

EL ABC DE LA ADECUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA PARA DIALISIS. PRETRATAMIENTO Y OSMOSIS INVERSA

En las notas publicadas anteriormente hemos hablado de la adecuación bacteriológica del agua de dializado, por medio del ozono, post osmosis inversa, como así también del mantenimiento estéril de las instalaciones (loop de distribución), en contacto con el agua posterior a dicho equipo.

En la presente nota nos abocaremos al pretratamiento y osmosis inversa, manteniendo el concepto, de que estamos tratando agua endovenosa y que debemos considerarla como un medicamento.

Introducción

Al ver una Planta de tratamiento de agua para diálisis, en lo referido al tratamiento fisicoquímico, es habitual observar una bomba presurizadora inicial, seguida de una serie de filtros de lechos tales como, profundidad (arena), Carbón activado, Resina aniónica (ablandador y, eventualmente, resinas catiónicas selectivas (para secuestrar nitratos), todos estos elementos son indefectiblemente previos a un Equipo de osmosis inversa, en el que se disponen una serie de membranas, generalmente poliamídicas, alimentadas por una bomba de alta presión.

Se pueden encontrar variantes respecto de los dispositivos analógicos y/o digitales de registro y control de parámetros, tales como presiones, caudales, conductividades, etc., pero en general el esquema es el descrito anteriormente.

Con conocimiento de causa, al estar en contacto con otras Industrias, les cuento que este esquema no varía del que pueda encontrarse, por ejemplo: en la Industria química para la fabricación de cualquier producto que requiera agua desmineralizada, o bien en la fabricación de la mal llamada agua destilada que nos venden en cualquier Estación de Servicio para el circuito de refrigeración de nuestro vehículo.

Ahora bien, uno podría pensar entonces que ésta es la única forma de tratar un agua para reducir sus iones en valores que promedien el 99%. El sentido de esta nota es desarrollar otras alternativas de adecuación fisicoquímica, que de ningún modo intentan desacreditar los tratamientos convencionales, porque de hecho han demostrado a través del tiempo que cumplen con su función desde el punto de vista químico.

La idea es plantear alternativas particularizadas para la adecuación del agua de hemodiálisis, ya que nuestros desarrollos están direccionados a esta aplicación, teniendo como eje los conceptos descriptos anteriormente, respecto de considerar a esta agua como un medicamento, dado que el 95% de lo que va a interactuar con la sangre a través del filtro de diálisis es agua. (sobre dicho concepto se desarrollaron las anteriores notas).

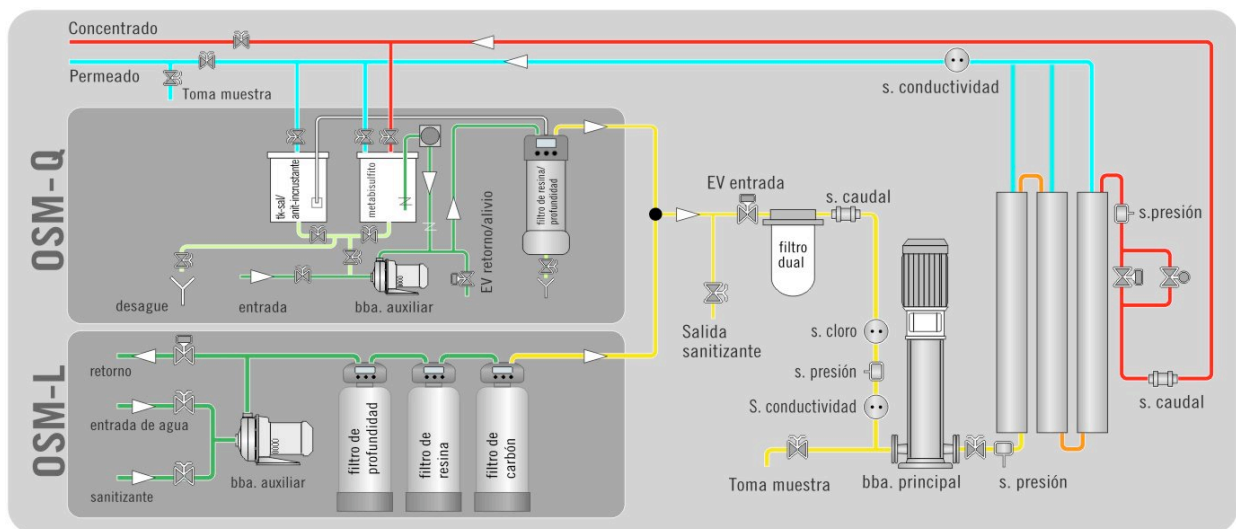
Muchos de los que lean esta nota se encontrarán que estamos describiendo el proceso que están utilizando, ya que no hablaremos de una etapa de desarrollo sino desde la experiencia que nos ha dado la aplicación en más de 80 casos en nuestro país, y una cantidad considerable en otros países, tratando aguas de características absolutamente disímiles.

