

SISTEMA Y MÉTODO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA O NANOFILTRACIÓN

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se relaciona con sistemas y procesos que use ósmosis inversa o nanofiltración membranas para eliminar sólidos disueltos de un agua de alimentación.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La osmosis inversa (OI) o la nanofiltración suelen llevarse a cabo en una operación en estado de equilibrio. El flujo del permeado se restringe a una banda relativamente estrecha de operación y el flujo de concentrado es limitado por los requerimientos de flujo cruzado dentro del módulo de membrana. Esto conduce a numerosas limitaciones dentro de los sistemas de operación con membrana. Por ejemplo, para incrementar la recuperación se requieren etapas adicionales de membranas. Por lo general, es dable esperar un 50% de recuperación por etapa. Por tal razón, para alcanzar una recuperación de 75%, se requieren dos etapas y tres etapas permitirán la recuperación de 85%. En los casos en los cuales se usan etapas adicionales, esto a menudo conlleva la necesidad de bombeo adicional o de gestión de la energía para controlar la velocidad de flujo de agua a través de las membranas de ósmosis inversa.

RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención se relaciona con un sistema y proceso para tratar un agua de alimentación que emplea uno o más módulos de ósmosis inversa o nanofiltración que pueden lograr elevada recuperación de agua ya sea con: (1) flujo constante del permeado; (2) flujo constante de la alimentación; o (3) entrega variable del permeado dependiendo de los requerimientos por cuanto la demanda de agua varía.

En una modalidad, se revelan un sistema y proceso de membrana para tratar un agua de alimentación. El sistema incluye una o más etapas de una unidad de ósmosis inversa o nanofiltración para tratar el agua de alimentación. La unidad de OI o nanofiltración produce un permeado y un concentrado. En el sistema se incluyen dos zonas de presión— una zona de baja presión y una zona de alta presión. La alimentación de la unidad de OI o nanofiltración se lleva a cabo a alta presión. En una modalidad se usa una bomba de alta presión para bombear una mezcla (la alimentación) de agua de alimentación, permeado y concentrado hasta y a través de la unidad de OI o nanofiltración. El concentrado es dirigido hacia un tanque de concentrado o acumulador, en donde el concentrado se mantiene a baja presión. Durante este tiempo, el flujo del permeado o la entrada del agua de alimentación se controla de manera que se mantenga la velocidad de flujo del permeado o la entrada de

agua de alimentación generalmente constante. Este proceso se lleva a cabo en lo que se denomina un primer modo. En un segundo modo, una porción del concentrado acumulada en el acumulador de concentrado es drenada mientras que se sigue suministrando agua de alimentación al sistema y produciendo el permeado y el concentrado.

En otra modalidad, la presente invención conlleva un proceso para tratar un agua de alimentación en un sistema que incluye una unidad de ósmosis inversa o nanofiltración y un acumulador de concentrado. El proceso incluye dos modos de operación, un primer modo y un segundo modo. En el primer modo de operación, el proceso incluye presurizar el agua de alimentación y dirigir el agua de alimentación a través de la unidad de OI o nanofiltración para dar un permeado y un concentrado. El concentrado es dirigido desde la unidad de OI o nanofiltración hasta el acumulador de concentrado. El concentrado del acumulador es bombeado hasta y a través de la unidad de OI o nanofiltración. El permeado que sale de la unidad de OI o nanofiltración es dividido en una primera corriente de permeado y una segunda corriente de permeado. La primera corriente de permeado es dirigida a un punto de entrega mientras que la segunda corriente de permeado es reciclada a través de la unidad de OI o nanofiltración. En la segundo modo de operación, el proceso conlleva remover una porción del concentrado del acumulador de concentrado sin dejar de dirigir el agua de alimentación presurizada y la segunda corriente de permeado reciclada a través de la unidad de OI o nanofiltración y dirigir el concentrado desde la unidad de OI o nanofiltración hasta el acumulador de concentrado.

