



- (51) Clasificación Internacional de Patentes: Sin clasificar
- (21) Número de la solicitud internacional: PCT/MX2012/000012
- (22) Fecha de presentación internacional: 7 de febrero de 2012 (07.02.2012)
- (25) Idioma de presentación: español
- (26) Idioma de publicación: español
- (30) Datos relativos a la prioridad: MX/a/2011/001473
8 de febrero de 2011 (08.02.2011) MX
- (71) Solicitantes (para todos los Estados designados salvo US):
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN [MX/MX]; Calle 60 No. 491 A x 57, Colonia Centro, 97000, Mérida, Yucatán (MX). **UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA** [ES/ES]; C/Jordi Girona, 31, E-08034 Barcelona (ES).
- (72) Inventores; e
- (75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **LECHUGA ANDRADE, Jorge Antonio de la Cruz** [MX/MX]; Calle 60 No. 491 A x 57, Colonia Centro, 97000, Mérida, Yucatán (MX). **LLOVERAS MACIA, Joaquín** [ES/ES]; C/Jordi Girona, 31, E-08034 Barcelona (ES).
- (74) Mandatario: **RAMÍREZ LÓPEZ, Karla Patricia**; Calle 60 No. 491 A x 57, Colonia Centro, 97000, Mérida, Yucatán (MX).
- (81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHOD FOR THE DESALINATION OF WATER BY MEANS OF REVERSE OSMOSIS, USING A CENTRIFUGAL FILTER AND INVOLVING THE GENERATION OF DEAN VORTICES

(54) Título : PROCESO PARA DESALINEACIÓN DE AGUA POR OSMOSIS INVERSA USANDO UN FILTRO TIPO CENTRÍFUGO, CON GENERACIÓN DE VÓRTICES DE DEAN

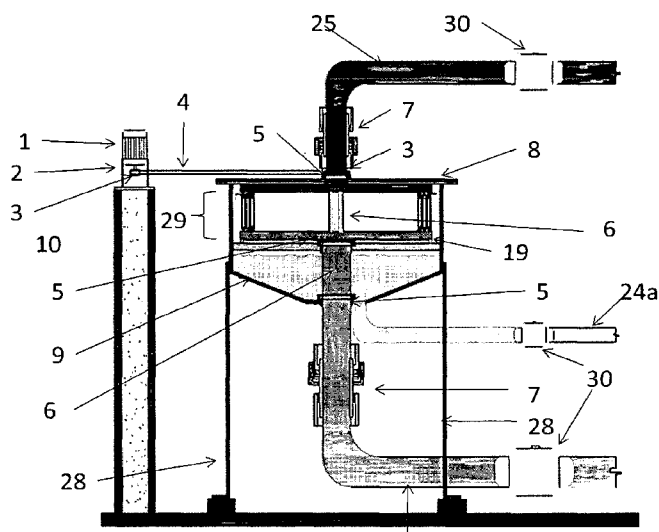


Figura 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for the desalination of seawater and to the design and construction of a centrifugal filter for water desalination. The method comprises the use of: a filter based on reverse osmosis technology, said filter forming a fundamental component; and modules comprising hollow fibre membranes arranged helically around a central supporting tube and distributed in concentric rings along the periphery of the rotating section in order to promote the formation of Dean vortices. According to the invention, the membrane is constructed with an aromatic polyamide structure as a first layer, followed by a layer of polyester sulfone and a supporting polyester layer, with Kevlar 49 material being applied at position 1 and 4 in the aromatic chain in order to increase the structure and resistance of the membrane.

(57) Resumen: La presente invención se refiere un proceso para desalinización de agua de mar y a un diseño y construcción de un filtro centrífugo para desalinización

[Continúa en la página siguiente]



BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— *sin informe de búsqueda internacional, será publicada nuevamente cuando se reciba dicho informe (Regla 48.2(g))*

de agua. El proceso utiliza como un componente fundamental el filtro desarrollado que se basa en la tecnología de osmosis inversa, utiliza módulos de membranas de fibra hueca dispuestas en forma helicoidal alrededor de un tubo de soporte central y distribuidas en anillos concéntricos en la periferia de la sección giratoria para favorecer la formación de vórtices de Dean. En donde la membrana está construida con una estructura de poliamida aromática como primera capa, seguida de una capa de poliéster sulfona y una capa de soporte de poliéster; aplicando el material kevlar 49 en la posición 1 y 4 en la cadena aromática para incrementar la estructura y resistencia de la membrana.

**PROCESO PARA DESALINIZACIÓN DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA
USANDO UN FILTRO TIPO CENTRÍFUGO, CON GENERACIÓN DE VÓRTICES
DE DEAN.**

5

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

La presenta invención se refiere al diseño y construcción de un filtro para desalinización de agua, especialmente para desalinización de agua de mar. El filtro se basa en la tecnología de ósmosis inversa, utiliza membranas de fibra hueca, dispuestas con una geometría espacial específica para favorecer la
10 formación de vórtices de Dean.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los procesos para la desalinización de agua de mar han existido desde hace muchos años; sin embargo, estos procesos tenían costos de instalación y
15 operación muy elevados y grandes consumos de energía. Las primeras plantas desalinizadoras utilizaban tecnologías de evaporación, ya sea de Evaporación Multi Etapas Flash (MSF) o Destilación Multi Efectos (MED), Compresión de Vapor (CV), las cuales representaban cambios de estado físico, que consumen mucha energía. Estas plantas tenían un consumo energético de más de 12 kWh
20 por metro cúbico de agua potable producida

La alternativa para estos procesos ha sido el desarrollo de la ósmosis inversa. Han sido varios los cambios tecnológicos para el mejoramiento del proceso de ósmosis inversa, inicialmente con el uso de membranas de diferentes geometrías

y materiales que mejoraran el proceso así como, el diseño de procesos duales, para aprovechar el agua de rechazo para disminuir el consumo de energía, utilizando turbinas, Ruedas Francis, Ruedas Pelton y últimamente, el Intercambiador de Presión como el de la Planta H-O-H en las islas Canarias, en Lanzarote España, que ha logrado consumos de energía de 2.6 kWh por metro cúbico de agua- producto. Una cifra muy respetable para éste proceso.

En 1955, se comenzó a aplicar la Electrodialisis (ED), en aguas salobres. Éstas se realizaron en laboratorios acondicionados para cuantificar los resultados y hacer las correcciones que se requerían para ir mejorando la eficiencia. La ED, utiliza energía eléctrica para forzar con suficiente presión, el paso del agua de alta concentración a través de una membrana con intercambio iónico.

El año de 1957, marca un hito, al solicitarse en forma simultánea la patente de un modulo de MSF, por Silver y Frankel. Con ahorros de energía y para grandes capacidades. La primera planta de estas condiciones se instaló en 1960 en Kuwait, que producía 1560m³/día.

Los años de 1958 a 1960, fueron importantes para la ósmosis inversa, ya que en la Universidad de California, Los Ángeles, (UCLA), Loeb y Sourirajan, desarrollaron la membrana que resultó el antecedente inmediato de los módulos comerciales.

En 1970, se comenzó a utilizar la compresión de vapor de forma comercial, con consumos energéticos de hasta 22 kWh. /m³, y en 1978, se construyó la primera gran planta ósmosis inversa, para desalinización de agua de mar, en Jedda, Arabia Saudita.

5

La patente de los Estados Unidos US 3,400,074 de Carl. A. Grenzi, (1968) se refiere a una proceso para desalinizar agua por ósmosis inversa utilizando la fuerza centrífuga, en donde el agua es introducida a una membrana semipermeable cilíndrica rotatoria, de tal forma que el agua pura pase a través de
10 la membrana por la acción de la fuerza centrífuga.

La patente de los Estados Unidos US 3,883,434 de Ronal Gayler Wantage (mayo 13 de 1975) refiere un aparato para ósmosis inversa rotatorio, el cual comprende una membrana ensamblada en un recipiente de presión. El ensamble es montado
15 para rotar junto con el recipiente. Durante la rotación, se promueve un porcentaje de recuperación de producto líquido alto. El flujo de la turbina puede ser operado por la alimentación o por el líquido de rechazo.

La patente de los Estados Unidos US 4,230,564 de Bowie G. Keefer (octubre 20,
20 1980), es sobre un aparato de ósmosis inversa o para ultrafiltración, cuenta con dos rotores girando en la misma dirección cerca del eje central, en donde el primer rotor gira a una velocidad alta y tiene un impulsor el cual sirve a la bomba de alimentación. El segundo rotor gira a baja velocidad y tiene un vaso de presión con una membrana semipermeable de alta selectividad con un componente del

flujo de alimentación. Este arreglo reduce las pérdidas por fricción. Comparada con las maquinas centrifugas con cubiertas estacionarias, la membrana es arreglada para la acción de la fuerza centrifuga.

