

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 713 066**

51 Int. Cl.:

**A01G 25/16** (2006.01)

**G01N 7/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.08.2008** **E 12173336 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018** **EP 2505053**

54 Título: **Método de irrigación**

30 Prioridad:

**20.08.2007 US 935571 P**

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

**17.05.2019**

73 Titular/es:

**NETAFIM LTD. (50.0%)  
10 Derech Hashalom  
67892 Tel Aviv, IL y  
YISSUM RESEARCH DEVELOPMENT COMPANY  
OF THE HEBREW UNIVERSITY OF JERUSALEM  
(50.0%)**

72 Inventor/es:

**SHANI, URI y  
SCHWEITZER, ABRAHAM**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 713 066 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Método de irrigación

## 5 CAMPO

La invención se refiere a sistemas y aparatos para controlar sistemas de irrigación.

## ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 Los sistemas de irrigación que entregan agua, que a menudo contiene nutrientes de plantas, pesticidas y/o medicaciones, a las plantas a través de redes de tuberías de irrigación son muy bien conocidos. En algunos sistemas de irrigación, aspersores externos, emisores o sistemas de goteo, están conectados a las tuberías de irrigación para desviar agua desde las tuberías y entregar el agua a las plantas. En muchas de dichas redes de irrigación, el agua procedente de las tuberías es entregada a las plantas por emisores o sistemas de goteo que están instalados sobre o "integrados" dentro de las tuberías de irrigación. Por conveniencia, cualquiera de los tipos de dispositivos utilizados en un sistema de irrigación para desviar el agua desde una tubería de irrigación en el sistema y entregar el agua desviada a las plantas es denominado generalmente como un emisor. La separación entre emisores, y las características de emisores están a menudo configuradas para responder a diferentes necesidades de irrigación de las plantas para las que se utiliza el sistema de irrigación para irrigar.

20 Para una configuración dada de tuberías de irrigación y emisores, las cantidades de agua entregadas por el sistema de irrigación pueden ser controladas controlando cualquiera de distintos dispositivos de control del flujo de agua, tales como bombas de agua, válvulas de flujo y válvulas de retención, y/o combinaciones de dispositivos de control del flujo conocidos en la técnica. Los dispositivos de control del flujo pueden funcionar para controlar el agua procedente de una fuente que proporciona agua a la totalidad, o a parte de las tuberías de irrigación en un sistema de irrigación o para controlar el agua procedente de los emisores individuales en el sistema de irrigación.

30 La solicitud de Patente de Israel 177552 titulada "Irrigation Pipe" presentada el 17 agosto 2006, describe un sistema de irrigación que tiene tuberías de irrigación que comprenden emisores integrados con diferentes umbrales de presión a los que se abren para entregar agua desde las tuberías. Los emisores que se abren para entregar agua, se controlan cambiando la presión en las tuberías de irrigación. La patente de los EE.UU 5,113,888, "Pneumatic Moisture Sensitive Valve", describe un dispositivo de pulverización que tiene su propia válvula que es abierta y cerrada para controlar cantidades de agua que el dispositivo pulveriza sobre las plantas.

35 Se han utilizado distintos métodos y sistemas automáticos y/o manuales para determinar cuándo y cuánta agua debe suministrarse a las plantas irrigadas por un sistema de irrigación y para controlar dispositivos de flujo de agua en el sistema consecuentemente. La patente de EE.UU 5,113,888 citada anteriormente, controla la válvula del flujo de agua en el dispositivo de pulverización descrito en la patente en respuesta a la humedad del terreno. El dispositivo de pulverización comprende un elemento situado en el terreno que tiene poros, que son bloqueados cuando la humedad de agua del terreno está por encima de una cantidad predeterminada y que son abiertos cuando dicha humedad del terreno está por debajo de una cantidad predeterminada. Cuando los poros están abiertos, el aire es liberado desde una cámara en la válvula que alivia la presión que mantiene la válvula de flujo cerrada para permitir que la válvula se abra y el agua fluya y sea pulverizada desde el dispositivo de pulverización. La patente de EE.UU 6,978,794, describe el control de un sistema de irrigación en respuesta a la humedad del terreno determinada por al menos un sensor de reflectometría de dominio de tiempo ("TDRS") ubicado en el terreno. La patente describe la utilización de múltiples TDRS a una profundidad diferente en el terreno para proporcionar mediciones del contenido de humedad del terreno. El documento 6,314,340, describe el control del agua en respuesta a temperaturas diurnas altas y bajas.

50 Para muchas aplicaciones agrícolas y científicas, el potencial mátrico o matricial del agua del terreno es utilizado como una medida del contenido en humedad del terreno y de la adecuación de las condiciones del terreno para el crecimiento de las plantas y los sistemas de irrigación son a menudo controlados en respuesta a mediciones del potencial mátrico del terreno. El potencial mátrico de agua, convencionalmente representado por " $\psi$ " es una medida de cómo de fuerte atrae el material del terreno en partículas al agua para que se adhiera a las superficies de las partículas. Cuanto más seco es un terreno, mayores son las fuerzas con las que las partículas del terreno atraen y mantienen el agua en sus superficies y mayor es el potencial mátrico del agua. Cuando aumenta el potencial mátrico de un terreno, más difícil es para las plantas extraer agua del terreno. Cuando el terreno resulta tan seco que las plantas no pueden extraer agua del terreno, la transpiración de las plantas se detiene y las plantas mueren.

60 El potencial mátrico tiene unidades de presión, es típicamente negativo, y es medido convencionalmente utilizando un medidor de tensión. Un medidor de tensión comprende usualmente un material poroso que está conectado mediante un cierre hermético al aire a un depósito sellado llenado con agua. El material poroso está colocado en contacto con el terreno cuyo potencial mátrico, y por tanto contenido en humedad, ha de ser determinado y funciona para acoplar el depósito al terreno para permitir que el agua, pero no el aire, pase entre el depósito y el terreno. Las fuerzas que atraen el agua a las partículas de terreno extraen agua a través del material poroso desde el depósito y generan un vacío en el depósito. Cuanto más seco es el terreno, mayores son las fuerzas que extraen agua del depósito a través del material poroso y mayor es el vacío, es decir la presión del vacío disminuye. Cuando la humedad del terreno aumenta, las fuerzas que atraen el agua a las partículas de terreno disminuyen y el agua es extraída del terreno a través del material poroso al

depósito y la presión del vacío aumenta. El vacío aumenta (la presión disminuye) o disminuye (la presión aumenta) cuando el contenido de agua del terreno disminuye o aumenta respectivamente. Un monitor de presión adecuado es utilizado para determinar la presión del vacío y proporcionar por ello una medida del potencial mátrico del terreno.

5 El material poroso en un medidor de tensión es usualmente un material cerámico y a menudo formado con una forma a modo de taza o a modo de tubo de ensayo. Sin embargo, la patente de los EE.UU 4,068,525, indica que el material poroso "puede estar formado de cualquiera de una amplia variedad de materiales, incluyendo materiales cerámicos, siendo la única exigencia que la "presión de burbujeo", la presión por debajo de la cual el aire no pasará a través de los poros humedecidos del material, debe ser mayor que la presión atmosférica normal, para impedir que las burbujas de  
10 aire entren en el instrumento". Ha de observarse que la presión de burbujeo es mantenida generalmente sólo cuando el material poroso está saturado con agua.

Adicionalmente, el material poroso debería proporcionar un buen contacto hidráulico entre los terrenos y el depósito de agua. La última restricción con respecto al contacto con el terreno requiere generalmente que el material poroso esté en contacto mecánico relativamente íntimo con las partículas de terreno. Mientras que tal contacto puede ser proporcionado usualmente por una superficie de un material cerámico, para terrenos gruesos o gravas, tal contacto mecánico y como resultado hidráulico puede ser difícil de obtener utilizando un material cerámico. Gee et al., en un artículo titulado "A Wick Tensiometer to Measure Low Tensions in Coarse Soils", Soil Sci. Soc. Am, J. 54:1498-1500 (1990) describe un medidor de tensión para utilizar en terrenos gruesos en los que el material poroso "está construido de toallas de papel u otro material absorbente comparable enrollado fuertemente en un cilindro (-0,7 cm de diámetro y ~7 cm de longitud). "Los autores observan que el material absorbente enrollado fuertemente cuando estaba humedecido fue probado a presión para una presión de burbujeo adecuada.

La Patente de EE.UU 5,156,179, describe un sistema de irrigación que es controlado utilizando un medidor de tensión que responde al potencial mátrico de agua. El sistema comprende un "dispositivo controlador de flujo" que incluye un conjunto de válvula conectado con el medidor de tensión para "proporcionar control automático del flujo de agua para irrigación". Los cambios en la presión en el medidor de tensión mueven un pistón en la válvula para proporcionar "control variable del caudal" a través del conjunto de válvula "de acuerdo con la tensión mátrico del terreno para el agua".