Así mismo, la presente invención comporta un sistema de membrana para tratar agua de alimentación. En una modalidad, el sistema comprende una unidad de OI o nanofiltración configurada para producir un permeado y un concentrado. Además, se proporciona una línea de entrega de permeado para dirigir una primera porción del permeado a un punto de entrega. También se proporciona una línea de reciclaje de permeado configurada para recibir una segunda porción del permeado. Así mismo, el sistema incluye un acumulador de concentrado. Además, se proporciona una línea de concentrado operativamente conectada entre la unidad de OI o nanofiltración y el acumulador de concentrado para dirigir el concentrado desde la unidad de OI o nanofiltración hasta el acumulador de concentrado. Además, se proporciona una bomba localizada corriente arriba de la unidad de OI o nanofiltración. una línea de alimentación de concentrado está operativamente conectada entre el acumulador de concentrado y la bomba para transportar concentrado desde el acumulador de concentrado hasta la bomba. También se proporciona una línea de alimentación de OI o nanofiltración operativamente conectada entre la bomba y la unidad de OI o nanofiltración. Una primera línea de abastecimiento de agua de alimentación está configurada para contener el agua de alimentación que va a ser tratada. La línea de reciclaje de permeado, la primera línea de abastecimiento de agua de alimentación y la línea de alimentación de OI o nanofiltración están configuradas de manera que el concentrado, el agua de alimentación y la segunda porción del permeado se combinan y bombean a la unidad de OI o nanofiltración. También se proporciona una línea de drenaje de concentrado

operativamente asociada con el acumulador de concentrado para drenar el concentrado desde el acumulador de concentrado.

Otros objetos y ventajas de la presente invención se harán evidentes y obvios a partir del estudio de la siguiente descripción y los dibujos que lo acompañan que son meramente ilustrativos de la mencionada invención.

DESCRIPCIÓN DEL DIBUJO

La Figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema de tratamiento de agua que emplea un conjunto de elementos de ósmosis inversa o una unidad de nanofiltración.

La Figura 2 es una ilustración esquemática de otra modalidad del sistema de tratamiento de agua que emplea uno o más unidades de separación con membrana.

La Figura 3 es una ilustración esquemática de otra modalidad del sistema de tratamiento de agua que emplea un sistema de separación de membrana de dos etapas.

La Figura 4 es otra ilustración esquemática de otra modalidad del sistema de tratamiento de agua que emplea un proceso de separación de membrana de dos etapas.

DESCRIPCIÓN DE MODALIDADES EJEMPLARES DE LA PRESENTE INVENCION

Haciendo referencia adicional a la Figura 1, allí se muestra el sistema de tratamiento de agua de la presente invención y está indicado generalmente por el numeral 10. Primero se describirán los componentes básicos del sistema de tratamiento de agua 10 y luego se examinará el método o proceso realizado por el sistema de tratamiento de agua.

El sistema de tratamiento de agua 10 incluye una o más unidades de separación con membrana 20. En las modalidades que se muestran en la Figura 1, la unidad de separación de membrana 20 comprende un conjunto de elementos de ósmosis inversa. En las modalidades que se muestran en las Figuras 2-4, que serán descritas a continuación, la unidad de separación de membrana puede incluir bien sea unidades de ósmosis inversa o de nanofiltración. En primer lugar se describirá la modalidad que se muestra en la Figura 1.

El conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 puede incluir una unidad de OI de una sola etapa o módulo la cual arrojaría aproximadamente una tasa de recuperación de 50% o un conjunto de elementos de ósmosis inversa de dos etapas que arrojaría aproximadamente una tasa de recuperación de 75%. Se pueden usar etapas adicionales para aumentar la tasa de recuperación. Corriente arriba del conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 se encuentra una bomba de alta presión 22. El sistema de tratamiento de agua 10 incluye una unidad convencional de recuperación de energía 24. Como se explicará más adelante, tanto el concentrado del conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 como, en algunos casos, el agua de alimentación del conjunto de elementos de ósmosis inversa, pasan a través de la unidad de recuperación de energía 24. La energía asociada con el concentrado que sale del conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 es efectivamente transferida al agua de

alimentación que pasa a través de la unidad de recuperación de energía 24. Operativamente conectada entre la unidad de recuperación de energía 24 y el lado de entrada del conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 se encuentra una bomba de recuperación de energía 26. La bomba de recuperación de energía 26 es operativa para bombear el agua de alimentación que sale de la unidad de recuperación de energía 24 al conjunto de elementos de ósmosis inversa 20.