- 5 La patente de los Estados Unidos US 4,333,832 de Thomas L. Siwecki (junio 8, 1982) se refiere a un proceso en donde el agua salada y otras soluciones son aceleradas en una estructura rotatoria y aplicada a un filtro de carbono. El agua desalada es removida después pasándola a través de una larga superficie de la membrana, en donde el arreglo de las membranas, está diseñado en dos niveles.

10

- La patente de los Estados Unidos US 4,886,597 de Peter M. Wild et. Al. (diciembre 12, 1989) se refiere a un equipo centrífugo para la desalinización por ósmosis inversa, en donde una solución de alimentación conteniendo agua de mar es separada en un producto que consiste en una solución con concentración
- 15 de sal disminuida y una solución agotada con concentración aumentada, incluye una envoltura de evacuación para reducir pérdidas por exposición al viento y consumo de energía.

- La publicación de patente WO 98/36823 de Francisco Sánchez Sainz (agosto 27,
- 20 1998) Se refiere a un sistema centrífugo de ósmosis inversa con dispositivos opcionales de recuperación de la energía cinética del producto, cuyo objeto es el ahorro energético y la reducción del costo de producto en procesos de ósmosis inversa en donde a partir del caudal del fluido de alimentación a baja presión, y mediante la presión creada por la fuerza centrifuga en el modulo contenedor de la

membrana semipermeable y al girar alrededor de un eje, consigue un caudal de producto o permeado, evacuándose el fluido a baja presión. Opcionalmente, la energía cinética del producto o permeado se puede recuperar mediante un dispositivo formado por una corona de álabes y una transmisión, transformándola en energía mecánica, y/o recuperarse en forma de presión mediante un dispositivo formado por una envolvente espiral capaz de captar el flujo rotacional del producto.

Recientemente Georges Belfort en 1997, profundizó los principios anteriores para nano filtración y ultrafiltración a través de una membrana con curvatura aplicando a través de la investigación, el arreglo de membranas propuesto por Dean en 1927, que permitía la formación de vórtices que recibieron el nombre de vórtices de Dean. Estos vórtices, presentan algunas ventajas sobre los de Taylor Patente USPTO, 1997.

15

La patente de los Estados Unidos US 6,824,679 de Stephen Dzengeleski, et. al. (noviembre 30, 2004) Se refiere a un módulo de separación con membranas de fibra hueca y proporciona métodos para producir paquetes de una o muchas capas de membranas de fibra hueca en espiral, para su uso en módulos de separación cuyo desempeño pueda ser predicho, dichos módulos son diseñados tomando los beneficios de los vórtices de Dean. La invención está dirigida a paquetes de múltiples fibras huecas en espiral para su uso; los módulos de separación son directamente escalables porque cada capa tiene un desempeño

20

substantialmente equivalente a la otra capa cuando son sometidas a flujos con cierta velocidad tal que los vórtices de Dean se desarrollen.

La patente de Stephen Dzengeleski, resulta muy parecida al trabajo presentado, puesto que también explora el enrollamiento de membranas de fibra hueca para
5 crear vórtices de Dean; hasta aquí, las similitudes, en cuanto a las diferencias, Dzengeleski propone utilizar una bomba para imprimir la presión necesaria al fluido con el objeto de producir la ósmosis inversa, mientras que nuestra invención propone utilizar una fuerza centrífuga para propiciar la presión necesaria para que ocurra el proceso de ósmosis inversa, con recuperación de energía, y
10 fortalecimiento de los vórtices de Dean; una diferencia más, resulta del enrollamiento de las membranas; Dzengeleski, enrolla sus membranas en capas de a tres, en nuestra invención, se propone un enrollamiento en tresbolillo (arreglo triangular), que refuerza al conjunto de membranas, por la estructura que se forma.

15

Es pertinente comentar sobre la patente con Número: 2299349, de Merce Vives Salvador, concedida por la Oficina Española de Patentes y Marcas en 2008. La invención presenta un dispositivo para desalinización, por ósmosis inversa centrífuga, con la rotación de un cilindro giratorio, cuya pared, ubicado dentro de
20 otro cilindro envolvente. Produce ahorros energéticos, aunque los costos son un poco altos y no tiene membranas enrolladas en forma de hélice, por lo tanto, no genera vórtices de Dean.

El proceso y equipo diseñado se orienta al ahorro significativo de energía, lo cual permitiría que las energías alternas, como la eólica, maremotriz, solar, etc.; pudieran ser accesibles y utilizadas para procesar el agua de mar.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

5

La figura 1 muestra un corte en sección transversal del filtro de ósmosis inversa

La figura 2 representa un disco de soporte que sirve como refuerzo mecánico para el soporte de cargas.

La figura 3 representa un corte transversal del ensamble de los módulos de
10 membrana, siendo el disco tanque superior el que recibe el agua de rechazo de las membranas y el disco tanque inferior en donde se distribuye el agua para alimentación de las membranas.

La figura 4 es una vista superior en donde se muestra el arreglo de los módulos que contienen las membranas.

15 La figura 5 muestra en un corte transversal el arreglo de las membranas en el módulo de membranas.

La figura 6 muestra a detalle la sección giratoria del filtro.

La figura 7 es un diagrama de flujo de procesos para el proceso de desalinización de agua de mar por ósmosis inversa de tipo centrífuga utilizando el filtro de la
20 presente invención.

Descripción detallada de la invención.

Problema: En la actualidad existe una creciente demanda de agua dulce y la necesidad de un desarrollo tecnológico limpio que pueda resolver el problema de

la demanda sin comprometer la sustentabilidad. Para resolver estos problemas, la presente invención adicionalmente considera la necesidad de incrementar la vida útil de las membranas mediante un proceso que permite una auto limpieza constante.

5

El equipo desarrollado en la presente invención logra mediante un proceso de ósmosis inversa de tipo centrífuga con la generación de vórtices de Dean, un costo menor a 1.10 USD/m³.

- 10 Un factor importante para el desarrollo de la presente invención es la selección de las membranas que serán utilizadas en el filtro por ósmosis inversa.

Para la presente invención fueron seleccionadas membranas de fibra hueca que entre sus ventajas destaca la gran área superficial de membrana que se forma en
15 módulos compactos; sin embargo, es importante mencionar que esas membranas presentan flujos inferiores comparados con los de las membranas planas del mismo material.

Se considera una estructura asimétrica compuesta de una capa de material de
20 micro poros en donde se halla el área activa de la membrana, misma que está envuelta por otra capa de un material de mayor resistencia con poros de mayor diámetro. Básicamente, la segunda capa sirve para fortalecer a la primera que suele ser más delgada. La pared externa de la estructura no experimenta tensión

debido al paso del fluido, ya que es la capa interna la que está en contacto con el fluido y la que realiza el filtrado.

Otra ventaja de las membranas de fibra hueca es su limitado espectro, es decir,
5 una distribución del tamaño de poro reducida, lo que ofrece mayor selectividad al momento del filtrado.

Las membranas de fibra hueca están constituidas por un haz de millones de tubos capilares del diámetro de un cabello humano (de 42 a 72 μm de diámetro interno y
10 de 85 a 165 μm de diámetro externo), huecos interiormente. Las primeras fibras que se desarrollaron de este tipo eran de acetato de celulosa y producían un caudal muy pequeño. Sin embargo, se consideró que podían ser útiles para desalinización puesto que eran muy baratas de fabricar y muy delgadas. Al comprobarse que la resistencia de la fibra depende principalmente de la relación
15 entre el diámetro exterior e interior, se pensó que reduciendo su tamaño se podía conseguir una pared extremadamente delgada, que permitiría aumentar su caudal. Esta delgadez permite su empaquetamiento en poco espacio, dentro de un tubo cilíndrico que constituye la carcasa protectora y permite la circulación de la solución a desalinizar. Este tubo, para evitar la corrosión, es de un material
20 plástico de alta resistencia. El agua a tratar entra por el extremo de este tubo o carcasa y se distribuye a través de un tubo central provisto de perforaciones en dirección hacia las paredes del tubo.

Las fibras se colocan paralelas alrededor de este tubo central, doblándose en uno de los extremos y retornando al otro, de forma que la longitud de cada fibra es aproximadamente el doble que la del tubo. Por ambos extremos del tubo las fibras quedan incrustadas en una masa de material epoxi, para darles rigidez.

- 5 Posteriormente se corta uno de los extremos de forma que cada fibra queda abierta en uno de los lados del tubo, por ambos extremos, facilitando la salida del producto, mientras que el otro extremo en el que está situada la parte doblada queda rígidamente sujeta. El conjunto resultante se suele llamar módulo o permeado, también membrana, y la gran cantidad de fibras que contiene da al
- 10 conjunto una gran compactación, que ayuda a resistir las presiones aplicadas. El agua a presión se aplica a la membrana desde el exterior capilar y la pared de la fibra actúa como lámina o membrana separadora reteniendo las sales, mientras que por el interior circula el agua producto que ha atravesado la membrana. La salmuera se desplaza de una manera radial hacia los bordes del tubo siendo
- 15 recogida mediante un colector para su evacuación.