30 El documento WO 98/04915 A muestra un método para irrigar un campo de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

#### COMPENDIO DE LA INVENCIÓN

35 La invención se refiere a un método de irrigación de un campo según la reivindicación 1, y opcionalmente, según las reivindicaciones 2-13.

Se ha observado que las raíces de muchas plantas son capaces de generar presión hidráulica equivalente aproximadamente a 15 atmósferas para extraer agua del terreno. Tal presión puede provocar gradientes relativamente elevados en la humedad del terreno para que el terreno en una proximidad cercana a la raíces de una planta esté  
40 sustancialmente más seco que el terreno fuera de la proximidad cercana. Como el crecimiento y la salud de la planta son en general relativamente sensibles al entorno del terreno cerca de sus raíces, un medidor de tensión para el que las raíces de la planta son capaces de crecer dentro del acoplador hidráulico del medidor de tensión puede proporcionar mediciones de potencial mátrico del agua ventajosamente sensibles a las condiciones del terreno en las inmediaciones de la raíces de la planta. Tales mediciones pueden ser particularmente ventajosas para utilizar en el control de un sistema de irrigación que proporciona agua a las plantas.

Se ha proporcionado de acuerdo con la invención, un método de irrigación de un campo, comprendiendo el método: adquirir un potencial mátrico de agua de calibración para el campo; e irrigar el campo con una cantidad de agua en respuesta al valor del potencial mátrico de calibración. Opcionalmente irrigar un campo comprende realizar una irrigación cíclicamente. Opcionalmente, irrigar el campo cíclicamente comprende irrigar el campo en ciclos diurnos. Opcionalmente, adquirir un potencial mátrico de agua de calibración comprende adquirir un potencial mátrico de agua de calibración al menos una vez al día.

55 En algunas realizaciones de la invención, el campo comprende plantas y adquirir el potencial mátrico de agua de calibración comprende adquirir el potencial mátrico cuando las plantas exhiben una demanda de agua relativamente pequeña.

En algunas realizaciones de la invención, proporcionar una cantidad de agua comprende proporcionar un impulso de agua. Opcionalmente, proporcionar una cantidad de agua comprende adquirir una medición de potencial mátrico del agua para el campo además del potencial mátrico del agua de calibración, comparar la medición el potencial mátrico de agua adicional con el potencial mátrico de agua de calibración, y proporcionar una cantidad de agua en respuesta a la comparación. Opcionalmente, comparar el potencial mátrico de agua adicional con el potencial mátrico de calibración comprende determinar su diferencia. Opcionalmente, proporcionar un impulso de agua comprende proporcionar el impulso en respuesta a la diferencia.

65 En algunas realizaciones de la invención, proporcionar agua comprende proporcionar agua de manera continua.

Opcionalmente, proporcionar agua de manera continua, comprende determinar un período de irrigación en respuesta al potencial mátrico de agua de calibración y proporcionar agua de manera continua durante el período de irrigación determinado. Opcionalmente, determinar el período de irrigación comprende determinar el período de irrigación en respuesta a una diferencia entre el potencial mátrico de agua de calibración y un potencial mátrico de agua de calibración previamente determinado.

**BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

A continuación se han descrito ejemplos no limitativos de realizaciones de la invención con referencia a Figuras adjuntas a ellas y enunciadas a continuación. Estructuras, elementos o partes idénticas que aparecen en más de una Figura están etiquetados generalmente con un mismo número en todas las Figuras en las que aparecen. Dimensiones de componentes y características mostradas en las Figuras son elegidas por conveniencia y claridad de presentación y no están mostradas necesariamente a escala.

La Figura 1A muestra esquemáticamente una vista despiezada ordenadamente de un medidor de tensión, de acuerdo con una realización.

La Figura 1B muestra esquemáticamente detalles de una parte superior del alojamiento del medidor de tensión mostrado en la Figura 1A, de acuerdo con una realización.

La Figura 1C muestra esquemáticamente una vista en planta de la parte superior del alojamiento mostrado en la Figura 1B de acuerdo con una realización.

La Figura 1D muestra esquemáticamente una vista en perspectiva de una parte inferior del alojamiento del medidor de tensión mostrado en la Figura 1A, de acuerdo con una realización.

La Figura 2 muestra esquemáticamente una vista ensamblada del medidor de tensión mostrado en las Figuras 1A-1B, de acuerdo con una realización.

La Figura 3 muestra esquemáticamente una vista en sección transversal lateral del medidor de tensión mostrado en la Figura 1A y en la Figura 2 conectado a un depósito de agua sellado, de acuerdo con una realización.

La Figura 4 muestra esquemáticamente una configuración de medidores de tensión distribuidos en el terreno de un campo agrícola en el que las plantas están creciendo, de acuerdo con una realización.

Las Figuras 5A y 5B muestra un diagrama de flujo de un algoritmo para controlar la irrigación de un campo en respuesta a un potencial mátrico de agua de acuerdo con una realización y

La Figura 6 muestra un diagrama de flujo de otro algoritmo para controlar la irrigación de un campo en respuesta al potencial mátrico de agua de acuerdo con una realización.

**DESCRIPCIÓN DETALLADA**

La Figura 1A muestra esquemáticamente una vista despiezada ordenadamente de un medidor de tensión 20 para medir potencial mátrico de agua en un terreno, de acuerdo con una realización. Las Figuras 1B y 1D muestran esquemáticamente vistas ampliadas de componentes del medidor de tensión 20 mostrado en la Figura 1A. La Figura 2 muestra esquemáticamente una vista ensamblada del medidor de tensión 20. Por conveniencia de presentación, el aparato 20 es denominado como un medidor de tensión, incluso aunque, como se ha mostrado en las Figuras 1A-1D, opcionalmente no comprende un depósito de agua y un aparato para proporcionar una medición de presión en el depósito.

El medidor de tensión 20 comprende opcionalmente un alojamiento 22 que tiene una primera y segunda partes 30 y 50 de alojamiento, denominadas a continuación por conveniencia como parte superior 30 del alojamiento y parte inferior 50 del alojamiento, un tabique 60 de sellado, un acoplador hidráulico 70 al terreno formado a partir de un material poroso y un elemento elástico 80.

El acoplador hidráulico 70 está formado con una región 72 de acoplamiento al terreno que se extiende fuera del alojamiento 22 cuando el medidor de tensión 20 está ensamblado (Figura 2) y es una parte del medidor de tensión 20 la que contacta con el terreno para lo cual el medidor de tensión proporciona mediciones del potencial mátrico de agua y acopla hidráulicamente el medidor de tensión al terreno. Opcionalmente, la región 72 de acoplamiento al terreno aumenta con la distancia desde el alojamiento 22 del medidor de tensión. El acoplador hidráulico 70 comprende opcionalmente una región 74 de cuello y una región 76 de acoplamiento al depósito opcionalmente circular que están descritas a continuación y están situadas dentro del alojamiento 22. El acoplador hidráulico 70 está formado opcionalmente a partir de un material poroso flexible y es opcionalmente tal que las plantas que han de ser cultivadas en un terreno para el que el medidor de tensión 20 ha de ser utilizado para vigilar el potencial mátrico del agua pueden introducir sus raíces. Opcionalmente, el acoplador hidráulico 70 está formado a partir de un material que comprende un material geotextil.

La parte superior 30 del alojamiento comprende un vástago tubular 31 que tiene un lumen u orificio para conectar el medidor de tensión 20 a un depósito de agua sellado del medidor de tensión y está formado con un rebaje 33 del tabique, mostrado en una vista en perspectiva de la primera parte 30 del alojamiento desde un lado opuesto al del vástago 31 en la Figura 1B, que asienta el tabique 60 de sellado. Una superficie interior 34 del rebaje 33 de tabique está formada con un orificio de entrada 35, claramente mostrado en una vista en planta de la parte superior 30 del alojamiento en la Figura 1C, a través del cual el agua procedente de un depósito conectado al vástago 31 entra en el medidor de tensión 20. La superficie inferior 34 del rebaje 33 de tabique está formada opcionalmente con un laberinto 36 del flujo de agua que comprende una entrada, un deflector 37 de "desviación" que cubre partes del orificio de entrada 35 y una

pluralidad de deflectores 38 cilíndricos elevados. El deflector 37 de desviación tiene opcionalmente "forma de estrella de mar" que comprende cinco brazos 39 equiespaciados angularmente. El laberinto 36 está rodeado por una superficie anular 40, sustancialmente plana vacía de componentes laberínticos. La parte superior 30 del alojamiento comprende opcionalmente un cuello 41 formado con un canal 42 para recibir la región de cuello 74 del acoplador hidráulico 70 y comprende opcionalmente una arista 44 de ensamblaje para montar la parte superior 30 del alojamiento en la parte inferior 50 del alojamiento.