Corriente arriba desde la bomba de alta presión 22 se encuentra un tanque de concentrado o acumulador de baja presión 28. En algunos casos, el tanque de concentrado o acumulador de baja presión 28 se denomina tanque de retención del concentrado. El tanque de concentrado o acumulador de baja presión 28 está cerrado es presurizado. Aunque la presión puede variar en el tanque de concentrado o acumulador de baja presión 28, la presión en su interior se mantiene a una presión más baja que la presión en el lado de salida de la bomba de alta presión 22. En un ejemplo, la presión en el tanque de concentrado o acumulador de baja presión 28 se puede mantener aproximadamente a 206,8 KPa. Resulta evidente que no se requiere un tanque. En lugar de un tanque, sencillamente la tubería corriente arriba de la bomba de alta presión 22 puede agrandarse para acumular y retener el concentrado.

El sistema de tratamiento de agua 10 puede incluir varias válvulas de control de flujo para controlar el flujo de agua de alimentación, concentrado y permeado a través del sistema. En la modalidad que se ilustra en la Figura 1, el sistema de tratamiento de agua 10 incluye válvulas de control automático 30, 32 y 34. Además, se proporcionan las válvulas reguladoras 36 y 38. La válvula reguladora 36 solo permite el flujo de izquierda a derecha y la válvula reguladora 38 solo permite el flujo de derecha a izquierda, como se observa en la Figura 1.

El sistema de tratamiento de agua 10 está diseñado para proporcionar una corriente de permeado a un cliente o a un punto de entrega seleccionado. Obsérvese en la Figura 1 la notación "permeado entregado". Justo corriente arriba de esto se encuentra una válvula de control de flujo 40 que está dispuesta corriente abajo de la válvula automática de control 34. Como se describirá a continuación, al ajustar selectivamente la válvula de control de flujo 40, es posible controlar la velocidad de flujo del permeado entregado por el sistema.

El sistema de tratamiento de agua 10 está diseñado para operar en dos modos básicos. El primer modo se denomina modo operativo normal. El segundo modo se denomina un modo de descarga de concentrado o de drenaje.

Inicialmente, en el primer modo operativo normal, las válvulas 30, 32 y 34 están cerradas. Un agua de alimentación presurizada, que es agua presurizada, es dirigida hacia el interior del sistema a través de la línea 42. Se impide que el agua de alimentación en la línea 42 pase a través de válvula reguladora 38. Por consiguiente, el agua de alimentación presurizada ingresa en la línea 44 y pasa a través de la ¹³unidad de recuperación de energía 24. El agua de alimentación que sale de la unidad de recuperación de energía 24 es bombeada por la bomba de recuperación de energía 26 en el interior y a través del conjunto de elementos de

OI 20. Esto produce un permeado y un concentrado. Dado que en este punto de tiempo la válvula automática de control 34 está cerrada, el permeado que sale del conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 es dirigido a través de línea 50, a través de válvula reguladora 38 en donde el permeado se mezcla con el agua de alimentación en la línea 42 y la mezcla es dirigida a través de la unidad de recuperación de energía 24 en donde la bomba de recuperación de energía 26 la bombea hacia el interior y a través del conjunto de elementos de OI 20. Este patrón de flujo del agua de alimentación y el permeado continúa durante algún tiempo. Mientras tanto, el concentrado producido por el conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 es dirigido a través de la línea 46 y a través de la unidad de recuperación de energía 24 hacia el interior de la línea 48 que entrega el concentrado al tanque de concentrado o acumulador de baja presión 28. El tanque de concentrado o acumulador de baja presión es sellado, lo cual mantiene la presión residual del dispositivo de recuperación de energía 24. El concentrado en el tanque o acumulador 28 se encuentra a presión suficiente para inducir al concentrado a pasar a través de la válvula reguladora 36 hasta la bomba de alta presión 22, la cual bombea el concentrado hacia el interior y a través del conjunto de elementos de ósmosis inversa 20. Puede apreciarse que el concentrado que sale de la bomba de alta presión 22 se mezcla con el efluente de la bomba de recuperación de energía 26 y la mezcla total es bombeada hacia el interior y a través del conjunto de elementos de ósmosis inversa 20.

