Jose Carlos Cardillo Lorente (jcardillolo@saludcastillayleon.es)
Luis Mariano Bocos González (lbocosgo@saludcastillayleon.es)
Servicio de Mantenimiento
Hospital Universitario Río Hortega de Valladolid

Gestión eficiente y reutilización del agua de diferentes procesos en el hospital Río Hortega de Valladolid

Premiado en el concurso Library Awards 2016 de la International Federation of Hospital Engineering.

En este artículo los autores presentan una serie de medidas, aplicadas en el Hospital Universitario Río Hortega de Valladolid, destinadas a conseguir una disminución del consumo de agua, y por tanto un menor impacto medioambiental, en su funcionamiento diario. La ejecución y el estudio de las medidas adoptadas, se llevó a cabo dentro del programa LIFE, financiado parcialmente por la Comunidad Europea. Es deseo de los autores compartir la experiencia y la información conseguida, para su aplicación en otros hospitales que compartan características o modos de funcionamiento.

Introducción

El ahorro de agua en un hospital así como los tratamientos de agua residual a priori no parecen un objetivo muy importante ya que existen otros gastos de mucha mayor cuantía y de gestión mucho más complicada. Sin embargo constituye éste un nicho de ahorro normalmente sin explotar y que requiere, como veremos, la aplicación de medidas muy sencillas.

Describiremos las acciones que se han desarrollado en el Hospital Universitario Río Hortega con objeto de mejorar la gestión del agua en diferentes procesos.

Estas acciones se han estudiado e implantado bajo un **Proyecto Life+** cofinanciado por la European Commission y la Sanidad de Castilla y Leon (SACYL). Los objetivos de este Proyecto son estudiar, aplicar y verificar medidas encaminadas a obtener unos hospitales más eficientes y sostenibles, reduciendo el consumo de energía, los vertidos y por consiguiente la huella hídrica y el equivalente a emisiones de CO_2. Se pretende que las acciones desarrolladas puedan ser replicadas en otros hospitales.

Si bien el Proyecto Life+ Smart Hospital se ha vertebrado en nuestro hospital en 3 ejes (energía, agua y residuos) en el presente artículo solo se comentarán las actuaciones realizadas bajo el eje del agua.

El agua en el Hospital. Punto de partida

En el año 2009 cuando se abre el hospital (600 camas, 18 quirófanos) el consumo de agua era de una media de **500m³/día** que procedían íntegramente de la red municipal de abastecimiento. Durante los 2 primeros años se buscó reducir este consumo mediante diferentes acciones como:

• Instalación de válvulas anti-retorno en las duchas con válvula mezcladora: No se alcanzaba la temperatura de confort y como consecuencia se desperdiciaba mucha agua.

• Sustitución de gran número de fluxores: Pese a ser un edificio nuevo mantenían pequeñas fugas pero de manera continuada.

• Sustitución de grifos electrónicos: Con frecuencia quedaban abiertos por suciedad en el sensor de presencia.

• Captación propia de agua para riego (pozo)

Estas acciones redujeron progresivamente el consumo del agua de la red municipal hasta unos **320m³/día**. Evaluar la aportación de cada medida a esta reducción es francamente imposible ya que las medidas se fueron aplicando en conjunto durante estos años.

A partir de aquí, reducir el consumo de agua del hospital implicaba tomar medidas que afectaban a la estructura de los circuitos de agua. Además el hospital estaba sufriendo fuertes penalizaciones por calidad de agua de vertidos que debían ser consideradas. Es aquí cuando se empieza a tomar más seriamente el problema del agua y contemplar como un todo el hospital con el objeto de optimizar el mismo.

El RD 1620/2007 de Reutilización de Agua, establece que en un hospital no se puede emplear agua regenerada (agua residual que ha sido sometida a un tratamiento adicional para adecuar su calidad al uso al que se destina), por lo que si queremos reutilizar el agua sobrante en determinados procesos, solo podremos hacerlo si no es necesario un tratamiento de depuración previa.