- La superficie de estas membranas es muy grande dado que está constituida por el desarrollo de millones de tubos capilares, pero extendido el haz de fibras que constituyen la membrana, determinan un caudal por membrana importante. El
- 20 espesor de la pared de la fibra es muy grande en relación con su diámetro, lo que permite soportar las altas presiones utilizadas.

Las membranas de fibra hueca, también presentan ventajas que favorecen su uso en procesos de ósmosis inversa de tipo centrífuga, que son necesarias para las operaciones de auto limpieza.

- 5 De igual manera, se encontró que para los procesos de ultra filtración (UF) se pueden emplear los dos tipos de membranas referenciadas: en espiral y de fibra hueca, porque ambos pueden operarse en las condiciones requeridas por este proceso; en el mercado es común encontrar ambas configuraciones de membranas para ultra filtración.

10

Para procesos de ósmosis inversa, en el caso de filtración centrífuga para generar vórtices, se usa la membrana de fibra hueca, con el flujo de “adentro-hacia afuera”. El uso de poliamida aromática composite y poliéter sulfona mas otros materiales con una capacidad de retención de boro hasta 94%.

15

Como ya se ha comentado anteriormente, para la etapa de OI, se utilizan membranas en espiral para el proceso convencional; pero en la presente invención se utilizaron membranas de fibra hueca, para elaborar la configuración y estructura requeridas, para que se puedan generar los vórtices de Dean.

20

Se construyeron diferentes geometrías para evaluar la formación de vórtices dentro de ellas. De los casos analizados, la geometría que ofrece las mejores condiciones para la formación de vórtices de Dean resultó ser la de paso de 20 mm, diámetro de curvatura de 5 mm y diámetro interno de 1 mm. La

centrifugación afecta positivamente la formación de vórtices, aumentando la velocidad y en consecuencia el estrés en la pared. Para lograr la presión necesaria se requirió una velocidad de 2000 rpm y 500 mm de radio de giro. Otras opciones son paso de 30mm diámetro de curvatura de 10mm y diámetro interno de 1mm.

Para disminuir la caída de presión en las membranas se procedió a enrollarlas en el sentido de giro del rotor, resultando ser de 519 kPa. La presión del líquido a la salida es de 92 kPa. Adicionalmente se encontró que el permeado, no afecta la formación de los vórtices.

De acuerdo con la figura 1, en la construcción del filtro se utilizó un motor (1) de 10HP y de 2000 RPM, con un variador de velocidad (2) y dos poleas (3) de 3" de diámetro nominal, (76.2 mm), así como, las bandas para la transmisión (4). Se utilizaron rodamientos o cojinetes de carga de forma cónica (5) debido a su elevada capacidad de carga resistencia a velocidades relativamente elevadas; adicionalmente, se utilizaron tres cojinetes de carga (5) a lo largo de los tubos centrales (6) de acero inoxidable los cuales cuentan con una goma de propeno (no mostrada) para sellar herméticamente, en donde los cojinetes (5) son adecuados tanto para cargas mecánicas radiales como cargas mecánicas axiales, cumpliendo con las normas DIN 616/DIN720.

También se utilizaron en la presente invención sellos de Kalsi (7), que se componen de una parte giratoria y una parte fija, los cuales proveen lubricación

hidrodinámica para minimizar el desgaste, retienen lubricantes y excluyen contaminantes. Los sellos fueron colocados en la parte superior del filtro (8) en donde la sección rotatoria se sitúa abajo y la sección estática se sitúa por encima. El otro sello de Kalsi (7) fue colocado en la parte inferior del filtro (9) en donde la

5 sección rotatoria se ubica arriba y la estática debajo. De acuerdo a los diámetros en las tuberías donde se ubica, el diámetro exterior de la tubería es el diámetro interior del sello.

El filtro de la presente invención está sujeto a la acción de la fuerza centrífuga,

10 por lo tanto requiere de una estructura sólida que a su vez, permita tener la consistencia necesaria para evitar que la velocidad a que se somete el equipo y las vibraciones no desajusten el equipo; por estos motivos, se diseñó un disco (figura 2) de acero inoxidable (10) construido con acero inoxidable AISI 316, compuesto de ocho rayos o radios (11) que unen a un círculo central interno (12)

15 el cual es un alojamiento central para un rodamiento de carga con su respectiva taza. En cada extremo de los de los rayos o radios (11) se adapta un rodamiento esférico (13) para que descansa el peso de la carga del disco (10) que soporta un disco tanque con agua de alimentación (19) que contiene el agua para alimentación de los módulos (16) que contienen a las membranas (17).

20

En una modalidad de la invención (figura 3), el diámetro interior de las membranas utilizadas fue de 1 mm, con un diámetro de curvatura de 5 mm y un tamaño de paso (pitch) de 20 mm. Las membranas (17) fueron arregladas alrededor de un tubo (15) figura 3, en donde de acuerdo a las dimensiones del

- paso "p" y el diámetro de curvatura se pueden enrollar hasta 34 membranas (17) en posición de *tresbolillo* o arreglo triangular (figura 5), en donde la colocación de los módulos (16) con las membranas (17) son puestas en filas paralelas, de tal forma que a cada fila corresponda en el espacio entre dos tubos el tubo de la fila inmediata, formando triángulos equiláteros, en donde respetando las dimensiones mencionadas, se obtiene dos vueltas por membrana. Para mejor comprensión, la figura 5 representa una idea del arreglo en tresbolillo con treinta y cuatro membranas (17).
- 10 Las membranas (17) se enrollan alrededor de un tubo o soporte (15) de PVC Cédula 80 (34 membranas), y se diseñan tres filas colocando los tubos en posición vertical en círculos concéntricos entre los discos tanque (18) y (19) del filtro. La primera fila (20) -figura 4-, contiene 82 tubos, la segunda fila (21) 88 y la tercera fila (22) 94, o sea un total de 264 tubos de 34 membranas cada uno; o
- 15 sea, 8, 976 membranas en el filtro. Todo el conjunto se encuentra resguardado por una carcasa (23) que no rota, 'preferentemente construida con acero inoxidable con un espesor de 3/4", se presentan las hileras de soportes de membranas (94 soportes), para la fila (22) más cercana a la carcasa de acero inoxidable AISI 316, la 2da fila (21), de 88 soportes de membranas, y la 1ra hilera
- 20 (20) de (82 soportes), la de menor diámetro que fue tomada como base para el radio del cálculo de la fuerza centrífuga, 500 mm; parte fundamental en la simulación que se utilizó para calcular el estrés en la pared. El agua permeada sale por la parte superior del conjunto de módulos (16) a través de un ducto (14)

que permite que escurra por la pared interna de la carcasa (23) hacia la parte inferior de la carcasa (9).

En la invención presentada, el enrollamiento de las membranas se realizó en el
5 sentido del giro del rotor, el agua a tratar se alimentó desde abajo y hacia arriba,
Mediante una tubería de alimentación (24) garantizando que las membranas
siempre contengan agua; mientras que el agua de rechazo se obtiene en la parte
superior del filtro del disco tanque (18) y es extraída del sistema por la tubería
(25). Para asegurarse de que el espacio entre los cilindros siempre contenga
10 agua dulce se instala un cilindro (26) concéntrico al soporte (15) de las
membranas (17) a una distancia de entre uno o dos centímetros, manteniendo así
el diferencial de concentraciones, asegurando así el proceso de ósmosis inversa,
recolectando el agua permeada que fluye hacia abajo y que es contenida en la
carcasa (23) la cual no interviene en la rotación, representando ahorros de
15 energía.

La invención requirió para su construcción de 528 sellos (27) dos por cada
módulo de las membranas (16). Estos sellos facilitan el ensamble del módulo de
membranas (16), tanto en la inferior que se adapta a un resorte a presión (no
20 mostrado) cómo en la parte superior del ensamble del módulo de membrana, que
se coloca a presión, utilizando la contracción del resorte inferior.

En la figura 4 el filtro de la presente invención muestra en un corte horizontal, los módulos de membrana (16) que conforman las tres hileras de la presente invención.

- 5 La carcasa del filtro (23) está soportada por cuatro varas de soporte (28) fabricadas de acero inoxidable, siendo esta opción solamente una modalidad para soportar el filtro.

El agua ingresa por la parte inferior (9) del filtro hacia el disco de alimentación de
10 agua de mar (19) y es trasladada hacia el disco superior (18) de agua de rechazo. La parte inferior de carcasa (9) es de forma cónica invertida con la punta truncada por donde es atravesada por la tubería de alimentación de agua de mar (24) que conecta con el disco tanque inferior (19) y tubería de descarga de agua permeada (24a) que es colectada en la sección cónica inferior (9) de la carcasa. En la
15 sección cilíndrica de la carcasa (29) se ubican las tres filas de módulos de membrana (16), 264 en total, con treinta y cuatro membranas (17) enrolladas en forma de hélice, por cada módulo (16). El conjunto interior móvil está soportado por el disco de 8 rayos (10). En la parte superior se encuentra el disco tanque (18) que contiene el agua de rechazo que sale del disco por la tubería (25), misma
20 que cuenta con una válvula de globo (30) del mismo tipo que las utilizadas en las tuberías (24) y (24a), mientras que en la sección cónica inferior (9) es colectada el agua tratada y enviada a un post tratamiento mediante la tubería 24, misma que contiene una válvula de control.