El tabique 60 de sellado comprende opcionalmente una membrana 61 de tabique porosa soportada por un bastidor 62 de tabique anular, que opcionalmente sobresale a cada lado del plano de la membrana del tabique. Cuando el medidor de tensión 20 es ensamblado, el bastidor del tabique anular se asienta sobre una región anular 40 de la superficie inferior 34 y la membrana 61 del tabique descansa opcionalmente sobre los deflectores 37 y 38 cilíndricos de desviación y está soportada por ellos.

La membrana 61 del tabique transmite agua pero está caracterizada por una presión de burbujeo, a continuación denominada como una "presión de burbujeo operativa", cuando está húmeda que es igual a un potencial mátrico máximo de agua, típicamente de entre aproximadamente -0,2 bar a aproximadamente -0,7 bar, que se espera encontrar en un terreno en el que el medidor de tensión 20 ha de ser utilizado. Opcionalmente, la presión de burbujeo operativa de la membrana porosa 61 es igual a aproximadamente 1 atmósfera. Como resultado, el agua puede atravesar la membrana 61 de manera relativamente fácil, pero para una presión diferencial a través de la membrana menor o igual a aproximadamente un potencial mátrico de agua máximo del terreno en el que se utiliza el medidor de tensión 20, la membrana 61 es sustancialmente impermeable al aire. Opcionalmente, la membrana 61 es una estructura en capas, mostrada esquemáticamente en un detalle insertado 66 en la Figura 1A, y opcionalmente comprende una capa porosa 63, que transmite agua pero cuando esta húmeda es impermeable al aire para presiones menores que una presión de burbujeo operativa apropiada, emparedada entre dos capas de soporte 64. Opcionalmente, la capa porosa 63 está formada por medio de por ejemplo un material cerámico, y/o un metal sinterizado y/o una tela tejida o no tejida adecuada que tiene una porosidad apropiada. Las capas de soporte 64 están opcionalmente malladas, o son capas a modo de tamiz formadas a partir de cualquier material rígido y fuerte apropiado. Opcionalmente, la capa porosa 63 está caracterizada por un tamaño medio de poro de desde aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1 micrón. Opcionalmente, las capas de soporte están formadas a partir de un metal y/o de plástico.

La parte inferior 50 del alojamiento está formada para acoplarse con la parte superior 30 del alojamiento y está opcionalmente formada con un reborde 51 de acoplamiento que es hecho coincidir para ajustar dentro del rebaje 33 (Figura 1B) formado en la parte superior 30 del alojamiento de modo que alinee la parte superior e inferior del alojamiento. El reborde 51 de acoplamiento define una porción de un límite de un rebaje 52 que asienta la región 76 de acoplamiento del depósito (Figura 1A) del acoplador hidráulico 70. La parte inferior del alojamiento comprende también un cuello 54 formado que tiene un canal 55 que coinciden con el cuello 41 y el canal 42 respectivamente de la parte superior 30 del alojamiento. Una superficie inferior 56 del rebaje 52 está formada opcionalmente con una cavidad 57 para recibir el elemento elástico 80, opcionalmente en forma de esfera, formado a partir de un material elástico. Un límite 58 periférico exterior, opcionalmente plano rodea el reborde 51 de acoplamiento y el canal 55.

Cuando el medidor de tensión 20 está ensamblado, la arista 44 de ensamblaje de la parte superior 30 del alojamiento contacta y es unida al límite periférico 58 de la parte inferior 50 del alojamiento y la arista 51 de acoplamiento presiona el bastidor anular 62 del tabique a la superficie anular 40 de la parte superior 30 del alojamiento para asegurar el tabique 50 en el rebaje 33 del tabique de la parte superior del alojamiento. La esfera elástica 80 es ligeramente comprimida y empuja a la región de acoplamiento del depósito del acoplador hidráulico 70 para que presione elásticamente sobre la membrana 61 del tabique y la membrana del tabique se apoya de modo seguro sobre los deflectores 37 y 38 del laberinto de agua. Debido al contacto seguro entre la membrana 61 del tabique y los deflectores 37 y 38 del laberinto, el agua que entra en el medidor de tensión 20 es distribuida sustancialmente de igual modo sobre la superficie de la membrana 61 del tabique que contacta con los deflectores del laberinto. El deflector 37 de desviación en forma de estrella de mar opera para dirigir sustancialmente partes iguales de agua que entran en el orificio de entrada 35 para fluir radialmente en cada uno de los cinco diferentes sectores definidos por los brazos 39 deflectores en forma de estrella de mar. Los deflectores cilíndricos 38 dispersan radialmente el agua que fluye de manera azimutal. Como resultado, el agua que entra en el medidor de tensión 20 a través del orificio de entrada 35 humedece sustancialmente por igual todas las regiones de la membrana 61 de tabique y la membrana resulta sustancialmente impermeable al paso del aire para la presión de burbujeo para la que está destinada.

La Figura 3 muestra esquemáticamente una vista en sección transversal lateral del medidor de tensión 20 mostrado en la Figura 1A y en la Figura 2 conectado a un depósito 100 de agua sellado parcialmente lleno con agua 120 y que es utilizado para determinar un valor del potencial mátrico  $\psi$  de agua de una región 130 del terreno de acuerdo con una realización. Se ha observado que mientras el depósito 100 de agua está mostrado por encima de la superficie de la región 130 del terreno, en la práctica, el depósito de agua está generalmente situado por debajo de la superficie del terreno para el que el medidor de tensión es utilizado para medir el potencial mátrico de agua.

El medidor de tensión 20 está posicionado en la región 130 del terreno de manera que la región 72 de acoplamiento al terreno del acoplador hidráulico 70 está en contacto con el terreno en la región del terreno. Un medidor de presión 102 está acoplado al depósito 100 de agua para medir la presión en el depósito. En la Figura 3, a modo de ejemplo, el

medidor de presión está mostrado como un manómetro que tiene una rama izquierda 103 acoplada al depósito 100 de agua y una rama 104 derecha expuesta a la presión atmosférica. El manómetro se ha supuesto que comprende mercurio 125 como fluido del manómetro, y la rama 103 izquierda entre el mercurio y el agua 120 en el depósito 100 está llena con agua. Mientras que en la Figura 3 el medidor de presión 102 está mostrado como un manómetro, en la práctica cualquier medidor de presión o sensor adecuado conocido en la técnica puede ser utilizado para proporcionar una medición de presión en el depósito 100.

El acoplador hidráulico 70 proporciona un acoplamiento hidráulico entre el terreno en la región 130 de terreno y el agua en el depósito 100 de agua mediante contacto entre la región 76 de acoplamiento al depósito (Figura 1A) del acoplador hidráulico y del tabique 60 de sellado. El terreno extrae agua o introduce agua en el depósito 100 de agua a través del acoplador hidráulico dependiendo de si el potencial mátrico de agua de la región 130 de terreno es mayor o menor que la presión en el depósito 100 de agua. Se establece el equilibrio para el que no hay sustancialmente flujo de agua desde o hacia el depósito cuando la presión en el depósito es igual al potencial mátrico de agua del terreno. Como el potencial mátrico es casi siempre negativo, hay un vacío en el depósito 100 por encima de una línea de agua 121 de agua 120 en el depósito. En la Figura 3 el mercurio 125, está más alto en la rama izquierda 103 del manómetro conectado al depósito 100 de agua que en la rama derecha 104 del manómetro expuesto a la presión atmosférica. Una diferencia entre la altura de mercurio en las ramas izquierda y derecha proporciona una medida del vacío parcial en el depósito 100 de agua y por ello del potencial mátrico  $\psi$ .

Para operar fiablemente, de manera ventajosa, la membrana del tabique es mantenida humedecida de forma apropiada y no tiene aire atrapado en sus poros. Sin embargo, durante la operación, el aire podría escaparse a través del acoplador hidráulico 70 o filtrarse a través del agua 120 y ser atrapado por la membrana o en los espacios entre deflectores 37 y 38 del laberinto 39. Para purgar el tabique 61 y/o el laberinto 36 de aire que pueden atrapar, una válvula 105 de purga está conectada opcionalmente al depósito 100. La válvula 105 de purga está conectada a una fuente adecuada de agua (no mostrada) y de acuerdo con una realización de la invención es abierta periódicamente para descargar agua desde la fuente de agua a través del depósito, de la membrana 61 del tabique, y del laberinto 36 para purgar el tabique y el laberinto del aire que pueden haber atrapado. Ventajosamente, el espacio situado por encima de la línea 121 de agua es sustancialmente un vacío y el agua proporcionada a través de la válvula 105 de purga es utilizada para eliminar el aire del depósito 100.

