

Las plantas de ósmosis inversa, una apuesta segura en tiempos de pandemia

Como es bien sabido, las membranas de ósmosis inversa impiden el paso de virus y bacterias, por lo que en principio no debería haber problema de contaminación en el permeado de planta de desalinización por este sistema. Sin embargo, hay medidas de precaución y control que deben ser tenidas en cuenta. Este trabajo hace un repaso de las condiciones básicas de diseño y mantenimiento de las plantas desalinizadoras según datos de la bibliografía y resultados de trabajos de investigación realizados en las propias plantas. El análisis permite concluir que con un buen diseño, junto con un correcto tratamiento y mantenimiento de las plantas desalinizadoras, se puede conseguir producir un agua de excelente calidad, libre de patógenos y de cualquier otro contaminante. Los resultados se discuten dentro de la problemática actual de la COVID-19.

Palabras clave

Desaladoras de agua de mar, ósmosis inversa, procesos de tratamiento, patógenos, COVID-19.

REVERSE OSMOSIS DESALINATION PLANTS, THE BEST BET IN TIMES OF PANDEMIC

As it is well known, reverse osmosis membranes prevent the passage of viruses and bacteria, so in principle there should be no problem of contamination in the permeate of desalination plants using this system. However, there are precautionary and control measures that must be taken into account. This work reviews the basic design and maintenance conditions of desalination plants based on data from the bibliography and results of research work carried out on the plants themselves. The analysis allows to conclude that with a good design, together with a correct treatment and maintenance of the desalination plants, it is possible to produce water of excellent quality, free of pathogens and of any other contaminants. The results are discussed within the current problem of COVID-19.

Keywords

Seawater desalination plant, reverse osmosis, treatment process, pathogens, COVID-19.

María Guadalupe Daza Domínguez
jefa de Laboratorio y Proceso
de la UTE IDAM Ceuta (Cadagua)

Manuel Hernández Suárez
director del Centro Canario del Agua



1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua con virus entéricos supone un riesgo para la salud porque estos pueden permanecer infecciosos en el medio acuático durante largos periodos de tiempo, con lo que pueden ser transmitidos siguiendo la ruta fecal-oral mediante el consumo de agua o alimentos contaminados y porque unos pocos individuos son suficientes para iniciar la infección. Algunos virus son muy resistentes a los sistemas de desinfección, mientras que el control a nivel de laboratorio es difícil y costoso.

2. PROCESOS DE TRATAMIENTO

Los principales procesos de separación física en una desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa son: filtración granular (filtros de arena), filtración de seguridad (filtros de cartuchos) y ósmosis inversa. Los procesos químicos principales son: coagulación y la desinfección con oxidantes químicos.

Anterior a estas etapas de separación física, hay que considerar la captación del agua bruta, que en el caso de tomas abiertas se realiza a través de inmisarios submarinos. La distancia mínima habitual a la costa se considera que no debería ser inferior a 400 m y, generalmente, por debajo de los 15-20 m se consigue una calidad de agua aceptable [1]. Las termoclinas o cambio brusco de temperatura a pocos metros de la superficie del mar condicionan la acumulación de plancton y, por tanto, la calidad del agua que se recoge [2].

2.1. PRETRATAMIENTO: FILTRACIÓN GRANULAR

En esta etapa intervienen los procesos de adsorción y filtración propiamente dicha. La primera ocurre

cuando una partícula viral se adhiere al material filtrante. La filtración, por su parte, se lleva a cabo cuando los virus adheridos a partículas de hidróxidos metálicos o arcillas son retenidas por el material filtrante. En esta etapa suelen lograrse índices de remoción del orden del 90% [3].

En algunas desalinizadoras se adiciona coagulante en el pretratamiento, normalmente cloruro férrico. Esto podría mejorar la remoción de patógenos, siendo aconsejable que no se adicione más de 1-2 ppm para no ocasionar problemas en el pretratamiento, ya que una sobredosificación de cloruro férrico redundaría, generalmente, en un aumento de las limpiezas químicas de las membranas de ósmosis [4].

Según José Luis Pérez Talavera [4], para lograr un buen mantenimiento de los filtros se recomienda un control rutinario del medio granular para comprobar: situación actual, pérdida de medio (en este caso es fundamental reponer el medio), grado de limpieza, bolas de barro, irregularidades de la superficie y pérdida de estratificación. También es importante comprobar el procedimiento de contralavado, la evolución de la turbidez durante el contralavado y los caudales y tiempos de contralavado.

El caudal de agua en el contralavado debe producir una expansión mínima de la arena del 15%. Los valores normales oscilan entre el 20% y el 25%. La expansión del medio es necesaria para separar los granos del medio, permitiendo al agua circular y remover la suciedad. Los caudales habituales son:

- Fase aire: 30-50 m/h.
- Fase de agua sola: 25-40 m/h.
- Fase de agua con aire: 12-15 m/h.

Un filtro de arena se considera que trabaja bien cuando:

- La turbidez a la salida es $< 0,3$ NTU.
- El número de partículas es < 50 partículas /mL.
- La remoción es > 2 -log de *Giardia* y *Cryptosporidium*.
- La duración de la fase de filtración es superior a 24 h.

