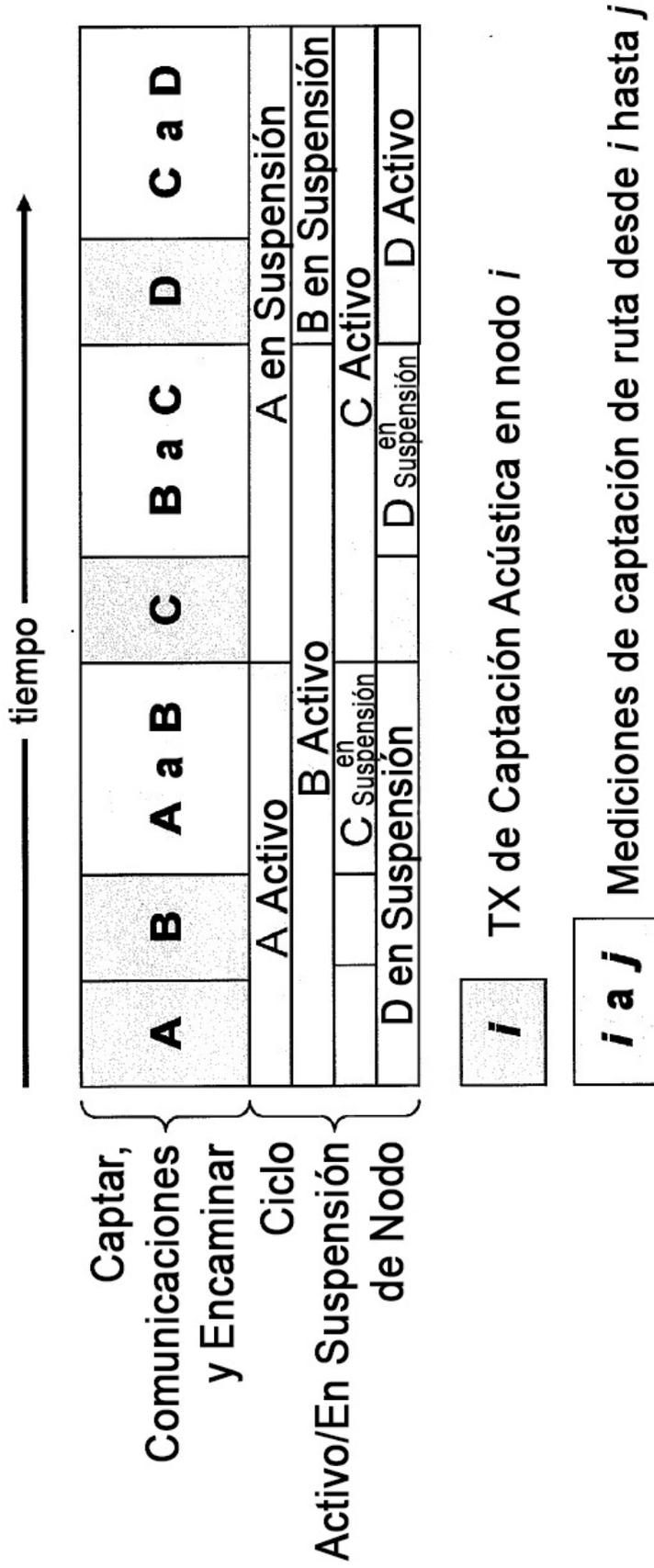
**FIG. 4**



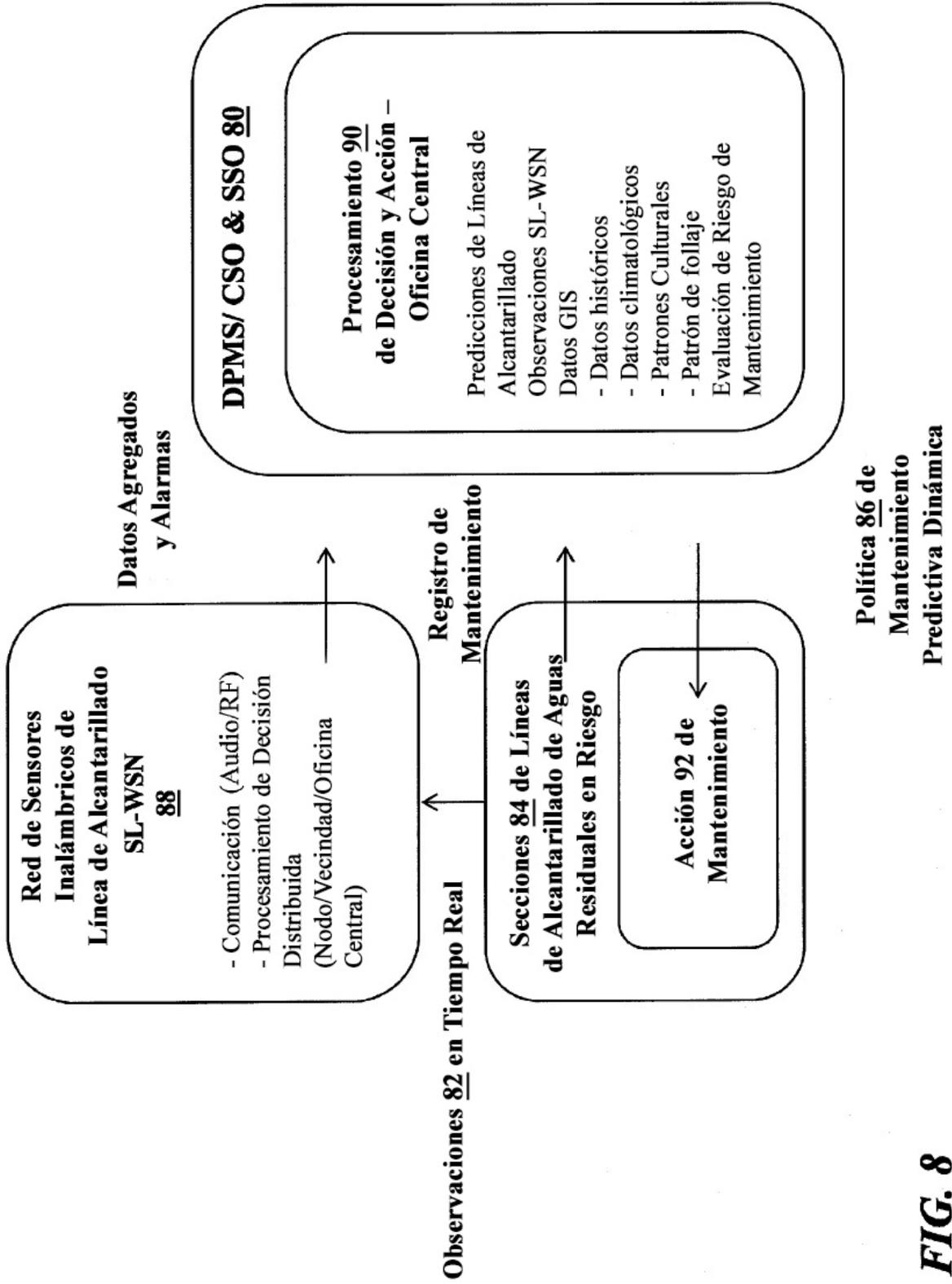
