

RESUMEN

Con este artículo se espera dejar adecuadamente aclarado, que resulta **fundamentalmente** importante realizar **una adecuada selección de membranas de Osmosis Inversa y las condiciones bajo las cuales estas van a operar**; Es obvio que esta selección se tendrá que efectuar, prioritariamente en función de la calidad del agua que será procesada en planta potabilizadora (Por lo cual, es sumamente importante que previamente se realice una detallada y muy cuidadosa **caracterización** de dicha agua).

En este artículo se reportan los resultados, sumamente alentadores, que se consiguieron con unas membranas de Tri Acetato de Celulosa, en una **singular** configuración “Fibra hueca”, conocido comercialmente como las “Hollosep” HM10255FI (de fabricación Japonesa), que fueron evaluados en paralelo con las membranas de la potabilizadora LP3 que procesan agua de mar captada mediante un sistema de captación superficial abierta (“Open Intake”) que presenta una altísima contaminación microbiológica.

Palabras claves:

Hollosep, fibra hueca, Osmosis Inversa, pretratamiento, plantas desaladoras de agua de mar, Condiciones de operación.

ABSTRACT

keywords:

Hollosep, Reverse Osmosis, Hollow fiber, Seawater desalinations plants, Pre Treatment, Operation conditions.

VENTAJAS DE UNA ADECUADA SELECCIÓN DE MEMBRANAS DE OSMOSIS INVERSA, ASÍ COMO DE LAS CONDICIONES OPTIMAS DE OPERACIÓN, PARA UN EFICIENTE FUNCIONAMIENTO DE CUALQUIER PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR CAPTADO EN POZA ABIERTA.

Por: A. Muñoz Elguera (EMALSA – SEMAI/ULPGC)

Masaki Nishida (TOYOBO Co., Ltd.)

A. Gómez Gotor (SEMAI / ULPGC)

S. O. Pérez Báez (Dpto. Ing. de Procesos-ULPGC)

Sección de Medio Ambiente Industrial (SEMAI), Dpto. de Ingeniería de Procesos, Escuela Técnica y Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC). E-mail: aldomunozes@yahoo.es

1. INTRODUCCIÓN:

En el campo de las aplicaciones de las “Tecnologías de membranas”, en especial, en la potabilización del agua de mar mediante la desalación utilizando membranas de ósmosis inversa, existe en el mercado una variedad muy grande en cuanto a los polímeros con los que son fabricadas, o las configuraciones en las que son ensamblados; Pero las membranas que se han logrado imponer en el mercado mundial de la “Tecnología de la Osmosis Inversa” básicamente son: Las fabricadas en “Poliamida”, o en “Tri Acetato de Celulosa” (TAC); De configuración en “Espiral”, o en “Fibra hueca”. Cada una, con unas **“Condiciones de operación muy particulares”**, pero la diferencia fundamental entre ambas, es que la 1ra, no resiste el mínimo contacto con un biocida oxidante (NaClO , KMnO_4 , O_3 , H_2O_2 , etc), y la 2da, si tiene una altísima resistencia a dichos biocidas, que tradicionalmente se ha venido utilizando en el pretratamiento del agua de proceso, que se debe alimentar a las membranas.

Este trabajo de investigación se propone demostrar que los problemas técnicos, crónicos, de acelerado atascamiento de las membranas de Osmosis Inversa (desencadenante de todos los demás problemas técnicos), como consecuencia directa del sistema de captación del agua de mar (Open Intake), que suministra a la desaladora LP3 un agua de pésima calidad microbiológica, pueden ser superados satisfactoriamente con las membranas Hollosep HM10255FI, operando bajo condiciones adecuadamente formuladas.