Para proporcionar una medida del potencial mátrico  $\psi$  en una región de un campo, una pluralidad de medidores de tensión, opcionalmente de un tipo mostrado en las Figuras 1A-3, es posicionada en el terreno en diferentes ubicaciones en el campo y acoplados a un depósito de agua sellado común. La presión en el depósito de agua común proporciona una medida, es decir "potencial mátrico representativo", de potencial mátrico de agua en el campo que está entre un valor más elevado y un valor más bajo para el potencial mátrico de agua proporcionado por los medidores de tensión. Opcionalmente, el campo es un campo agrícola para cultivar plantas y la pluralidad de medidores de tensión y el potencial mátrico representativo son utilizados para controlar la irrigación de las plantas en el campo.

La Figura 4 muestra esquemáticamente una configuración de medidores de tensión 200 distribuidos en el terreno de un campo agrícola 240 en el que se están cultivando plantas 242, de acuerdo con una realización.

Los medidores de tensión están conectados a un mismo depósito 202 de agua conectado a un medidor de presión 204 utilizado para proporcionar una medida de un vacío parcial en el depósito y por ello de un potencial mátrico representativo de la región de campo agrícola 240 en la que están ubicados los medidores de tensión.

A modo de ejemplo, en la Figura 4 unas plantas 242 son irrigadas utilizando un tubería 210 de irrigación, que comprende emisores integrados 212 y medidores de tensión 200 son de un tipo mostrado en las Figuras 1A-3 con acopladores hidráulicos 70 formados a partir de un material geotextil en el que las raíces 244 de las plantas 242 son capaces de crecer. De acuerdo con una realización de la invención, cada medidor de tensión 200 acoplado al depósito 202 de agua está situado en la proximidad de una planta 242 y tiene su acoplador hidráulico 70 enrollado alrededor de una región de la tubería 210 de irrigación en la que está ubicado un emisor 212. Algunas raíces 244 de plantas 242 están mostradas creciendo en el tejido geotextil de acopladores hidráulicos 70 de medidores de tensión 200. Debido a la estrecha proximidad de los emisores 212 y de las raíces 244 de las plantas a los acopladores hidráulicos 70, cada medidor de tensión 200 responde al potencial mátrico de agua del terreno al que las plantas 242 son relativamente sensibles y a cambios en el potencial mátrico producidos por el agua emitida por los emisores 212.

En una realización mediciones de cambios en la presión en el depósito 202, y por ello de cambios en el potencial mátrico de agua representativo del campo 240, proporcionados por el medidor de presión 204 son utilizados para controlar el agua emitida por los emisores 212. Cuando el potencial mátrico de agua representativo proporcionado por el medidor de presión 204 cae por debajo del umbral inferior deseado para el potencial mátrico de agua, los emisores 212 son controlados para liberar agua al terreno. Cuando el potencial mátrico de agua representativo se eleva por encima del umbral superior deseado, se impide que los emisores entreguen agua al terreno.

Opcionalmente, los emisores 212 liberan agua a la región 240 del terreno sólo después de que la presión en la tubería 210 de irrigación se eleve por encima de una presión de umbral de agua de liberación y el agua liberada por los emisores 212 es controlada controlando la presión en el tubería de irrigación. En algunas realizaciones la liberación de agua es

controlada pulsando la presión en la tubería 210 de irrigación por encima de la presión de umbral del emisor. En algunas realizaciones de la invención, los impulsos de presión son periódicos y están caracterizados por una longitud de impulso. El período y la longitud de impulso del impulso de presión son determinados opcionalmente en respuesta a un tiempo de relajación de "hidratación" del terreno en la región 240 de terreno característico de un tiempo que necesita el terreno para alcanzar un potencial mátrico de agua límite después de la liberación de una cantidad de agua al terreno por un emisor 212 durante un impulso de presión. Controlar la liberación de agua de acuerdo con una realización de la invención pulsando presión de agua en respuesta a un tiempo de relajación de hidratación del terreno puede ser ventajoso para proporcionar un control relativamente preciso de irrigación. Por ejemplo, puede ser ventajoso impedir un exceso de irrigación de las plantas 242.

Los inventores de realizaciones han llevado a cabo experimentos de irrigación en los que las plantas fueron irrigadas en respuesta a un potencial mátrico representativo de acuerdo con una realización de la invención. Los inventores encontraron que eran capaces de conseguir rendimientos de cosecha relativamente mejorados con cantidades relativamente menores de agua de la que normalmente sería proporcionada a las plantas.

En algunas condiciones, un potencial mátrico de agua representativo proporcionado por una pluralidad de medidores de tensión de acuerdo con una realización de la invención es sustancialmente igual a una media de las mediciones proporcionadas por los medidores de tensión. Por ejemplo, supongamos que en la ubicación de un medidor de tensión "i-ésimo" 200, por conveniencia representado por "T<sub>i</sub>", en la región 240 de terreno, el potencial mátrico de agua es  $\psi_i$ . En equilibrio, un vacío parcial en el depósito 202 de agua disminuye a una presión igual a la de un potencial mátrico representativo " $\psi_0$ ". En el potencial mátrico representativo, entra tanta agua en el depósito 202 de agua procedente de los medidores de tensión T<sub>i</sub> en ubicaciones para las que los potenciales mátricos  $\psi_i > \psi_0$  como sale del depósito de agua desde los medidores de tensión T<sub>i</sub> en ubicaciones para las que  $\psi_i < \psi_0$ . Supongamos que el flujo de agua hacia adentro o hacia fuera de un medidor de tensión T<sub>i</sub> es proporcional a  $(\psi_i - \psi_0)/R$  donde R es una resistencia al transporte de agua de terreno en una región 240 de terreno, que es la misma para todas las ubicaciones de los medidores de

$$\sum_i^N (\Psi_i - \Psi_0) / R = 0 \quad \psi_0 = (1/N) \sum_i^N \Psi_i$$

tensión T<sub>i</sub>, y es independiente de  $(\psi_i - \psi_0)$ . Entonces en el equilibrio N N, y de modo que  $\psi_i$  es una media de todos los  $\psi_i$ . Sin embargo, se espera, que en general, R no solamente será la misma para todas las ubicaciones de la región 130 de terreno sino que dependerá de  $(\psi_i - \psi_0)$ . Como resultado, se ha esperado que un potencial mátrico de agua representativo dado será en general alguna clase de media ponderada del potencial mátrico en las ubicaciones de cada uno de los medidores de tensión 200.

En algunas realizaciones la provisión de agua a un campo agrícola mediante un sistema de irrigación, tal como un campo agrícola 240 y el sistema de irrigación mostrado en la Figura 4 que proporciona mediciones de potencial mátrico  $\psi_i$  de agua del terreno es controlada de acuerdo con un algoritmo 300 que tiene un diagrama de flujo similar al mostrado en las Figuras 5A y 5B. El diagrama de flujo delinea un ciclo de provisión de agua diurna opcionalmente en el que el sistema de irrigación proporciona impulsos de agua al campo sujeto a ciertas condiciones de "activador", descrito a continuación que prevalecen.

En un bloque 301, ocasionalmente los valores para los parámetros que controlan el ciclo de provisión de agua T<sub>cal</sub>, T<sub>diff</sub>, T<sub>B</sub> y T<sub>E</sub> son determinados. T<sub>cal</sub> es un tiempo durante el ciclo diurno en el que el sistema de irrigación calibra mediciones de potencial mátrico del agua y adquiere una medición M<sub>0</sub> de potencial mátrico de agua de calibración. M<sub>0</sub> es adquirido opcionalmente durante la noche después de un período de tiempo durante el cual no se ha proporcionado irrigación y la demanda de agua por las plantas en el campo es mínima. Opcionalmente, T<sub>cal</sub> es aproximadamente 0500. T<sub>diff</sub> es un lapso de tiempo máximo, opcionalmente fijo permitido por el algoritmo 300 entre la provisión de impulsos de agua al campo 240. Opcionalmente, T<sub>diff</sub> es igual a aproximadamente 5 horas. T<sub>B</sub> es un tiempo después del tiempo T<sub>cal</sub> en el que el sistema de irrigación comienza un período de "irrigación activa" en el que proporciona un impulso de agua al campo 240 cuando tiene lugar una condición de activación. T<sub>E</sub> es un tiempo en el que el período de irrigación activo termina. Opcionalmente, T<sub>B</sub> es aproximadamente una hora más tarde que T<sub>cal</sub> y T<sub>E</sub> es un tiempo a aproximadamente el anochecer, por ejemplo aproximadamente 1700.