Diálisis: Ahorro y mayor calidad del líquido de diálisis

Actualmente sólo existen dos arquitecturas posibles capaces de conseguir un agua de la calidad necesaria para su uso en hemodiálisis. Ambos tipos de plantas constan básicamente de tres bloques conceptuales, diferenciándose únicamente en el último bloque. El primer bloque estará compuesto por una serie de etapas previas necesarias para acondicionar el agua según sus características de entrada, de modo que pueda funcionar correctamente el segundo bloque, el cual inevitablemente será una ósmosis inversa. Finalmente un tercer bloque que puede estar formado por un módulo electro-desionizador o por otra ósmosis inversa. (figura 1).

El Hospital Río Hortega cuenta con una planta de tratamiento de agua pertenece al tipo constituido por dos ósmosis inversas funcionando en serie y unidas mediante un depósito de acumulación y regulación. La planta es capaz de suministrar agua a la Unidad de Hemodiálisis, formada por 24 puestos con una calidad de 1,5µs/cm. El agua producida por la planta circula por el anillo de agua osmotizada, retornando al depósito intermedio si no es empleada por las máquinas de diálisis.

Como en cualquier ósmosis inversa a

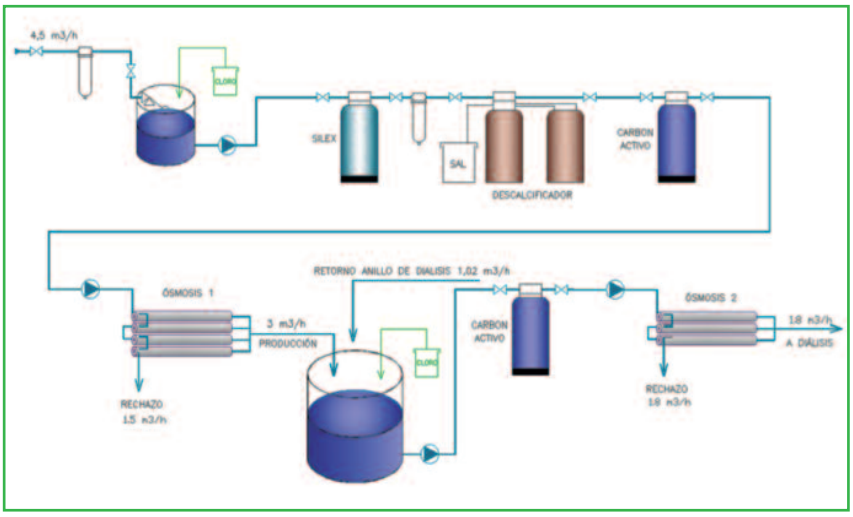

Figura 1.

partir del agua de entrada se generan dos efluentes, uno es la producción donde se ha purificado el agua y el otro es el rechazo donde se han concentrado las sustancias o contaminantes que se han retirado de la producción.

Por cada litro de agua osmotizada tiramos 2 litros en rechazo.
Caudal del anillo 30 l/m
Funcionamiento 12 horas diarias
36.600 litros al día de rechazo

En la primera etapa del proceso de ósmosis, el caudal de rechazo es la mitad del permeado (3m³/h de producción frente a 1,5 de rechazo) y en la segunda el mismo que el permeado (1,8m³/h de producción y de rechazo), lo que significa que **para obtener 1 litro de agua osmotizada a la salida de la planta se han tirado por el rechazo 2 litros**. Considerando que la planta tiene que dar servicio a dos sesiones de hemodiálisis diarias, esto implicará un funcionamiento de 12 horas para la segunda etapa de ósmosis y 10 horas para la primera, lo que supone un total de **36.600** litros de agua al día vertidos al desagüe.

Reciclado del agua de rechazo de la segunda etapa de la planta de ósmosis

Lo primero que se acometió fue aprovechar el agua de rechazo de la segunda ósmosis y reintroducirlo en la planta con lo que conseguimos ahorrar agua y además, puesto que este agua ya ha sido tratada por unos tratamientos previos y una primera etapa de ósmosis, disminuir las concentraciones de los solutos en cabecera, por lo que aumentamos la durabilidad de los filtros, lechos y membranas de ósmosis.

Puesto que la planta está ajustada para mantener en servicio los 24 puestos de diálisis, el anillo de agua osmotizada necesita una producción de 30l/min durante 12 horas (2 sesiones diarias), lo que supone un rechazo de 21.600 litros diarios en la segunda etapa de ósmosis. Esto se ha reciclado con una mínima inversión y **nos ha permitido ahorrar el 7% del agua consumida en el hospital**.