2. ANTECEDENTES:

La planta potabilizadora “Las Palmas III”, que desala agua de mar mediante la tecnología de ósmosis inversa, consta de 6 bastidores, cada uno de dos etapas (5:3), fue puesta en servicio a fines de 1989, actualmente es explotada por la Empresa Mixta de Aguas de Las Palmas S.A. (EMALSA), quienes manteniendo la práctica tradicional, acostumbraban aplicar directamente al agua de mar, captada mediante un sistema de tipo estanque abierto (Open Intake), una **dosificación continua** de **aproximadamente 50 ppm** de Hipoclorito de sodio- NaClO (por ser más barato y de fácil manipuleo) **en la línea de impulsión conjuntamente con los demás reactivos químicos dosificados como parte del pretratamiento al que se sometía a dicha agua antes de que sea alimentado a los bastidores.** El propósito de dicha dosificación, según los responsables actuales de la operación de la planta, era el de controlar la proliferación excesiva de macroorganismos en el agua de mar, a lo largo del proceso de potabilización (incluso en el interior de los módulos de membranas); Es necesario resaltar, que el agua de mar que era alimentado a la planta, ya tenía una elevadísima contaminación microbiológica, como consecuencia directa del sistema de captación superficial tipo estanque abierto con que cuenta dicha planta. Pero, como en los bastidores de la planta están instalados unas membranas de “Poliamida”, al final del pretratamiento (a la salida de los filtros de seguridad), se efectuaba una **dosificación de Metabisulfito** (reactivo fuertemente reductor), con el propósito de **neutralizar completamente el cloro residual** en el agua de proceso antes de que sea alimentado a los módulos de membranas. **Desde mi punto de vista personal y experiencia, esta última acción es totalmente contraproducente, por que en lugar de preservar las membranas de un proceso de “Biofouling”, los exponen a un proceso mucho más severo y acelerado de atascamiento biológico.** Por esta razón, mi opinión personal, es que sería mucho más lógico y coherente utilizar una membrana resistente al cloro (u otro biocida similar) para procesar este tipo de agua, ya que el biocida dosificado al agua de mar en la fase de pretratamiento estaría controlando el problema microbiológico a través de todo el proceso de potabilización, incluso al salir junto con la salmuera de rechazo, ejercería un control más efectivo del “Biofouling” en el interior de los módulos de membranas.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:

En esta sección describiré concretamente el proceso experimental ensayado:

3.1 Descripción de la planta experimental aportada por “Toyobo Co., Ltd.”

El procedimiento experimental fue llevado a cabo en una planta experimental, que fue montado por la empresa Japonesa “TOYOBO Co., Ltd.”, junto a las instalaciones de la planta potabilizadora de Agua de mar “Las Palmas III” (LP3), para que en ella se efectúe la evaluación de sus membranas “Hollosep HM10255FI” fabricados en Tri Acetato de Celulosa (TAC) y en configuración “Fibra hueca”. Esta era una planta compacta, constituida por 9 bloques, localizados en la siguiente secuencia:

- 1) Un módulo transformador de electricidad, para regular el suministro eléctrico.
- 2) Una unidad de control automático del cloro residual, y sistema de dosificación.
- 3) Un tanque para regular el caudal de agua a la planta, con control automático de nivel.
- 4) Una Bomba de alimentación, con capacidad de bombeo de $108 \text{ m}^3/\text{día}$, a 5 bar.
- 5) Un panel eléctrico, con botones de marcha o parada de las bombas, y un autómatas programable que controla un segundo sistema completo de dosificación química.
- 6) Un tanque de filtración gruesa, provisto de una placa de acero perforado (5 mm).
- 7) Dos tanques provistos de cartuchos filtrantes de 10 micras nominales.
- 8) Una Bomba de Alta Presión, con capacidad de bombear $108 \text{ m}^3/\text{día}$ a 70 bar.
- 9) Un tubo de presión provisto de 2 elementos de membrana que operan en serie.

3.2 Características Técnicas de las membranas Hollosep HM10255FI.

- El módulo pesa 450 Kg, tiene 15 pulgadas de diámetro y 3 m de longitud, contiene 2 elementos de membrana, cada uno de 10 pulgadas de diámetro y 1 m de longitud.
- Cada módulo tiene una capacidad de recuperación o conversión de 45 a 50 %.
- Cada módulo tiene una capacidad de producción de 40 a 45 m³/día de permeado.
- Las membranas tienen un rechazo de sales del 99.2 al 99.4 %.
- La presión de operación óptima de estas membranas está entre 55 y 70 kg/cm².
- La temperatura de operación de estas membranas está entre los 5 y los 40 °C.
- El rango de PH recomendable para su operación está entre 3 y 8.

