

DESALADORA DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA CON CONTROL DIGITAL INTEGRADO

A. Menéndez Martínez¹, E. Yaglián Steiner¹, F. Domínguez-Adame Cobos², M. Leal Díaz¹, M. Castaño², G. Domínguez-Adame Acosta²,
L. Velasco Gonzalez²

1. *Universidad de Sevilla.*

2. *Fundación ProDTI.*

RESUMEN. El funcionamiento de esta desaladora con control digital integrado se basa en el principio de ósmosis inversa y, como en cualquier planta tradicional, se bombea el agua de entrada (agua cruda) a las membranas, las cuales originan a su salida dos caudales distintos: permeado y salmuera. En función de la cantidad y tipo de membranas y las características del agua de entrada se deben ajustar los caudales de trabajo. El control principal se efectúa sobre la bomba de alta presión (controlada por un convertidor de frecuencia) y la válvula de salida de salmuera. El ajuste de los caudales se realiza de manera automática cuando varía la concentración de sales del agua de entrada y permite mantener constante la calidad elegida del agua de salida. Todos los procesos anteriores son supervisados y controlados por un autómatas programable que acciona una alarma en caso de se produzcan errores de funcionamiento o haya que proceder a un mantenimiento o relleno de aditivos. En síntesis, la planta realiza un autochequeo de sus componentes. Pero además de controlar las constantes de funcionamiento la información se memoriza y ello, igualmente, permite obtener datos históricos de producción de agua, cálculo de rendimientos e incidencias.

INTRODUCCIÓN

El Grupo de Investigación en Instrumentación Electrónica y Aplicaciones (Grupo I.E.A.) de la Universidad de Sevilla, ha desarrollado en la Escuela Universitaria Politécnica, con ayuda de fondos FEDER y con la colaboración de Fundación ProDTI, una planta desaladora por ósmosis inversa con control digital integrado, denominada DESAL2000. Con ella obtenemos un agua de calidad controlada (correspondiente a la seleccionada por el usuario a través del panel de control) que se mantiene constante aunque cambien las características del agua de entrada.

Esta planta desaladora permite tratar aguas salobres, obteniendo una producción del orden de los 14 o 28m³/día de agua permeada si se usan 3 o 6 membranas respectivamente. Si contamos con el aporte de agua cruda (ya filtrada) para conseguir una cierta salinidad (indispensable para el consumo humano) y en función de la calidad del agua salobre, la producción total de agua de esta desaladora puede situarse entorno a los 30-35 m³/día.

El usuario solo debe preocuparse de añadir determinados productos a la planta (hipoclorito y desincrustante) cuando esta le avise (aproximadamente una vez al mes).

OBJETIVOS

El objetivo del grupo I.E.A. con el desarrollo de esta planta desaladora con control digital integrado es el de dar un paso adelante en la automatización de las plantas desaladoras actuales además de conseguir unas dimensiones lo más reducidas posibles con vistas a la estandarización de modelos.

El primer objetivo de diseño era realizar una planta desaladora, basada en el principio de la ósmosis inversa, capaz de detectar por si misma la salinidad del agua y mantener un caudal constante de producción de agua permeada. Igualmente el usuario también podrá elegir la calidad del agua de producción.

De esta forma es posible que el usuario elija un caudal de producción, mediante un sencillo cuadro de control. A partir de esta consigna de control la desaladora debe realizar todos los ajustes necesarios para mantener constante la producción, incluso aunque cambie la salinidad del agua de entrada. Entre los parámetros que controlan la calidad y el caudal del agua de producción, y que la desaladora debía tener en cuenta, figuran la salinidad del agua de entrada, el control sobre la apertura y cierre de las distintas válvulas que forman el circuito hidráulico, el régimen de funcionamiento de la bomba de alta presión y la salinidad del agua de producción (que también puede ser elegida por el usuario).

Se consideró que este control debía ser digital, para lo que se decidió utilizar un autómatas programable (PLC), capaz de llevar a cabo todas estas tareas de regulación. Para el control de la bomba de alta presión se decidió emplear un variador de frecuencia que también debía ser controlado con el PLC.