La figura 6 muestra a detalle la sección giratoria (29) del filtro alimentado por la tubería inferior (24) en donde los módulos de membrana (16) están acomodados en tres filas, ensamblados a presión entre los discos tanque inferior (19) y superior (18); en donde el agua de permeado escurre por el ducto (14) para ser
5 colectado en la parte inferior de la carcasa (23). En esta figura se muestra también el tubo central (6).

Proceso:

La figura 7, es un diagrama de flujo de proceso el cual inicia con una bomba (31) de dos HP, que toma agua de mar a un kilómetro de distancia, y se transporta a
10 un tanque elevado (32), de ahí por gravedad, se inicia el pre tratamiento haciendo pasar el agua por un filtro de arena (33), para eliminar sólidos en suspensión, con la bomba (34), de 0.5 HP, se transporta el agua al filtro de cartucho (35) y posteriormente con la bomba (36) de 0.5 HP, se transporta el agua a un tanque para la igualación (37) en donde se almacena. Antes de transportar el flujo al filtro
15 de ósmosis (38), con el propósito de controlar la cantidad de agua que debe de alimentar al mencionado filtro (38); utilizando la bomba (39) de 0.5 HP, se alimenta el filtro (38) hacia el depósito o disco de agua de entrada (19); el agua de rechazo, sale por la parte superior del filtro (18) y con la ayuda de la bomba (42) de 0.5 HP, se transporta a un difusor de salmuera (41), para posible reutilización.
20 El agua permeada, sale por la parte inferior (9) y con la bomba (40), de .25 HP se traslada a un tanque de almacenamiento (43), para el post-tratamiento.

El post tratamiento, se aplica después de la filtración por ósmosis inversa, al agua de permeado, normalmente se utilizan, el hidróxido de calcio para control del pH y

calcificación del agua, óxido de carbono para la carbonatación del agua y regulador del pH y el hipoclorito de sodio para desinfectar.

En el pre tratamiento también se requiere, de una limpieza o desinfección que
5 pudiera contener; por tal razón, se añade al agua de mar, hipoclorito de sodio como desinfectante, eliminación de materia orgánica y/o actividad biológica; un coagulante, normalmente se utiliza el sulfato de aluminio, para eliminación de coloides sobre lechos filtrantes y por ende reducción del SDI, ácido sulfúrico que controla los precipitados del carbonato de calcio, control del pH y un buen
10 bactericida y bisulfito sódico, elimina el cloro residual.

Las sustancias mencionadas, se utilizan en pocas cantidades, dependiendo de las condiciones del agua, pero las raciones son muy pequeñas.

15 **Forma de realización de la presente invención:**

En el siguiente apartado, se detallan los cálculos efectuados, para obtener los consumos de energía, en membranas, bombas y motor, para la operación del sistema productivo.

20 En primer término, antes de proceder al cálculo del consumo energético, se presentan las operaciones que se efectuaron para obtener la velocidad angular en RPM. Y seguidamente, se calculó con base en la caída de presión en las membranas, para convertirlas en Kwh.

Cálculo de las rpm del rotor, en función de la presión que se requiere para la ósmosis inversa de tipo centrífuga.

La ecuación (1), es para calcular la velocidad angular, y está dada por la relación

5 siguiente:

$$P_p = \frac{1}{2} (\rho_{sw} \omega^2 R_{exit}^2) \quad (\text{Wild et al, 1997}).$$

(1)

Donde:

10 P_p es la presión aplicada en Pascales

ρ_{sw} es la densidad del agua de mar

R_{exit} , es el radio de rotación del filtro (es de 0.5m). Se estima desde el centro del eje hasta la pared de membrana más cercana, esto para probar si la fuerza o estrés es el requerido.

15 ω es la velocidad angular en radianes/s

La ecuación (2), es para el cálculo de la presión

$$P = F/A \quad (2)$$

Donde:

20 P , es la presión que se aplica en Pascal

F , es la fuerza, en Newton

A , el área de aplicación de la fuerza. m^2

El procedimiento para el cálculo de las RPM es el siguiente:

$$P_p = 1/2(\rho_{sw}\omega^2 r^2)$$

- 5 Se requieren de 5.5 MPa o sea 5,500,000 Pascal, de presión, para que se obtenga la ósmosis inversa en las membranas.

La masa se calculó con base a las densidades de los materiales, que rotan y el volumen de cada uno.

10 $5.5 \text{ MPa} = 1/2(\rho_{sw}\omega^2 r^2)$

La densidad del agua de mar tiene un valor de 1027 Kg/m^3

El radio del rotor es de 0.5 m

$$5.5 \text{ MPa} = 128.375 \omega^2$$

$$5.5 \text{ MPa} = 128.375 \omega^2$$

15

Por lo tanto: $\omega = \sqrt{42843.23} = 206.9 \text{ radianes/s}$

1 RPM ————— 0.10471 radianes/s

20 (X) RPM ————— 207.0 radianes/s

$$X = \frac{207.00}{0.10471} = 1,976.88 \text{ RPM} \cong 2,000 \text{ RPM}$$

Ésta es la velocidad angular en RPM, que producen una presión de 5.5 MPa.

Se utiliza un variador de velocidad y un juego de poleas, para obtener las 2,000 RPM.

- 5 El área de contacto en la pared de membrana para la presente modalidad, es de:
28.2 m²

Que se calcula con base al área de cada membrana; son 8, 976 membranas de 1 mm de diámetro, por 1 m. de largo.

- El área de una membrana es igual al perímetro de la circunferencia de membrana
10 por el largo:

Perímetro = $\pi \times D$ (diámetro de la membrana)

El diámetro de la membrana es igual a 1 mm o sea, .001 m

Perímetro de membrana = $3.1416 \times D$, $3.1416 \times .001 \text{ m} = 0.0031416 \text{ m}$.

- Área de la pared de membrana = Perímetro x largo; $0.0031416 \text{ m} \times 1 \text{ m} =$
15 0.0031416 m^2

Son 8976 membranas; por lo tanto: $0.0031416 \text{ m}^2 \times 8976 = 28.2 \text{ m}^2$. Es necesario ajustar esta cantidad, al área activa de filtración de membrana, y restar la sección del área de membrana, que se ensambla en los coples superior e inferior del módulo; dando como resultado un área efectiva de: **27.354 m²**

20

Cálculo de la caída de presión en las membranas de fibra hueca

Con las siguientes medidas para la membrana, utilizada en el trabajo:

22

h = altura: 1 m

V = volumen en m³

d = diámetro interno: 0.001 m

r = radio membrana = .0005 en

m

5 W = trabajo en Joules

W = PdV

V₂

P = presión en Pascales

dV

 $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ V₁

10

$$V = (3,1416) \cdot (0.0005)^2 \cdot (1) = 7.85 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

La caída de presión obtenida fue de: 519 kPa.

$$W = (519,000 \text{ Pascales}) \cdot (7.85 \times 10^{-7} \text{ m}^3) =$$

0.407415 Joules

15

1 Kwh equivale a 3, 600, 000 Joules, por lo

tanto:

Cuántos Kwh son 0.407415 Joules

X = 1.132×10^{-7} Kwh de consumo energético por la caída de presión en la membrana. (Crowe, 2006).

20

Cálculo del consumo de energía de bombas y motor**MEMORIAS DE CÁLCULO**

A. BOMBAS PARA EL PROCESO

Para determinar la capacidad y potencia de las bombas del proceso se tomó como punto de partida la capacidad del filtro rotatorio de Osmosis por Centrifugación. El permeado del equipo de osmosis que es de 5.8883 m³/h, siendo el 40 %, se convirtió a GPM para entrar a la tabla de la página B14 del CRANE "Flow of Fluids (2009), para seleccionar los diámetros de tubería y las velocidades del fluido (agua).

Para el cálculo de las cargas estáticas se procedió a darle distancias de succión y de descarga a las tuberías dadas estas en metros lineales.

Para el cálculo de las cargas dinámicas por fricción se procedió a seleccionar y cuantificar los accesorios que se tendrían tanto en la succión como en la descarga, así como el valor de la longitud equivalente de acuerdo al diámetro nominal y al tipo de accesorio tomado del "Catálogo de Referencias para curso de Bombas Centrifugas" de la marca VALSI.

Posteriormente se hace la suma algebraica de las longitudes equivalentes de la succión y descarga incluyendo las longitudes de las tuberías, y se hace una corrección con los valores de del catálogo de referencias de bombas en función del diámetro nominal en pulgadas y el flujo en GPM o en LPM para darnos la longitud equivalente total.