Las Ventajas Técnicas y Operativas, más importantes, de estas membranas son:

- Muy alta tolerancia al cloro, acepta dosificaciones continuas de NaClO (>5 ppm).
- Debido al particular arroyamiento helicoidal de las fibras huecas en torno a un tubo central perforado, generando una estructura tridimensional entrecruzada ligeramente abierta, muy favorable para promover una elevada turbulencia del agua de proceso que pasa a través de ellas; Esta característica tecnológica impide que cualquier tipo de material ensuciante pueda quedar retenido en su interior, por ello se le asocia unas excelentes características anti “Scaling”, anti “Fouling”, y anti “Biofouling”.

3.3 Fases de ejecución del proceso de evaluación de las membranas de Toyobo.

El ensayo experimental formulado para realizar la evaluación de la performance de las membranas “Hollosep HM10255FI”, necesariamente implicaba la utilización de dicha membrana en la desalación de la misma agua de mar, con alta contaminación microbiológica, que procesa la planta potabilizadora LP3; Por ello, el agua que se alimentaba a la planta experimental, se tomaba de la tubería que conduce el agua desde el tanque de almacenamiento de agua filtrada hacia los filtros de precapa, es decir el agua que había recibido todas las dosificaciones químicas (H₂SO₄, NaClO, y Cl₃Fe), se había coagulado, floculado, y filtrado en los filtros de arena de la planta comercial. Esta agua de alimentación a la planta experimental presentaba las siguientes características:

- PH del agua de alimentación, el mismo de la planta comercial LP3, en torno a 7,1.
- La temperatura del agua de mar, promedio entre 20 y 23 °C (Junio-Octubre-1998).
- La Conductividad Eléctrica del agua, entorno a 53000 µS/cm (Junio-Octubre/98).
- El agua de mar entraba a la planta experimental con una turbidez entre 1,5 y 2 NTU
- El agua de mar entraba a la planta experimental con un SDI entre 3 y 4 unidades.
- El Cloro residual, a la entrada de la planta experimental, estaba entorno a 1 ppm, pero antes que ingrese al tanque regulador de alimentación, era reducido a 0,5 ppm por el controlador de cloro en continuo (en la 1ra dosificación de Metabisulfito).
- Finalmente el agua, antes de ingresar a las unidades de filtración (Filtro grueso de placa perforada, y filtro de cartuchos filtrantes de 10 micras nominales de porosidad), recibía una 2da dosificación de Metabisulfito para reducir a cero el cloro residual del agua que finalmente sería alimentada al módulo de membranas.

Esta evaluación se llevó a cabo en 2 etapas (o condiciones de operación), que fueron:

3.3.1.- Condiciones De Operación, De La “1ra Fase”.

Esta condiciones fueron formulados por los Técnicos de “Toyobo”, quienes básicamente establecieron las siguientes condiciones de operación:

- Caudal del agua de alimentación promedio 100 m³/día (unos 70 l/min).
- La presión del agua de alimentación al módulo, variando entre 65 y 70 kg / cm².
- La Conversión o Porcentaje de recuperación, entre el 45 y 50 %.
- “Dosificación Intermitente de Cloro” (DIC), esto se refiere a que la segunda dosificación de Metabisulfito mencionado en el acápite anterior, era suspendida durante 30 minutos cada 24 hrs, por un “Temporizador” (autómata programable), de

manera que se permita el contacto entre el Hipoclorito (0,5 ppm) y la membrana, durante 30 minutos cada 24 hrs., con el propósito de controlar el “Biofouling”.

- Caudal del agua permeada a producir por el módulo de membranas, 45 m³/día.
- La calidad del agua producto estaría aproximadamente en torno a los 300 µS/cm.
- Una pérdida de presión pequeña y aproximadamente constante menor que 1 bar.
- Que opere de manera estable, manteniendo el caudal y la calidad del permeado, así como la pérdida de presión, durante todo el periodo de evaluación, sin requerir ningún proceso de limpieza química (lavado de membranas).