Una vez planteado este control digital se abordó el segundo objetivo de diseño, la máxima reducción posible de las dimensiones de la planta desaladora. Llegados a este punto se ajustaron las características de la planta como el caudal de producción y la salinidad máxima del agua de entrada, aspectos ambos íntimamente ligados al tamaño final de la desaladora. La desaladora sería capaz de producir un máximo de 28m³/día de agua permeada, empleando 6 membranas de ósmosis, o 14m³/día si se empleaban 3 membranas. Esta producción puede verse aumentada hasta 35m³/día dependiendo de la salinidad deseada. La desaladora se diseñaría con membranas de baja presión para tratar aguas salobres, cuya conductividad no supere los 5.000mS. Se eligió unas membranas del tipo ESPA de Hydranautics y con membranas de alta presión para rangos superiores de salinidad (modelo CPA2)

A partir de estos condicionantes se desarrolló un sistema de dilución automática, también controlado por el PLC, para disminuir el tamaño de los depósitos necesarios para el desincrustante y el hipoclorito diluidos. Se consideró importante centralizar el mando hidráulico (válvulas y sensores) en una unidad, para lo cual se diseñó un circuito que permite agrupar todas las válvulas (motorizadas) y demás sensores (de conductividad y presión) de la planta desaladora en un pequeño recinto de reducidas dimensiones (65x45x20 cm) denominado TYM (módulo de Telecontrol Y Mando) que forma el verdadero corazón de la desaladora.

De esta forma toda la planta desaladora con control digital integrado, con capacidad de hasta 35m³/día, cabe en un armario de 1,2 x 0,6 x 1,9 metros.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

En esta planta desaladora con control digital integrado la obtención de agua desalada se basa en el principio tradicional de ósmosis inversa. Para eliminar las sales presentes en el agua de entrada (agua cruda) esta se bombea a alta presión al interior de las membranas de ósmosis, las cuales originan a su salida dos caudales de agua distintos: agua permeada (desalada) y salmuera (agua que contiene las sales eliminadas). Estas membranas funcionan habitualmente según el esquema de la Figura 1.

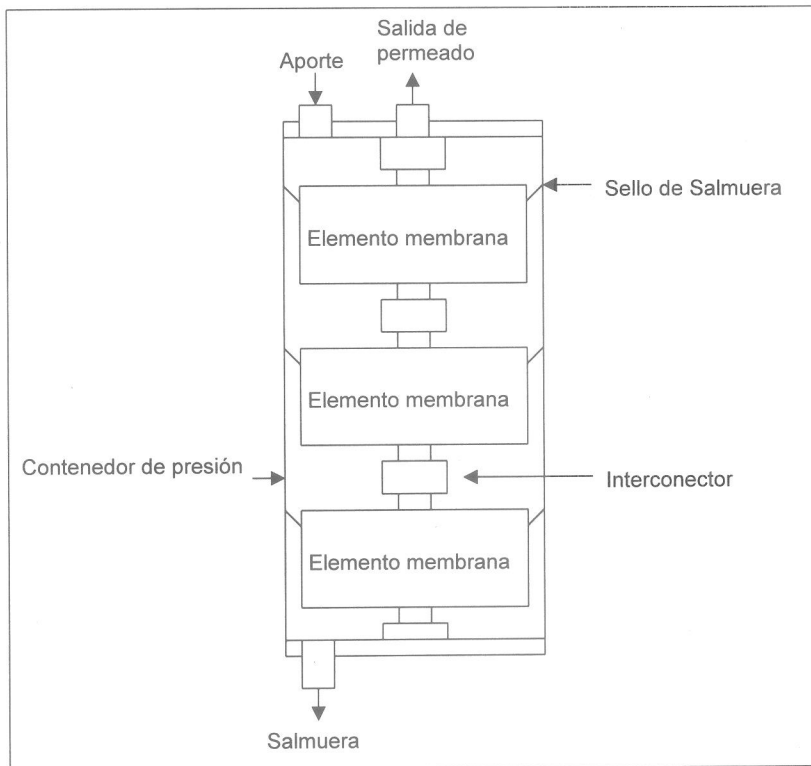


Figura 1. Contenedor de presión con tres elementos de membrana.