2.2. PRETRATAMIENTO: FILTROS DE CARTUCHOS

Los filtros de cartuchos son elementos de seguridad inmediatamente anteriores a las membranas y no deben utilizarse para una eliminación sistémica de partículas en suspensión [8]. El caso es que también se ensucian, por lo que hay que cambiarlos o limpiarlos. Los grados de filtración más utilizados son de 1-5 μm y pueden ser [4]:

- Nominal: elimina al menos el 90% de las partículas.
- Absoluto: elimina al menos el 99% de las partículas.

La efectividad de estos filtros como separador de virus es mínima. Hay que tener en cuenta que los cartuchos más usados suelen ser de 5 μm y el tamaño de los virus acuáticos más comunes oscila desde 0,018 μm (familia *Parvoviridae*) hasta 0,1 μm (familia *Coronaviridae*) [5].

Teniendo en cuenta que los virus pueden adherirse a las arcillas y partículas coloidales, constituyendo en su conjunto partículas de mayor tamaño, sí se puede considerar que los filtros de cartuchos constituyen un medio de remoción de virus. La retención puede ocurrir, además, como consecuencia de una filtración secundaria debida al ensuciamiento de los cartuchos.

En los filtros de cartuchos suele ocurrir que el contaminante de mayor tamaño colmata el material filtrante en sus primeras capas, desperdiendo la capacidad de acumulación de la totalidad del medio. Esto ocurre fundamentalmente en dos casos. Primero, cuando el tamaño de las partículas contaminantes es muy variado (las partículas más grandes taponan el medio, que está pensado y diseñado para partículas más pequeñas, por ser las más numerosas en un análisis por conteo de tamaño). Y segundo, por la característica del fluido, del contaminante o de la interacción del contaminante en el fluido (esto ocurre fundamentalmente con el agua y los coloides que se agrupan formando una película que resulta de la unión de partículas pequeñas). Para evitar este problema algunas casas de filtros de cartuchos (como los de la serie SCB de Facet Ibérica) tienen un grado de filtración mayor al principio y, luego, una segunda etapa que se va estrechando hasta llegar a la última capa, que es la nominal del cartucho (filtros multicapas) (**Figura 1**).

El resultado es que los cartuchos salen más llenos de contaminación en toda su profundidad, aumentando así el tiempo de duración y manteniendo el grado de filtración. Como consecuencia de ello, debe haber una tendencia a que mejore la eliminación de virus a medida

FIGURA 1. Filtro de cartucho multicapa. Gentileza de Cadagua.



que aumenta el ensuciamiento de los cartuchos, de la misma manera que se ha constatado un aumento en la eficiencia de eliminación de los mismos, a medida que aumenta el ensuciamiento de la membrana de ultrafiltración [8].

Para un buen mantenimiento de los filtros de cartuchos se recomiendan las siguientes acciones [4]:

- Observar los cartuchos usados para ver si se han retirado a tiempo. Si no se cambian a tiempo, dejan de filtrar y comienza a pasar suciedad. Incluso si sobrepasan un cierto valor de presión diferencial (PD), ocurre un fenómeno llamado *flash release*, en el que el material acumulado dentro de los cartuchos se expulsa de repente, acabando en las membranas.
- Se comprobará los internos del recipiente en busca de imperfecciones (estanqueidad, estado de la placa de apriete, etc.).
- No se deben reusar los cartuchos.

El pretratamiento físico de una desalinizadora es complejo y está diseñado para eliminar las partículas físicas contenidas en el agua de alimentación hasta obtener un SDI <3 (*Silt Density Index* o índice de presencia de partículas que producen atascamiento de las membranas). Este es el valor que por experiencia origina una operación aceptable, según José Luis Pérez Talavera [4].

Un estudio a nivel de laboratorio de los filtros de SDI realizado por Peco-Facet [6] para la IDAM de Ceuta permite hacerse una idea del grado de retención del pretratamiento de una desalinizadora y del buen funcionamiento de cada una de las etapas del proceso. Este estudio es orientativo, pues se corresponde más bien con un análisis cualitativo y no está contrastado con un método más preciso. Para realizar el estudio, se emplearon los filtros HAWG047S6 de Millipore, con tamaño de poro de 0,45 µm. En este caso se dejó que el filtro alcanzara una obturación del 100%, con la idea de agrupar el mayor número de partículas posibles (se asume que el 100% de obturación del filtro de 0,45 µm se alcanza cuando el flujo de agua filtrada se convierte en un lento goteo, es decir, cuando el hilo rompe en goteo). Estas mediciones se realizaron en distintos puntos del pretratamiento: entrada y salida de los filtros de arena y salida de los filtros de cartuchos.

ENTRADA FILTROS DE ARENA: INMISARIO SUBMARINO A 500 M DE LA COSTA Y 15 M PROFUNDIDAD [6].												
Ø partículas	< 5 µm	5-10 µm	5-10 µm	5-10 µm	5-10 µm	5-10 µm	5-10 µm	5-10 µm	5-10 µm	5-10 µm	5-10 µm	>100 µm
Conteo	9.937	771	222	46	27	18	3	9	5	2	3	15
Porcentaje (%)	89,9	7	2	0,4	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
Cumulativo	9.937	10.708	10.930	10.976	11.003	11.021	11.024	11.033	11.038	11.040	11.043	11.058
Porcentaje (%) cumulativo	89,9	96,8	98,8	99,3	99,5	99,7	99,7	99,8	99,8	99,8	99,9	100



FIGURA 2. Entrada filtros de arena (conteo de partículas/tamaño). Datos extraídos de la Tabla 1 [6].