Recuperación del agua de la primera etapa de la planta de ósmosis

En las condiciones anteriormente descritas, para mantener servicio a los 24 puestos de diálisis, además de los 21.600 litros de rechazo de la segunda etapa, la planta generaba un rechazo de 15.000 litros diarios en la primera etapa.

Esta agua de rechazo es un efluente del que gracias a los tratamientos previos a la ósmosis ha desaparecido la dureza, el hierro, y sobre todo aquellas sustancias orgánicas que pudiera traer el agua de red. Sin embargo, otras especies químicas han sufrido un proceso de concentración, como los cloruros, iones metálicos etc.

El agua de red que entra en la planta procede de la red municipal de agua, por lo tanto debe cumplir con el RD 140/2003 en cuanto a las concentraciones máximas de las sustancias que lleva en disolución. Si consideramos que la concentración de cualquier sustancia en el agua de red es [X]s, tras pasar por la primera etapa de ósmosis inversa su concentración habrá aumentado 4,5/1,5=3 veces, luego su concentración en el rechazo será 3[X]s.

Si se recoge el rechazo en los aljibes de agua de consumo humano, los cuales suman 900 m3 en su nivel más bajo, justo antes de abrir la válvula de entrada de red, y con una concentración de la sustancia de referencia de [X]s, la concentración aumentará en la siguiente proporción:

$$\frac{1{,}5x3[X]_S + 900x[X]_S}{901{,}5} = \frac{904{,}5}{901{,}5}[X]_S \cong 1{,}00333[X]_S$$

Es decir, aumentará aproximadamente un 0,33%. En este cálculo no se ha tenido en cuenta el efecto diluyente de la realimentación de la planta con el rechazo de la segunda ósmosis inversa, además como el periodo de funcionamiento de la diálisis coincide con el de consumo normal de agua del hospital, este porcentaje es ciertamente el máximo que se puede dar.

Un aumento de un 0,33% como máximo en la concentración de una especie química en el agua, la mayoría de las veces no implicaría sobrepasar los límites legales, siempre y cuando el agua llegase con concentraciones menores que las máximas admisibles para que fuera apta para el consumo humano. Por otra parte, en el RD 140/2003 se especifica que el porcentaje de error en la determinación del valor de la concentración en el peor de los casos es de un 10%. Es decir, el aumento de la concentración de la especie X en el aljibe de agua de consumo humano no es detectable, ya que estamos dentro de los márgenes de incertidumbre asumidos por el método analítico.

Mediante la reutilización del rechazo de la primera ósmosis en el aljibe de agua para consumo humano hemos conseguido **ahorrar el 4,7% del agua consumida por el hospital**.

Paneles evaporativos: Reutilización en fluxores y captación propia

Con el propósito de mejorar el rendimiento de las enfriadoras del hospital, se decidió la instalación de paneles evaporativos para enfriamiento adiabático del aire de refrigeración de las enfriadoras. Estos paneles demandan en verano un caudal de agua de 320m3/día, lo que incrementó el consumo de agua del hospital.

El agua destinada a los paneles evaporativos no se reutilizaba, sino que tras su paso por los paneles se vertía al desagüe. Los motivos de actuar así eran dos.

Primero: Que al recircular el agua por los paneles, la dureza va aumentando considerablemente, por lo que hubiese sido necesario un tratamiento previo a la recirculación.
Segundo: Al funcionar como agua perdida los paneles no quedaban clasificados como una instalación de alto riesgo para la proliferación de la legionela, como indica el RD 865/2003 (figura 2).