Una bomba de alta presión, fuerza el paso de las moléculas de agua a través de las paredes de las membranas de ósmosis, a la vez que impiden el paso de las sales. Estas sales, que tenderían a acumularse en las paredes de las membranas, son arrastradas por el caudal de agua de salida, con una alta concentración de sales (Salmuera). Según las características del agua de entrada y el número y el tipo de membranas de ósmosis deberán ajustarse los distintos caudales para un correcto funcionamiento. El fabricante de membranas establece el caudal máximo de paso por unidad de superficie y unidad de tiempo.

La desaladora posee, además, un circuito hidráulico que permite elegir la calidad del agua de salida mediante aporte automático de agua salobre, de forma que puede producirse agua desalada en un 99% o más (no apta para consumo humano) o agua con el contenido en sales que se desee.

Como puede apreciarse en la Figura 2 el funcionamiento básico de una desaladora tradicional es el siguiente: El agua de entrada (agua cruda) es impulsada por una bomba, denominada Booster, encargada de mantener una presión mínima de impulsión para ingresar en el circuito de pretratamiento. En primer lugar recibe un choque cloro (en forma de hipoclorito) para la oxidación de la materia orgánica, a continuación pasa por el filtro de carbón activo (que hará una prefiltración menor de 100m y eliminará el cloro residual). El siguiente paso es el filtro de 5mm (que retendrá las partículas mayores de 5mm) con lo que se agota la etapa de pretratamiento.

El agua cruda ya tratada es aspirada por la bomba de alta presión que la introduce en las membranas de ósmosis. Mediante la válvula motorizada nº16 puede añadirse cierta cantidad de agua cruda (agua de aporte) al agua permeada para dotarla de la salinidad que se desee. Esta salinidad será medida por un conductivímetro situado a la salida del agua permeada. La bomba de alta presión proporciona un caudal de trabajo y mediante las válvulas motorizadas nº 14 y nº 15 se regula la presión de las membranas, la cantidad de vertido de salmuera y la cantidad de salmuera que recircula por las membranas de ósmosis para aumentar el rendimiento de estas. Finalmente puede añadirse un dosificador de cloro, opcional, que permite adecuar la calidad del agua permeada cuando esta deba almacenarse.

En la Figura 2 puede observarse el esquema hidráulico básico.

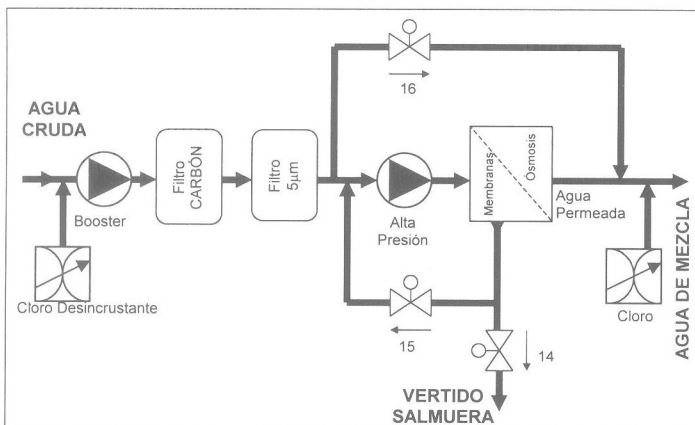


Figura 2. Esquema hidráulico básico.

DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA DE LA DESALADORA

La desaladora con control digital integrado está formada, principalmente, por un circuito hidráulico de reducidas dimensiones en el que se encuentran todas las válvulas (motorizadas) que se encargan del funcionamiento normal de la planta desaladora así como del ciclo de limpieza para el filtro de carbón activo. En este circuito también se alojan los conductivímetros y medidores de presión, así como la electrónica necesaria para el control de estos sensores y para las válvulas motorizadas. Mediante un conector resistente a la humedad se comunican todos los elementos electrónicos a un autómata programable encargado del control digital de la desaladora. Se han utilizado válvulas de PVC, del tipo bola, acopladas a un conjunto motor-reductor de corriente continua a los que se ha dotado de un control electrónico basado en un microprocesador.