FIGURA 3. Entrada filtros de arena (conteo de partículas acumulado -%/tamaño). Datos extraídos de la Tabla 1 [6].

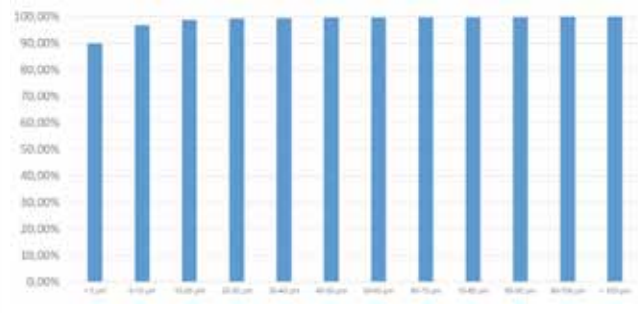


FIGURA 4. Visualización general de la superficie de un filtro de SDI de 0,45 μm de entrada a los filtros de arena, con magnificación de 40x. Gentileza de Facet Ibérica.

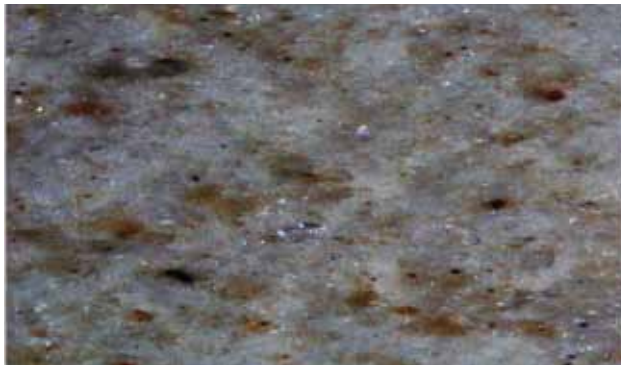
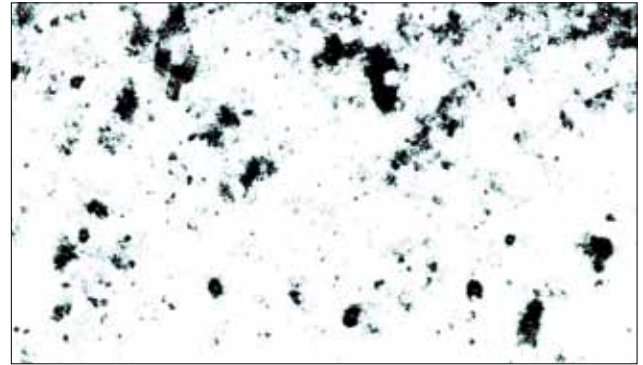


FIGURA 5. Foto originada por el *software* de conteo de los datos obtenidos en la entrada a los filtros de arena. Gentileza de Facet Ibérica.



Los resultados obtenidos en la **Tabla 1** y las **Figuras 2 y 3** permiten concluir que a la entrada de los filtros de arena, el filtro de SDI presenta muchos sólidos en suspensión, con un rango de tamaños muy extenso. También se observaron coloides y restos de materia orgánica de mayor tamaño. Una situación bastante frecuente en este punto de muestreo. La **Figura 4** muestra una visualización general de la superficie

de un filtro de SDI de 0,45 μm de entrada a los filtros de arena, mientras que la **Figura 5** es una imagen originada por el *software* de conteo de los datos obtenidos en la entrada a los filtros de arena.

Los resultados de la **Tabla 2** y las **Figuras 6 y 7** permiten concluir que los filtros de arena retienen aproximadamente el 90% de los sólidos, lo que confirma que tienen un funcionamiento correcto [3]. Por tanto,

suponen una barrera adecuada de cara a proteger los filtros de cartuchos y alargar su vida útil. La presencia de sólidos mayores de 100 μm puede deberse a posibles arrastres del propio lecho de arena. En este caso, la **Figura 8** muestra la visualización general de la superficie de un filtro de SDI de 0,45 μm a la salida de los filtros de arena, mientras que la **Figura 9** corresponde a una fotografía originada por el *software* de

TABLA 2												
SALIDA FILTROS DE ARENA: 7 FILTROS DE ARENA CERRADOS A PRESIÓN CON ARENA SILÍCEA DE 0,65 MM Y TE <math><1,6</math> [6].												
\varnothing partículas	<math>< 5 \mu\text{m}</math>	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	>100 μm
Conteo	1.297	122	46	21	7	3	3	3	1	0	0	10
Porcentaje (%)	85,7	8,1	3	1,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,7
Cumulativo	1.297	1.419	1.465	1.486	1.493	1.496	1.499	1.502	1.503	1.503	1.503	1.513
Porcentaje (%) acumulativo	85,7	93,8	96,8	98,2	98,7	98,9	99,1	99,3	99,3	99,3	99,3	100

FIGURA 6. Salida filtros de arena (conteo de partículas/ tamaño). Datos extraídos de la Tabla 2 [6].