En una operación 302, el algoritmo 300 comprueba un reloj del sistema (no mostrado) para adquirir una lectura del tiempo, "T<sub>clock</sub>". En un bloque 303 de decisión el tiempo T<sub>clock</sub> es comprobado para ver si es aproximadamente igual a T<sub>cal</sub>. Si no lo es, entonces el algoritmo vuelve al bloque 302 para adquirir una nueva lectura para T<sub>clock</sub>. Si Por otro lado T<sub>clock</sub> es aproximadamente igual a T<sub>cal</sub>, el algoritmo 300 avanza a un bloque 304 y adquiere una lectura de calibración, M<sub>0</sub>, del potencial mátrico  $\psi$  del terreno. El algoritmo prosigue entonces para adquirir otra lectura, T<sub>clock</sub>, del reloj del sistema en un bloque 305 y a continuación prosigue a un bloque 306 de decisión. En el bloque 206 de decisión el algoritmo 300 determina si T<sub>clock</sub> es mayor o igual al tiempo T<sub>B</sub> en el que la irrigación activa del campo 240 ha de comenzar. Si T<sub>clock</sub> es menor que T<sub>B</sub>, el algoritmo vuelve al bloque 305 para adquirir otra lectura para T<sub>clock</sub>. Si por otro lado T<sub>clock</sub> es mayor o aproximadamente igual a T<sub>B</sub>, el algoritmo 300 avanza a un bloque 307 y establece un parámetro T<sub>p</sub> de tiempo variable igual a T<sub>clock</sub>, y en un bloque 308 establece opcionalmente  $\Delta T$  igual a (T<sub>clock</sub> - T<sub>p</sub>), lo que inicializa  $\Delta T$  a cero.

Opcionalmente, en un bloque 309 de decisión, el algoritmo 300 determina si  $\Delta T$  es mayor que T<sub>diff</sub>. Si no lo es, (lo que en esta etapa, inmediatamente después de la inicialización, es el caso) el algoritmo 300 salta opcionalmente a un bloque 313. En el bloque 313 el algoritmo 300 adquiere una medición M<sub>i</sub> del potencial mátrico de agua del campo 240,

opcionalmente en respuesta a lecturas procedentes de medidores de tensión 200 (Figura 4), y prosigue para determinar en un bloque 314 de decisión si el valor absoluto de  $|M_i|$  es mayor que el valor absoluto  $|M_0|$  adquirido en el bloque 304. Si  $|M_i|$  es mayor que  $|M_0|$ , el algoritmo 300 prosigue opcionalmente a un bloque 315 y controla el sistema de irrigación para proporcionar un impulso de agua al campo 240.

5 En algunas realizaciones un impulso de agua proporcionado por el sistema de irrigación es determinado para proporcionar aproximadamente 0,6 l de agua por  $m^2$  de campo 240. Los inventores han determinado que la cantidad de agua antes mencionada por impulso es conveniente para mantener una irrigación apropiada, generalmente, si un tiempo entre impulsos es mayor o igual aproximadamente a 0,5 horas. En algunas realizaciones el algoritmo 300 aumenta una cantidad de agua proporcionada por un impulso de irrigación si el tiempo entre impulsos disminuye a menos de aproximadamente 0,5 horas. Por ejemplo, si el algoritmo de irrigación 300 "encuentra" que  $|M_i|$  aumenta de una manera relativamente rápida, lo que indica una exigencia de impulsos de irrigación cada 0,25 horas, opcionalmente el algoritmo aumenta la cantidad de agua proporcionada por impulso de irrigación. Opcionalmente, el algoritmo aumenta el agua proporcionada por un impulso a aproximadamente 0.9  $l/m^2$  si encuentra que la demanda de impulsos de irrigación alcanza una tasa de aproximadamente 4 impulsos por hora.

Después de la provisión del impulso de agua, el algoritmo 300 prosigue a un bloque 316 y adquiere una nueva lectura para  $T_{clock}$  y reiniciar  $T_p$  a  $T_{clock}$  en un bloque 317. Se ha observado que en el bloque 314 de decisión, si  $|M_i|$  es menor que  $|M_0|$ , el algoritmo 300 salta los bloques 315 a 317, no proporciona un impulso de agua, y va directamente a un bloque 318 de decisión mostrado en la Figura 5B.

Volviendo al bloque 309 si  $\Delta T$  es mayor que  $T_{diff}$ , el algoritmo 300 no salta al bloque 314 donde mide  $M_i$ , sino que en vez de ello, opcionalmente, prosigue a un bloque 310 y proporciona un impulso de agua de irrigación al campo 240. Después de ello el algoritmo prosigue a un bloque 311, adquiere una nueva lectura para  $T_{clock}$  y en un bloque 312 reinicia  $T_p$  a  $T_{clock}$ . Prosigue entonces al bloque 314 para medir  $M_i$  y a través de los bloques 315 -317 eventualmente al bloque 318 de decisión.

En el bloque 318 de decisión el algoritmo 300 determina si  $T_{clock}$  es mayor o igual a  $T_E$ , el tiempo establecido en el bloque 301 en el que termina el periodo de irrigación activa y comienza un nuevo ciclo de irrigación. Si  $T_{clock}$  es menor que  $T_E$ , el algoritmo 300 vuelve al bloque 308 y reinicia  $\Delta T$ , de otro modo, el algoritmo vuelve al bloque 302 y comienza el ciclo de nuevo.

En algunas realizaciones de la invención, un campo agrícola, tal como el campo 240 (Figura 4) es irrigado de acuerdo con un algoritmo 400 que tiene un diagrama de flujo mostrado en la Figura 6. El algoritmo 400 controla un sistema de irrigación para proporcionar agua de manera continua al campo agrícola 240 durante un periodo de irrigación activo en lugar de mediante provisión de pulsación de agua.

En un bloque 401 del algoritmo 400, se establecen los parámetros  $T_B$ ,  $T_E$ ,  $T_{diff}$ ,  $T_{irr}$ ,  $T_{cal}$  y  $M_{diff}$ . Como en el algoritmo 300,  $T_B$  y  $T_E$  son los tiempos de comienzo y final de la irrigación activa y  $T_{cal}$  es un tiempo de calibración.  $T_{irr}$  es un valor inicial para la duración del periodo de irrigación activa, y  $T_{diff}$  es un ajuste a  $T_{irr}$ , que el algoritmo 400 somete a ciertas condiciones de potencial mátrico de agua del campo 240.  $M_{diff}$  es un cambio máximo, opcionalmente fijo de potencial mátrico de agua para el que el algoritmo 400 no ajusta  $T_{irr}$ . Los efectos de los parámetros establecidos en el bloque 401 sobre las decisiones del algoritmo 400 son clarificados a continuación. En algunas realizaciones de la invención,  $T_{irr}$  y  $T_{diff}$  tienen valores iguales aproximadamente a 3 horas y 0,2 horas, respectivamente.  $M_{diff}$  es opcionalmente un número positivo que tiene un valor igual a una fracción menor de uno de un potencial mátrico típico para el campo que es irrigado con el sistema de irrigación. Opcionalmente,  $M_{diff}$  es igual a aproximadamente 5% de un potencial mátrico de calibración adquirido para el campo. Opcionalmente, para un día dado,  $M_{diff}$  es igual al 5% de un potencial mátrico de calibración para un día previo.

En un bloque 402, el algoritmo 400 adquiere un valor para  $T_{clock}$ , y opcionalmente en un bloque 403 de decisión determina si  $T_{clock}$  es igual a  $T_{cal}$ . Si no es así vuelve al bloque 402 para adquirir un nuevo valor para  $T_{clock}$ . Por otro lado, si  $T_{clock}$  es igual a  $T_{cal}$  el algoritmo prosigue a un bloque 404 y adquiere una lectura " $M_n$ " para el potencial mátrico  $\psi$  de agua del campo 240. El subíndice "n" se refiere a un día "enésimo", asumido como un día corriente, de funcionamiento del sistema de irrigación para proporcionar agua al campo 240. En un bloque 404, el algoritmo 400 almacena el valor para  $M_n$  en una memoria adecuada. En un bloque 405 el algoritmo asigna opcionalmente un valor a  $\Delta M$  igual a una diferencia entre la lectura actual  $M_n$  del potencial mátrico de agua y un valor de una lectura,  $M_{n-1}$ , del potencial mátrico de agua adquirida durante el día antes del día actual.

En un bloque 406 de decisión, el algoritmo 400 determina si un valor absoluto de  $\Delta M$  es mayor o igual a  $M_{diff}$ . Si lo es, el algoritmo prosigue a un bloque 407 de decisión para determinar si  $\Delta M$  es mayor o igual a cero. Si  $\Delta M$  es mayor que cero, el algoritmo prosigue desde el bloque 407 a un bloque 408 donde disminuye  $T_{irr}$  en una cantidad  $T_{diff}$  y luego prosigue a un bloque 410 para adquirir el tiempo  $T_{clock}$ . Si  $\Delta M$  es menor que cero, el algoritmo prosigue desde el bloque 407 a un bloque 409 donde aumenta  $T_{irr}$  en una cantidad  $T_{diff}$  y a continuación prosigue a un bloque 410 para adquirir el tiempo  $T_{clock}$ .