Este circuito hidráulico recibe el nombre de módulo de Telecontrol Y Mando (TYM) y está construido sobre una caja precintada de 65cm de alto 45cm de ancho y 20cm de fondo.

La bomba booster (de 1,15KW) es la encargada de la primera impulsión del agua en el circuito hidráulico y además se encarga de alimentar la bomba de alta presión y de los ciclos de limpieza de filtros y llenado de las membranas de ósmosis.

La bomba de alta presión (de 2,2KW) hace pasar el agua, ya filtrada, por las membranas de ósmosis, aportando el caudal necesario. Esta bomba, capaz de proporcionar una presión de hasta 25 bares y con un grado de protección IP55, está controlada por un convertidor de frecuencia conectado al autómata programable. Este variador de frecuencia es el encargado de la alimentación y control de esta bomba de alta presión y, conectado con una alimentación monofásica de 220Vac, es capaz de generar una tensión trifásica de frecuencia variable.

Para la adición de hipoclorito y desincrustante, así como para el sistema de dilución automática son necesarios varios dosificadores. Estos dosificadores son capaces de proporcionar hasta 150 inyecciones por minuto y poseen un grado de protección IP65.

Se ha optado por el uso de membranas de ósmosis inversa de baja presión y alto rendimiento, adecuadas para aguas salobres (con una conductividad máxima de hasta 5.000mS), del tipo ESPA de Hydranautics y CPA2 para conductividades mayores. Esta desaladora es capaz de alojar hasta 6 membranas de estos tipos.

Un filtro de carbón activo permite un filtrado aproximado de 100mS y la eliminación del cloro residual del pretratamiento. Este filtro posee una secuencia de limpieza automática por contralavado capaz de activarse y completarse de manera automática mediante medidor de presión diferencial conectado al autómata programable.

Un filtro de 5mm evita que las partículas más pequeñas se introduzcan en el circuito hidráulico. Este filtro deberá sustituirse de manera regular en intervalos de tiempo que dependerán de las características del agua de entrada. El PLC da una señal de alarma cuando sea preciso sustituir dicho filtro. La desaladora cuenta con varios tipos de depósitos internos, entre los que se encuentran los siguientes:

- Depósito de agua permeada
- Depósito de cloro concentrado
- Depósito de cloro diluido
- Depósito de desincrustante concentrado
- Depósito de desincrustante diluido

Además son necesarios dos caudalímetros, uno para la medida del caudal del agua de entrada y otro para la medida del agua de producción. Como caudalímetros se han elegido dos contadores digitales, de Contazara, de los denominados "inteligentes" capaces de comunicarse mediante una interfase serie con el autómata programable sin la necesidad de ningún dispositivo electrónico adicional.

En la Figura 3 podemos apreciar la desaladora con control digital integrado una vez montada.

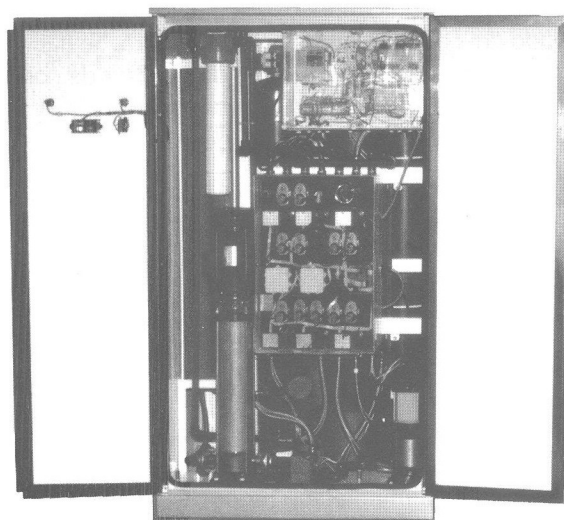


Figura 3. Desaladora con control digital integrado.