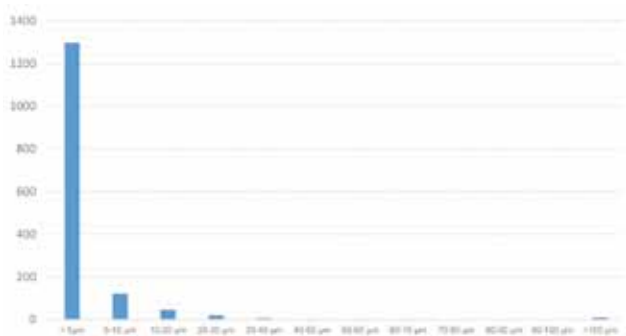


FIGURA 7. Salida filtros de arena (conteo de partículas acumulado -%/tamaño). Datos extraídos de la Tabla 2 [6].

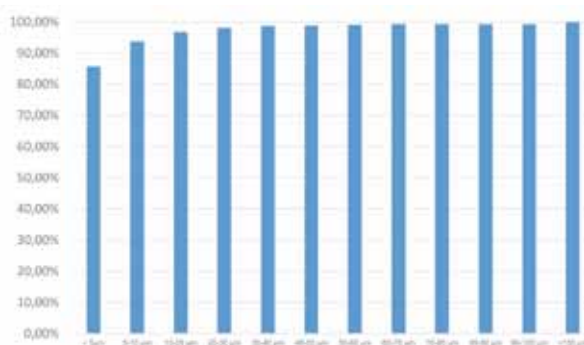


FIGURA 8. Visualización general de la superficie de un filtro de SDI de 0,45 μm a la salida de los filtros de arena, con magnificación de 40x. Gentileza de Facet Ibérica.



FIGURA 9. Foto originada por el software de conteo de los datos obtenidos a la salida de los filtros de arena. Gentileza de Facet Ibérica.



conteo de los datos obtenidos a la salida de los filtros de arena.

Los resultados expuestos en la **Tabla 3** y las **Figuras 10 y 11** permiten concluir que los filtros de cartuchos retienen aproximadamente el 80% de los sólidos. Presentan también una eficiencia del 100% para partículas de $>10 \mu m$. Presumiblemente, el buen funcionamiento previo de los filtros de arena ayuda a conseguir estos buenos resultados. La **Fi-**

gura 12 presenta la visualización general de la superficie de un filtro de SDI de 0,45 μm a la salida de los filtros de cartuchos. Y la **Figura 13** es una foto originada por el software de conteo de los datos obtenidos a la salida de los filtros de cartuchos.

2.3. FILTRACIÓN POR MEMBRANAS DE ULTRAFILTRACIÓN

Técnicamente, el mejor proceso de membrana para retirar bacterias pa-

tógenas, quistes y virus es la ósmosis inversa. Sin embargo, los investigadores han tenido éxito también con un amplio rango de procesos, por ejemplo la ultrafiltración. Actualmente se combinan distintos procesos de membrana (microfiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa) para lograr el máximo rendimiento y obtener un agua potable a la que no haya que añadir prácticamente aditivos [7].

TABLA 3												
SALIDA FILTROS DE CARTUCHOS: 6 FILTROS DE CARTUCHOS CON 198 CARTUCHOS/FILTRO DE 5 μm NOMINALES [6].												
\varnothing partículas	< 5 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	5-10 μm	>100 μm
Conteo	245	30	15	4	2	0	0	0	0	0	0	0
Porcentaje (%)	82,8	10,1	5,1	1,4	0,7	0	0	0	0	0	0	0
Cumulativo	245	275	290	294	296	296	296	296	296	296	296	296
Porcentaje (%) acumulativo	82,8	92,9	98	99,3	100	100	100	100	100	100	100	100



FIGURA 10. Salida filtros de cartuchos (conteo de partículas/tamaño). Datos extraídos de la Tabla 3 [6].

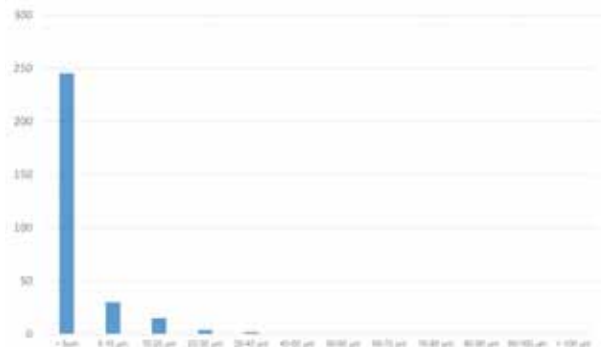


FIGURA 11. Salida filtros de cartuchos (conteo de partículas acumulado -%/tamaño). Datos extraídos de la Tabla 3 [6].

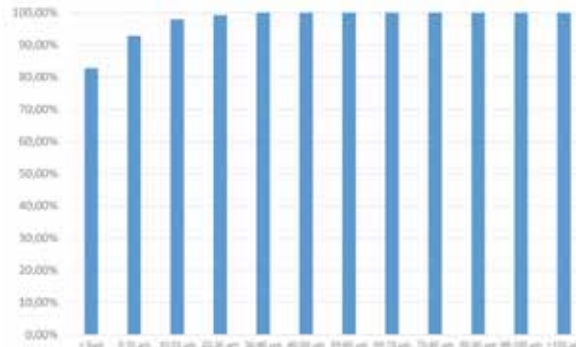


FIGURA 12. Visualización general de la superficie de un filtro de SDI de 0,45 µm a la salida de los filtros de cartuchos, con magnificación de 40x. Gentileza de Facet Ibérica.