Por último, en esta etapa introductoria quiero plasmar un concepto, que generalmente no lo relevo en hemodiálisis, dado que al tratamiento de agua se lo considera como una unidad

integral, dicho concepto es que **todo lo previo a la osmosis inversa tiene como única función proteger las membranas de dicho Equipo**. Esto parece elemental, pero si contásemos con membranas a costos aceptables que soportasen en distintos rangos de concentración y obviamente, rechazasen; los sólidos en suspensión, las partículas coloidales, el cloro y las cloraminas, los carbonatos, los nitratos, todos los iones y partículas descritas en un porcentaje del orden de un 99%, les aseguro que no sería necesario ningún tipo de pretratamiento y solo se dispondría de un Equipo de osmosis inversa de simple o doble paso según la conductividad y composición iónica del agua a tratar.

Pretratamiento Físico-Químico

A continuación se muestra un diagrama funcional, con dos alternativas de pre-tratamiento, dicho diagrama será la referencia para desarrollar los conceptos sobre los posibles esquemas de pre-tratamiento y osmosis inversa.



Como ya se menciona en el texto introductorio y puede observarse en el diagrama de proceso, hay como mínimo, dos pre-tratamientos posibles, previos al sistema de osmosis, con ciertas variantes. La elección del sistema más conveniente, dependerá básicamente de las características del agua a tratar.

Reitero que conceptualmente, todos los elementos previos a las membranas de osmosis, tienen por único objetivo protegerlas de incrustaciones y/o roturas, debe tenderse al mínimo pre-tratamiento para lograr este objetivo, ya que el producto final será agua endovenosa, y el tratamiento debe ser lo mas sanitario posible, con el propósito de limitar todos los puntos que favorezcan el desarrollo bacteriano, como así también, lograr mayor eficiencia en los procesos de sanitización.

A continuación se describen todos los elementos involucrados y la función que los mismos cumplen en el proceso:

-Bomba presurizadora auxiliar, alimentada por agua de red o profundidad, con una presión de alimentación mínima, de 500 grs/cm². Esta bomba es común a los dos sistemas de pre-tratamiento.

-En el caso del pre-tratamiento químico, se dispondrán dos tanques de un volumen mínimo de 50l. con control de nivel y bombas dosificadoras para inyectar en la impulsión de la bomba auxiliar, metabisulfito de sodio y anti-incrustante. Esto marca una diferencia notable con las plantas de tratamiento de agua tradicionales ya que se reemplazan los filtros de carbón y resina por las dosificaciones mencionadas, generando de este modo un circuito más limpio y directo hacia las membranas de Osmosis inversa., con menores probabilidades de contaminación y mayor facilidad y eficiencia en las sanitizaciones.

El metabisulfito de sodio en proporciones precalibradas según el agua a tratar recombina el cloro libre y cloraminas según se indican en las siguientes ecuaciones:



El anti-incrustante es un poli acrilato fosfatado, de alto peso molecular, que captura por afinidad química iones tales como: calcio, magnesio, hierro, aluminio, sílice, etc.; evitando la precipitación y consecuente incrustación de las membranas de ósmosis inversa, dado el tamaño de estas moléculas se asegura el rechazo de las mismas por la vía del concentrado de las membranas. Ambos productos están certificados por la FDA (Food and Drug Administration de los EE.UU.).