CONCLUSIONES

La desaladora DESAL2000 constituye un significativo avance tecnológico ya que ofrece las bien conocidas posibilidades de la osmosis inversa pero con una nueva concepción de desaladora "pret a porter". En efecto la Investigación y Desarrollo realizada, ha conseguido materializar las siguientes características:

- Diseño compacto.
- Control digital integrado con "inteligencia distribuida" que permite la autodetección de fallos.
- Funcionamiento automático en todas las diferentes fases (primera puesta en marcha, producción, limpieza...).
- Programas "on-line" para mejora del rendimiento, balance de explotación y ajuste adaptativo del régimen de funcionamiento en función de la salinidad del agua de entrada.
- Instalación directa mediante simple conexionado de tuberías y suministro eléctrico.

Todo ello encaminado a la obtención de un prototipo estándar para su posterior industrialización en serie, que reemplace la concepción actual de plantas individuales fabricadas a medida del cliente.

Funcionamiento de la planta desaladora.

Antes de la instalación de la desaladora se realiza un análisis para determinar, de manera precisa, las condiciones del agua a tratar. Una vez conocidas las características del agua de entrada se procede a la instalación de la desaladora, simplemente conectando adecuadamente las tres tomas exteriores (agua de entrada, salida del agua de producción y el vertido de salmuera), además de proceder al llenado de los depósitos de hipoclorito y desincrustante concentrado y conectar la desaladora a la red eléctrica de 220 Vac en monofásico.

Una vez realizada esta instalación el primer arranque de la desaladora consiste en el ajuste de los elementos internos, tales como el llenado de las membranas y los depósitos de agua permeada, de hipoclorito y desincrustante diluidos. También se sitúan las válvulas en una posición conocida y comienza la producción de agua con unas características predeterminadas de fábrica.

Una vez terminado el proceso de arranque la desaladora queda a disposición del usuario, el cual puede, a través de un sencillo terminal de control, cambiar algunos parámetros del funcionamiento de la máquina, como el caudal del agua de salida o su grado de salinidad, y conocer en todo momento el estado en que esta se encuentra.

Como interfase hombre-máquina se utiliza un terminal que permite "programar" de forma sencilla las necesidades de calidad de agua del cliente, así como ofrecer información de estado al usuario y al servicio técnico.

El funcionamiento normal de la planta desaladora es el siguiente:

Después del primer arranque, cuando ya están estabilizados, de manera automática, todos los parámetros de funcionamiento, la bomba booster proporciona al circuito hidráulico un caudal mínimo de funcionamiento, el agua aspirada por la booster llega al TYM.

El autómatas programable recoge, de forma continua las lecturas del sensor de conductividad del agua, ya sean los sensores de presión, los de caudal o los conductímetros, así como el estado de cada válvula motorizada.

A partir de estos datos actúa sobre cada válvula, cada sistema de dosificación y sobre el variador de frecuencia que controla la bomba de alta presión, de forma que, ajustando las válvulas de salida de salmuera de las membranas y la frecuencia de la bomba de alta presión, se consiguen los caudales programados de agua permeada y vertido de salmuera.

Existe un circuito, controlado por una válvula motorizada que permite la adición de la cantidad de agua de aporte que se desee con el fin de dotar al agua de producción de las características de salinidad que se requieran, ya que un agua permeada, recién salida de las membranas de ósmosis, no es apta para el consumo humano.

La desaladora posee igualmente unos ciclos automáticos, como el llenado de las membranas de ósmosis con agua limpia, la limpieza del filtro de carbón o los ciclos

de inicio de operación, capaces de ser activados y controlados directamente por el autómatas programable de forma independiente.

Sistema de Dilución Automática.

La desaladora cuenta con un sistema de dilución automática, de manera que solo es preciso reponer, cada mes aproximadamente, el hipoclorito y el desincrustante concentrados evitando depósitos externos que los contengan. De esta forma es la misma planta desaladora la que se encarga de sintetizar las disoluciones necesarias para su normal funcionamiento. Este proceso de dilución automática puede apreciarse en la Figura 5, en comparación con el sistema tradicional en la Figura 4.