FIGURA 13. Foto originada por el software de conteo de los datos obtenidos a la salida de los filtros de cartuchos. Gentileza de Facet Ibérica.



Como se aprecia en la **Tabla 4**, el virus bacteriófago MS2 tiene un tamaño de 0,027 µm y es más pequeño que el tamaño de poro de las membranas de ultrafiltración, cuyo tamaño de poro generalmente está comprendido entre 0,1 µm y 0,001 µm. Sin embargo, se alcanza una elevada eliminación, debido probablemente a la adsorción del virus sobre las partículas en suspensión, a la adsorción sobre las membranas o a la filtración secundaria debida al ensuciamiento (*fouling*) de la membrana. Realmente existe una tendencia a que mejore la eliminación del MS2 a medida que aumenta el ensuciamiento de la membrana de ultrafiltración [8].

2.4. FILTRACIÓN POR MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa es capaz de rechazar contaminantes o partículas

con diámetros tan pequeños como 0,0001 µm. Puede describirse como un proceso en que la transferencia de masa de iones a través de las membranas está controlada por difusión. Consecuentemente, estos procesos pueden llevar a la remoción de sales, durezas, patógenos, turbidez, precursores subproductos de desinfección (SPP), compuestos orgánicos sintéticos (COS), pesticidas

y la mayoría de los contaminantes del agua potable conocidos hoy en día. [7]. Los gases disueltos, como el sulfuro de hidrógeno (H₂S) y el dióxido de carbono (CO₂), así como algunos pesticidas, pasan a través de las membranas de ósmosis inversa.

La ósmosis inversa rechaza todo lo que esté fuera del límite del tamaño iónico [7]. Sin embargo, se han encontrado microorganismos en mues-

TABLA 4

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE UN ESTUDIO DE ELIMINACIÓN DE DIFERENTES MICROORGANISMOS POR ULTRAFILTRACIÓN [8].

Microorganismo	Concentración en agua de aporte	Concentración en agua filtrada	Eliminación (unidades logarítmicas)
<i>Guardia</i> (quistes/L)	2 x 10 ⁹	<1	>9
<i>Cryptosporidium</i> (ooquistes/L)	1,5 x 10 ⁹	<1	>8
Bacteriófago MS2 (UFC/L)	5 x 10 ⁸	5 x 10 ³	>4,9

FIGURA 14. Fotos de membranas, adaptadores e interconectores de la IDAM de Ceuta. Gentileza de Cadagua.

tras de permeado de plantas pilotos de ósmosis inversa. Esto no significa que los organismos patógenos no sean rechazados por las membranas, sino que no pueden mantenerse condiciones estériles en la operatividad de la planta. Así, se ha constatado que las bacterias pueden penetrar en las membranas durante el crecimiento (en las biodegradables, por ejemplo las de acetato de celulosa), pasando al permeado [7]. También se han dado casos de fallos en las membranas por defectos de fabricación. Consecuentemente, las membranas no son siempre completamente efectivas para el control biológico y normalmente después del tratamiento, el agua se somete a un proceso de desinfección. A pesar de todo, las membranas se consideran un método muy efectivo de eliminación de agentes patógenos. [7]

De la experiencia acumulada por Cadagua en sus plantas de ósmosis inversa [9], se aprecia que una de las razones por las que se puede contaminar el permeado es por la entrada de agua de mar. Esta situación podría darse en:

- La rotura de los adaptadores de las tapas de membranas. Son adaptadores que se colocan en la primera membrana de cada tubo para tapar

el orificio del permeado y en la última membrana para que salga el permeado. La rotura de estos adaptadores deja pasar parte de agua del mar al permeado, lo que podría explicar la presencia de bacterias y virus en el permeado.

- La rotura de los interconectores entre membrana. Las membranas se unen entre sí mediante interconectores que van colocados en interior del tubo de permeado. La rotura de los mismos puede ocasionar el paso de agua de mar al permeado. El mismo problema puede ocurrir si las juntas tóricas de los interconectores están dañadas o se salen de la ranura.

En algunas membranas de nuevo diseño [10] se utiliza una conexión entre membranas tipo bayoneta, es decir, presionar y girar. En este sistema las membranas trabajan conjuntamente a lo largo del tubo de presión. El desenganche de estas membranas por mal montaje, así como el provocado por las paradas bruscas y arranques del bastidor, puede originar la contaminación por agua de mar del permeado. Estos problemas se han podido solventar en la IDAM de Ceuta añadiendo, a la conexión en bayoneta, los interconectores de las membranas clásicas. Con ello

se ha conseguido una doble seguridad, disminuyendo notablemente la frecuencia de estas situaciones de paso de agua de mar al permeado (**Figura 14**).

Considerando la importancia de detectar lo antes posible el problema y poder actuar rápidamente, la IDAM de Ceuta se apoyó en Cadagua en la observación de la evolución de la conductividad, el pH y el caudal de agua producido. Cualquier alteración de los mismos alerta de que algo no funciona correctamente.