3.3.2.- Condiciones Estándares De Operación, De La “2da Fase”.

Propuesto por el autor del presente trabajo de investigación, y aceptado por los Técnicos de “Toyobo”. Analizando detenidamente los resultados obtenidos en la “Primera Fase” de la evaluación de las “Hollosep HM10255FI”, desde mi punto de vista no se consiguieron alcanzar plenamente los objetivos centrales previstos, ya que en un funcionamiento bastante estable de la planta experimental, pude observar principalmente que el módulo de membranas evaluadas, aún cuando no requirió ninguna limpieza química, no cumplió la performance esperada, por que:

a).- No pudo mantener aproximadamente constante el caudal de agua producto, el mismo que fue disminuyendo ligeramente en los 4 meses de evaluación.

b).- No pudo conservar la calidad del agua producto, que aumento de 300 a 800 µS/cm.

c).- La presión de operación se tuvo que incrementar ligeramente de 65 a 67 kg/cm².

Por ello, con el propósito de corregir los errores de la 1ra etapa, manteniendo la mayoría de las condiciones de operación, propuse los siguientes 2 cambios:

1ro.- Luego de analizar el efecto del PH sobre el Índice de Langelier y el de Stiff & Davis, propuse dosificar H₂SO₄ al agua de alimentación al módulo, para regular el **PH en torno a 6,5**. Esta dosificación de H₂SO₄ se tendría que realizar con el primer sistema de dosificación (subordinado al control del analizador en continuo de cloro residual).

2do.- Tomando en cuenta los resultados de los trabajos que había realizado en la planta comercial en torno a las dosificaciones por choque, y otros aspectos relacionados con la desinfección, propuse **una dosificación continua de NaClO**. Para esto, se tendría que seguir dosificando Metabisulfito, desde el segundo sistema de dosificación (subordinado al temporizador programable), hasta mantener entorno a 0,5 ppm de cloro residual, en el agua que entrará en contacto con las membranas.

4. MÉTODOS ANALÍTICOS UTILIZADOS.

Todas las muestras fueron tomadas en frascos perfectamente limpios de 100 ml, y analizados en el laboratorio de la planta comercial, utilizando los métodos que se detallan en la tabla nro. 1 siguiente.

PARÁMETROS	MÉTODOS UTILIZADOS
CLORO RESIDUAL (ppm)	DPD , y Medidor portátil de cloro residual HACH POCKET COLORIMETER
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (µS/cm)	CONDUCTIVIMETRO: Crisson Conductimeter 525
PH Y TEMPERATURA (°C)	PH METRO: Crisson MicroPH – 2002
PRESIONES (kg/cm ²)	Manómetros de 0 a 100 kg/cm ² , para medir la presión de alimentación, y de rechazo.
PRESION DIFERENCIAL (kg/cm ²)	Manómetro de Presión diferencial de 0 a 5 kg/cm ² .
CAUDALES (Lts/min)	Caudalímetros Magnéticos, para medir caudal de alimentación, permeado, y rechazo, del módulo de membranas.