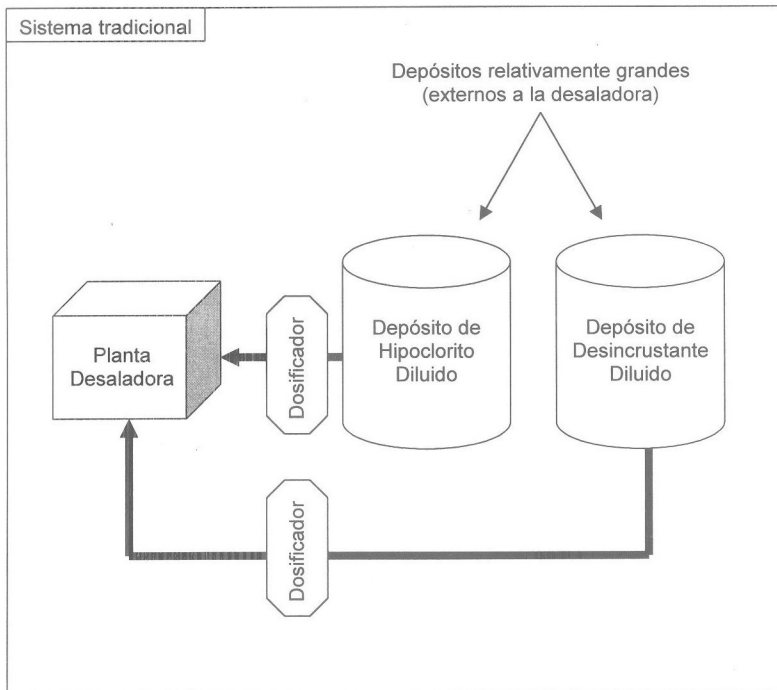


Figura 4. Sistema de dosificación tradicional.

Este sistema reduce de forma considerable el tamaño de los depósitos, utilizando el mismo PLC para el control adicional de todo el proceso de detección de nivel de cada depósito, la correcta actuación sobre cada dosificador para disolver y aportar la proporción correcta de hipoclorito y desincrustante. Tal y como se ha mencionado todos los procesos anteriores son supervisados y controlados por el autómatas programable, que además atiende las posibles alarmas en caso de se produzcan errores de funcionamiento (atasco, fugas...) o cuando hay que proceder a un relleno de aditivos.