La forma más correcta de actuar en estos casos es: parar rápidamente el bastidor para reparar la causa del problema o bien, si en ese momento no es posible realizar la reparación, parar el bastidor, aislar la caja de presión correspondiente y volver a arrancar y dejar la reparación para cuando sea posible. De esta forma se evita de forma rápida y en la medida de lo posible la intrusión de agua de mar en el permeado.

Para el control de una contaminación microbiológica en los bastidores de ósmosis inversa (en la parte de alta presión) existen varias herramientas:

- Diferencial de presión (DP) de los bastidores de ósmosis inversa. Si las membranas son del tipo no



biodegradables, una proliferación microbiana en la parte de alta presión produce efectos similares a un atascamiento provocado por sustancias coloidales [8]. Esto implica un aumento rápido del DP. La experiencia a lo largo de estos años de funcionamiento indica que el DP de los bastidores de ósmosis inversa aumenta muy lentamente cuando no hay contaminación. Sin embargo, en el caso de que esta contaminación ocurriera, este DP aumentaría de forma rápida. Este hecho se ha constatado especialmente con la dosificación en continuo de hipoclorito y bisulfito en el pretratamiento. Durante años, en la IDAM de Ceuta se dosificaba en continuo hipoclorito y bisulfito en el pretratamiento. Esto originaba un *fouling* en los bastidores que daba lugar a una subida rápida del DP. Para sobrellevar esta situación se sometían a los bastidores a limpiezas químicas con detergente cada 3 meses, así como el empleo de choques de biocida. Esto repercutía en daños a las membranas, debido a las condiciones agresivas de pH y de temperatura de las limpiezas, así como en tiempos de parada prolongados y, como consecuencia, menor producción de caudal. Con las nuevas tendencias en pretratamientos [4], se dejó de dosificar hipoclorito y también bisulfito. Desde entonces, el DP de los bastidores aumenta muy despacio, debido a que hay poco ensuciamiento. Las limpiezas con detergente se han reducido a 1 cada año o cada 2 años y se ha prescindido de los choques de biocida que ya no eran necesarios. Se sigue manteniendo el biocida de conservación para paradas prolongadas de los bastidores.

- Recuento de bacterias aerobias a 22 °C. El recuento de aerobios en el agua de salmuera da una idea de la

carga total microbiana. Cuando no hay contaminación, estos recuentos se mantienen prácticamente constantes, mientras que en el caso de contaminación, el aumento de los recuentos crece de manera exponencial.

En el caso de que se produjera una contaminación en la planta se hace necesario poner en marcha el protocolo de limpieza de los bastidores y de todo el sistema, así como implantar un plan de actuación de autocontrol [9].

2.5. POSTRATAMIENTO: DESINFECCIÓN

La técnica de desinfección más común en la mayoría de las plantas es la cloración con hipoclorito sódico. Esto asegura que el agua llegue en perfectas condiciones al grifo del consumidor.

Como se ha indicado con anterioridad, el agua producto de una desaladora de ósmosis inversa (agua permeada remineralizada y clorada) no debería presentar contaminación microbiana, ni prácticamente de otro tipo. Por eso, cuando se clora y se mide el cloro libre y total residual, aparece prácticamente el mismo valor [11]. Esto es debido a que no se forma cloro combinado. Cualquier variación de esta circunstancia podría alertar de que algo anómalo está ocurriendo en el proceso.

Por ello, mantener la cloración constante es muy importante. Para conseguirlo, es necesario mantener en buen estado los equipos de dosificación, así como utilizar medidores de cloro en continuo que sean estables. También es importante utilizar métodos de medición de cloro a nivel de laboratorio que estén validados y que, además, se puedan aplicar *in situ*. Así mismo, para aumentar la efectividad del cloro se

debe conseguir un pH adecuado, ya que es un factor determinante de su efectividad [11].

3. RESUMEN DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LA AGUAS DE ABASTECIMIENTO Y EN RELACIÓN EL SARS-COV-2

Dada la importancia del momento que vivimos por la pandemia del COVID-19, nombre de la enfermedad que ha provocado el virus SARS-CoV-2, perteneciente al género de los betacoronavirus [12], el agua se ha convertido en uno de los protagonistas más importantes, teniendo en cuenta que es un elemento fundamental para combatir el virus (para lavarse manos con jabón, al ducharse, limpiar y desinfectar los hogares, lavar la ropa, desinfectar las calles, etc.).

Actualmente, no hay evidencia científica sobre la supervivencia del coronavirus en el agua potable. La persistencia del patógeno en aguas desinfectadas correctamente y con niveles adecuados de cloro residual (según RD 140/2003 y RD 902/2018) es nula, según los datos disponibles actualmente a nivel mundial [13].

El SARS-CoV-2 es un virus envuelto con una membrana celular lipídica, que no es muy robusta. Los virus envueltos, generalmente, son menos estables en el medio ambiente y son más susceptibles a los oxidantes, como el cloro, que muchos otros virus. El calor alto, el pH bajo, la luz solar y los desinfectantes comunes (por ejemplo el cloro) facilitan su muerte.