Durante el periodo inicial del primer modo de operación, la calidad del permeado se detecta o pone a prueba. Una vez que la calidad del permeado producido por el conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 alcanza un nivel aceptable, la válvula automática de control 34 se abre. La válvula de control de flujo corriente abajo 40 se fija para que entregue un cierta velocidad de flujo del permeado a un cliente o a una localización corriente abajo. Cabe anotar que la bomba de alta presión 22 es controlada por un controlador como un PLC y en una modalidad es controlada para mantener un flujo constante de permeado desde el conjunto de elementos de ósmosis inversa. De aquí se sigue que el flujo total del permeado que sale del conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 es medido y utilizado por el controlador con el fin de controlar la bomba de alta presión 22 de manera que el flujo total del permeado es generalmente constante. La velocidad de flujo del permeado del conjunto de elementos de ósmosis inversa puede superar la velocidad de flujo de permeado que pasa a través de la válvula de control de flujo 40 al cliente. Esto significa que una porción del permeado producido es reciclada a través del conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 a través de las líneas 50 y 44 y luego a través de la unidad de recuperación de energía 24 hacia la cual es bombeado de vuelta al conjunto de elementos de ósmosis inversa por la bomba de recuperación de energía 26.

Por consiguiente, en este primer modo de operación se logra una elevada tasa de recuperación de agua (una tasa de recuperación de por lo menos 50%) con flujo constante del permeado y, al mismo tiempo, el flujo del agua de alimentación dentro de sistema 10 es esencialmente igual al agua que se le entrega al cliente. Sin embargo, el flujo de permeado

al cliente o corriente abajo desde la válvula de control de flujo 40 se puede variar, en cuyo caso la velocidad de flujo del permeado reciclado a través del conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 también variará.

Eventualmente, no obstante, el concentrado entregado al tanque de concentrado o acumulador de baja presión 28 se volverá tan concentrado que se requerirá su descarga o drenaje. Existen varias formas de medir la concentración del concentrado y se pueden fijar varios umbrales o puntos de ajuste. Un medio adecuado es someter el concentrado a una prueba de conductividad y una vez que la conductividad ha alcanzado un punto de ajuste, entonces el sistema de tratamiento de agua 10 será automáticamente cambiado al segundo modo de operación el cual comporta descargar o drenar por lo menos parte del concentrado del tanque de concentrado o acumulador de baja presión 28. En este segundo modo de operación, las válvulas de control 30 y 32 se abren. Aquí el concentrado en el tanque o acumulador 28 es mantenido a baja presión. Una porción del concentrado será inducida a fluir desde el tanque o acumulador 28 hacia el interior de la línea 52 y a través de la válvula automática de control 32. El concentrado que está siendo drenado puede someterse a tratamiento ulterior o desecharse de formas adecuadas. Durante este tiempo, el agua de alimentación presurizada es dirigida a través de la línea 54 y a través de la válvula automática de control 30 a la bomba de alta presión 22. Efectivamente, la bomba de alta presión 22 induce al agua de alimentación a fluir a través de la línea 54 hacia el lado de entrada de la bomba de alta presión 22. Así las cosas, mientras que una porción del concentrado está siendo drenada desde el tanque o acumulador 28, el sistema de tratamiento de agua sigue operando con el agua de alimentación que ahora está siendo llevada directamente al interior de la bomba de alta presión 22 y hasta y a través del conjunto de elementos de ósmosis inversa 20. Con todo, aunque una porción del concentrado está siendo drenada desde el tanque o acumulador 28, el conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 está produciendo una corriente de permeado y por lo menos una porción de esta corriente de permeado puede ser entregada a través de la válvula de control de flujo 40 a una localización corriente abajo y de nuevo una porción del permeado puede ser reciclada a través de la línea 50, la válvula reguladora 38, la línea 44, la unidad de recuperación de energía 24 y a continuación a través de la bomba de recuperación de energía 26 y de vuelta al conjunto de elementos de ósmosis inversa 20. Así las cosas, al mismo tiempo, el conjunto de elementos de ósmosis inversa 20 continúa produciendo un concentrado que es dirigido a través de la línea 46, a través de la unidad de recuperación de energía 24 and de vuelta al tanque o acumulador 28. En una modalidad preferida, el flujo de concentrado a través del tanque o acumulador 28 es un flujo de tapón de manera que el concentrado en el tanque o acumulador es desplazado por el agua a más baja concentración que surge de tratar el agua de alimentación solamente o una mezcla de agua de alimentación y permeado. Durante el segundo modo de operación, el concentrado en el tanque o acumulador 28 se torna menos concentrado. En otras palabras, el concentrado fresco que está siendo entregado al tanque o acumulador 28 es, por lo menos al comienzo, menos concentrado que el concentrado en el