La aplicación de metabisulfito versus carbón activado, traen asociadas ventajas y desventajas en ambos casos, resulta un tema amplio y técnicamente muy específico, para que las propiedades de cada uno de ellos sea desarrollada en la presente nota. Mas allá de esto quiero comentar que nuestra experiencia en el uso de ambos sistemas, mas toda la bibliografía disponible y otras experiencias, nos hacen concluir que el metabisulfito como reductor de cloro y cloraminas, asociado a un sensor de cloro residual on-line, resulta ser mas conveniente para la adecuación físico-química del agua de diálisis.

Aprovecho a comentar que estamos en etapa de desarrollo de un sistema de lámpara de irradiación en la gama amarilla, para la reducción del cloro libre y cloraminas, asociado al mismo sensor de cloro on-line que ya desarrollamos y estamos utilizando, que de funcionar correcta y confiablemente, seria un método superador incluso del metabisulfito.

La aplicación de anti-incrustante dependerá del tipo de agua a tratar, altas concentraciones de partículas coloidales, generalmente presentes en aguas de tipo superficial (provenientes de ríos, lagos, diques, etc.), no son compatibles con esta aplicación. En estos casos la aplicación de resina catiónica fuerte (ablandador) resulta más recomendable. Cabe aclarar, que aguas de alta dureza, valores del orden o superiores a 200 mg/Lt de Carbonato de calcio, no eliminan el uso de anti-incrustante, por el contrario, en estos casos el poli acrilato se encuentra con mayor concentración de iones para realizar la recombinación química.

-La otra alternativa de pre-tratamiento es el tradicional: tren de filtros de lechos de profundidad (arena o multimedia), carbón y resina catiónica fuerte (ablandador), y ante la presencia de nitratos superiores a 30mg/lt, es recomendable agregar un filtro desnitrificador con resina aniónica selectiva para nitratos, si es que no se cuenta con doble paso de osmosis. Más adelante se desarrollará este punto.

Tratamiento físico

-Primero debe disponerse una E.V. (electro válvula) de entrada que habilita el paso de agua mediante un comando temporizado electrónicamente.

-Para el tratamiento físico, o sea, la retención de sólidos en suspensión, para evitar que los mismos se impacten en las membranas de osmosis, se puede considerar dos alternativas, dependiendo de la cantidad de sólidos en suspensión del agua a tratar.

- filtro de arena (promedio de partículas filtradas 30 mic) o multimedia compuesto por grava, garnet, arena fina y antracita de mayor eficiencia (promedio de partículas filtradas 10 mic) y con una actividad adicional respecto de la retención y posterior remoción por contra lavado de partículas coloidales.
- El paso anterior puede evitarse si la concentración de sólidos en suspensión no es elevada, como ocurre generalmente en las aguas de red o profundidad (perforaciones). La alternativa es un filtro de micro fibras de polipropileno con densidad progresiva desde el diámetro externo hacia el interno, que retiene un espectro de partículas desde 25 mic hasta 1um, dependiendo del elemento filtrante que se seleccione. Esta etapa permite reemplazar un tren de filtrado y el filtro de profundidad en la gran mayoría de las aguas a tratar.

Osmosis Inversa simple paso, medición de parámetros operativos

A continuación se muestra un diagrama funcional, que resulta ser una extracción del diagrama general presentado anteriormente. Aquí nos abocaremos a desarrollar la etapa de osmosis inversa, solo anteponiendo la etapa previa de filtrado de partículas.



Esta etapa deberá ser asistida con agua pre-tratada con un caudal acorde a su dimensionamiento y una presión superior a 0.5 Bar.