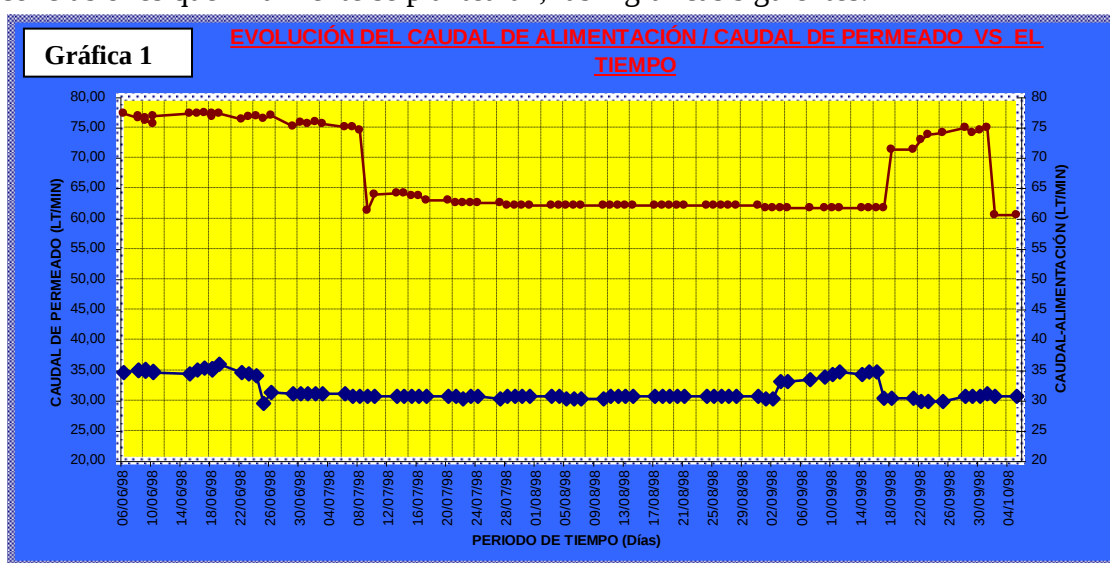
Tabla nro. 1: Métodos analíticos utilizados.

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS.

A continuación se expondrán los resultados analíticos obtenidos en cada etapa del trabajo de investigación llevada a cabo en la planta experimental de “Toyobo”.

5.1.- Resultados Experimentales De La Primera Fase:

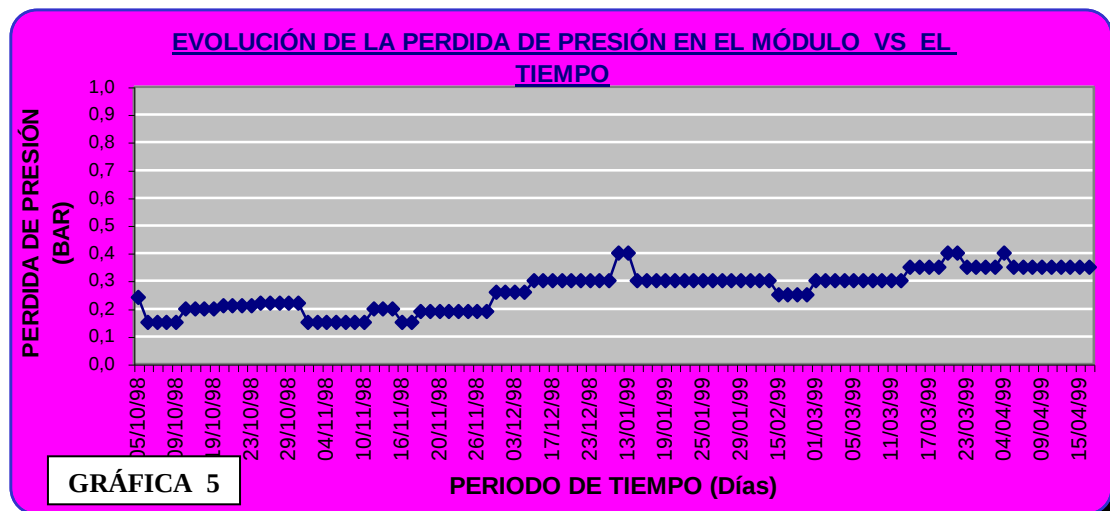
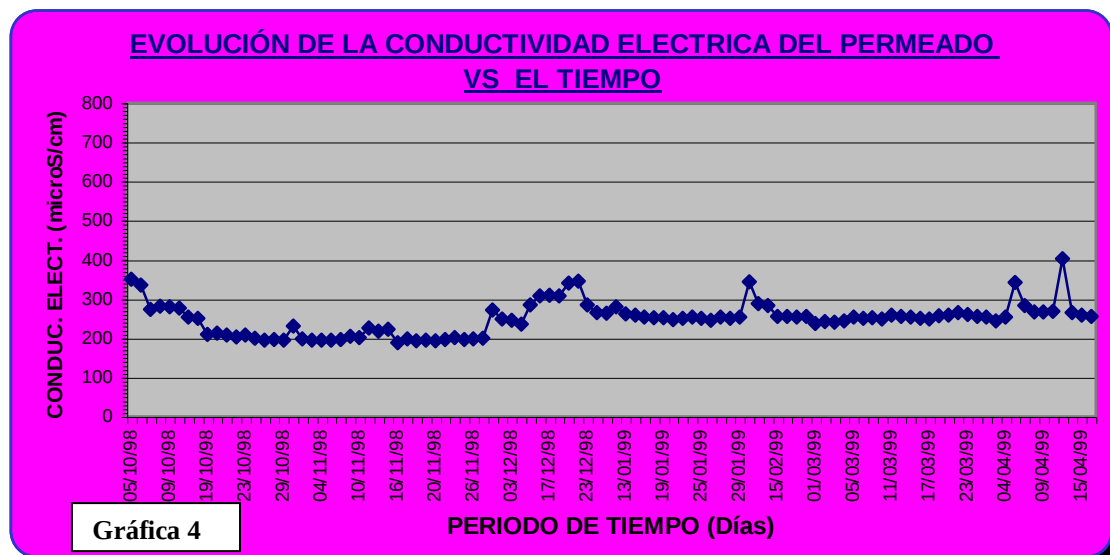
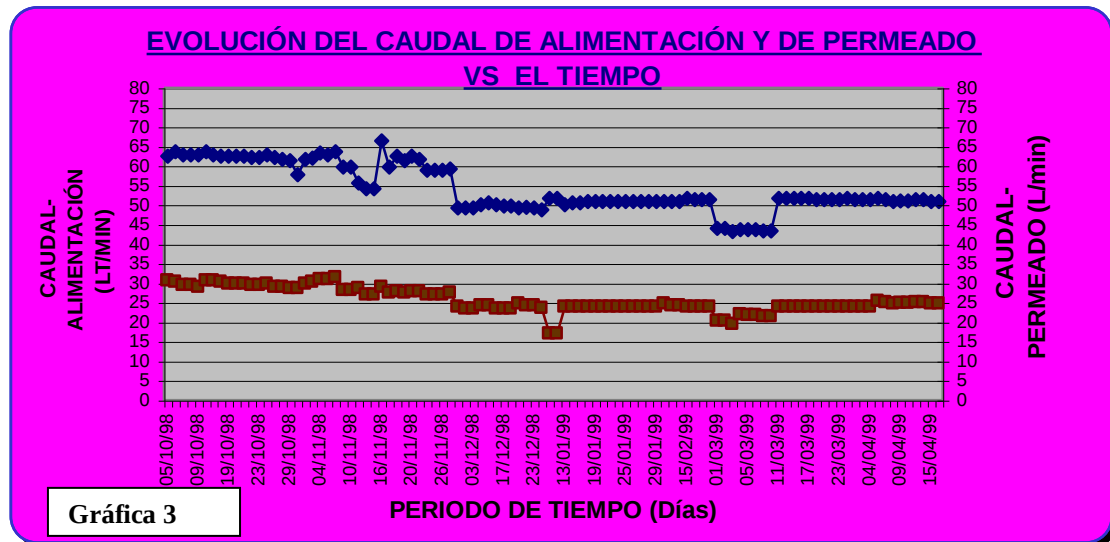
Los resultados experimentales obtenidos en esta etapa, relacionados con la evolución de la performance de las membranas “Hollosep HM10255FI”, se obtuvieron, manteniendo aproximadamente constante la calidad del agua de alimentación al módulo de membranas (PH = 7,1, dosificación intermitente de hipoclorito entorno a 1 ppm, turbidez entre 0,5 y 1 UNT, SDI entre 1 y 2); Así como las condiciones de operación de la misma (Caudal de alimentación entorno a 70 lt/min, Presión de operación en torno a 66 kg/cm², y la Conversión entre el 45 y 50%); Serán presentados mediante gráficas, ya que presentar las tablas de datos tomados diariamente, durante 4 meses, implicaría extender excesivamente este artículo, siendo los más relevantes para sustentar las conclusiones que finalmente se plantearan, las 2 gráficas siguientes:



5.2.- RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA SEGUNDA ETAPA:

Los resultados experimentales, obtenidos en esta 2da etapa (datos tomados día a día durante 7 meses de evaluación), relacionados con la evolución de la performance de las membranas “Hollosep HM10255FI”, que se muestran en las 2 gráficas siguientes, se

obtuvieron, manteniendo aproximadamente constante la calidad del agua de alimentación al módulo de membranas (PH entorno a 6,5, dosificación continua de hipoclorito entorno a 0,5 ppm, turbidez entre 0,5 y 1 UNT, SDI entre 1 y 2); Así como las condiciones de operación de la misma (Caudal de alimentación entorno a 70 Lt/min, Presión de operación en torno a 66 kg/cm², y la Conversión próximo al 50 %).



6. CONCLUSIONES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN REALIZADO.

Del análisis de los resultados experimentalmente obtenidos de la evaluación de la “Performance” del módulo de membranas “Hollosep HM10255FI”, que están presentados mediante gráficas que ilustran claramente la evolución de los parámetros que en general, reflejan de manera directa el funcionamiento adecuado o no de cualquier tipo de membrana, es decir, si dichas membranas pueden operar durante prolongados periodos de tiempo, manteniendo prácticamente constante el caudal (% de Conversión), y calidad del agua producto, así como la pérdida de presión a través del módulo; Según lo cual, puedo plantear las siguientes conclusiones, que considero más importantes:

1ro.- En términos generales, se confirma satisfactoriamente las ventajas técnicas que poseen las Hollosep HM10255FI, frente a otras membranas de osmosis inversa

Los resultados, obtenidos en la planta experimental, desalando la misma agua que procesa la potabilizadora Las Palmas III (en Gran Canaria), confirman de manera irrefutable todas las ventajas técnico-operativas (ver resumen en la tabla 2), que las Hollosep HM10255FI han mostrado, en el Oriente medio y otras regiones del mundo, como consecuencia directa de dos de sus características muy particulares de fabricación:

- ❖ El polímero del cual están fabricados (TAC), que le confiere una elevada tolerancia al Cloro (> 5 ppm); Gracias a lo cual, permite un adecuado control de los problemas de ensuciamiento biológico que se producen en el interior de otras membranas.
- ❖ El particular arroyamiento helicoidal de las fibras huecas, en torno a un tubo central perforado, que genera una estructura tridimensional entrecruzada ligeramente abierta, que propicia el predominio de un patrón de flujo altamente turbulento en su interior.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-OPERATIVAS	HOLLOSEP HM10255FI	OTRA MEMBRANA
Operación Estable y Continua	1ra Fase: Más de 4 meses 2da Fase: Más de 7 meses	Aproximadamente cada 25 días
Tolerancia al Cloro	Muy alta (> 5 ppm)	Nula (0,0 ppm)
Porcentaje de Conversión	Aproximadamente 50 %	Aproximado a 45 %
Caudal de Permeado	Aproximadamente constante	Baja rápidamente
Conductividad Eléctrica del agua permeada que produce	Altamente constante (en especial en la 2da Fase)	Sube rápidamente
Presión de Operación	Muy Constante (2da Fase)	Sube rápidamente
Pérdida de Presión	Aproximadamente Constante	Sube rápidamente
Tolerancia al “Fouling”	Sumamente alta	Escasa
Tolerancia al “Scaling”	Sumamente alta	Escasa
Tolerancia al “Biofouling”	Sumamente alta	Escasa
Requerimiento impostergable de Limpiezas Químicas	1ra Fase: Más de 4 meses 2da Fase: Más de 7 meses	Aproximadamente cada 25 días

Tabla 2: Resumen comparativo de las ventajas Técnico - Operativos

Pueden funcionar muy largos periodos de tiempo sin necesidad de ningún tratamiento y/o lavados químicos. Recomendado para plantas desaladoras con captación de agua de mar superficial abierto (OPEN INTAKE), con altísima contaminación microbiológica, o para tratamientos terciarios de aguas residuales de origen domestico. Resultaría muy interesante comprobar estos resultados, en España y Europa, a nivel de plantas desaladoras de agua de mar, de altas capacidades de producción.**2do.- En la Primera fase de “Evaluación” de las Hollosep HM10255FI.**

Como ya lo mencione, aún cuando en esta fase no fue necesario que se efectúe ninguna limpieza química, no se alcanzó la performance esperada (graf. 1 y 2), por que:
a).- No se pudo mantener aproximadamente constante el caudal de agua producto, el mismo que fue disminuyendo ligeramente en los 4 meses de evaluación.