Si en un bloque 406 de decisión el valor absoluto de  $\Delta M$  es menor que  $M_{diff}$ , entonces el algoritmo 400 salta directamente

## ES 2 713 066 T3

desde el bloque 406 al bloque 410 para adquirir  $T_{\text{clock}}$ , saltando los bloques 407, 408 y 409.

5 Desde el bloque 410, el algoritmo prosigue al bloque 411 de decisión. En el bloque 411 de decisión, el algoritmo 400 determina si  $T_{\text{clock}}$  adquirido en el bloque 410 es mayor o igual que el tiempo  $T_B$  de comienzo de irrigación activa. Si no lo es vuelve al bloque 410 para adquirir un nuevo valor para  $T_{\text{clock}}$  y a continuación al bloque 411 para probar el nuevo  $T_{\text{clock}}$ . Si en el bloque 411 del algoritmo determina que  $T_{\text{clock}}$  es mayor o igual que  $T_B$ , el algoritmo prosigue a un bloque 412 y comienza la irrigación continua del campo 240.

10 Desde el bloque 412 del algoritmo continúa a un bloque 413 para adquirir un nuevo valor para  $T_{\text{clock}}$  y en un bloque 414 de decisión determina si  $(T_{\text{clock}} - T_B)$  es mayor o igual a  $T_{\text{irr}}$ . Si no lo es, el algoritmo vuelve al bloque 412 para continuar la irrigación continua del campo 240. Si por otro lado,  $(T_{\text{clock}} - T_B) > T_{\text{irr}}$ , entonces el algoritmo termina la irrigación continua y vuelve al bloque 403.

15 En la descripción y reivindicaciones de la presente solicitud, cada uno de los verbos, "comprender", "incluir" y "tener", y sus conjugados, son utilizados para indicar que el objeto u objetos del verbo no son necesariamente un listado completo de miembros, componentes, elementos o partes del sujeto o sujetos del verbo.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1 Un método de irrigación de un campo (240), comprendiendo el método: adquirir un potencial mátrico de agua (120) de calibración para el campo (240); e irrigar el campo (240) durante un período de irrigación activa con una cantidad de agua (120) en respuesta al valor del potencial mátrico de calibración, estando el método **caracterizado por que** adquirir un potencial mátrico de agua (120) de calibración comprende adquirir un potencial mátrico de agua (120) de calibración al menos una vez al día cuando las plantas (242) en el campo (240) exhiben una demanda de agua (120) relativamente pequeña.
- 10 2. Un método según la reivindicación 1, en el que irrigar un campo comprende realizar una irrigación cíclicamente, y opcionalmente en ciclos diurnos.
- 15 3. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que antes del período de irrigación activa es cuando se realiza la adquisición del potencial mátrico de agua de calibración.
- 20 4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que la adquisición del potencial mátrico de agua de calibración comprende adquirir el potencial mátrico por la noche o en las horas tempranas o al amanecer.
- 5 5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que irrigar con una cantidad de agua comprende adquirir una medición del potencial mátrico de agua para el campo además del potencial mátrico de agua de calibración, comparar la medición del potencial mátrico de agua adicional con el potencial mátrico de agua de calibración, y proporcionar una cantidad de agua en respuesta a la comparación.
- 25 6. Un método según la reivindicación 5, en el que comparar la matriz de agua adicional con el potencial mátrico de calibración comprende determinar su diferencia.
- 30 7. Un método según la reivindicación 6, en el que la diferencia es determinada entre valores absolutos de la medición del potencial mátrico de agua adicional y el potencial mátrico de agua de calibración.
- 35 8. Un método según la reivindicación 7, en el que solo si el valor absoluto del potencial mátrico de agua adicional es mayor que el valor absoluto del potencial mátrico de agua de calibración se proporciona la cantidad de agua en respuesta a la diferencia.
- 40 9. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes y que comprende un parámetro de lapso de tiempo máximo entre la provisión de cantidades de agua al campo, si el tiempo que ha transcurrido desde la provisión de una cantidad de agua alcanza el parámetro de lapso de tiempo máximo se proporciona una cantidad adicional de agua al campo.
- 45 10. Un método según la reivindicación 9, en el que sí inmediatamente después de proporcionar una cantidad de agua adicional debido a parámetro de lapso de tiempo máximo, también en respuesta al valor del potencial mátrico de calibración se requiere una cantidad posterior adicional de agua, entonces la cantidad de agua posterior adicional será también proporcionada.
- 50 11. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 5-8 en el que adquirir la medición del potencial mátrico de agua adicional y compararla con el potencial mátrico de agua de liberación es realizado de manera continua durante el periodo de irrigación activo.
- 55 12. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que irrigar con una cantidad de agua, comprende proporcionar un impulso de agua.
13. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2 en el que la irrigación con una cantidad de agua en respuesta al valor del potencial mátrico de calibración comienza en el inicio del periodo de irrigación activa, y preferiblemente la irrigación con agua comprende proporcionar agua de manera continua, opcionalmente determinando un periodo de irrigación en respuesta al potencial mátrico de agua de calibración e irrigar con agua de manera continua durante el periodo de irrigación determinado.