Antes de que el agua ingrese a la bomba principal, previo paso por el filtro de partículas, deberán medirse: la conductividad del agua de alimentación, la presión de alimentación, el caudal de alimentación, el cloro de entrada por medio de un ORP y una electrónica desarrollada para tal fin. Resulta muy importante tener una medición on-line del cloro residual, post tratamiento de retención/recombinación del mismo, independientemente de cual sea dicho tratamiento, dado que las membranas de osmosis inversa poliamídicas, que son las utilizadas, soportan máximo 0,1 ppm de cloro, produciéndose un rápido deterioro de las mismas ante mayores concentraciones. Si esto ocurre puede pasar al permeado, este y otros iones indeseados para el agua de dializado, y por supuesto el consecuente costo de reposición de las membranas.

En esta etapa también deberá disponerse un toma muestra sanitario, con la posibilidad de ser flameado, o sea de acero inox, para la extracción de muestras de agua pre-tratada. En el caso de contarse con filtros de lechos, es recomendable agregar un toma muestra de dichas características entre cada uno de estos.

A la salida de la bomba principal (se recomienda el uso de bombas multicelulares y no de desplazamiento positivo, tipo Procom, ya que las primeras resultan ser de mas fácil regulación y menor mantenimiento), se mide la presión de ingreso a membrana; y en la línea de concentrado el caudal y la presión de dicho flujo. En la línea de permeado se mide la conductividad del producto final.

Todos los parámetros que hemos relevado por medio de sensores, podrán realizarse en forma analógica o digital. Resultan mucho mas apropiado para esta aplicación los sensores digitales, básicamente por dos motivos; el primero es que los sensores digitalizables de presión y caudal se instalan en línea sin la necesidad de generar tramos muertos de interconexión, con el consecuente riesgo de contaminación bacteriológica y química post desinfecciones, ya que resultan tramos de difícil remoción. Esto último es lo que ocurre en el caso de medidores analógicos como son los presóstatos y manómetros.

La segunda ventaja radica en que los sensores digitales nos dan la posibilidad de asociar un software desarrollado especialmente para esta aplicación, que permitirá mostrar todos los valores en forma digital e incorporar protecciones del equipo por distintas variables, que redundara en un funcionamiento mas seguro y prolongado de todos los elementos que intervienen en una osmosis inversa. Esto se ampliara en el última parte de esta nota.

La Bomba multicelular: nos dará las condiciones de presiones y caudales de alimentación de la/s membrana/s de ósmosis inversa para obtener el producto (permeado).

Hasta 5 (cinco) membranas, generalmente podrán disponerse en serie, o sea que el concentrado de la primera alimentara a la segunda y así sucesivamente, y los permeados se colectan. Existen programas de simulación, diseñados por los fabricantes de membranas, que ingresando las características fisicoquímicas del agua de ingreso a las membranas, y otros datos tales como temperaturas, presiones, etc., nos orientan sobre la disposición de las membranas, calidad y cantidad de agua a obtener.

Respecto de la producción y rechazo de una osmosis inversa, he relevado en distintas oportunidades el siguiente concepto: del agua de alimentación a la osmosis, el 50% se rechaza y el otro 50% se obtiene como producto. Este es erróneo, ya que cada membrana producirá entre el 12% y el 22% del agua que la alimente, dependiendo fundamentalmente de la composición fisicoquímica y la temperatura del agua a tratar.

Las membranas de 4" x 40", comúnmente utilizadas en las plantas de tratamiento de agua de diálisis, producirán entre 200 Lts/hs y 300 Lts/hs, dependiendo el tipo de membrana utilizada.

Se presenta una tabla solo a modo de referencia.