tanque o acumulador 28. De cualquier forma, la concentración es monitoreada continuamente y en algún punto es adecuado cambiar el sistema de tratamiento de agua 10 de vuelta al primer modo o al modo operativo normal. Es decir, por medio de una prueba de conductividad, por ejemplo, el concentrado en el tanque o acumulador 28 puede ser analizado y cuando la conductividad alcanza un punto de ajuste que permite el primer modo de operación, entonces el sistema de tratamiento de agua 10 puede ser automáticamente cambiado al primer modo de operación controlando automáticamente las diversas válvulas que se han descrito. En la alternativa, el segundo modo o modo de descarga de concentrado puede ser operado durante un tiempo preestablecido y después de terminado el tiempo preestablecido, el sistema puede ser cambiado de vuelta al primer modo de operación.

En algunos casos, la válvula de control de flujo 40 es controlada de forma continua o intermitente por el cliente. Por ejemplo, el cliente puede tener un tanque de retención de permeado corriente abajo de la válvula de control de flujo 40. La válvula de control de flujo 40 se puede variar y controlar por medio de un sensor de nivel en el tanque de retención de permeado. Así las cosas, si el nivel de permeado en el tanque de retención de permeado está subiendo, esto hace que se accione la válvula de control de flujo para restringir el flujo a través de la válvula. Esto no requeriría necesariamente que la válvula de control de flujo fuera cerrada totalmente como normalmente sucedería con algunos sistemas de ósmosis inversa. Esto dará lugar a la recirculación de alguna porción del permeado de 0% a 100%, dependiendo del uso de agua o la demanda de agua del cliente. Este modo de operación el permite al sistema de OI proporcionar una velocidad de flujo del permeado variable automática a la vez mantiene un elevado nivel de recuperación de agua, el cual por lo general no está disponible debido a la necesidad de mantener una velocidad mínima de flujo cruzado dentro de los módulos de ósmosis inversa.

Existen muchas ventajas del sistema de ósmosis inversa que se acaba de describir. Primero, el sistema y proceso logra una elevada recuperación de agua con flujo generalmente constante del permeado. El término "flujo generalmente constante del permeado" significa que a lo largo de un tiempo seleccionado la velocidad de flujo del permeado varía 5% o menos. Segundo, el sistema y proceso logra una elevada recuperación de agua con un flujo constante del agua de alimentación. Por último, el sistema y proceso logra la misma elevada recuperación de agua con una entrega variable del permeado.

La Figure 2 ilustra un sistema y proceso alternativo para tratar agua con una o más unidades de separación con membrana. El sistema y proceso que se revela en la Figura 2 es sustancialmente similar al que se describió arriba y que se muestra en la Figura 1. Sin embargo, existen varias diferencias entre los dos procesos.

Con respecto a la Figura 2, se proporciona un tanque o recipiente de agua de alimentación 100 operativamente conectado en la línea de entrada del agua de alimentación. La función del tanque de agua de alimentación 100 es almacenar parte del agua de alimentación y en tiempos seleccionados descargar esa agua de alimentación almacenada dentro del sistema. Puede haber momentos en los cuales el flujo de entrada del agua de alimentación es

insuficiente para que el sistema opere óptimamente. De forma más específica, no siempre resulta práctico incrementar súbitamente el flujo de agua de alimentación al sistema. Así las cosas, el agua de alimentación almacenada en el tanque 100 suministra agua de alimentación adicional que podría ser requerida o demandada por el sistema en diversos momentos para operar con eficiencia o como se desea. Nótese que hay un par de líneas de aire asociadas operativamente con el tanque de agua de alimentación 100. Una línea de aire de entrada 102 y una línea de aire de salida 104 operan dirigiendo aire dentro y fuera del tanque de agua de alimentación 100. Para controlar el flujo de aire en condiciones de acumulación y de descarga, se proporcionan dos válvulas 106 y 108.