A continuación se suma algebraicamente las cargas estáticas de succión y descarga (alturas) y la carga dinámica por fricción por la tubería y accesorios para obtener la carga total de la bomba en metros.

- 5 Por último se calcula la potencia requerida por la bomba multiplicando la carga total por el flujo volumétrico dividido en el factor de conversión y la eficiencia de la bomba.

1. BOMBA (31) "Succión de Agua de mar al Tanque elevado.

10	Diámetro nominal de la tubería	4" (101.6 mm)
	Longitud horizontal de la tubería	250.00 m
	Longitud vertical de la tubería	6.00 m
	Longitud total de la tubería	256.00 m
	Leq. Filtro de succión	20.20 m
15	Leq. Codos (4) 4x1.2	4.8 m
	Leq. Válvula no retorno	11.5 m
	Leq. Válvula de globo	36.5 m
	Leq. Ampliación	0.28 m
	Pérdidas por fricción	329.56 m
20	Longitud equivalente total	
	Leq. Total = $329.56 \times 1.22 / 100$	4.02 m
	Carga total = $4.02 + 6$	10.02 m
	Flujo volumétrico	22.007 m ³ /h
		6.11 l/s

25

	Eficiencia de la bomba	0.85
	Factor de conversión	76 kg-m/HP
	Potencia de la bomba = $H_t \times Q / 76 \times 0.85$	
	$HP_b = 21.14 \text{ m} \times 6.11 \text{ l/s} / 76 \times 0.85 =$	2.0 HP
5	Motor Eléctrico con FS de 1.2	2.4 HP

2. BOMBA (34) "del filtro de Arena al Filtro de cartucho.

	Diámetro nominal de la tubería	3" (76.2 mm)
	Longitud horizontal de la tubería	7.00 m
10	Longitud vertical de la tubería	2.00 m
	Longitud total de la tubería	9.00 m
	Leq. Codos (4) 4x1.90	4.0 m
	Leq. Válvula no retorno	8.2 m
	Leq. Válvula de globo	28.6 m
15	Leq. Ampliación	0.2 m
	Leq. Reducción	0.26 m
	Pérdidas por fricción	50.26 m
	Longitud equivalente total	
	$Leq. Total = 50.26 \times 3.64 / 100$	1.829 m
20	Carga total = $1.829 + 2$	3.83 m
	Flujo volumétrico	19.15 m ³ /hl/s
		5.321 l/s
	Eficiencia de la bomba	0.85
	Factor de conversión	76 kg-m/HP

26

Potencia de la bomba = $H_t \times Q / 76 \times 0.85$

HPb = $3.83 \text{ m} \times 5.321 \text{ m}^3/\text{h} / 76 \times 0.85 = 0.32$

Motor Eléctrico con FS de 1.2 0.5 HP

5 3. BOMBA (36) "del filtro de Cartucho al Tanque de igualación.

Diámetro nominal de la tubería 3" (76.2 mm)

Longitud horizontal de la tubería 10.00 m

Longitud vertical de la tubería 2.00 m

Longitud total de la tubería 12.00 m

10 Leq. Codos (4) 4x1.0 4.0 m

Leq. Válvula no retorno 8.2 m

Leq. Válvula de globo 24.0 m

Leq. Ampliación 0.2 m

Leq. Reducción 0.26 m

15 **Pérdidas por fricción 48.66 m**

Longitud equivalente total

Leq. Total = $48.66 \times 6.16 / 100$ 3.0 m

Carga total = $3.0 + 2$ 5.0 m

Flujo volumétrico 14.7204 m³/h

20 4.089 l/s

Eficiencia de la bomba 0.85

Factor de conversión 76 kg-m/HP

Potencia de la bomba = $H_t \times Q / 76 \times 0.85$

HPb = $5.0 \text{ m} \times 4.089 \text{ l/s} / 76 \times 0.85 = 0.32$

Motor Eléctrico con FS de 1.2 0.5 HP

4. BOMBA (39) “del Tanque de igualación al filtro rotatorio de Osmosis

5	Diámetro nominal de la tubería	2" (58.8 mm)
	Longitud horizontal de la tubería	10.00 m
	Longitud vertical de la tubería	3.00 m
	Longitud total de la tubería	13.00 m
	Leq. Codos (4) 4x0.88	3.52 m
10	Leq. Válvula no retorno	5.18 m
	Leq. Válvula de globo	21.3 m
	Leq. Ampliación	2.5 m
	Leq. Reducción	1.3 m
	Pérdidas por fricción	46.8 m
15	Longitud equivalente total	
	Leq. Total = $46.8 \times 5.4 / 100$	2.52 m
	Carga total = $2.52 + 3$	5.58 m
	Flujo volumétrico	14.7204 m ³ /h
		4.089 l/s
20	Eficiencia de la bomba	0.85
	Factor de conversión	76 kg-m/s/HP
	Potencia de la bomba = $H_t \times Q / 76 \times 0.85$	
	HPb = $5.52 \text{ m} \times 4.089 \text{ l/s} / 76 \times 0.85 =$	0.35
	Motor Eléctrico con FS de 1.2	0.5 HP

5. BOMBA (42) "del filtro rotatorio de Osmosis al difusor de salmuera

	Diámetro nominal de la tubería	1.5" (38.1 mm)
	Longitud horizontal de la tubería	8.00 m
5	Longitud vertical de la tubería	3.00 m
	Longitud total de la tubería	11.00 m
	Leq. Codos (4) 4x0.7	2.8 m
	Leq. Válvula no retorno	3.6 m
	Leq. Válvula de globo	17.9 m
10	Leq. Ampliación	1.8 m
	Leq. Reducción	0.94 m
	Pérdidas por fricción	38.04 m
	Longitud equivalente total	
	Leq. Total = $38.04 \times 8.95 / 100$	7.04 m
15	Carga total = $7.04 + 3$	10.04 m
	Flujo volumétrico	8.8308 m ³ /h
		2.453 l/s
	Eficiencia de la bomba	0.85
	Factor de conversión	76 kg-m/s/HP
20	Potencia de la bomba = $H_t \times Q / 76 \times 0.85$	
	HPb = $10.04 \text{ m} \times 2.453 \text{ l/s} / 76 \times 0.85 =$	0.38
	Motor Eléctrico con FS de 1.2	0.5 HP

6. BOMBA (40) "del filtro rotatorio de Osmosis al Tanque de almacenamiento"

	Diámetro nominal de la tubería	1.5" (203 mm)
	Longitud horizontal de la tubería	10.00 m
5	Longitud vertical de la tubería	3.00 m
	Longitud total de la tubería	13.0 m
	Leq. Codos (4) 4x0.7	2.8 m
	Leq. Válvula no retorno	2.8 m
	Leq. Válvula de globo	17.6 m
10	Leq. Ampliación	1.8 m
	Leq. Reducción	0.94 m
	Pérdidas por fricción	40.04 m
	Longitud equivalente total	
	Leq. Total = $102.3 \times 4.1 / 100$	2.92 m
15	Carga total = $4.19 + 3$	5.92 m
	Flujo volumétrico	5.886 m ³ /h
		1.635 l/s
	Eficiencia de la bomba	0.85
	Factor de conversión	76 kg-m/s/HP
20	Potencia de la bomba = $H_t \times Q / 76 \times 0.85$	
	HPb = $5.92 \text{ m} \times 1.635 \text{ l/s} / 76 \times 0.85 =$	0.15
	Motor Eléctrico con FS de 1.2	0.25 HP

Leq. = Longitud Equivalente, (Manual de Valsi, 1996).

B. MOTOR DEL FILTRO DE OSMOSIS

Para el diseño del filtro de osmosis se tomo como base un diámetro máximo 1.50 m (1500 mm) de diámetro exterior con placa de acero inoxidable tipo 316L con un espesor de 1/8" (3.18 mm) tanto en el cilindro envolvente como en la sección cónica inferior y la tapa plana superior, con una ceja de 5 cm para atornillarla al cuerpo.

Se requiere un flujo por membrana de $1.8231 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ el número total de membranas fue de 8,976 con lo cual se obtiene un flujo total de $163.64 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 5.89 \text{ m}^3/\text{h} = 141.38 \text{ m}^3/\text{d}$ por filtro, = 2120 m³/d por los 15 filtros.

El arreglo de los módulos (16) con 34 membranas en tresbolillo quedó como sigue: una fila circular interna (20) de 82 cartuchos (2,788 membranas), una fila circular intermedia (21) de 88 cartuchos (2,992 membranas), y una tercera fila circular (23) externa de 94 cartuchos (3196 membranas), dando un total de 264 cartuchos (8976 membranas).

Para el cálculo de la potencia de la bomba se identificaron los elementos mecánicos que van a estar sometidos a la fuerza centrífuga y se determinó la masa y el momento de inercia de cada uno y la sumatoria de los momentos de inercia fue multiplicada por la aceleración de la gravedad para determinar el torque total requerido que al multiplicarlo por los RPM requeridos por el proceso y divididos entre 7,124 da la potencia requerida

por el motor en HP. En la Tabla 1 se presentan los elementos mecánicos sujetos a la fuerza centrífuga.