Cant. memb.	Q alimentación	Q concentrado	Q permeado	% producido
1	1150 Lts/hs	900 Lts/hs	250 Lts/hs	21,7 %
2	1300 Lts/hs	820 Lts/hs	480 Lts/hs	36,9 %
3	1520 Lts/hs	800 Lts/hs	720 Lts/hs	47,4 %
4	1740 Lts/hs	780 Lts/hs	960 Lts/hs	55,2 %
5	1960 Lts/hs	760 Lts/hs	1200 Lts/hs	61,2 %

En esta tabla se muestran valores conservadores, otro concepto importante a tener en cuenta además del porcentaje mínimo y máximo de producción de una membrana, ya comentado, es la velocidad de circulación del agua por el concentrado. Teniendo en cuenta que Q (caudal) = A (área) \times V (velocidad), y el área de una membrana es una constante, el cambio de caudal será directamente proporcional al cambio de velocidad, por lo cual nos seguiremos refiriendo a caudales. El mismo no debería ser menor a 700 Lts/hs, ya que con velocidades menores estaríamos favoreciendo la deposición de minerales y eventual carga orgánica en el lado de concentrado de la lamina poliamídica de la membrana, pues no lograríamos un flujo dinámico con suficiente fuerza de arrastre.

Respecto de la velocidad máxima de circulación de agua por el concentrado los rangos varían según el tipo de membrana y hay distintos criterios al respecto, igualmente podemos tomar como valor máximo 2000 Lts/hs, ya que caudales mayores provocarían altas velocidades de circulación por el concentrado, que se traducirían en una fuerte caída de presión y una erosión prematura de las laminas poliamídicas de las membranas.

Todos los conceptos planteados, respecto de los caudales, velocidades y % de producción son aplicables para un arreglo de las membranas en serie, y de un solo paso, ya que para un segundo paso de osmosis, el agua de alimentación tendrá un muy bajo contenido de minerales. Esto nos permitirá trabajar con menores caudales de alimentación y mayores de producción, ya que la velocidad mínima de circulación por el concentrado deja de ser tan crítica dado que la deposición de minerales y/o carga orgánica, de producirse, resultara ser muy baja, y no nos provocara incrustaciones indeseadas en las membranas.

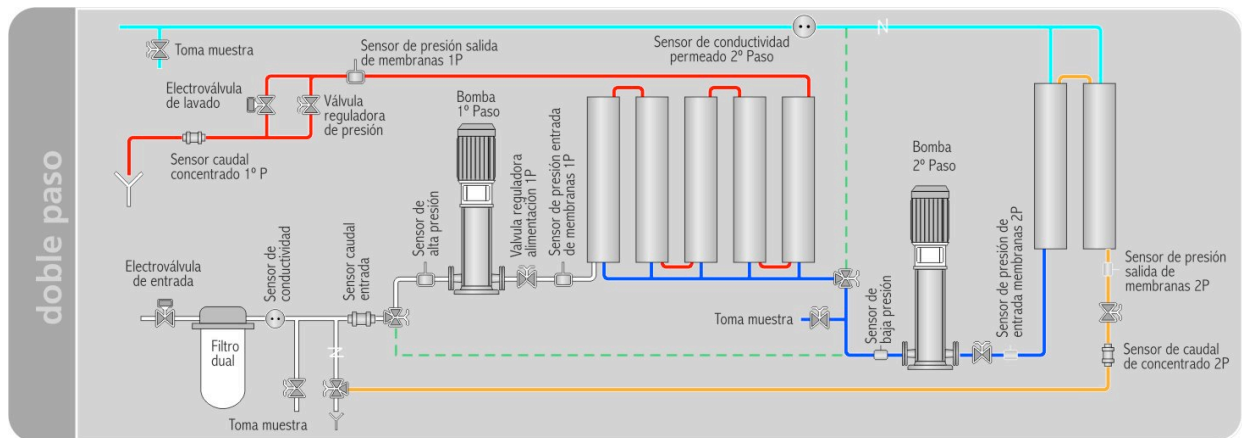
Por último respecto de este tema, quiero comentar que en un arreglo de membranas en serie, la velocidad crítica máxima, principalmente la sufrirá la primera membrana y la velocidad crítica mínima, la última.

Osmosis Inversa doble paso

Antes de desarrollar técnicamente este punto, me permito comentar, que se está relevando a través del tiempo un crecimiento de la concentración iónica de las napas de las distintas regiones, que se traduce en un aumento de la conductividad como parámetro global. Este fenómeno está incidido por diversos motivos que no trataremos en esta nota.