El tanque 100 puede asumir varios modos. En un modo, el agua de alimentación de entrada es dirigida dentro del tanque. En un segundo modo, el tanque 100 sencillamente retiene y contiene el agua de alimentación. En un tercer modo, el agua de alimentación contenida o una porción de esta es descargada desde el tanque de agua de alimentación 100 hacia el interior del sistema. Para acumular agua de alimentación, la válvula 106 se cierra y la válvula 108 se abre. Así las cosas, durante el modo de acumulación, el aire se desfoga por la línea 104. Cuando el tanque de agua de alimentación 100 está descargando agua de alimentación, la válvula 108 está cerrada y la válvula 106 está abierta. En esta situación, el aire comprimido es dirigido hacia el interior de la línea 102 y el aire comprimido impulsa el agua de alimentación acumulada desde el tanque de agua de alimentación 100 hacia el interior del sistema.

El sistema y proceso que se muestra en la Figura 2 incluye varios elementos de control para controlar el flujo de agua de alimentación, permeado y concentrado a través del sistema 10. De manera más específica, se muestra una serie de controladores de flujo denotados FC. No se muestran ni examinan aquí los detalles del controlador de flujo porque este no es en sí mismo esencial para la presente invención y, además, los controladores de flujo son conocidos y empleados por personas medianamente versadas en el estado de la técnica de los sistemas de membranas. De cualquier manera, un controlador de flujo FC por lo regular incluye un sensor de flujo para medir la velocidad de flujo de un líquido a través de un tubo o conducto, por ejemplo. Además, un controlador de flujo por lo regular puede incluir un controlador que ejerce control sobre el flujo que está siendo medido por el sensor de flujo. Por lo general esos controladores se encuentran operativamente asociados a una bomba, como una bomba de velocidad variable, y están programados para controlar la bomba de manera que se produzca una velocidad de flujo designada o predeterminada. En la Figura 2 se muestran tres controladores de flujo 110, 112 y 114. El controlador de flujo 110 en la modalidad que se ilustra en la Figura 2 está localizado en la línea de entrada de agua de alimentación y en este caso en especial está dispuesto corriente arriba del tanque de agua de alimentación 100. El controlador de flujo 110 en la línea de agua de alimentación se usa en conjunto con el flujo de producto para determinar la recuperación del sistema hidráulico y así iniciar el ciclo de vaciado. El controlador de flujo 112 está operativamente conectado en la línea de permeado que se extiende desde la unidad de separación de membrana 20. Está

operativamente conectado a la bomba de velocidad variable 22 que está localizada corriente arriba de la unidad de separación de membrana 20. El controlador de flujo 112 es operativo para controlar la bomba de alta presión 22 de manera que produzca un flujo generalmente constante del permeado desde la unidad de separación de membrana 20. El controlador de flujo 114 está dispuesto justo corriente abajo de la bomba de recuperación de energía 26. Está operativamente conectado con la bomba de recuperación de energía 26 de manera que controle y varíe la velocidad de flujo del agua que pasa desde la bomba de recuperación de energía 26 hacia la línea que conecta la bomba de alta presión 22 con la unidad de separación de membrana 20. Además, se proporciona un dispositivo de control de flujo (DCF) que está dispuesto en la línea de drenaje 52 justo corriente abajo de la válvula automática de control 32. Este dispositivo de control de flujo se usa para controlar la descarga de concentrado a través de la línea 52.