**FIG. 5**



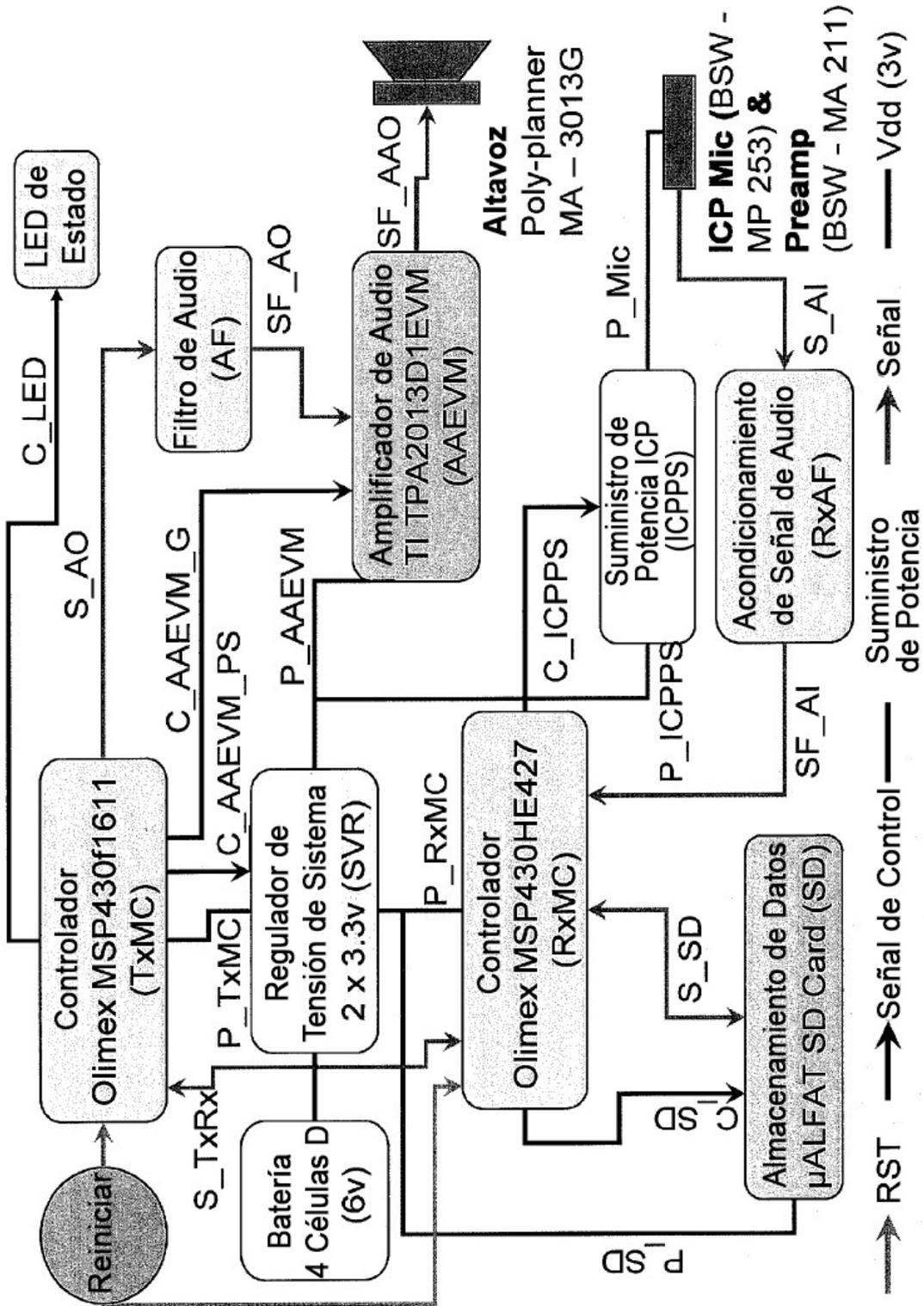
**FIG. 6**



**FIG. 7**



**FIG. 8**



**FIG. 9**