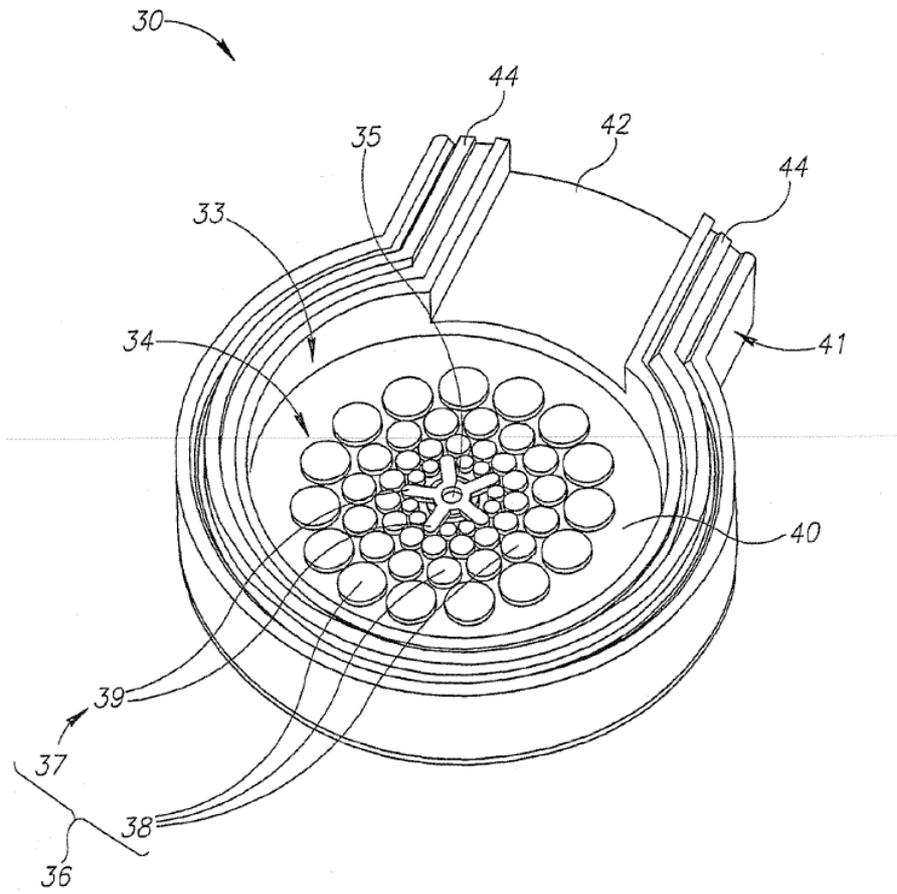


FIG.1B

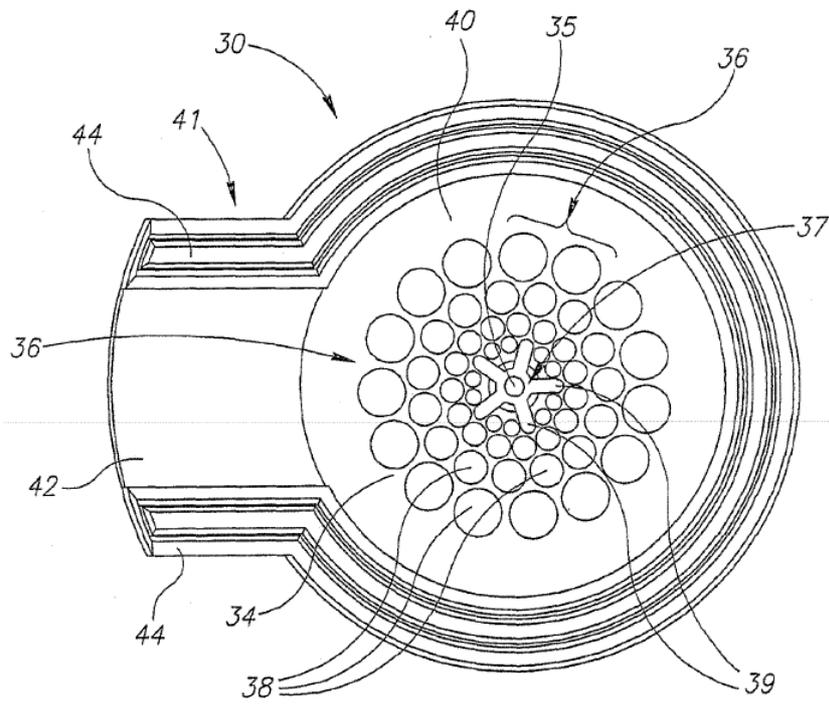


FIG.1C

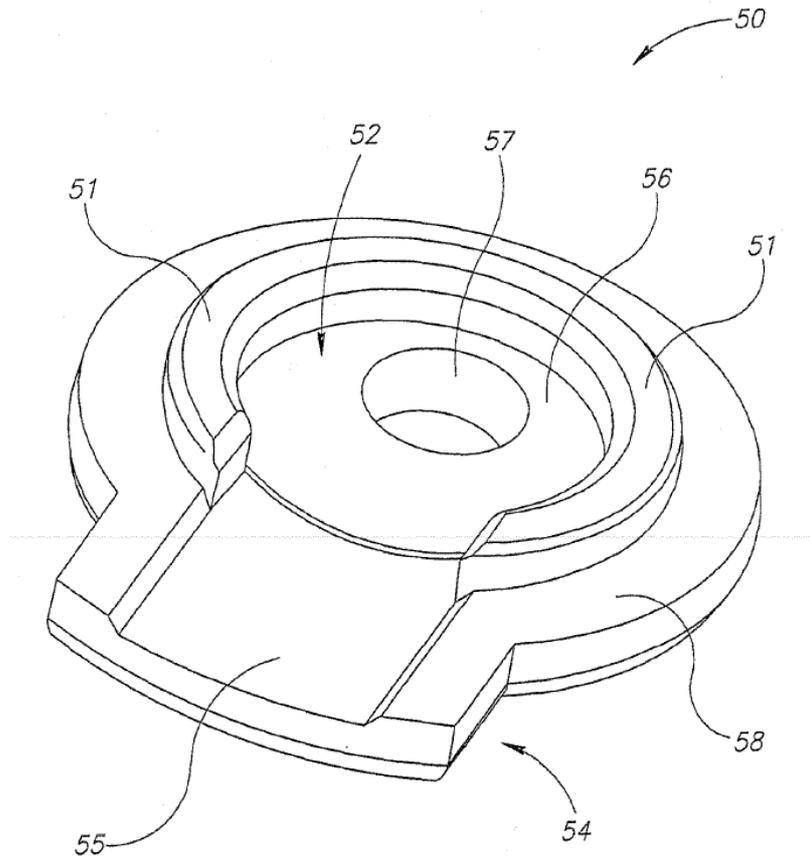


FIG.1D

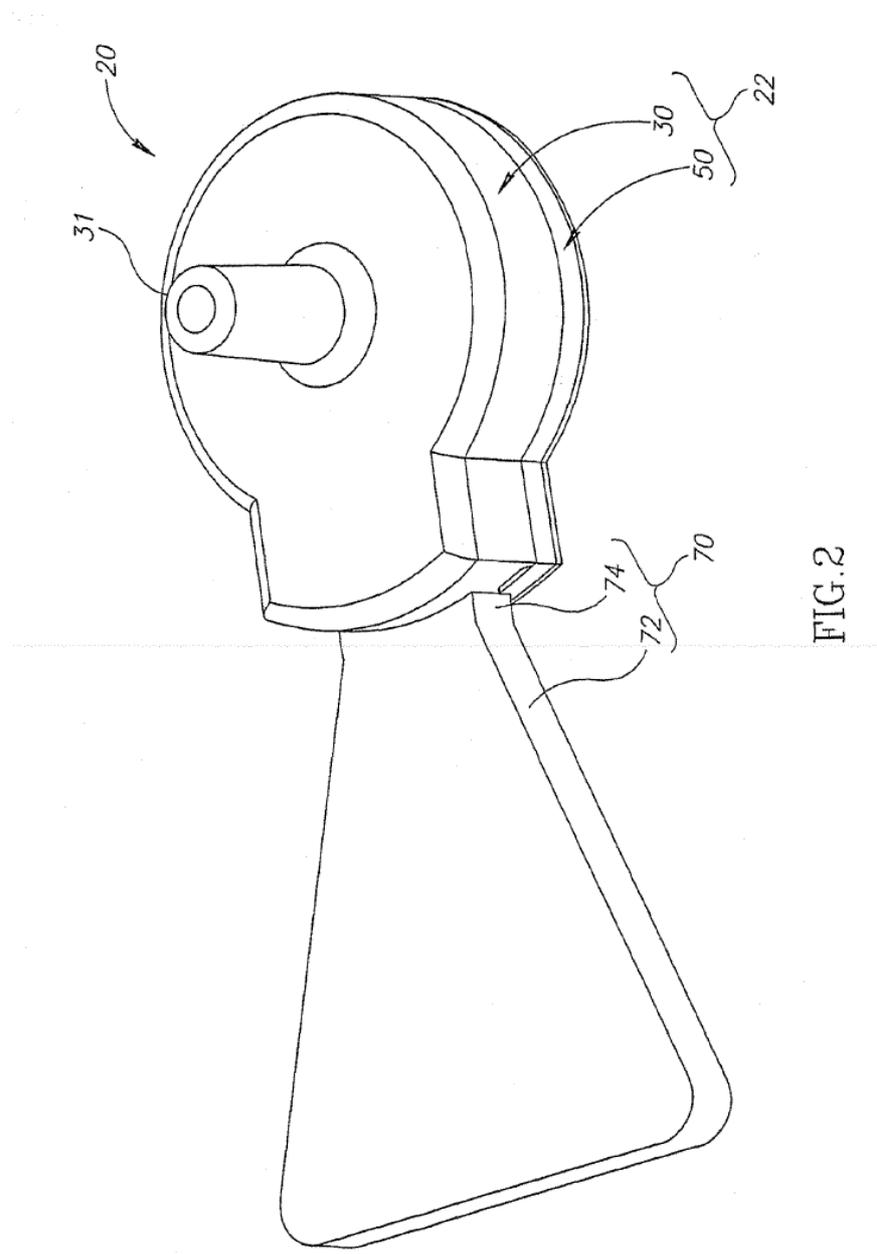


FIG. 2