El sistema 10 en la Figura 2 también incluye una serie de sensores de conductividad C. La función de los sensores de conductividad C es detectar y determinar la conductividad en el agua de alimentación o concentrado and revisten especial utilidad para determinar cuando el sistema se debe cambiar del modo 1 al modo 2 y viceversa. Nótese que hay un sensor de conductividad 116 dispuesto en la línea de entrada del agua de alimentación. Además, hay otro sensor de conductividad 118 que está dispuesto justo corriente abajo del acumulador de concentrado 28 el cual, como se examinó arriba, puede comprender un tanque o un tubo agrandado u otro dispositivo capaz de retener y contener concentrado acumulado. En un sistema típico, estos sensores de conductividad están conectados operativamente a una unidad principal de control del sistema y proporciona mediciones de conductividad a la unidad de control del sistema la cual a su vez usa esta información o datos para determinar cuando el sistema debe ser cambiado del modo 1 al modo 2 y viceversa.

Volviendo ahora a la Figura 3, se muestra otra modalidad que comprende un sistema y proceso para tratar un agua de alimentación en un sistema que incluye unidades de ósmosis inversa o de nanofiltración. El sistema y proceso que se muestra en la Figura 3 es sustancialmente similar al que se describió arriba y que se muestra en la Figura 2. La principal diferencia reside en que el sistema y proceso que se muestra en la Figura 3 incluye un sistema de membrana de dos pasos. Esta modalidad resulta de utilidad en casos en los cuales existe la necesidad de una tasa de recuperación relativamente alta y/o los requerimientos de pureza para el permeado son relativamente altos.

Volviendo ahora a la Figura 3, obsérvese que la unidad de separación de membrana de primer paso está indicada por el numeral 20. La unidad de separación de membrana de segundo paso está indicada generalmente por el numeral 120. De manera más específica, la unidad de separación de membrana de segundo paso incluye unidades de separación con membrana 122 y 124.

El permeado de la unidad de separación de membrana 20 es dirigido a una bomba de alta presión de velocidad variable 126. La bomba 126 dirige el permeado hacia el interior de la unidad de separación de membrana 122. La unidad de separación de membrana 122

produce un permeado y un concentrado. El concentrado producido por unidad de separación de membrana 122 es dirigido hacia el interior de la línea 128 que a su vez alimenta la unidad de separación de membrana 124. La unidad de separación de membrana 124 también produce un permeado y un concentrado. El permeado de la unidad de separación de membrana 124 es dirigido hacia el interior de la línea 132 que se une al permeado producido por la unidad de separación de membrana 122. El concentrado producido por unidad de separación de membrana 124 es dirigido hacia el interior de la línea 130 y es reciclado y alimentado a la línea 42 en donde el concentrado se mezcla con la entrada de agua de alimentación.

Para controlar el flujo del permeado producido por las unidades de separación con membrana 122 y 124, se proporciona un controlador de presión 134. Nótese en la Figura 3 que el controlador de presión 134 está localizado corriente arriba de la bomba 126. El controlador de presión 134 está operativamente conectado con la bomba de alta presión de velocidad variable 126. Esta asa de control de presión que comprende el controlador de presión 134 y la bomba de velocidad variable 126 opera controlando la VFD de la bomba.

La Figura 4 es sustancialmente similar al sistema y proceso que se muestra en la Figura 3. No obstante, en este caso hay un controlador de flujo 135 que está localizado corriente abajo de las unidades de separación con membrana 122 y 124. El controlador de flujo 135 está operativamente asociada con la bomba de alta presión de velocidad variable 126 y su función es controlar la velocidad de flujo del permeado producido por las unidades de separación con membrana 122 y 124. El proceso que se muestra en la Figura 4 es un abordaje alternativo de control en donde la unidad de primer paso de OI o nanofiltración es operada bajo control de presión (controlador de presión 115) para producir una presión de succión a la bomba de segundo paso 126 y la bomba de segundo paso opera con un control de flujo basado en el controlador de flujo 134 que es operativo para controlar la bomba de segundo paso de alta presión 126.