Nueva captación de agua

La instalación de los paneles evaporativos hace que las enfriadoras sean mucho más eficientes energéticamente y fueron

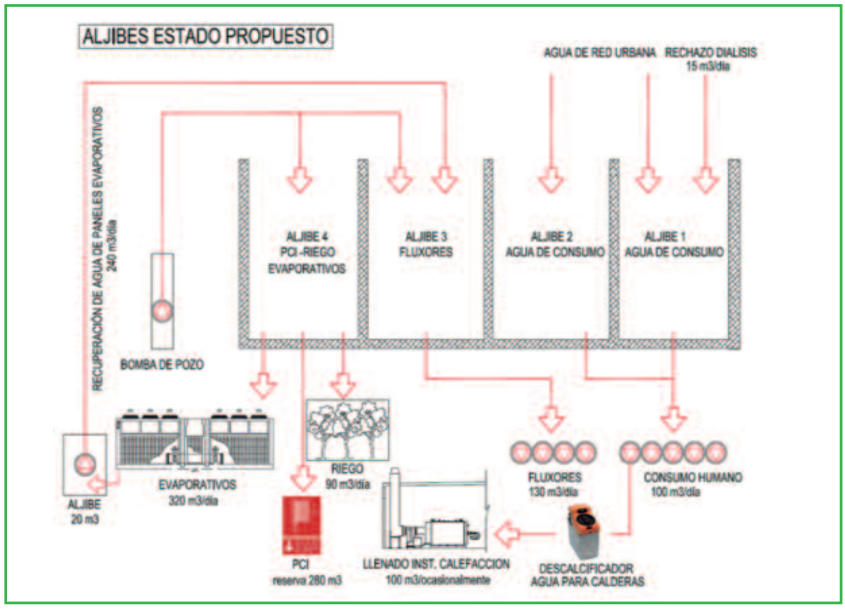

Figura 2.

rápidamente amortizados aun considerando que funcionaban con agua perdida. No obstante su funcionamiento implicaba doblar el consumo de agua del hospital en los meses de verano. Puesto que esta agua obviamente no es necesario que tenga calidad de consumo humano se decidió realizar una captación de agua con el fin de abastecer estos paneles. Puesto que el pozo existente para el riego no era capaz de dar este caudal ahora demandado y además no estaba autorizado para este fin, se solicitó una nueva autorización a la Confederación Hidrográfica del Duero y se realizó un pozo de 160 metros de profundidad para este suministro.

Reutilización del agua de los paneles evaporativos en la red de fluxores

En los meses de verano en los que las enfriadoras del hospital están en marcha, el caudal de agua sobrante en los paneles evaporativos es muy elevado, por lo que se planteó su reutilización en la red de fluxores del hospital. Esta red da servicio a más de 1000 fluxores y consume aproximadamente un 40% del total del agua del hospital, más de 128m^3/día.

Antes de usar el agua en los fluxores fue necesario su análisis para estimar si el mecanismo o las tuberías podían verse afectadas, sufrir algún tipo de corrosión o incrustación calcáreas. En nuestro caso, tras varios análisis no llegamos a un resultado claro en cuanto al carácter incrustante o corrosivo del agua del pozo, solo sabíamos que tenía una dureza muy elevada y valores muy altos de cloruros y sulfatos, además era posible que arrastrase partículas sólidas pequeñas.

Para eliminar las partículas se cuenta con el gran tamaño del aljibe (550m^3) para provocar su sedimentación ya que entre el extremo por donde entra el agua y el que alimenta al grupo de presión de fluxores hay nada menos que 36 m de distancia. En el caso del agua procedente de los paneles evaporativos se ha instalado un filtro auto-limpiable de 50µm, ya que en este caso es posible que el agua arrastre sólidos no sedimentables, como pequeños trozos de celulosa procedente de los paneles adiabáticos.

Para reducir la concentración de cloruros y sulfatos, se ha descartado la instalación de un equipo de ósmosis inversa, ya que no sólo supondría un elevado coste de inversión y consumo eléctrico, sino que además, esta manera de trabajar sería contradictoria con nuestro objetivo puesto que se debería tirar al menos un 40% del agua como rechazo.

Ante esta situación, para asegurar la viabilidad del uso del agua de los paneles evaporativos en los fluxores se realizó una simulación comprobando si la dureza del agua, o cualquier otro elemento disuelto o arrastrado del pozo, deterioraba su mecanismo. Para ello se ha fabricado un pulsador mecánico que provocaba la descarga del fluxor de manera cíclica. Este fluxor estaba alimentado con agua de pozo que previamente había pasado por los paneles evaporativos.