Tabla 1

Elementos mecánicos sometidos a la fuerza centrífuga

ELEMENTO	CANTIDAD	NOMBRE DE LOS ELEMENTOS
1	264	Cilindro de PVC hueco de 6.35 mm
2	528	O ring de sección cónica de 41.28 mm
3	8976	Cilindro de membrana de 1 mm
4	4	Discos de placas de ac. Inox 1400 mm
5	2	Cilindro sólido de agua 1360 mm
6	2	Cilindro de discos 2, 1400 mm x 6 mm inox.
7	264	Cilindros cople de PVC 57 mm x 63 mm
8	264	Exterior cartucho membrana 31.75 mm

5

CÁLCULO DE LA POTENCIA.

C. $HP = (PAR \times RPM) / 7124$

D. $HP = (28.426 \times 2000) / 7124 = 7.98$

E. $KW-H = 7.98 \times 0.746 = 5.95$

10 F. POTENCIA COMERCIAL = 10 HP

G. La velocidad nominal para un motor de 10 HP con velocidad síncrona de 3600 RPM es de 3,150 RPM, por lo tanto por la ley de Afinidad tendremos una potencia al final de:

H. $BHP_1/BHP_2 = (RPM_1/RPM_2)^3$

32

$$I. \quad BHP_1/10 = (2000/3500)^3 = (0.5714)^3 = 0.186$$

$$J. \quad BHP_1 = 10 \times 0.186 = 1.86$$

$$K. \quad HP = 1.86 / 0.85 = 2.2$$

5 L. Como la potencia comercial es de 10 HP se satisface esta potencia. Esto puede lograrse con un variador de frecuencia o con una relación de diámetros de poleas.

Conclusiones de los cálculos de potencia:

10 Los cálculos de las potencias de las bombas y del motor para la rotación del filtro son las siguientes:

La potencia total de Fuerza (motores) es de:

	B1 =	2 HP
	B2 =	0.5 HP
	B3 =	0.5 HP
15	B4 =	0.5 HP
	B5 =	0.5 HP
	B 6 =	0.25 HP
	Mf =	10 HP
	Total =	14.25 HP
20	=	10.63kw
	=	10.63 kw-h

Consideraciones para el cálculo del consumo unitario de energía, con base en la producción de agua potable:

Producción de agua permeada por osmosis por filtro = 5.886 m³/h

Consumo de energía por Filtro = 9.1205 kw-h

- 5 **NOTA:** la diferencia entre potencia real y la nominal se debe a que comercialmente no hay motores de 2000RPM de velocidad síncrona y de velocidad nominal (a plena carga). Entonces se aplica la ley de afinidad por medio de un variador de velocidad (o de frecuencia) para hacer los ajustes a la velocidad requerida.

$$10 \quad \text{Rendimiento kw-h / m}^3 = 9.1205 / 5.886 = 1.5489 \text{ kw-h / m}^3$$

Producción de agua permeada por osmosis por filtro = 141.38m³/d

Producción de agua permeada por osmosis por 15 filtros = 2120 m³/h

$$15 \quad \text{Consumo de energía por 15 Filtros} = 136.81 \text{ kw-h}$$

Consumo de energía por día = 3283.38

$$\text{Rendimiento kw-h/h / m}^3 \text{ /h} = 3283.38 / 2120 = 1.548 \text{ kw-h / m}^3$$

- 20 En cuanto a los resultados obtenidos para el presente ejemplo, relacionados con el consumo unitario de energía: **1.548 Kwh/m³ de agua tratada**, es realmente digno a considerar la propuesta que emana de la presente invención.

Adicionalmente, se propone para la presente invención el uso de los VCR (visualizadores de control remoto), a través de sensores ubicados

estratégicamente, en los sitios vulnerables a cualquier variación en el sistema, y de esta forma garantizar la eficiencia en el mantenimiento, y reposición de las membranas, módulos o cualquier otro accesorio que forma parte del conjunto tecnológico-productivo.

5

El costo unitario de producción resultante es menor al de costos de otras plantas con los que se compara este proceso, debido a los bajos costos por mantenimiento y limpieza de membranas, lo cual representa significativos ahorros de productos químicos para el lavado sin necesidad de parar la producción, la
10 reposición de membranas, la recuperación de energía debido al aprovechamiento de la hidrodinámica del sistema, el arreglo de las membranas significa un mayor caudal de permeado y la inversión es relativamente baja; no se requieren muchos equipos, la organización de un manejo eficiente del personal

15 En la fabricación de la membrana seleccionada de poliamida aromática como primera capa, seguida de una capa de poliéter sulfona y una capa de soporte de poliéster; aplicando el material kevlar 49 en la posición 1 y 4 en la cadena aromática para incrementar la estructura y resistencia de la membrana.

20 Para la ósmosis inversa de tipo centrífuga, que se propone la presente invención, se utilizan membranas de fibra hueca, fabricadas con los materiales que se han mencionado , y que presentan una retención de boro de 93% al 98%, y debidamente arregladas helicoidalmente, para propiciar la formación de los

vórtices de Dean. Según información de DOW, sus membranas en espiral retienen el 94% de retención de boro.

La geometría de la membrana es de forma helicoidal o de hélice, que permiten la
5 formación de los vórtices de Dean, y el arreglo de las membranas, es en forma de tresbolillo, alrededor de un poste-eje, para darle mayor consistencia y estructura más sólida.

Para lograr lo anterior, se efectuaron los cálculos necesarios, para obtener los 5.5
10 MPa que se requieren y dio como resultado, que el rotor debe de tener una velocidad de 2,000 RPM, y un motor de 10 HP de potencia.

Para hacer más eficiente el uso de los espacios en el filtro, se arreglaron 3 filas de
módulos de membrana, por un total de 264 módulos, y un arreglo por módulo de
15 34 membranas en forma de tresbolillo, resultando un total de 8,976 membranas en el filtro.

Se analizaron los puntos críticos de fabricación; entre ellos, los sellos de Kalsi, que son autolubricantes, y funcionan herméticamente, una parte fija y otra que
20 rotatoria con el filtro, y están diseñados para operar a altas presiones y velocidades, son elastoméricos de una sola pieza y utilizan principios hidrodinámicos que crean una fina capa de lubricante entre el sello (junta hermética) y el eje; minimizando en gran medida, los efectos de desgaste por fricción. La lubricación alarga la vida de funcionamiento del sello y el eje de

- rotación, reduciendo fuerza torsional, están diseñados para combinaciones de altas velocidades con altas presiones, funcionamiento fiable y consistente en ambientes abrasivos; resistencia a impacto y vibración; funcionan hasta a 352 Kg/cm² (345 bars) y con valores de presión por velocidad de hasta 1340 Kg/cm² x m/s (1310 bars x m/s). También se incluyen los discos que contienen el agua de alimentación y de rechazo, ya que el agua permeada se obtiene por arriba de las membranas y por gravedad el agua tratada fluye en la carcasa del filtro. La carcasa permanece estática, para ahorrar consumo de energía.
- 5
- 10 Los materiales son de acero inoxidable AISI 316, PVC Cédula 80, elastómeros y uretano, fueron los más utilizados.

La potencia total requerida para la rotación del filtro y para el proceso, es de 14.25 HP.

15

En los cálculos realizados se obtuvo un consumo de energía de 1.548 kWh/m³.

- Hay muchas combinaciones que se podrían hacer y probar, en cuanto al número de módulos de membrana y el número de membranas por módulo, y calcular la potencia y consumo energético, así como la eficiencia del sistema y probar si el incremento en peso y radios del filtro, permiten con poca energía, obtener los 5.5 MPa, que se requieren para la ósmosis inversa.
- 20

Los pre tratamientos y post tratamientos, que se proponen, podrían ser aplicados de otras formas, utilizando nuevos reactivos, que sean más amigables con el medio ambiente, equipos que podrían resultar más económicos, pero que se mantenga la misma calidad de agua permeada, que propone la OMS.

REIVINDICACIONES

Habiendo descrito suficientemente la invención, consideramos como una novedad y por lo tanto reclamamos como de nuestra exclusiva propiedad, lo contenido en las cláusulas siguientes:

5

1. Un filtro para desalinización de agua de mar por ósmosis inversa de tipo centrífuga con generación de vórtices de Dean, en donde el filtro consiste de una carcasa estática cuya parte inferior es un cono invertido de punta truncada por donde cruza un ducto de alimentación y en donde se colecta
10 el agua permeada que escurre desde la parte superior del conjunto de módulos de fibra hueca por la pared interna de la carcasa, y una sección cilíndrica cerrada en su extremo superior que en su interior soporta un conjunto giratorio que es rotado desde el exterior por un conjunto de motor, reductor, poleas y bandas y en donde el conjunto giratorio está
15 determinado por dos discos tanque giratorios, uno inferior por donde se alimenta el agua a tratar hacia los módulos de membranas y uno superior por donde se elimina el agua de rechazo con elevada concentración de sales, en donde los discos superior e inferior están unidos por un ducto central y módulos que contienen membranas de fibra hueca, **caracterizado**
20 por que los módulos de membranas de fibra hueca consisten de una tubería central de PVC para soportar las membranas de fibra hueca enrolladas en forma helicoidal en el sentido de giro del rotor para favorecer los vórtices de Dean propiciando la auto limpieza de las membranas y por que dichos módulos cuentan con un cilindro externo, concéntrico al soporte

interno de las membranas, que deja un espacio interanular para asegurar que el espacio entre los cilindros contenga agua dulce para que exista el diferencial de concentraciones y se favorezca la ósmosis inversa.