Por otra parte la hemodiálisis a nivel mundial, tiende a mejorar los Standard de calidad físico-química y bacteriológica del agua de entrada. Los dos conceptos comentados cada vez tienen una mayor brecha entre sí. Para poder cumplir y superar los Standard actuales en relación a la calidad físico-química, la alternativa técnica más viable resulta ser, por ahora el doble, paso de osmosis.

A continuación se muestra un diagrama de flujo de una osmosis doble paso:



El caudal de alimentación del segundo paso será el permeado del primero, por lo cual resulta muy importante el dimensionamiento del equipo en cuanto a la cantidad y el tipo de membranas colocadas en cada uno de los pasos. Este permeado es tomado por una segunda bomba multicelular del mismo modelo que la del primer paso con el objetivo de unificar repuestos y minimizar el mantenimiento. También puede trabajarse con una sola bomba de mayor presión, pero resulta más seguro y equilibrado el esquema de doble bomba.

Todos los parámetros relevados: presiones, caudales y conductividades, son coincidentes con los mencionados para el primer paso, tanto en las características de los mismos como en la disposición.

Un concepto interesante resulta ser la reutilización del concentrado del segundo paso, ya que la calidad físico-química de esta agua resulta ser mejor que la de alimentación del primer paso. Con lo cual, con el aporte de este flujo por medio de una recirculación con válvula anti-retorno como puede observarse en el diagrama, mejoraremos la calidad de agua de entrada, y en consecuencia el total de agua consumido no variara demasiado, y hasta podrá ser menor, respecto de una osmosis de simple paso, para iguales caudales de producción.

Respecto a los consumos de agua, haremos el siguiente ejercicio; nos referiremos a la tabla de caudales y porcentajes de producción respecto al agua de alimentación presentada para osmosis de simple paso de 1 a 5 membranas. Observamos que para 5 membranas, que es equivalente a la cantidad de membranas del primer paso, en el diagrama de flujo presentado para la osmosis doble paso, el caudal de alimentación era de 1960 Lts/hs, para obtener un producto de 1200 Lts/hs. Ahora si con estos 1200 Lts/hs, vamos a alimentar el segundo paso, al tratarse de agua de mas bajo contenido de minerales, las membranas sin duda producirán en promedio, un mínimo de 300 Lts/hs cada una, o sea un producto final de 600 Lts/hs, por lo cual el rechazo del segundo paso resultara ser 600 Lts/hs, que retornaran a la entrada, de este modo al caudal de alimentación de 1960 Lts/hs le restamos estos 600 Lts/hs, nos dará un caudal de agua cruda a tratar de 1360 Lts/hs para obtener un producto final de 600 Lts/hs.

En conclusión, si comparamos un sistema de simple paso con uno de doble paso, respecto de los caudales utilizados para obtener la misma cantidad de producto, resultará ser más eficiente el sistema de doble paso.

Por ultimo, un paso simple de osmosis podrá rechazar en promedio un 98 % a 99 %, referido esto a conductividad del agua de alimentación, lo refiero a conductividad ya que hay iones como el nitrato de muy bajo peso molecular, que las membranas comúnmente utilizadas rechazan en un promedio del 90 %. De aquí, que cuando la presencia de nitratos en el agua

de entrada es superior a 20 mg/Lt, se dificulta obtener en el permeado concentraciones menores a 2 mg/lit, que es lo que exigen las normas vigentes. En este caso, hay que recurrir a resinas selectivas para nitratos, o bien a un doble paso de osmosis, que por supuesto nos dará una reducción de todo el resto de los iones, ya que para un sistema de doble paso el porcentaje de rechazo referido a conductividad del agua de entrada resulta ser superior al 99,5%.

Diseño, Métodos Constructivos y Materiales Constitutivos

En este punto solo pretendo dejar plasmado el concepto de que es muy importante partir de un diseño, utilizar materiales y métodos constructivos, que aseguren la biocompatibilidad, del Equipo resultante con su aplicación.