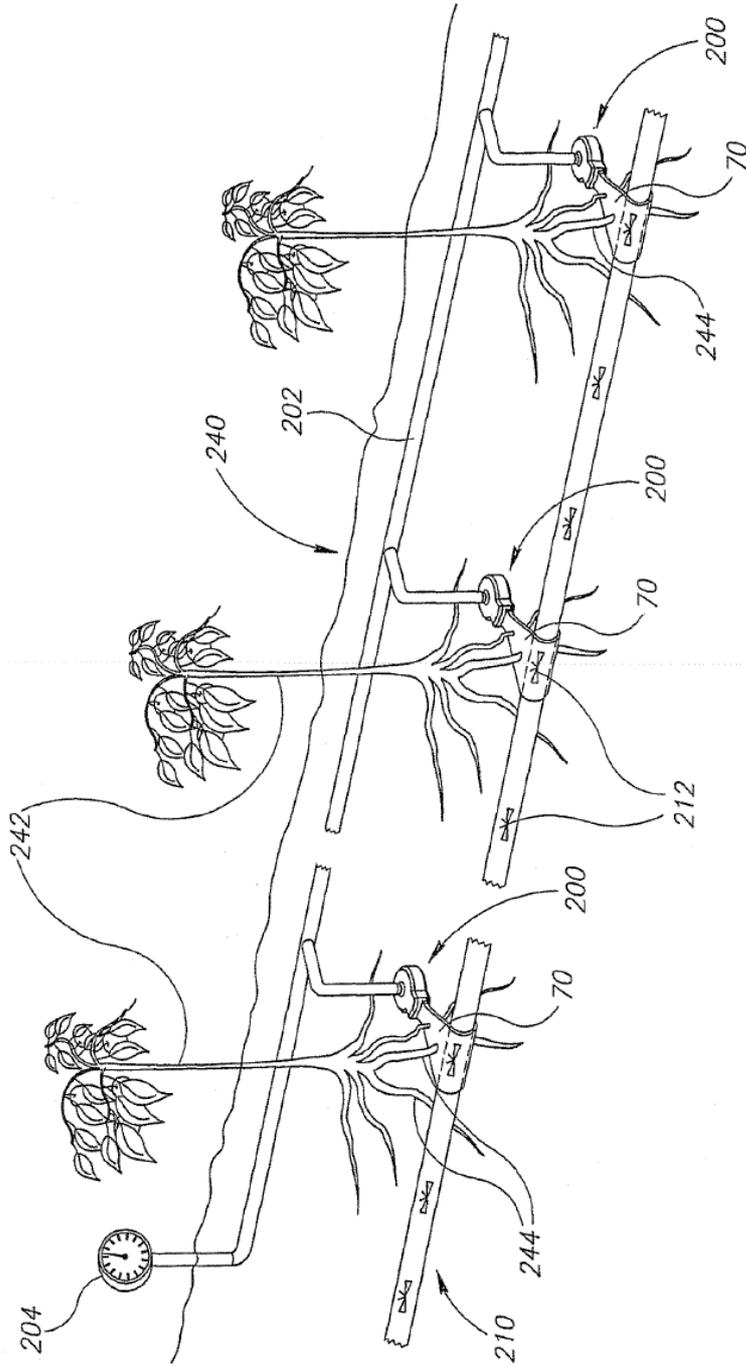


FIG.4

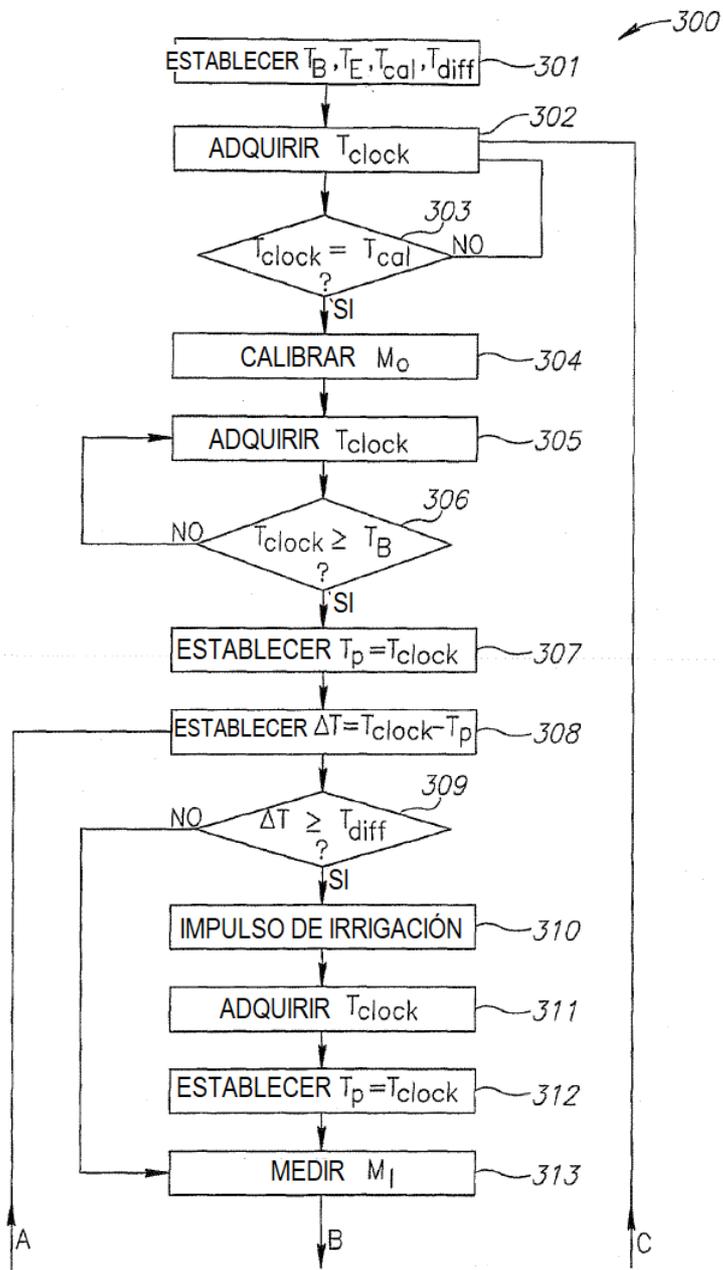


FIG.5A

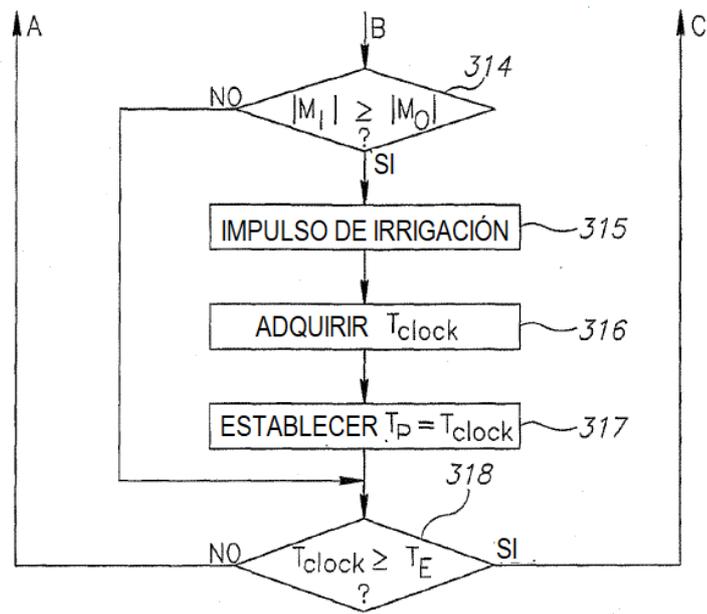


FIG.5B

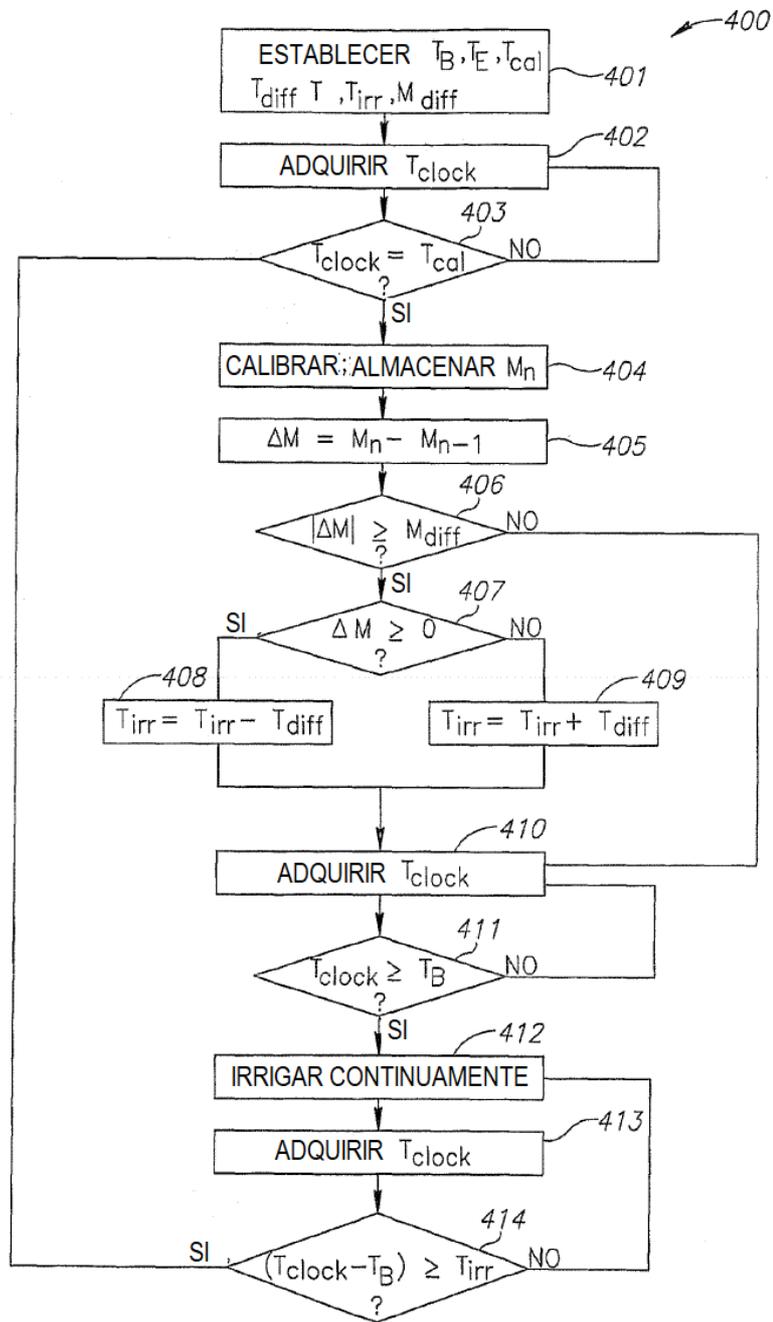


FIG. 6