Existen varias maneras y medios para operar y controlar el sistema y proceso arriba descrito e ilustrado en las Figuras 1-3. Sin embargo, el proceso se concentra en tratar el agua de alimentación en un sistema de membrana que es operado los modos primero y segundo que se examinaron arriba. Generalmente hablando, se contempla que en el curso del tratamiento del agua de alimentación, como se describió arriba, que el modo 1 de operación en general tendrá una duración de entre 20 y 90 minutos. Se contempla que el proceso en modo 2 será relativamente corto, de cerca de 1 minuto a 5 minutos. Generalmente, el control para cambiar entre los modos 1 y 2 puede basarse en la conductividad del concentrado medida por el sensor de conductividad 118. Ver las Figuras 2-4. Puede haber dos umbrales o puntos de ajuste de conductividad, uno que dispara un cambio de modo 1 a modo 2 y un segundo que dispara un cambio de modo 2 a modo 1. Estos umbrales o puntos de ajuste pueden variar, dependiendo de la calidad del agua de alimentación, la aplicación y el uso que haga el cliente del agua de alimentación tratada. Puede haber otros esquemas de control que se superponen a un esquema primario de control como el que se describió arriba y que se basa

en la conductividad. Por ejemplo, puede haber anulación con temporizador. Aquí, sin importar cuál sea la conductividad medida por el sensor de conductividad 118, el sistema puede ser programado para que cambie de modo 1 a modo 2 y de vuelta a modo 1 con base en intervalos de tiempo previamente seleccionados. Además, un tercer nivel de control puede estar basado en recuperación volumétrica. La recuperación volumétrica es sencillamente la velocidad total de flujo del permeado dividida por la velocidad de flujo total de la entrada de agua de alimentación. Todos estos tres parámetros pueden ser integrados para controlar el sistema y los procesos que se examinaron arriba y que se muestran en las Figuras 1-4. Como alternativa, se pueden emplear bien sea una o varias combinaciones de estos parámetros de control.

El sistema y proceso arriba descrito y que se muestra en las Figuras 1-4 comporta áreas de alta presión y baja presión. Es decir, la tubería o los conductos del sistema incluirán agua a alta presión y algunos tubos o conductos incluirán agua o concentrado a baja presión. Para efectos de los sistemas y procesos que se muestran en las Figuras 1-4, el término "alta presión" significa una presión en el intervalo de 689,5 KPa a 11 MPa. El término "baja presión" significa una presión menor de 689,5 KPa. De manera más específica en el caso de las modalidades que se muestran aquí, la presión del agua de alimentación en la línea entre la bomba de alta presión 22 y la primera unidad de separación de membrana 20 se encuentra en el intervalo de 689,5 KPa – 11 MPa. La presión típica en el lado de entrada de la bomba de alta presión 22 es de 137,9 KPa a menos de 689,5 KPa. En una modalidad, por ejemplo, la presión justo corriente abajo del tanque o acumulador 28 es de aproximadamente 137,9 KPa. Por consiguiente, se puede apreciar que la zona de alta presión o el área del sistema que se muestra en la Figura 1, por ejemplo, incluye la línea que va de la bomba de alta presión 22 a la unidad de separación de membrana 20, así como una porción de la línea 46 que se extiende entre la unidad de separación de membrana 20 y la unidad de recuperación de energía 24, así como la línea que va de la unidad de recuperación de energía 24 pasando por la bomba de alta presión 26 a la línea que se extiende entre la bomba de alta presión 22 y la unidad de separación de membrana 20. Por fuera de esto, la porción o zona restante del sistema se considera de baja presión. De manera más específica, el tanque o acumulador 28 en las modalidades que se muestran en las Figuras 1-3 queda por fuera del área de alta presión y se mantiene a baja presión. En algunos casos, el sistema de la presente invención se refiere a una zona de alta presión y una zona de baja presión. En concordancia con la definición de los términos "baja presión" y "alta presión", una zona de baja presión es aquella en la cual el agua en el sistema se mantiene a una presión de menos de 689,5 KPa. Una zona de alta presión es aquella zona del sistema en la cual la presión del agua se mantiene en el intervalo de 100-11 MPa.

Por supuesto, la presente invención puede realizarse de otras formas específicas distintas de las aquí estipuladas sin apartarse del alcance y las características esenciales de la invención. Por consiguiente, las presentes modalidades han de ser interpretadas en todo respecto como ilustrativas y no como restrictivas y todos los cambios que quepan dentro del

significado y el intervalo de equivalencia de las reivindicaciones que se anexan tienen por objeto quedar allí abarcados.