Dentro de las propuestas de medidas a adoptar en las instalaciones de aguas potables publicada por la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS) se recomienda a la salida de planta valores superiores a 1,00 mg/L, para

garantizar un mínimo de 0,2 mg/L en puntos finales de la red. También mantener un pH <8 es crucial para aumentar la efectividad del cloro.

4. RESUMEN DE LA SITUACIÓN EN LAS AGUAS DE RESIDUALES Y EN RELACIÓN EL SARS-COV-2

En cuanto a las aguas residuales, según la bibliografía existente, se considera que, aunque el virus se excreta en grandes cantidades en heces, existe todavía relativamente escasa evidencia sobre su infectividad. Lo que sí se puede confirmar es que los tratamientos avanzados de depuración del agua que se llevan a cabo en nuestro país, con una normativa muy estricta (RD 1620/2007, de 7 de diciembre), aseguran la correcta eliminación del virus en el efluente [16].

Numerosos estudios nacionales e internacionales están estableciendo una correlación entre la presencia de material genético en aguas residuales con la incidencia del coronavirus en la población. Esto se está convirtiendo en un indicador para alertar de manera precoz de la presencia del virus en la población.

Estudios como el llevado a cabo en la depuradora de A Coruña, concretamente en la EDAR de Bens (Cadagua) [14], han confirmado la presencia de material genético del virus SARS-CoV-2 en el agua residual. De este trabajo se desprende, además, que el virus se elimina antes de salir al mar.

5. RESUMEN DE LA SITUACIÓN EN LAS AGUAS DE MAR Y EN RELACIÓN EL SARS-COV-2

Sobre la supervivencia de SARS-CoV-2 en agua de mar, aún no hay estudios publicados, pero en principio parece que es un medio hostil para estos virus. El informe realizado por el CSIC sobre la transmisión

» Un buen diseño, junto con un correcto tratamiento y mantenimiento de las plantas desalinizadoras, permite conseguir producir un agua de excelente calidad, libre de patógenos y de cualquier otro contaminante

del coronavirus en playas y piscinas indica que "aunque actualmente no existen datos de la persistencia del SARS-CoV-2 en agua de mar, el efecto de dilución, así como la presencia de sal, son factores que probablemente contribuyan a una disminución de la carga viral y a su inactivación por analogía a lo que sucede con virus similares" [15].

6. CONTROL DE CALIDAD EN LAS AGUAS POTABLES

En cuanto al control de calidad del agua potable, los parámetros a determinar vienen regulados por la legislación española (RD 140/2003 y RD 902/2018), siendo estos controlados por el Sistema de Información Nacional Agua de Consumo (SINAC).

Aunque la legislación española no contempla la obligatoriedad de incluir en los controles del agua la determinación de bacteriófagos como indicadores de calidad, las recomendaciones de la OMS (2017) respecto a este tema son: "La presencia o ausencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal es otro parámetro de monitoreo operativo utilizado comúnmente. No obstante, existen agentes patógenos que son más resistentes a la desinfección con cloro que los indicadores utilizados con mayor frecuencia: *E.coli* o bacterias coliformes termotolerantes. Por consiguiente, en determinadas circunstancias puede ser más oportuno utilizar como parámetro de monitoreo operativo la presencia de indicado-

res de contaminación fecal más resistentes, por ejemplo, enterococos intestinales, esporas de *Clostridium perfringens* o colifagos" [16].

Un ejemplo de esta resistencia a los tratamientos habituales de desinfección lo constituye el virus Norwalk o Norovirus. Estos virus no se inactivan por concentraciones de cloro libre residual de entre 0,5-1,0 mg/L. Para su inactivación se requieren concentraciones > de 10 mg/L CRL [17].

Probablemente la determinación de colifagos (virus bacterianos) no sea representativo del total de virus en el agua, ni de que por sí solo sea un indicador exclusivo de contaminación fecal. Para esto último, es necesario analizar un mayor número de parámetros que lo complementen [16]. Pero sí sería un parámetro más a tener en cuenta, por lo menos en estas circunstancias actuales en las que cualquier aportación a lo que se afirma contribuye a tranquilizar a la población.

Obviamente, la determinación directa de los virus entéricos sería la mejor manera de conocer si un agua está contaminada sin tener que recurrir a los indicadores, aunque sean estos los bacteriófagos. Sin embargo, son muchos los virus patógenos entéricos y son muchas las dificultades técnicas para su análisis, lo que convierte en impracticable el tratar de detectar todos los virus patógenos en una determinada agua [5].

Como indicadores virales de contaminación fecal se recomienda uti-



» El riesgo de una posible contaminación del agua producto de una planta desalinizadora por virus o por cualquier otro contaminante es mínimo, por lo que beber agua del grifo procedente de una planta de ósmosis inversa es garantía de calidad

lizar los bacteriófagos siguientes: colífagos somáticos, colífagos F-específicos y bacteriófagos de *Bacteroides fragilis* [17]:

- Colífagos somáticos. Se adsorben sobre los receptores situados en la pared bacteriana de cepas de *E. coli*. Constituyen un grupo de morfología heterogénea, que están presentes en las heces humanas y en la mayoría de las especies animales en concentraciones $< 10^4$ UFC/g. Son los más abundantes en aguas residuales, donde se han encontrado valores de 10^5 UFC/mL. Excepcionalmente pueden multiplicarse en aguas no contaminadas utilizando como huésped especies bacterianas. Son los más fáciles de detectar y enumerar. Su persistencia en el medio es similar a la de los virus humanos, aunque son más sensibles a procesos de tratamiento de aguas.