- 5 2. Un filtro como el que se reclamó en la cláusula anterior en donde la parte móvil del filtro está unido a los ductos de alimentación y descarga mediante sellos de Kalsi.
- 10 3. Un filtro como el que se reclamó en la cláusula 1, en donde los módulos que contienen las membranas están dispuestos en tres filas en círculos concéntricos.
- 15 4. Un filtro como el que se reclamó en la cláusula 1, en donde las membranas de fibra hueca están enrolladas alrededor de un tubo en disposición de tresbolillo formando filas paralelas de modo que en cada fila, corresponda al espacio entre dos membranas la membrana de la fila inmediata, formando triángulos equiláteros, obteniéndose al menos dos vueltas por membrana.
- 20 5. Un filtro como el que se reclamó en la cláusula 1, en donde los módulos de membranas tienen en sus extremos sellos que facilitan el ensamble de los módulos de membranas al contar con resortes en la parte inferior para ser colocados a presión.

6. Una membrana de fibra hueca para filtración de agua de mar, construida con poliamida aromática como primera capa, seguida de una capa de poliéster sulfona y una capa de soporte de poliéster en donde se aplica el material kevlar 49 en la posición 1 y 4 en la cadena aromática para incrementar la estructura y resistencia de la membrana.
7. Un proceso para desalinización de agua de mar, en donde el agua es colectada desde el mar mediante una toma abierta y transportada mediante una bomba hacia un tanque elevado, para posteriormente hacerla pasar por un filtro de arena, un filtro de cartucho, un tanque de igualación y un filtro rotatorio por ósmosis inversa de donde se desprenden dos corrientes, una que es el agua tratada que se envía a un tanque de postratamiento y otra que es la solución concentrada que se envía a un difusor de salmuera, **caracterizado** por que el filtro rotatorio consiste de un filtro para desalinización de agua de mar por ósmosis inversa de tipo centrifuga con generación de vórtices de Dean que utiliza módulos de membranas de fibra hueca enrolladas en forma helicoidal sobre un soporte central y en donde los módulos cuentan con un cilindro exterior, estando dispuestos en filas concéntricas alimentados desde abajo hacia arriba.
8. Un proceso como el que se reclamó en la cláusula anterior, en donde el consumo energético es inferior a **1.7 Kwh/m³ de agua tratada**

9. Un proceso como el que se reclamó en la cláusula anterior, en donde el consumo energético está en el rango de **1.548 Kwh/m³ de agua tratada a 1.7 Kwh/m³ de agua tratada.**