- b).- No se pudo mantener la calidad del permeado, que aumento de 300 a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
c).- La presión de operación se tuvo que incrementar ligeramente de 65 a 67 kg/cm^2 .

3ro.- En la Segunda Fase, de “Evaluación” de las Hollosep HM10255FI.

Los resultados de esta fase, **confirman la gran importancia de seleccionar adecuadamente las “Membranas” y sus “Condiciones de Operación”**: Dosificación continua de Hipoclorito, y un PH de 6,5 del agua de alimentación al módulo, fueron suficientes para corregir favorablemente el “**Funcionamiento**” de las membranas Hollosep HM10255FI, a tal punto que se obtuvieron, en esta 2da fase, unos **resultados insuperables** (gráficos 3, 4 y 5), en lo que específicamente se refiere, a solucionar los problemas técnicos, derivados del acelerado proceso de ensuciamiento, que agobian de manera crónica la operación de la planta potabilizadora LP3, afectando severamente sus costes de operación, y disminuyendo su producción acumulada anual.

7.- BIBLIOGRAFÍA:

1. “Toyobo Hollosep for Seawater Desalination”, Technical Bulletin – RO Section, AC Operations Department, TOYOBO Co., Ltd.
2. “Hollow Fiber Configuración RO Module – HOLLOSEP, Much Experience For Desalination”, RO Section, AC Operations Department, TOYOBO Co., Ltd.
3. “Precise analytical model of hollow fiber reverse osmosis modules”, Masaaki Sekino, Journal of Membrane Science, 1993, Elsevier Science Publishers.
4. “Study of an analytical model for hollow fiber reverse osmosis module systems”, Masaaki Sekino, Desanation 100(1995), ELSEVIER.
5. “Especificación de Toyobo RO Module Test Facility in Las Palmas Plant”, Toyobo Co. Ltd, April, 1998.
6. Ridgway, H. F., 1987, “Microbial Fouling of Reverse Osmosis Membranes: Genesis and Control”, Water Micro Associates, San Diego, California.
7. “Manual de Tratamiento de Aguas para Consumo Humano, Serie: Desinfección”, CEPIS/Organización Panamericana de la Salud, Oficina regional de la Organización Mundial de la Salud, Lima-Perú, 1995.

DIRECCION DE CONTACTO:

Aldo Muñoz Elguera

Sección de Medio Ambiente Industrial (SEMAI) / Departamento de Ingeniería de Procesos / ETSII - Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).

Teléfono : 928 – 451876 (particular 928 – 226566) / Fax : 928 – 458975

E – Mail: aldomunozes@yahoo.es / secrproc@cicei.ulpgc.es

DATOS PROFESIONALES DEL AUTOR:



Don Aldo Muñoz Elguera, se gradúa como Ingeniero Químico en 1979, en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de Lima Perú; En la misma Universidad se desempeñó como catedrático de la Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera (UNI-FIQM, 1977 a 1995); Y realizó estudios del Master “Tratamiento de Aguas y Reuso de Desechos” (UNI-FIA, 1988 a 1990).

En La Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (España):

Master en “Ingeniería de Desalación y Reutilización de Aguas” y Master en “Ingeniería Ambiental” (1995 a 1997).

Doctorado en “Ingeniería de Desalación y Reutilización de Aguas”(Defensa de la Tesis Doctoral, en Abril del 2001).

Se desempeña como Ingeniero Responsable de los Proyectos de Investigación, en la Planta potabilizadora de agua de mar, por Osmosis Inversa, Las Palmas III (Empresa Mixta de aguas de Las Palmas-EMALSA, desde 1997 al 2000).