- Colífagos F-específicos. Se adsorben específicamente sobre los pelos sexuales codificados por plásmidos del grupo F de incompatibilidad de la célula huésped. Son pocos frecuentes en las heces humanas y animales, aunque la concentración en aguas residuales puede llegar a 10^5 UFC/mL, lo que sugiere la posibilidad de que se multipliquen en ambientes que reciban un aporte directo de material fecal. Su persistencia en el medio y su resistencia a procesos de desinfección son comparables con las de los enterovirus y reovirus.

- Fagos de *Bacteroides fragilis*. Se excretan en concentraciones de

hasta 100 UFC/g en el 10% de la población, aunque se encuentran en menores concentraciones en las aguas residuales ($< 10^3$ UFC/mL). No se multiplican en el medio debido a la baja estabilidad de la bacteria huésped y a sus características anaerobias. Su resistencia a diferentes tratamientos y a la inactivación natural es superior a la de los otros grupos de bacteriófagos, similar a la de poliovirus e inferior que el virus de la hepatitis A.

7. CONCLUSIONES

El análisis realizado confirma que un buen diseño, junto con un correcto tratamiento y mantenimiento de las plantas desalinizadoras, permite conseguir producir un agua de excelente calidad, libre de patógenos y de cualquier otro contaminante.

Mantener en buen estado la captación, los filtros de arena y los filtros de cartuchos garantizan una retención de sólidos de más del 90%. De esta forma el agua que llega a las membranas está casi libre de impurezas. Identificar lo más rápidamente posible los fallos de operación garantiza que haya menos contaminaciones de agua de mar al permeado.

Mantener la cloración en el agua producto de forma continua y controlada garantiza que el agua llegue en perfectas condiciones al grifo del consumidor. Y conseguir una correcta remineralización del agua producto garantiza la obtención de un pH adecuado para que el cloro presente su máxima eficiencia.

Todos estos factores contribuyen a afirmar que el riesgo de una posible contaminación del agua producto de una planta desalinizadora por virus o por cualquier otro contaminante es mínimo y que, por lo tanto, en estos momentos tan delicados que vivimos en la actualidad, beber agua del grifo que proceda de una planta desalinizadora por ósmosis inversa pueda ser considerado una garantía de calidad.

Bibliografía

- [1] González Olabarriá, P.M. (2012). Desalación de agua mediante ósmosis inversa. AMV Ediciones, Madrid.
- [2] Hernández Suárez, M. (2011). Tablas para la evaluación del funcionamiento de las plantas desaladoras de agua de mar de ósmosis inversa. Acuamed-Fundación Centro Canario del Agua.
- [3] Enríquez Enríquez, C. (1990). Virus en el agua. Ingeniería Hidráulica en México, *revistatya.org.mx*, consultada el 30/03/2020.
- [4] Pérez Talavera, J.L. (2017). Curso: Fundamentos, diseño, construcción y mantenimiento de plantas desaladoras de agua de mar por ósmosis inversa. Universidad La Laguna, www.desalacion.org.
- [5] Vilariño Becerra, M.L. (2009). Tesis: Prevalencia de virus entéricos en moluscos cultivados en Galicia. Estudio de la fiabilidad de microorganismos indicadores de contaminación viral. Tabla 1.3: Grupos de virus de origen humano excretados al ambiente. Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Biología
- [6] Iglesias, F. (2013). Estudio de distribución de partículas. Facet Ibérica, <https://processtechnologies.filtrationgroup.com>.
- [7] American Water Works Association Research Foundation (AWWARF), Lyonnaise des Eaux (LdE) y Water Research Commission (WRC) (1998). Tratamiento del agua por procesos de membrana. Principios, procesos y aplicaciones. McGraw-Hill.
- [8] Ministerio de Sanidad y Política Social (2009). Guía de desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano. Informes, estudios e investigación. Ministerio de Sanidad y Política Social.
- [9] Cadagua (2017). Informe de actuación para tratamiento de contaminación de pseudomonas. IDAM de Águilas.
- [10] Dow Water & Process Solutions (2010). Seminario técnico Dow Chemical Ibérica, Tarragona.
- [11] Hernández Suárez, M. (2013). Sobre la cloración de las aguas remineralizadas. El Manantial, Fundación Centro Canario del Agua.
- [12] Consejo General de Colegios Farmacéuticos (2020). Curso: Infección por coronavirus. <https://formacion.nodofarma.es>.
- [13] AEAS (2020). Informe COVID-19: Agua y Saneamiento.
- [14] EDAR de Bens (Cadagua), 04-05-2020, https://www.telecincio.es/informativos/sociedad/depuradora-coruna-confirma-presencia-residuales-coronavirus_18_2941320181.html#utm_source=alerta
- [15] CSIC (2020). Informe sobre transmisión del SARS-CoV-2 en playas y piscinas.
- [16] Asociación Española de Desalación y Reutilización-AEDyR (2020). Consulta particular
- [17] Espigares García, M. (2006). Virus en agua de consumo. Higiene y Sanidad Ambiental, núm. 6, págs. 173-189.