El actuador ha repetido ciclos de 30 segundos y mantenido el fluxor descargando agua durante 3 segundos. Considerando un uso diario de 12 descargas, la instalación se verificó para una vida no menor de 10 años (43.800 descargas). Las siguientes figuras muestran el dispositivo de simulación que se diseñó para esta prueba.

Después de más 47.000 disparos no se apreciaba ningún tipo de deterioro del fluxor, continuando actuando y cerrando con una perfecta estanqueidad. Se repitió la prueba con otro fluxor obteniendo igualmente un resultado satisfactorio (figura 3).

La implantación de esta medida implicó acondicionar un aljibe sólo para la

Mecanismo de prueba de fluxores.

Contador de ciclos de descarga.

Figura 3.

red de fluxores así como independizar el colector de esta red ya que estaba unido con el de consumo humano del hospital.

Actualmente la red de fluxores se alimenta en verano del sobrante de los paneles evaporativos y en invierno directamente del agua del pozo.

Otras formas de reutilizar el agua: Circuito de llenado de calderas

El rechazo de la segunda etapa de ósmosis de la planta de diálisis es un agua bastante buena para su uso en el circuito primario de calefacción, principalmente por estar exenta de dureza, la cual se eliminó en la etapa previa a la primera ósmosis mediante resinas de intercambio iónico. Tampoco tiene iones de hierro, la concentración de iones cloruro es menor que la de agua de red y su pH es ligeramente ácido. Por tanto se podría recoger suficiente cantidad para usarse posteriormente en las reposiciones habituales del circuito de calderas. El ajuste de pH final e incluso la aportación de aditivos se harían en la sala de calderas, directamente en circuito cerrado.

El ahorro que se produciría al recoger el agua para calderas es difícilmente cuantificable ya que sus efectos generalmente serán a medio y largo plazo. En las calderas donde se produce un aumento de la temperatura del agua, no habría incrustaciones de cal, por lo que se conseguiría un ahorro energético al favorecer la transferencia de calor. Además no sería necesaria su limpieza y desincrustación.

Disminución de la carga contaminante de los residuos

Las aguas residuales del hospital, antes de su vertido al río Pisuerga, son tratadas en la EDAR de Valladolid. El coste de esta depuración está especificada en la factura mensual y además se toman muestras para una eventual penalización en caso de superar ciertos valores a través del factor K. Este factor se calcula cada mes en función de la medición de varios parámetros químicos: Demanda química de oxígeno (DQO), sólidos en suspensión (MES), Nitrógeno total (N) y Fósforo (P).

Separadora de grasas de la cocina del hospital.

Separadora de grasas para la cafetería del hospital.

Figura 4.

Con el fin de reducir la carga contaminante del agua del hospital, se estudiaron caudales y se hicieron análisis de diferentes puntos de vertido, llegando a la conclusión que los puntos más contaminantes según estos parámetros eran la cocina (prepara 600 desayunos, comidas y cenas diarias) y la cafetería del hospital (que también cuenta con cocina propia).

Se instalaron unos un decantadores-separadores de grasas adecuados al volumen de estas dos cocinas (más de 8m^3 de volumen el de cocina y 4m^3 para la cafetería). Esta medida mejoró claramente la calidad de vertido del agua del hospital (figura 4).

Resultados obtenidos

Considerando las condiciones de funcionamiento del hospital a partir del año 2011 en el que habíamos estabilizado el consumo en unos 320m3/día, las medidas implementadas han supuesto lo siguiente:

– Reciclado del agua de rechazo de la 2ª etapa de la planta de diálisis: Ahorro de 21.600 litros /día.

– Recuperación del agua de rechazo de la 1ª etapa de la planta de diálisis: Ahorro de 15.000 litros/día.

– Recuperación del agua de los paneles evaporativos en verano para la red de fluxores: Ahorro de 120.000 litros/día durante los meses de verano.

– Captación propia para paneles evaporativos, fluxores y riego: Si bien esto no se debe contabilizar como ahorro en consumo de agua del hospital, sí que supone un ahorro económico al no proceder de la red de abastecimiento municipal.

– Eliminación de las penalizaciones por carga de contaminación en vertidos.

Por último, destacar como dato representativo que en el mes de marzo de 2016 el consumo de agua procedente de la red municipal de abastecimiento fue de **180m^3/día** de media.