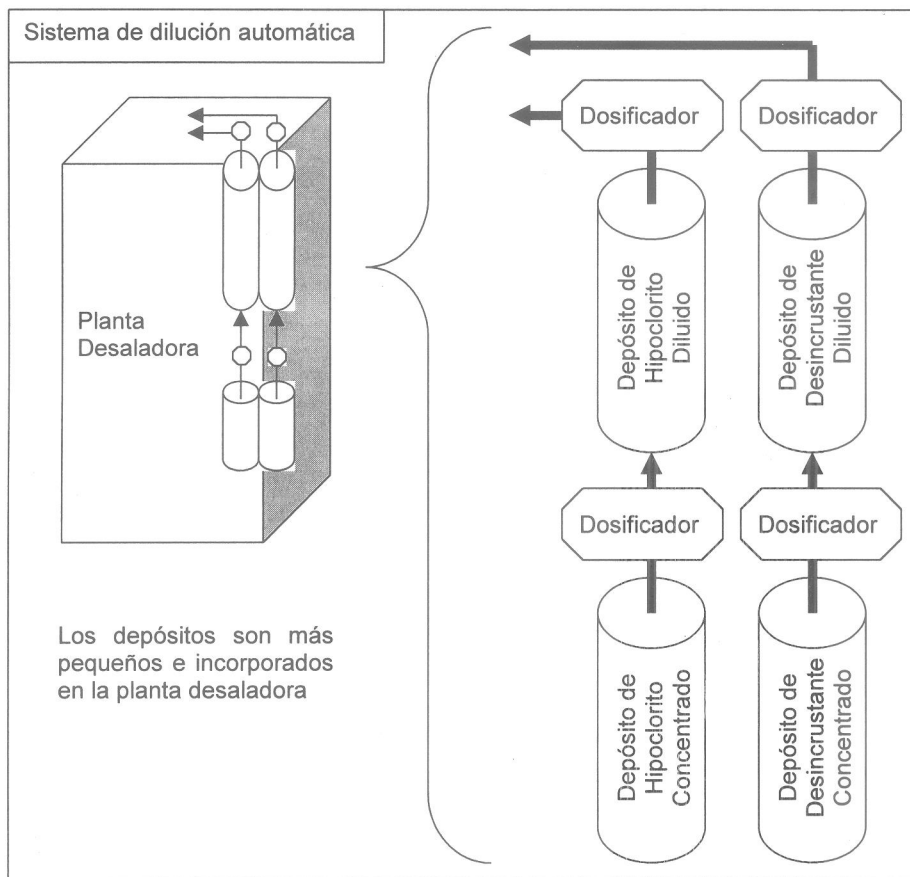


Figura 5. Sistema de dilución automática.

Control con Autómata programable.

Todo el control digital de la planta desaladora recae sobre un autómata programable alimentado a 24Vcc (a partir de una fuente de alimentación propia que pasa de los 220Vca a 24Vcc, 30W). El autómata dispone de 40 terminales de entrada y salida (24 entradas y 16 salidas).

Los distintos componentes que controla el autómata programable (PLC) son: medidores, válvulas motorizadas, bomba booster y de alta presión y dosificadores.

Medidores:

Son necesarios para medir los parámetros que afectan a la evolución del proceso. Se mide la conductividad (salinidad) del agua cruda de entrada, la conductividad del agua de producción y la presión en las membranas de ósmosis. Asimismo se miden los caudales de agua de entrada y de salida, la presión diferencial en el filtro de car-

bón activo y en el filtro de 5 μm y la presión diferencial en las membranas. Se dispone también de una serie de detectores de nivel para los distintos depósitos del sistema (agua limpia o permeada, cloro, desincrustante y de agua desalada del usuario).

Válvulas motorizadas:

Son válvulas de bola con un sistema de accionamiento por motor de c.c. con engranajes reductores. El control de cada dos válvulas se efectúa con un microcontrolador, que además posibilita la comunicación con el PLC.

Bombas:

Las dos bombas del sistema son la bomba booster y la bomba de alta presión. Con la bomba booster dotamos al agua de entrada de la presión suficiente para recorrer el circuito hidráulico hasta la bomba de alta presión, evitando así que esta cavite. Además, con su impulsión se realizan los ciclos de limpieza de filtros y de llenado de las membranas de ósmosis con agua limpia. Por su parte, la bomba de alta presión proporciona la presión suficiente para hacer pasar el agua por el filtro de las membranas de ósmosis.

Dosificadores:

Son los dispositivos encargados de absorber e inyectar pequeñas cantidades de líquidos. Con un dosificador inyectamos el cloro concentrado en el depósito de cloro diluido, mezclándolo con agua y obteniendo así la concentración deseada. Igualmente, se usa otro dosificador para preparar el depósito de desincrustante diluido a partir de otro depósito de desincrustante concentrado. Una vez preparadas las diluciones, éstas se inyectan en el circuito hidráulico con otros tres dosificadores: dos para el cloro diluido (pre y post tratamiento) y uno para el desincrustante diluido. El control de la dosificación es electrónico, produciéndose la inyección de una cantidad de líquido según el impulso electrónico que reciba cada dosificador.

Todas las señales de mando para estos dispositivos son digitales, así como las señales de error o fin de carrera, de nivel y las lecturas que se obtienen de los medidores. Como algunos parámetros son analógicos (presión o conductividad), éstos se convierten a señales digitales mediante convertidores de tensión a frecuencia, siendo el rango de conversión de 5-20 mA a 0-1 KHz.

BIBLIOGRAFÍA

Medina San Juan, J.A. (1999). Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis Inversa. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

- Anselme, C. et al. (1998) Tratamientos del agua por proceso de membranas. Editorial Mcgraw-Hill Inc.
- OMRON. (1999).Programming manual. OMRON. Japan.
- Menéndez, A. (1979). Control de procesos por Miniordenador en Tiempo Real. Rev. Eurofach Electrónica. Barcelona.
- Menéndez, A. (1998). Balance equations estimation with bad measurements detection in a water supply net. Flow Measurement and Instrumentation. Great Britain.