Recordemos una vez más que estamos produciendo agua endovenosa, y es justamente en esta etapa de pretratamiento y osmosis inversa donde debemos comenzar a cuidar los detalles. Me permito una reflexión; *la suma de los detalles hace a la calidad, y la calidad no es un detalle.*

Un diseño equilibrado y métodos constructivos acordes, darán como resultado elementos y circuitos en contacto con el producto, que reduzcan al máximo los puntos que favorezcan el desarrollo bacteriano y el depósito de minerales, como resultan ser las superficies con rugosidades mayores a 0,8 RA , equivalente a 0,2 mic.

Por otra parte, deben tratar de evitarse los puntos de baja o nula velocidad de circulación de agua, es recomendable que la misma sea siempre superior a 1,4 m/seg. A partir de aquí, se asegura una remoción dinámica ya sea de minerales o carga orgánica. Esto en ciertos casos no resulta posible, por ejemplo en los filtros de lecho, de no poder evitarse.

Respecto de la selección de los materiales, es importante utilizar materiales que no sufran degradación con el tiempo, deberá tenerse en cuenta que dichos materiales tendrán también contacto con distintos productos químicos, con concentraciones variables, sobre todo durante los procesos de desinfección. No es un buen concepto que cuando el material se envejezca y/o se fragilice sea recambiado, ya que durante ese proceso seguramente ha liberado distintos subproductos al agua. En muchos casos, aún no se conoce la incidencia que pueda tener esto en un paciente de diálisis. Voy a citar un caso de un material comúnmente utilizado en diálisis, sobre todo en los tanques de stock del agua de dializado, al menos en lo que respecta a la adecuación del agua; dicho material es el polietileno. El método constructivo para la fabricación de tanques es el roto moldeado, en dicho proceso se produce una polimerización, que le da estructura al material, cuando este material es atacado por oxidantes, en forma periódica, que bien pueden ser los utilizados en diálisis, tal como Hipoclorito de Sodio, Acido Peracético, Ozono, etc., se produce un proceso de oxidación, que provoca una despolimerización, en este proceso se liberan subproductos, y en este caso uno de ellos resulta ser el oxido de etileno, sobre el cual hay suficiente experiencia y bibliografía sobre sus efectos nocivos.

Respecto de lo ultimo comentado, no esta en mi animo generar preocupación, ya que el tema es mucho mas profundo y extenso del que pueda desarrollarse en esta nota, debido a que ni siquiera sabemos las dosis que estamos generando de este subproducto, y si algo de ello esta llegando al paciente. Pero el concepto que pretendo dejar plasmado es que ante la falta de certeza, deberíamos usar materiales que ya este comprobado que no sufran degradación.

Operación, Registros y Alarmas

Todos los conceptos hasta aquí descriptos, cuando se traducen a un Equipo es importante que sean de fácil operación y logren una buena relación ergonómica con quien los va a utilizar. Con lo cuál es importante que los Equipos sean operados desde un panel central y que todos los parámetros relevados como presiones, caudales, concentración de cloro, conductividades, rechazo porcentual etc., puedan visualizarse en un display digital.

Todos estos parámetros mencionados deberán estar integrados por medio de un software, que permite proteger al equipo por valores mínimos, máximos y diferenciales de dichos parámetros.

En el display también podrán indicarse acciones de mantenimiento preventivo como el recambio de elementos e insumos, como así también acciones de sanitización, lavados químicos y servicios técnicos por acumulación de horas.

La posibilidad de controlar todos los parámetros y acciones descriptas, nos permitirá mantener una excelente calidad de producto en el tiempo, como así también reducir costos operativos y de mantenimiento.

Por ultimo; les comento que mayor información sobre los conceptos planteados a lo largo de esta nota, ya sea traducida en la aplicación tecnológica de los mismos a través de nuestros Equipos, o bien como información general, podrán encontrarse en nuestra pagina Web www.fgingeneria.com.ar en las secciones de; Equipos, Manuales y Publicaciones.

Ing. Hernán Yannuzzi
fg ingeniería