1 / 7

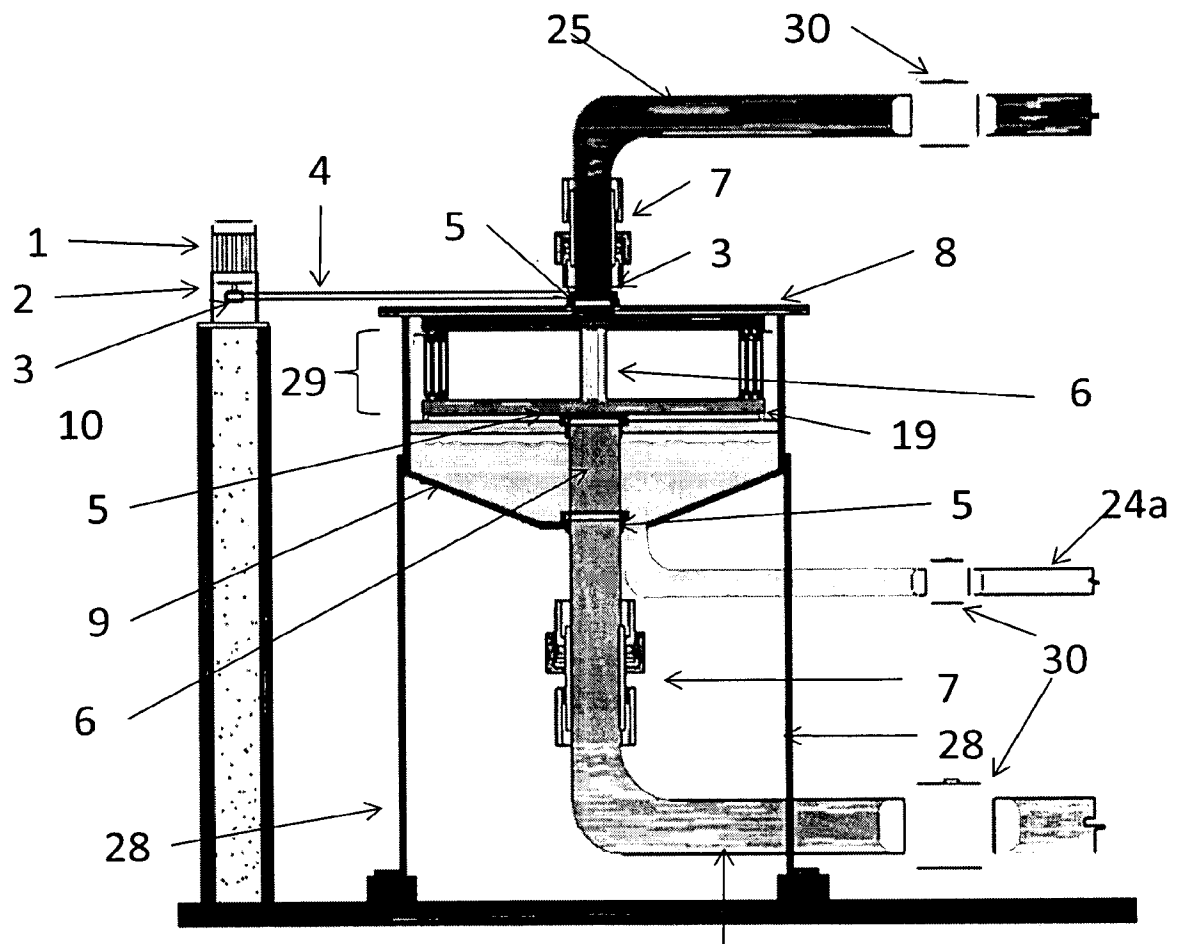


Figura 1

2/7

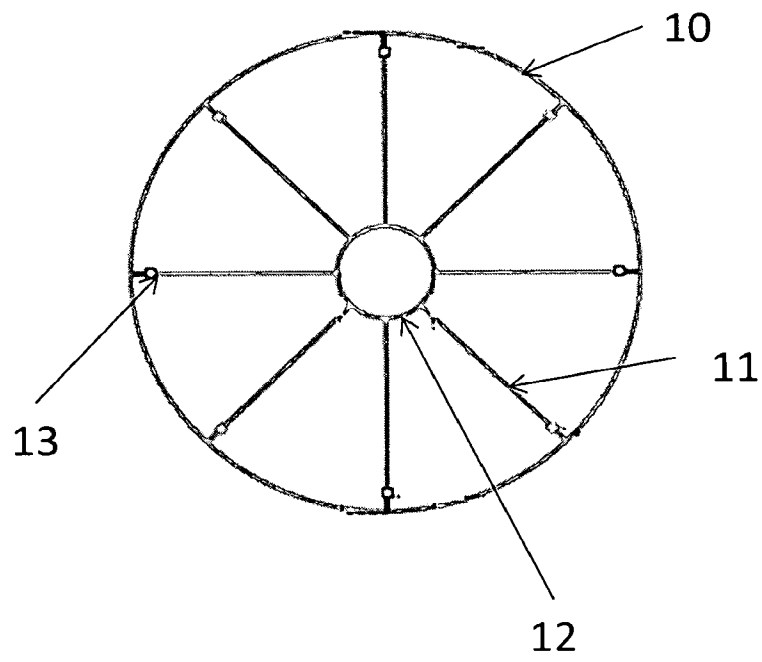


Figura 2

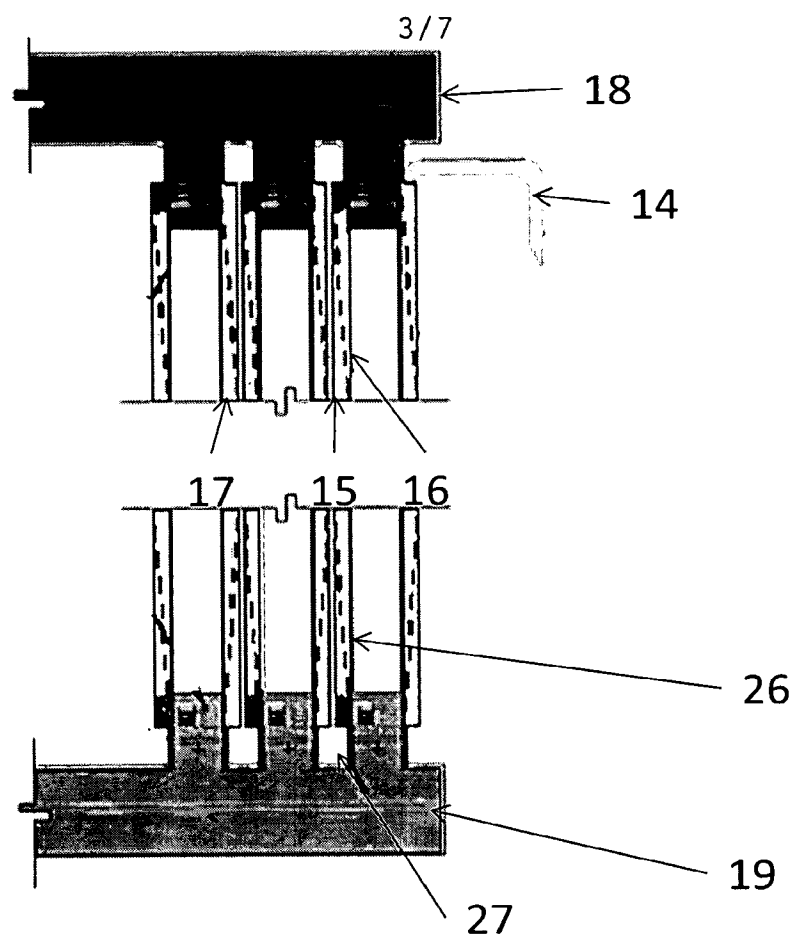


Figura 3

4 / 7

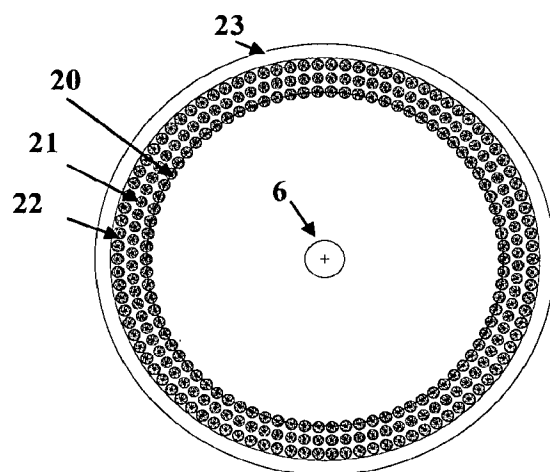


FIGURA 4

5 / 7

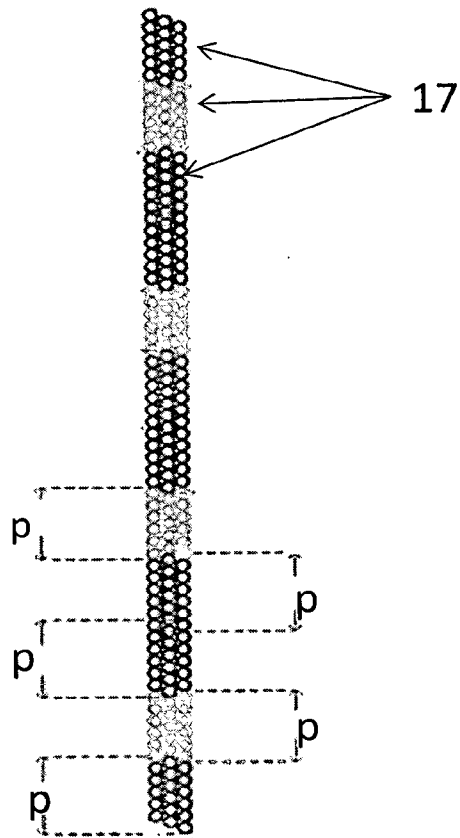


Figura 5

6/7

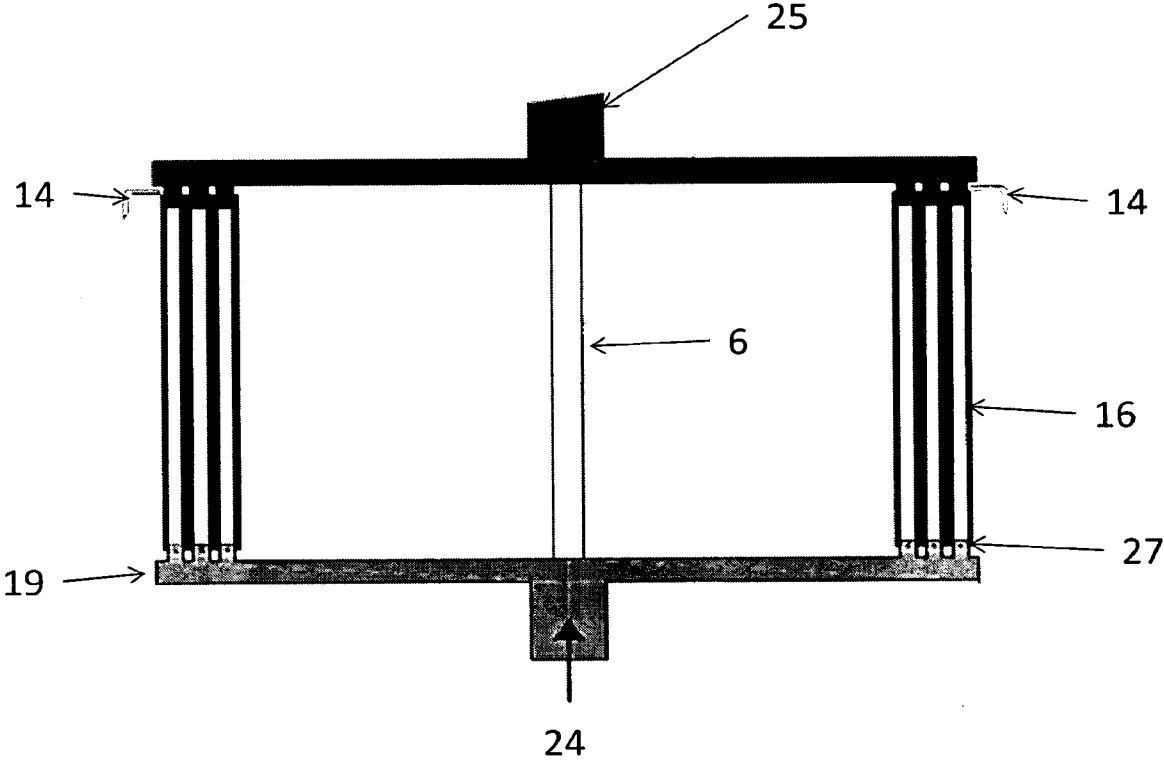


Figura 6

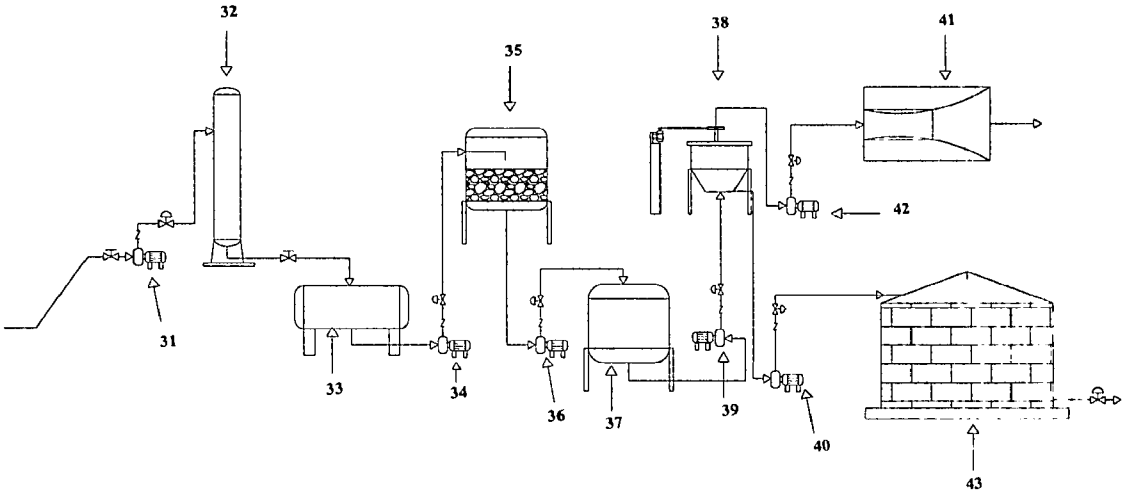


FIGURA 7